

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901762521A1

Publication Date

20110304

Applicant

IMAST S.C.A.R.L.

Title

LAMINATI A BASE DI COMPOSITI COMPRENDENTI MATERIALE
VISCOELASTICO, METODO DI PREPARAZIONE DEGLI STESSI E LORO
IMPIEGO

1/129858-EFE

Descrizione del brevetto per invenzione industriale
avente per titolo:

**"Laminati a base di compositi comprendenti materiale
viscoelastico, metodo di preparazione degli stessi e
loro impiego"**

a nome: IMAST S.c.a.r.l.

con sede: Via del Parco Margherita, 24

80121 Napoli

di nazionalità italiana ed elettivamente domiciliata presso i
suoi mandatari: Dr. Ing. Giancarlo Penza, Dr. Ing. Ferruccio
Postiglione, p.i. Rinaldo Monti, Dr. Edgardo Ferrari a Milano,
via L.Muratori 13/b (Ufficio Internazionale Brevetti Ing. C.
Gregorj S.p.A.)

Depositata il _____ al N. _____

Settore tecnico dell'invenzione

La presente invenzione e' relativa a laminati in
materiale composito in fibra di carbonio aventi
migliorate proprietà di resistenza all'impatto, onde
ovviare al fenomeno della delaminazione dello stesso
laminato composito.

Stato della tecnica

Il problema della resistenza all'impatto dei
materiali compositi in fibra di carbonio è ben noto,
in particolare nell'industria aeronautica, dove la

1/129858-EFE

semplice caduta di un utensile su un pannello può produrre un danno non visibile dall'esterno ed irreparabile.

Le proprietà di resistenza ad impatto di laminati a base di materiali compositi, cioè materiali comprendenti almeno due parti: una parte preponderante detta matrice, tipicamente una resina, ed una parte di rinforzo, tipicamente fibre, sono state affrontate sotto diversi approcci (sperimentale e numerico) in letteratura ed in generale dipendono da diversi parametri: tipologia della matrice e della parte rinforzante, cioè dalla tipologia delle resine e delle fibre, in particolare quelle di carbonio, utilizzate, tipologia della tecnica di manifattura e di progettazione e del materiale composito e del laminato, spessore, condizioni ambientali etc.

Nel tempo sono state sviluppate diverse tecniche di manifattura e di progettazione con l'obiettivo di aumentare la tenacità ad impatto dei laminati; tra queste rientra, nell'ambito delle procedura di laminazione, la tecnica, detta di inter-leaving, che consiste nell'inserire uno strato di materiale tenacizzante detto interleaf, una pellicola in materiale diverso rispetto a quello che costituisce il composito, all'interno della struttura

1/129858-EFE

stratificata con l'obiettivo di migliorare la tendenza del laminato e ad assorbire l'energia di impatto attraverso la migliorata proprietà di resistenza alla delaminazione.

In tal senso si possono citare il brevetto USP 4894282 in cui si fa riferimento al metodo di preparazione di compositi resistenti all'impatto, basati su materiali termoplastici e/o a base vetