



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102019000011760
Data Deposito	15/07/2019
Data Pubblicazione	15/01/2021

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	04	B	35	528
Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	04	B	35	573
Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	04	B	35	80
Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	04	B	35	83
Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	29	C	70	06

Titolo

METODO PER REALIZZARE UN COMPONENTE IN MATERIALE COMPOSITO FIBRO-RINFORZATO

TITOLARI: PETROCERAMICS S.P.A., C.I.R.A. S.C.P.A.

DESCRIZIONE

Campo di applicazione

5 Forma oggetto della presente invenzione un metodo per realizzare un componente in materiale composito fibro-rinforzato.

Vantaggiosamente, il metodo oggetto della presente invenzione consente di realizzare preforme in materiale
10 composito fibro-rinforzato aventi elevate caratteristiche meccaniche e al contempo geometrie molto complesse.

Le preforme ottenibili con il metodo secondo l'invenzione possono essere utilizzate per ottenere
15 componenti in materiale composito polimerico fibro-rinforzato oppure possono essere destinate ad essere successivamente densificate con carbonio o infiltrate con silicio, previo trattamento di pirolisi, per ottenere componenti in materiale composito ceramico
20 fibro-rinforzato o in materiale composito carbon-carbon fibro-rinforzato.

In particolare, con le preforme secondo l'invenzione si possono realizzare componenti di aerei, navicelle spaziali, navi, automobili, treni, macchine industriali
25 con funzionalità strutturali e di resistenza a fonti di

calore.

Stato della tecnica

Generalmente, i processi per realizzare componenti in
materiale composito fibro-rinforzato (polimerico o
5 ceramico o carbon-carbon) prevedono una fase iniziale di
formatura del componente, partendo da materiali fibrosi
impregnati da leganti più comunemente organici, ma anche
inorganici. Tipicamente, tali materiali fibrosi sono
costituiti da pre-preg, impregnati con resine leganti.

10 Un pre-preg è costituito da fibre continue, generalmente
fibre di carbonio e/o fibre di vetro e/o fibre ceramiche,
disposte a formare un tessuto o un non-tessuto, e
impregnate con una composizione polimerica
termoindurente o termoplastica. Durante un qualsiasi

15 processo di formatura la composizione polimerica,
impregnando le fibre, forma una matrice legante che fissa
tra loro le fibre.

Tipicamente, nel caso di compositi ceramici i compositi
polimerici vengono trattati termicamente e la matrice

20 polimerica si trasforma nella sua parte inorganica.

Tipicamente, nel caso di compositi ceramici vengono
addizionati altri componenti in successive fasi di
densificazione, ad esempio nei compositi ceramici
ottenuti per infiltrazione da silicio liquido vengono

25 utilizzati prepreg di fibre di carbonio, impregnati con

resine fenoliche successivamente pirolizzati e infiltrati con silicio liquido.

Generalmente, la fase di formatura di pre-preg con fibre continue può essere realizzata con una delle seguenti
5 tecniche: vacuum bagging; resin transfer moulding; vacuum infusion; o compression moulding.

Rispetto alle tecniche di vacuum bagging, di vacuum infusion e di resin transfer moulding, la tecnica di compression moulding (nota anche come pressatura
10 uniassiale) presenta significativi vantaggi tecnici per alcune applicazioni.

In primo luogo, la tecnica di compression moulding permette di esercitare una pressione di formatura maggiore rispetto alle altre tecniche. Ciò consente di
15 ottenere un miglior impaccamento delle fibre e, in genere, un composito con caratteristiche meccaniche superiori. Un secondo vantaggio della tecnica di compression moulding è il minore tempo di formatura e la semplicità del processo, che non richiede l'impiego di
20 pompe da vuoto e relativi accessori e assemblaggi più o meno complessi o autoclavi per il post trattamento.

La tecnica di compression moulding è pertanto una tecnica che ben si presta alla produzione di numeri elevati con costi relativamente bassi. Tale tecnica non è però
25 applicabile per la realizzazione di componenti con

geometrie complesse in materiali compositi fibro-
rinforzati con fibre continue, che possono invece essere
prodotti solo mediante tecniche di vacuum bagging, di
vacuum infusion e di resin transfer moulding e curing in
5 autoclave.

Ad oggi, componenti con geometrie complesse in materiali
compositi polimerici fibro-rinforzati con fibre continue
- essendo realizzabili di fatto solo con tecnica di
vacuum bagging, vacuum infusion o resin transfer
10 moulding - non possono offrire caratteristiche
meccaniche paragonabili a quelle di componenti ottenuti
con tecniche di compression moulding.

Esiste quindi l'esigenza di realizzare componenti con
geometrie anche molto complesse in materiali compositi
15 fibro-rinforzati con fibre continue aventi elevate
caratteristiche meccaniche.

Presentazione dell'invenzione

Pertanto, scopo della presente invenzione è quello di
eliminare, o quanto meno ridurre, i problemi
20 sopraccitati, relativi alla tecnica nota, mettendo a
disposizione un metodo per realizzare una preforma in
materiale composito fibro-rinforzato con fibre continue
avente una geometria anche molto complessa ed avente al
contempo caratteristiche meccaniche superiori ad una
25 analoga preforma ottenuta con le tecniche note.

Descrizione dei disegni

- Le caratteristiche tecniche dell'invenzione sono chiaramente riscontrabili dal contenuto delle rivendicazioni sottoriportate ed i vantaggi della stessa risulteranno maggiormente evidenti nella descrizione dettagliata che segue, fatta con riferimento ai disegni allegati, che ne rappresentano una o più forme di realizzazione puramente esemplificative e non limitative, in cui:
- 5
10 - la Figura 1a mostra uno schema a blocchi del metodo per realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato con geometria complessa, secondo una forma realizzativa generale dell'invenzione, con indicate alcune fasi opzionali;
 - 15 - la Figura 1b mostra uno schema a blocchi di tre metodi per realizzare componenti a geometria complessa rispettivamente in materiale polimerico fibro-rinforzato, in materiale C/C fibro-rinforzato o in
20 in materiale composito polimerico fibro-rinforzato secondo l'invenzione;
 - le Figure 2a-f mostrano alcuni esempi di sezioni di preforma a geometria complessa ottenibile con il metodo secondo la presente invenzione;
 - 25 - la Figura 3 mostra un esempio di strutture ad incastro

utilizzabili nel metodo secondo l'invenzione in una fase
c) di assemblaggio di pezzi;

- la Figura 4 mostra un esempio di struttura ottenuta
con il metodo secondo la presente invenzione, con zone
5 di giunzione tra due pezzi consolidate tramite
applicazioni di substrati fibrosi con tecnica ad esempio
di vacuum bagging o vacuum infusion; e

- la Figura 5 mostra un disegno di un flap di una
navicella spaziale, realizzabile in materiale composito
10 ceramico fibro-rinforzato, avente una predefinita
geometria complessa, ottenibile per infiltrazione con
silicio di una preforma ottenuta con il metodo secondo
l'invenzione.

Descrizione dettagliata

15 La presente invenzione si riferisce ad un metodo per
realizzare una preforma in materiale composito fibro-
rinforzato con fibre continue, in cui detta preforma ha
una predefinita geometria complessa.

Per "preforma con geometria complessa" si intende in
20 generale un oggetto la cui geometria comprende uno o più
sottosquadri. In altre parole, per "geometria complessa"
si intende una geometria che non è riconducibile né ad
una forma planare o sostanzialmente planare, né ad una
forma leggermente curva. Nel contesto della presente
25 invenzione per "preforma con geometria complessa" si

intende, in generale, una preforma non ottenibile direttamente tramite tecnica di formatura per compression moulding.

Alcuni esempi di sezioni di preforma a geometria complessa (sezione a T) sono illustrati nelle Figura 2a - f.

Altri esempi di preforme a geometria complessa possono essere corpi a sezione a T, ad L, a V, oggetti cavi quali pale per turbina, ali o flap di aerei, pistoni per motori, pinze per automobili.

In accordo ad una forma realizzativa generale della presente invenzione, il metodo per realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato, in cui detta preforma ha una predefinita geometria complessa, comprende una **fase a) di formare** mediante tecnica di compression moulding una o più lastre in materiale composito fibro-rinforzato.

Vantaggiosamente, dette una o più lastre in materiale composito fibro-rinforzato possono avere una forma qualsiasi scelta tra le forme realizzabili con tecnica di compression moulding. In particolare, tali lastre possono avere forma planare o sostanzialmente planare, oppure forma leggermente curva. I limiti alla forma di tali lastre è dettata unicamente dai limiti tecnologici della tecnica di compression modlding utilizzata.

La tecnica di compression moulding è di per sé ben nota ad un tecnico del settore e non verrà quindi descritta nel dettaglio. Ci si limita solo ad evidenziare che le lastre ottenute nella suddetta fase a) di formatura
5 tramite tecnica di compression moulding sono costituite da una pluralità di strati di pre-preg sovrapposti tra loro e collegati tra loro da una matrice polimerica che si forma durante e tramite pressatura assiale alle temperature di reticolazione di una o più resine leganti
10 presenti in detti pre-preg. I pre-preg utilizzati per formare dette lastre in detta fase a) di formatura tramite compression moulding comprendono fibre continue, impregnate con una matrice di dette una o più resine leganti.

15 Successivamente alla fase a) di formatura, il metodo comprende una **fase operativa b) di sagomare** da detta una o più lastre in materiale composito fibro-rinforzato una pluralità di pezzi.

Le dimensioni e la forma specifiche di ciascuno di tali
20 pezzi sono scelte in modo tale che nel loro insieme tale pluralità di pezzi possa definire almeno parzialmente la predefinita geometria complessa della preforma da realizzare.

Operativamente, la geometria complessa della preforma da
25 realizzare viene suddivisa in parti di geometria più

semplice, realizzabili ciascuna tramite tecnica di compression moulding. Vantaggiosamente, la suddivisione della geometria complessa in parti di geometria più semplice può essere effettuata in modo automatizzato
5 mediante tecniche assistite al computer.

La fase di formatura a) può essere sfruttata direttamente per realizzare i pezzi delle dimensioni e forme scelte. È tuttavia operativamente più semplice prevedere una specifica fase b) di sagomatura dei pezzi da lastre
10 grezze.

Successivamente alla fase operativa b) di sagomatura, il metodo comprende una **fase operativa c)** di assemblare tra loro i suddetti pezzi per formare una struttura avente una geometria corrispondente almeno in parte alla
15 predefinita geometria complessa della preforma da realizzare.

Vantaggiosamente, come sarà ripreso nel seguito della descrizione, l'assemblaggio dei singoli pezzi tra loro non richiede necessariamente un contatto diretto tra i
20 singoli pezzi. La fase c) di assemblaggio è infatti finalizzata a disporre i singoli pezzi nelle assegnate posizioni all'interno di una struttura che deve riprodurre almeno in parte la geometria complessa della preforma da ottenere.

25 Successivamente alla fase operativa c) di assemblaggio

dei pezzi, il metodo comprende una **fase d) di consolidare** la struttura così ottenuta tramite tecnica di vacuum bagging, vacuum infusion o resin transfer moulding applicando substrati fibrosi in forma laminare a detta
5 struttura almeno in predefinite porzioni di essa.

L'applicazione di tali substrati fibrosi in forma laminare è funzionale a:

- completare la geometria della struttura in accordo alla predefinita geometria complessa della preforma da
10 ottenere; e/o
- rinforzare tale struttura.

Al termine di detta fase d) di consolidamento si ottiene una struttura consolidata che costituisce la preforma finale con predefinita geometria complessa.

15 La fase d) di consolidamento se condotta tramite tecnica di vacuum bagging o vacuum infusion può essere opzionalmente seguita da una **fase e) di trattare in autoclave** ad una predefinita pressione la suddetta struttura consolidata.

20 In particolare, in tale fase e) di trattamento in autoclave la struttura consolidata è sottoposta ad una pressione compresa tra 2 e 15 bar.

Le tecniche di vacuum bagging, di vacuum infusion e di resin transfer moulding sono tecniche di per sé ben note
25 ad un tecnico esperto del settore e non saranno quindi

qui descritte.

Ci si limita qui a ricordare solo che le tecniche di vacuum bagging e di vacuum infusion prevedono entrambe l'utilizzo di un film flessibile che può essere usato
5 per avvolgere completamente i materiali da sottoporre a formatura oppure per coprire tali materiali disposti all'interno di uno stampo. Il film flessibile crea attorno alle parti da formare un ambiente chiuso. Operativamente, si crea quindi il vuoto all'interno di
10 detto ambiente chiuso, in modo tale che il film flessibile - sotto la forza della pressione atmosferica - comprime i materiali all'interno determinandone la formatura. Durante la formatura si ha anche il curing del materiale, a seconda delle condizioni operative con
15 cui viene effettuata la formatura. Segue poi una fase di trattamento in autoclave, in cui l'assemblato così ottenuto è sottoposto ad una predefinita pressione, preferibilmente compresa da 2 e 15bar.

La tecnica di vacuum infusion si differenzia da quella
20 di vacuum bagging essenzialmente per il fatto che durante la formatura sottovuoto vengono iniettati materiali formabili (ad esempio resine).

La tecnica di resin transfer moulding è simile alla tecnica di vacuum infusion, dal momento che prevede
25 anch'essa l'iniezione di materiali formabili all'interno

di una camera chiusa. Nel caso di resin transfer moulding, l'iniezione dei materiali formabili viene effettuata ad alta pressione (e non sottovuoto); inoltre la camera di iniezione è definita da uno stampo rigido
5 e non da un film flessibile.

Pertanto, nel caso in cui nella fase d) di consolidamento si utilizzi la tecnica di vacuum bagging, i suddetti substrati fibrosi in forma laminare sono già impregnati di una o più resine leganti, cioè sono costituiti da
10 pre-preg. Nel caso in cui nella fase d) di consolidamento si utilizzi la tecnica di vacuum infusion o resin transfer moulding, i suddetti substrati fibrosi in forma laminare sono privi di resine leganti, che vengono invece iniettate nel sito di applicazione durante l'esecuzione
15 della tecnica di consolidamento.

Nel caso di applicazione della tecnica di resin transfer moulding, i pezzi ottenuti per compression moulding e i substrati fibrosi vengono disposti all'interno di uno stampo, avente la geometria della preforma da ottenere.
20 Nel caso di applicazione della tecnica di vacuum bagging o di vacuum infusion, i pezzi ottenuti per compression moulding e i substrati fibrosi vengono avvolti all'interno del film flessibile. In questo caso, la forma finale della preforma è ottenuta dalla disposizione
25 reciproca tra i pezzi (ottenuti per compression

moulding) e i substrati fibrosi.

Preferibilmente, nel caso specifico di utilizzo della tecnica di vacuum bagging o vacuum infusion, il film flessibile avvolge completamente la struttura dei pezzi e i substrati fibrosi su di essa applicati.

Vantaggiosamente, in alcuni casi specifici, ad esempio nel caso in cui i substrati fibrosi debbano essere applicati solo in alcune porzioni della struttura, il film flessibile può non avvolgere completamente la struttura dei pezzi, ma essere collegato solo alle porzioni della struttura sulle quali devono essere applicati i substrati di rinforzo. In tal caso la struttura funge quindi da stampo, mentre i substrati fibrosi vengono applicati tra la struttura e il film flessibile.

Alla luce di quanto sopra espresso, appare chiaramente che il metodo di formatura secondo l'invenzione consente quindi di combinare i vantaggi legati alla tecnica di compression moulding (principalmente formatura di componenti ad elevata resistenza meccanica) con i vantaggi legati alle tecniche di vacuum bagging, vacuum infusion e resin transfer moulding (principalmente, formatura di parti complesse).

Infatti, le preforme in materiale composito fibro-rinforzato ottenute con il metodo secondo l'invenzione

possono avere geometrie complesse, non ottenibili tramite compression moulding, pur presentando caratteristiche di resistenza meccanica ottenibili solo con compression moulding.

5 Vantaggiosamente, l'applicazione dei substrati fibrosi in forma laminare può essere eseguita secondo diverse geometrie e diversi stendimenti delle fibre continue, che vengono scelti in funzione delle caratteristiche meccaniche che si vogliono ottenere nella preforma
10 finale.

Analogamente, anche i pezzi ottenuti per compression moulding possono essere disposti all'interno della suddetta struttura scegliendo opportunamente l'orientamento delle fibre presenti nei singoli pezzi
15 rispetto alla posizione all'interno della struttura stessa, in funzione delle caratteristiche meccaniche che si vogliono ottenere nella preforma finale.

Il metodo di formatura secondo l'invenzione consente quindi non solo di combinare i vantaggi legati alla
20 tecnica di compression moulding con i vantaggi legati alle tecniche di vacuum bagging, vacuum infusion e resin transfer moulding, ma anche di realizzare preforme che possono avere caratteristiche meccaniche differenziate da porzione a porzione in funzione dell'utilizzo finale
25 della preforma.

Vantaggiosamente, nella suddetta fase c) di assemblaggio almeno alcuni dei pezzi ottenuti per compression moulding possono essere disposti **in reciproco contatto** tra loro in corrispondenza di zone di giunzione diretta.

5 Esempi di tale situazione sono rappresentati schematicamente nelle Figure 2a e 2b.

Vantaggiosamente, in tale situazione, nella fase d) di consolidamento parte dei suddetti substrati fibrosi possono essere applicati sulla struttura come elementi
10 di rinforzo sovrapposti ai pezzi in corrispondenza di una o più di dette zone di giunzione diretta.

Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata**. Figura 4 viene riportato uno schema di giunzione a T rinforzata mediante substrati fibrosi laminari di
15 rinforzo che aderiscono ad entrambi i pezzi giuntati (sotto forma di pannelli). La preforma è indicata con 1; i due pezzi giuntati sono indicati rispettivamente con 2 e 3, mentre i substrati fibrosi di rinforzo rispettivamente con 10 e 20.

20 Preferibilmente, la giunzione diretta tra i pezzi disposti in reciproco contatto può essere ottenuta attraverso un collegamento di tipo meccanico tra i pezzi stessi, preferibilmente un collegamento per accoppiamento di forma con compenetrazione tra i pezzi.

25 Una possibile modalità di giunzione dei pezzi in

reciproco contatto può prevedere la creazione di strutture ad incastro, come ad esempio strutture a coda di rondine, con metodi del tutto simili a quelli utilizzati nell'industria del legno, come illustrato ad esempio nella Figura 3. Possono essere previsti, tuttavia, anche giunzioni semplici del tipo senza incastro, come illustrato nella Figura 4.

Vantaggiosamente, la giunzione diretta tra i pezzi disposti in reciproco contatto può essere ottenuta attraverso un collegamento mediante una o più resine leganti o colle. Il collegamento con colle può essere previsto come alternativa al collegamento di tipo meccanico. Preferibilmente, il collegamento con colle è previsto in combinazione con il collegamento di tipo meccanico. In altre parole, le strutture ad incastro tra i pezzi vengono rinforzate tramite resine leganti.

Vantaggiosamente, nella suddetta fase c) di assemblaggio almeno alcuni dei pezzi ottenuti per compression moulding possono essere disposti a **formare porzioni adiacenti della suddetta struttura senza tuttavia essere posti a diretto contatto tra loro** lasciando così zone di lacuna nella struttura stessa. Nella suddetta fase d) di consolidamento parte di detti substrati fibrosi in forma laminare sono applicati come elementi di riempimento di tali zone di lacuna e come elementi di giunzione tra

pezzi adiacenti non a contatto diretto tra loro. Esempi di tale situazione sono rappresentati schematicamente nelle Figure 2c e 2d.

Vantaggiosamente, nella suddetta fase di consolidamento
5 d) i suddetti substrati fibrosi in forma laminare possono essere applicati sulla struttura come elementi di rivestimento parziale o completo di uno o più dei pezzi ottenuti per compression moulding, quest'ultimi risultando così almeno parzialmente annegati in detti
10 substrati fibrosi. Esempi di tale situazione sono rappresentati schematicamente nelle Figure 2d e 2e.

In accordo ad una forma realizzativa particolare della presente invenzione, la struttura ottenuta assemblando tra loro i suddetti pezzi può definire completamente la
15 geometria complessa della preforma da realizzare. Tale situazione è illustrata schematicamente nelle Figure 2a e 2b, in cui i substrati fibrosi 10, 20 svolgono essenzialmente una funzione di rinforzo della zona di giunzione tra i due pezzi 2 e 3 ottenuti per compression
20 moulding.

In accordo ad una forma realizzativa alternativa, la struttura ottenuta assemblando tra loro i suddetti pezzi - in una o più delle sue porzioni - può non definire completamente la geometria complessa della preforma da
25 realizzare. Tale situazione è illustrata schematicamente

nelle Figure da 2c a 2f, in cui i substrati fibrosi 10,
20 contribuiscono a definire la geometria della
preforma, completando le lacune tra i pezzi 2, 2', 2'',
3, 3', 3'' ottenuti per compression moulding. Ciò può
5 essere previsto, ad esempio, nel caso in cui non sia
necessario che la preforma finale presenti in ogni sua
porzione caratteristiche ad elevata resistenza
meccanica, ottenibili solo con formatura di compression
moulding.

10 Si possono quindi verificare casi in cui la preforma
finale sia quasi completamente realizzata tramite
substrati fibrosi formati con tecnica di vacuum bagging,
vacuum infusion o resin transfer moulding ed in cui i
pezzi ottenuti per compression moulding costituiscono
15 solo degli inserti di rinforzo collocati in specifiche
porzioni della preforma. Tale situazione è illustrata
schematicamente ad esempio nella Figura 2e.

* * *

Come già evidenziato in precedenza, le lastre ottenute
20 nella suddetta fase a) di formatura tramite tecnica di
compression moulding sono costituite da una pluralità di
strati di pre-preg sovrapposti tra loro e collegati tra
loro da una matrice polimerica che si forma durante e
tramite pressatura assiale alle temperature di
25 reticolazione di una o più resine leganti presenti in

detti pre-preg. I pre-preg utilizzati per formare dette lastre in detta fase a) di formatura tramite compression moulding comprendono fibre continue impregnate con una matrice di dette una o più resine leganti.

5 Preferibilmente le fibre continue possono avere specifici orientamenti all'interno delle lastre.

Vantaggiosamente, la sagomatura dei pezzi dalle lastre può essere eseguita in modo tale che i pezzi presentino specifici orientamenti delle fibre e possano quindi

10 conferire specifiche caratteristiche meccaniche alle preforme nelle porzioni in cui tali pezzi sono inseriti.

Vantaggiosamente, le resine leganti dei pre-preg utilizzati per realizzare le suddette lastre possono essere di vario tipo, e vengono scelte in funzione delle

15 caratteristiche meccaniche e fisiche dei pezzi che si devono ottenere per sagomatura delle lastre.

In particolare, le suddette una o più resine leganti possono essere scelte tra le resine che assumono elevate caratteristiche meccaniche e/o termiche allo stato

20 polimerico. In tal caso, preferibilmente, dette una o più resine leganti possono essere resine scelte nel gruppo costituito da resine epossidiche, siliconiche, fenoliche, cianato estere.

Le suddette una o più resine leganti possono essere
25 scelte tra le resine ad alta resa carboniosa a seguito

di pirolisi. In tal caso, preferibilmente dette una o più resine leganti sono scelte nel gruppo costituito da resine fenoliche, siliconiche, cianato estere e furaniche.

5 Vantaggiosamente, i pezzi (ottenuti per compression moulding) possono essere assemblati tra loro senza subire alcun trattamento successivo dopo la fase b) di sagomatura.

In alternativa, i pezzi (ottenuti per compression
10 moulding) possono essere sottoposti a trattamenti che ne modificano le caratteristiche prima della fase b) di sagomatura o prima della fase c) di assemblaggio, come sarà ripreso nel seguito.

Vantaggiosamente, è possibile assemblare pezzi con
15 caratteristiche meccaniche e di composizione differenti.

In particolare è possibile differenziare le caratteristiche stesse dei pezzi sia in termini di materiale utilizzato, sia in termini di tipo di trattamento subito dal pezzo. La differenziazione può
20 essere fatta, ad esempio, in funzione della porzione della struttura che il singolo pezzo è destinato a definire.

Vantaggiosamente, il metodo può comprendere una fase f) di trattare termicamente almeno una parte di dette lastre
25 o di detti pezzi sagomati da dette lastre prima di

assemblarli tra loro in detta fase c) di assemblaggio, al fine di realizzare un post-curing totale o parziale di dette una o più resine leganti. Tale fase f) di trattamento è finalizzata ad indurre il curing totale o parziale di dette una o più resine leganti presenti negli strati di pre-preg che formano i pezzi ottenuti dal taglio di dette lastre. Differenziando il grado di trattamento termico dei singoli pezzi è possibile differenziare le relative caratteristiche fisiche e meccaniche.

Vantaggiosamente, il metodo può comprendere una fase g) di pirolizzare almeno una parte di dette lastre o di detti pezzi sagomati da dette lastre prima di assemblarli tra loro in detta fase c) di assemblaggio, al fine di decomporre dette una o più resine leganti in composti carboniosi. Anche in questo caso, controllando il trattamento di pirolisi è possibile differenziare il grado di pirolisi dei singoli pezzi, ottenendo così pezzi caratterizzati da differenti livelli di porosità.

Vantaggiosamente, il metodo può comprendere anche una fase h) di densificare con carbonio almeno una parte delle lastre o dei pezzi sottoposti a detta fase g) di pirolisi, prima di assemblarli tra loro in detta fase c) di assemblaggio. In tal modo è possibile, ad esempio, realizzare pezzi (ottenuti per compression moulding) in

materiale carbon-carbon a differenti stadi di densificazione (ad esempio da 0,7 g/cm³ a 1,8 g/cm³).

In particolare, la densificazione può essere condotta con tecnica CVI (Chemical Vapor Infiltration) e/o con
5 tecnica PIP (Polymer Impregnation and Pyrolysis).

Vantaggiosamente, la densificazione può essere condotta in modo differenziato da pezzo a pezzo. In tal modo, nel caso in cui la preforma in materiale composito fibro-
rinforzato sia destinata ad essere sottoposta ad una
10 successiva infiltrazione con silicio fuso, è possibile variare il rapporto tra C, SiC, Si da porzione a porzione nel pezzo finale in materiale composito ceramico fibro-
rinforzato così ottenuto.

Vantaggiosamente, il metodo può comprendere anche una
15 fase i) di infiltrare con silicio fuso almeno una parte delle lastre o dei pezzi sottoposti a detta fase g) di pirolisi, prima di assemblarli tra loro in detta fase c) di assemblaggio. In tal modo è possibile, ad esempio, realizzare pezzi (ottenuti per compression moulding) in
20 materiale ceramico.

In particolare, l'infiltrazione con silicio può essere condotta con tecnica LSI (Liquid Silicon Infiltration).
A titolo di esempio, grazie al metodo secondo l'invenzione è possibile realizzare una preforma in
25 materiale polimerico fibro-rinforzato che sia dotata in

alcuni specifici punti di "inserti/pezzi" in materiale composito carbon-carbon fibro-rinforzato a differenti stadi di densificazione o in materiale composito ceramico fibro-rinforzato. Tali "inserti/pezzi" in
5 materiali differenti dal materiale polimerico fibro-rinforzato che forma principalmente la preforma possono essere previsti in zone della preforma che in uso devono garantire una maggiore resistenza termica, come ad esempio zone di contatto con fonti di calore.

10 Lo schema generale del metodo per realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato con fibre continue è illustrata nella Figura 1a.

In accordo ad una forma realizzativa preferita dell'invenzione, i pezzi ottenuti dal taglio delle
15 suddette lastre ottenute per compression moulding sono sottoposti a pirolisi prima del loro assemblaggio. Come sarà chiarito nel seguito della descrizione, ciò aumenta la stabilità di assemblaggio dei pezzi:

- il materiale pirolizzato è poroso e quindi
20 favorisce l'adesione della colla e/o dei prepreg con cui entra in contatto nelle fasi c) di assemblaggio e d) di consolidamento;

- i singoli pezzi pirolizzati hanno già subito le espansioni e i ritiri che avvengono nel composito
25 stampato durante pirolisi; pertanto, la preforma così

ottenuta sarà meno soggetta a stress e deformazioni termiche.

* * *

Preferibilmente, le suddette una o più resine leganti o
5 colle utilizzabili per collegare tra loro i pezzi in
reciproco contatto sono resine ad alta resa carboniosa
a seguito di pirolisi.

L'elevata resa carboniosa è necessaria per garantire la
conservazione di una buona consistenza della giunzione
10 in seguito ad un eventuale trattamento di pirolisi.
Infatti, come sarà ripreso più avanti nella descrizione,
le preforme in materiale composito fibro-rinforzato
ottenute con il metodo secondo l'invenzione possono
essere vantaggiosamente sottoposte ad infiltrazione con
15 silicio fuso (tramite tecnica LSI, Liquid Silicon
Infiltration) per trasformarle in un materiale composito
ceramico fibro-rinforzato oppure essere densificate con
materiale carboniosi per trasformarle in un CC (Carbon-
Carbon). Tali trattamenti (infiltrazione e
20 densificazione) richiedono preferibilmente una
preventiva pirolisi finalizzata a generare una porosità
sufficiente per l'infiltrazione del silicio fuso e la
deposizione di materiali carboniosi.

Preferibilmente, le suddette una o più resine leganti o
25 colle utilizzabili per collegare tra loro i pezzi in

reciproco contatto sono scelte nel gruppo costituito da
resine fenoliche, resine siliconiche e resine furaniche.
Vantaggiosamente, tali una o più resine leganti o colle
possono essere caricate con polveri di materiale
5 ceramico, di grafite e/o di coke. La presenza di polveri
ceramiche consente di migliorare l'adesione delle parti
dopo pirolisi regolando i fenomeni di ritiro.

* * *

Vantaggiosamente, le resine leganti che impregnano i
10 substrati fibrosi (pre-preg) applicati con la tecnica di
vacuum bagging, nonché le resine leganti applicate con
la tecnica di vacuum infusion e resin transfer moulding
vengono scelte in funzione del materiale composito
fibro-rinforzato con cui si vuole ottenere la preforma
15 finale con predefinita geometria complessa.

In particolare, le suddette una o più resine leganti
possono essere scelte tra le resine che assumono elevate
caratteristiche meccaniche anche dopo formatura. In tal
caso, preferibilmente, dette una o più resine leganti
20 possono essere resine scelte nel gruppo costituito da
resine epossidiche, siliconiche, cianato estere e
fenoliche.

Tale scelta viene effettuata nel caso in cui la preforma
sia utilizzata direttamente nello stato finale ottenuto
25 dopo il trattamento in autoclave, cioè sia utilizzata

come una preforma in materiale polimerico fibro-
rinforzato.

In tal caso, la preforma finale con geometria complessa
sarà realizzata in un materiale polimerico fibro-
5 rinforzato, comprendente uno o più inserti costituiti
dai pezzi ottenuti per compression moulding ed
eventualmente sottoposti a trattamenti di post-curing,
pirolisi e densificazione.

In alternativa, le suddette una o più resine leganti
10 possono essere scelte tra le resine ad alta resa
carboniosa a seguito di pirolisi. In tal caso,
preferibilmente dette una o più resine leganti sono
scelte nel gruppo costituito da resine fenoliche, resine
siliconiche e resine furaniche. Tale scelta viene
15 condotta nel caso particolare in cui la preforma finale
non sia utilizzata direttamente nello stato finale
ottenuto dopo la fase d) di consolidamento, ma sia
destinata ad essere sottoposta a pirolisi e ad una
successiva infiltrazione con silicio fuso o
20 densificazione con carbonio.

* * *

Vantaggiosamente, come già descritto in precedenza, una
preforma in materiale composito fibro-rinforzato con
fibre continue può essere utilizzata per realizzare un
25 componente in materiale composito polimerico, carbon-

carbon, o ceramico fibro-rinforzato, avente la geometria complessa di tale preforma.

In particolare, per ottenere tali componenti la preforma può essere sottoposta a lavorazioni meccaniche.

- 5 Come già evidenziato in precedenza la preforma in materiale composito polimerico fibro-rinforzato con fibre continue può contenere pezzi/inserti in C/C o CMC.

* * *

10 Forma oggetto ulteriore della presente invenzione, un metodo per realizzare un componente in materiale composito ceramico fibro-rinforzato, avente una predefinita geometria complessa.

Tale metodo comprende le seguenti fasi operative:

- 15 - realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato avente la predefinita geometria complessa del componente da realizzare seguendo il metodo di realizzazione di una preforma secondo l'invenzione, ed in particolare come sopra descritto;
- 20 - pirolizzare detta preforma in modo da renderla porosa;
- infiltrare con silicio liquido detta preforma resa porosa, così da ottenere detto componente in materiale composito ceramico (CCM) fibro-rinforzato con detta predefinita geometria complessa.

25 La Figura 5 mostra un disegno di un flap di una navicella spaziale realizzabile in materiale composito ceramico

fibro-rinforzato, avente una predefinita geometria complessa, ottenibile per infiltrazione con silicio di una preforma ottenuta con il metodo secondo l'invenzione. Nella Figura 5 sono evidenziate con dei
5 cerchi le porzioni del flap ottenute con le tecniche di formatura secondo l'invenzione, che hanno permesso l'assemblaggio di diversi materiali.

Come già detto in precedenza, l'utilizzo di resine ad alta resa carboniosa a seguito di pirolisi (in
10 particolare, resine fenoliche, siliconiche e furaniche o di altri polimeri con alto carbon yield, es. PEEK) in particolare in prossimità delle giunzioni tra i pezzi, ha lo scopo di ottenere un residuo di pirolisi idoneo a garantire una buona consistenza della struttura prima
15 dell'infiltrazione.

Vantaggiosamente, il metodo può comprendere una fase di densificare la suddetta preforma resa porosa. Tale fase di densificazione viene effettuata prima della fase di infiltrazione e può essere finalizzata in particolare a
20 rafforzare la preforma prima dell'infiltrazione con silicio fuso.

Vantaggiosamente, la densificazione può essere condotta in modo differenziato da porzione da porzione della preforma. In tal modo, a seguito di infiltrazione con
25 silicio fuso della preforma ottenuta, posso variare il

rapporto tra C SiC Si da porzione a porzione nel pezzo finale in materiale composito ceramico fibro-rinforzato così ottenuto.

Lo schema generale di tale metodo per realizzare un
5 componente in materiale CMC fibro-rinforzato con geometria complessa è illustrato nella Figura 1b.

* * *

Forma oggetto ulteriore della presente invenzione, un metodo per realizzare un pezzo in materiale carbon-
10 carbon (CC), avente una predefinita geometria complessa. Tale metodo comprende le seguenti fasi operative:

- realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato avente la predefinita geometria complessa del pezzo da realizzare seguendo il metodo di realizzazione
15 di una preforma secondo l'invenzione, ed in particolare come sopra descritto;

- pirolizzare detta preforma in modo da renderla porosa;
- densificare con carbonio detta preforma resa porosa, così da ottenere detto pezzo in materiale carbon-carbon
20 (CC) con detta predefinita geometria complessa.

Lo schema generale di tale metodo per realizzare un componente in materiale C/C fibro-rinforzato con geometria complessa è illustrato nella Figura 1b.

* * *

25 L'invenzione così concepita raggiunge pertanto gli scopi

prefissi.

Ovviamente, essa potrà assumere, nella sua realizzazione pratica anche forme e configurazioni diverse da quella sopra illustrata senza che, per questo, si esca dal
5 presente ambito di protezione.

Inoltre tutti i particolari potranno essere sostituiti da elementi tecnicamente equivalenti e le dimensioni, le forme ed i materiali impiegati potranno essere qualsiasi a seconda delle necessità.

TITOLARI: PETROCERAMICS S.P.A., C.I.R.A. S.C.P.A.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per realizzare una preforma in materiale
5 composito fibro-rinforzato con fibre continue, detta
preforma avendo una predefinita geometria complessa,
detto metodo comprendendo le seguenti fasi:
- a) formare mediante tecnica di compression moulding
una o più lastre in materiale composito fibro-
10 rinforzato;
- b) sagomare da detta una o più lastre in materiale
composito fibro-rinforzato una pluralità di pezzi, le
dimensioni e la forma specifiche di ciascuno di detti
pezzi essendo scelte in modo tale che nel loro insieme
15 tale pluralità di pezzi possa definire almeno
parzialmente la predefinita geometria complessa di detta
preforma;
- c) assemblare tra loro detti pezzi per formare una
struttura avente una geometria corrispondente almeno in
20 parte alla predefinita geometria complessa della
preforma da realizzare;
- d) consolidare detta struttura tramite tecnica di
vacuum bagging, vacuum infusion o resin transfer
moulding applicando substrati fibrosi in forma laminare
25 a detta struttura almeno in predefinite porzioni di essa

per completarne la geometria in accordo a detta predefinita geometria complessa e/o per rinforzare detta struttura, ottenendo così una struttura consolidata che costituisce detta preforma con detta predefinita
5 geometria complessa.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui in detta fase c) di assemblaggio almeno alcuni di detti **pezzi** sono disposti **in reciproco contatto tra loro** in corrispondenza di zone di giunzione diretta, in cui
10 preferibilmente in detta fase d) di consolidamento parte di detti substrati fibrosi sono applicati su detta struttura come elementi di rinforzo sovrapposti su detti pezzi in corrispondenza di una o più di dette zone di giunzione diretta.

15 3. Metodo secondo una o più delle precedenti rivendicazioni, in cui in detta fase c) di assemblaggio almeno alcuni di detti **pezzi** sono disposti a formare porzioni adiacenti di detta struttura **senza tuttavia essere posti a diretto contatto** tra loro lasciando così
20 zone di lacuna in detta struttura, in detta fase d) di consolidamento parte di detti substrati fibrosi in forma laminare essendo applicati come elementi di riempimento di dette zone di lacuna e come elementi di giunzione tra detti pezzi adiacenti non a contatto diretto tra loro.

25 4. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni

precedenti, in cui in detta fase di consolidamento d) detti substrati fibrosi in forma laminare sono applicati su detta struttura come elementi di rivestimento parziale o completo di uno o più di detti pezzi, 5 quest'ultimi risultando così almeno parzialmente annegati in detti substrati fibrosi.

5. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, in cui dette lastre ottenute in detta fase a) di formatura, dalle quali si ottengono detti pezzi 10 dopo la fase b) di sagomatura, sono costituite da una pluralità di strati di pre-preg sovrapposti tra loro e collegati tra loro da una matrice polimerica che si forma durante e tramite pressatura assiale alle temperatura di reticolazione di una o più resine leganti presenti in 15 detti pre-preg, in cui i pre-preg utilizzati per formare dette lastre in detta fase a) di formatura comprendono fibre continue, impregnate con una matrice di dette una o più resine leganti.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5, in cui 20 dette una o più resine leganti sono resine scelte nel gruppo costituito da resine epossidiche, siliconiche, fenoliche, cianato estere e furaniche.

7. Metodo secondo la rivendicazione 5 o 6, in cui detti pezzi possono essere soggetti ad uno o più di 25 trattamenti termici, preferibilmente scelti tra:

- una **fase f)** di post-curing;
- una fase g) di pirolisi;
- una fase h) di densificazione con carbonio; e/o
- una fase i) di infiltrazione con silicio fuso.

5 8. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, in cui in detta fase c) di assemblaggio almeno alcuni di detti **pezzi** sono disposti **in reciproco contatto tra loro** in corrispondenza di zone di giunzione diretta ed in cui detto reciproco contatto è realizzato
10 attraverso:

- un collegamento di tipo meccanico tra i pezzi stessi, preferibilmente un collegamento per accoppiamento di forma con compenetrazione tra i pezzi; e/o
- un collegamento mediante una o più resine leganti o
15 colle, in cui preferibilmente dette una o più resine leganti o colle sono resine ad alta resa carboniosa a seguito di pirolisi, ancora più preferibilmente dette una o più resine leganti o colle essendo scelte nel gruppo costituito da resine fenoliche, siliconiche,
20 cianato estere e furaniche.

9. Metodo secondo la rivendicazione 14, in cui dette una o più resine leganti o colle sono caricate con polveri di materiale ceramico, di grafite e/o di coke.

10. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni
25 precedenti, in cui detta fase d) di consolidamento è

effettuata tramite tecnica di vacuum bagging, applicando su detta struttura substrati fibrosi costituiti da prepreg comprendenti fibre continue, ed impregnati con una matrice di una o più resine leganti.

5 11. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 9, in cui detta fase d) di consolidamento è effettuata tramite tecnica di vacuum infusion o resin transfer moulding, applicando su detta struttura substrati fibrosi comprendenti fibre continue, non
10 impregnate con una matrice di una o più resine leganti, durante detta fase c) di consolidamento essendo applicate una o più resine leganti nel sito di applicazione di detti substrati fibrosi.

12. Metodo secondo la rivendicazione 10 o 11, in
15 cui dette una o più resine leganti sono resine scelte nel gruppo costituito da resine epossidiche, siliconiche, fenoliche, cianato estere e furaniche.

13. Metodo secondo una o più delle rivendicazioni precedenti, comprendente una fase e) di trattare in
20 autoclave detta struttura consolidata ad una predefinita pressione, preferibilmente compresa tra 3 e 10 bar.

14. Metodo per realizzare un componente in materiale composito ceramico fibro-rinforzato con fibre continue, detto componente avendo una predefinita
25 geometria complessa, detto metodo comprendendo le

seguenti fasi operative:

- realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato avente la predefinita geometria complessa del componente da realizzare seguendo il metodo di
5 realizzazione di una preforma secondo una o più delle rivendicazioni precedenti;
- pirolizzare detta preforma in modo da renderla porosa;
- infiltrare con silicio liquido detta preforma resa porosa, così da ottenere detto componente in materiale
10 composito ceramico fibro-rinforzato con detta predefinita geometria complessa.

15 **15.** Metodo secondo la rivendicazione 14, comprendente una fase di densificare con carbonio detta preforma resa porosa, da effettuare prima di detta fase di infiltrazione.

20 **16.** Metodo per realizzare un componente in materiale composito carbon-carbon fibro-rinforzato con fibre continue, detto componente avendo una predefinita geometria complessa, detto metodo comprendendo le seguenti fasi operative:

- realizzare una preforma in materiale composito fibro-rinforzato avente la predefinita geometria complessa del componente da realizzare seguendo il metodo di
25 realizzazione di una preforma secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 13;

- pirolizzare detta preforma in modo da renderla porosa;
 - densificare con carbonio detta preforma resa porosa, così da ottenere detto componente in materiale composito carbon-carbon fibro-rinforzato con fibre continue con detta predefinita geometria complessa.
- 5

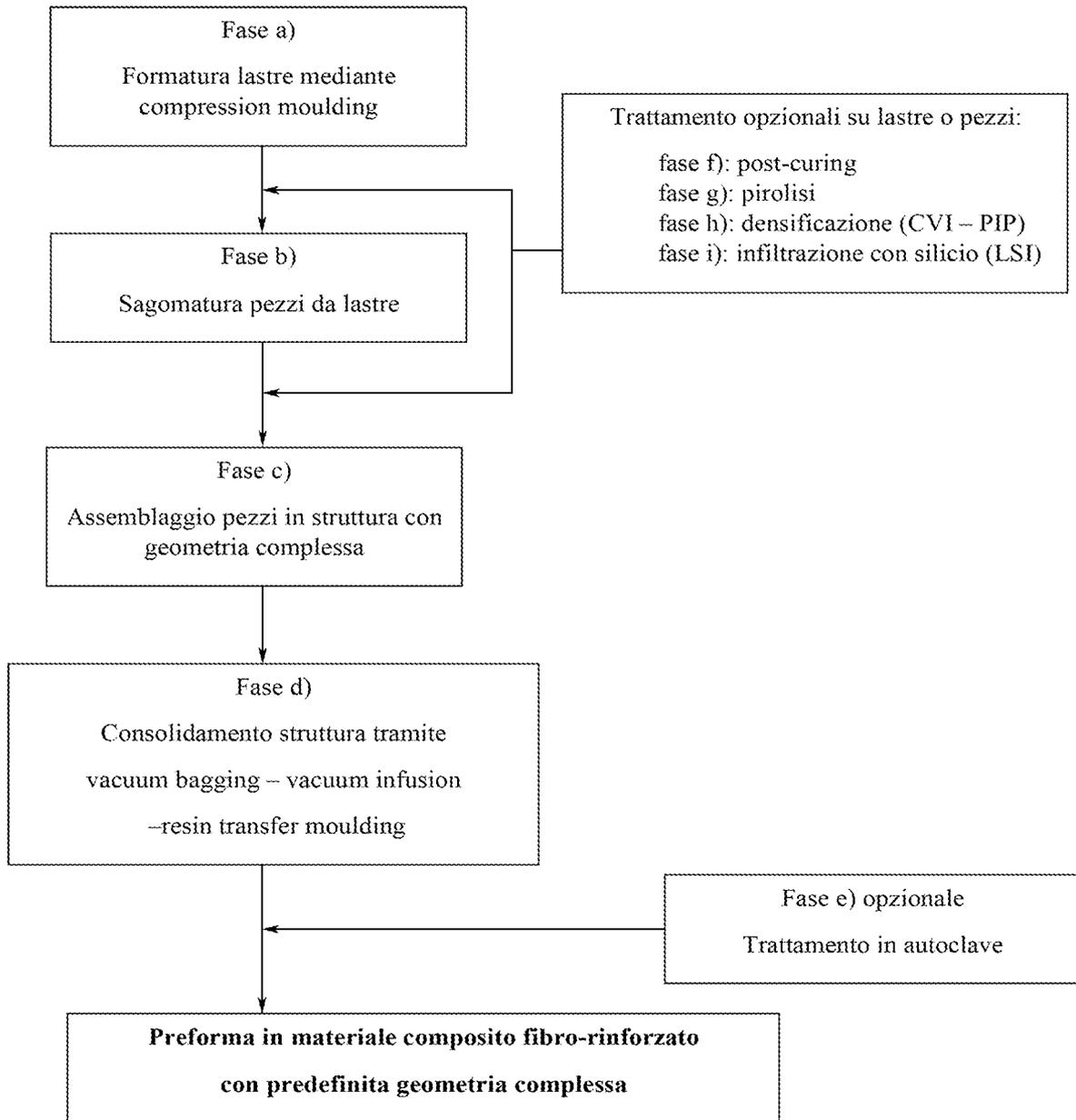


FIG.1a

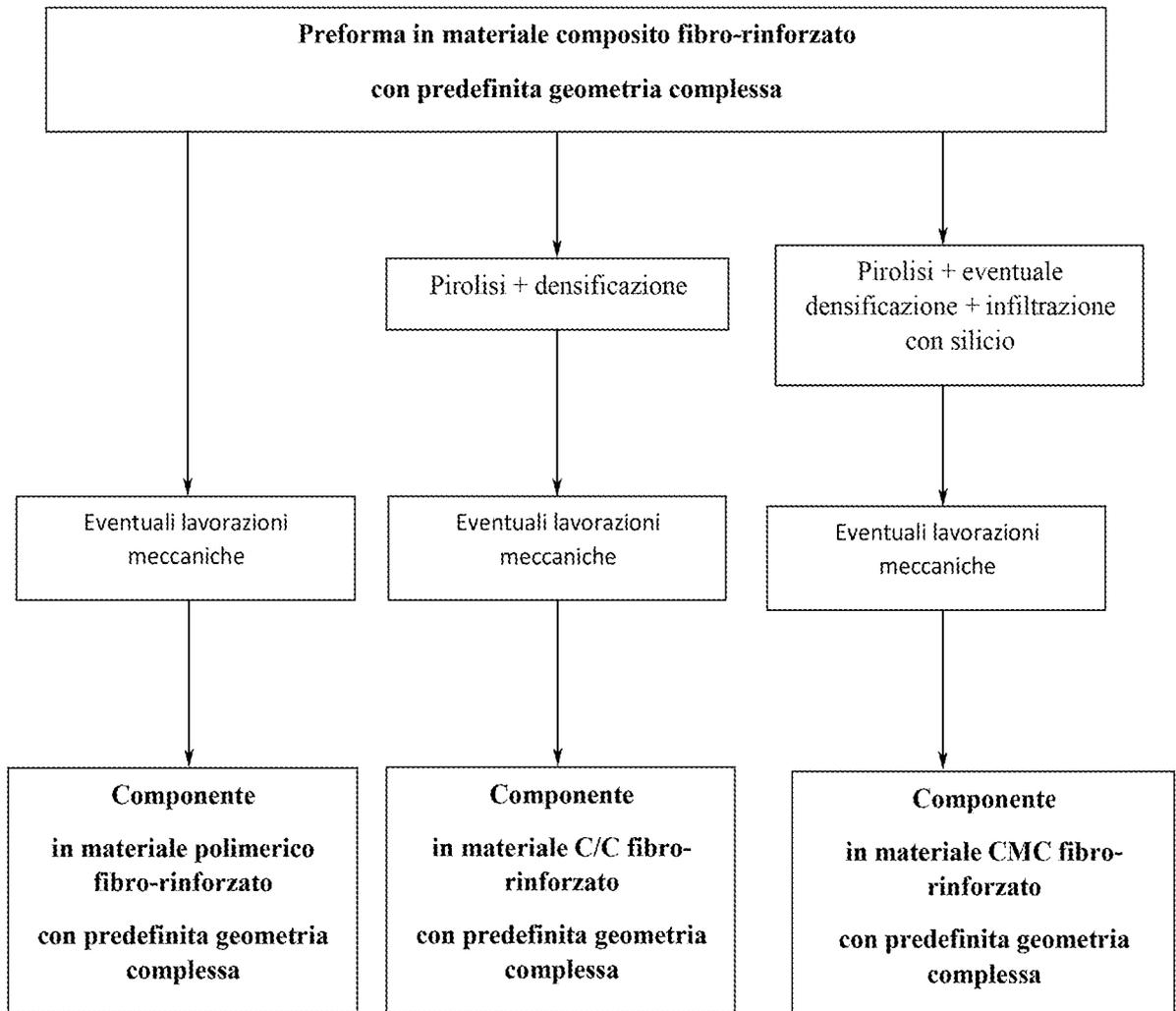


FIG.1b

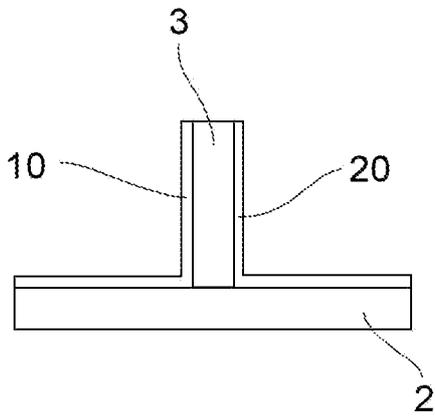


FIG. 2a

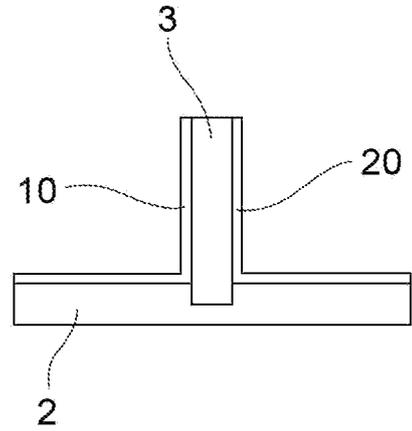


FIG. 2b

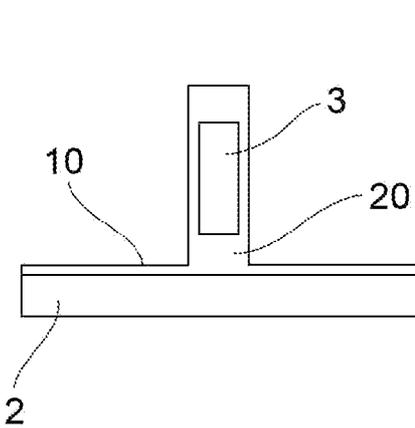


FIG. 2c

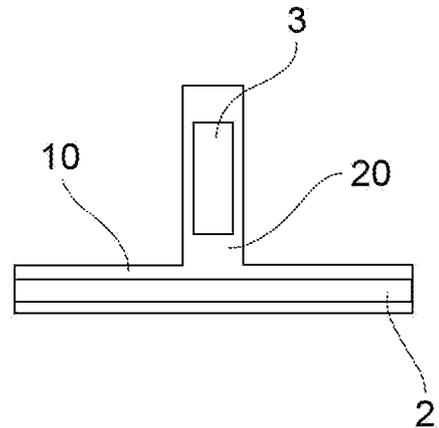


FIG. 2d

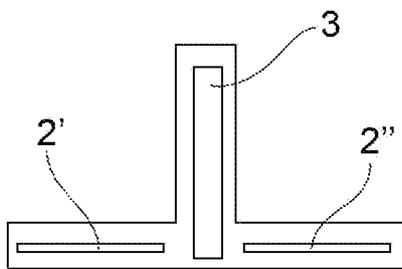


FIG. 2e

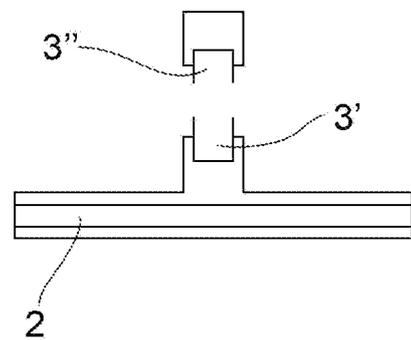


FIG. 2f

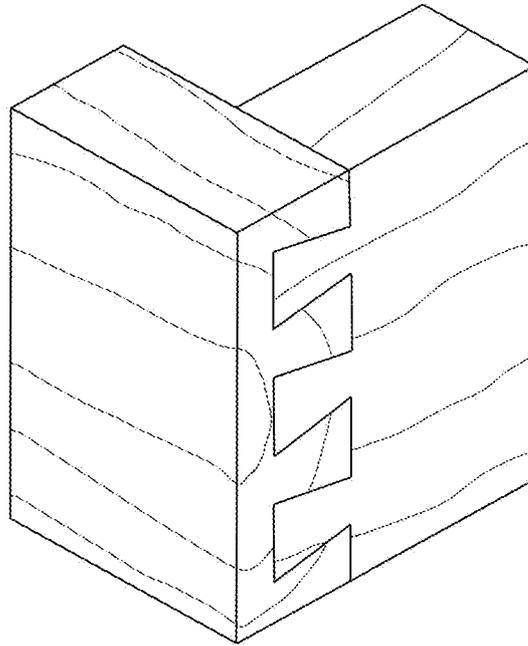


FIG.3

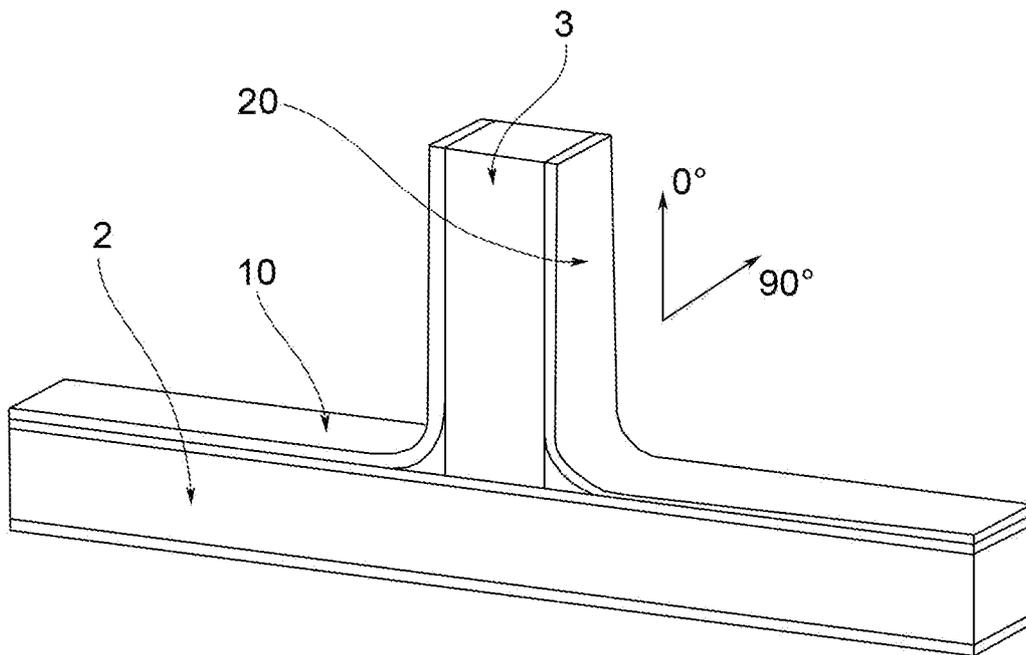


FIG.4

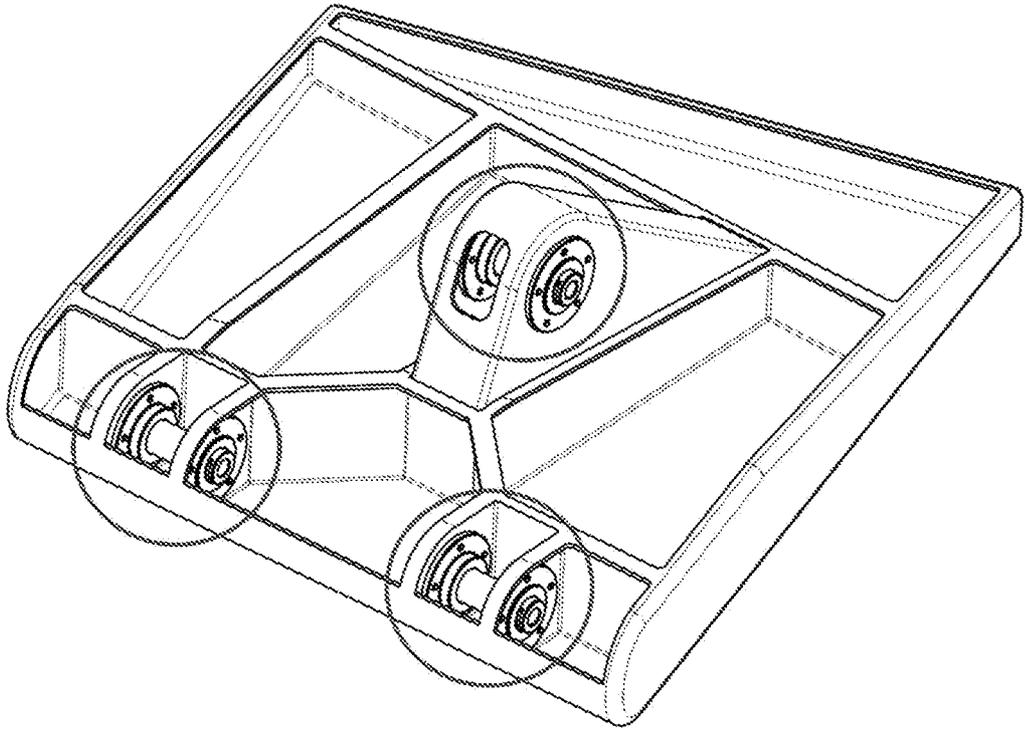


FIG.5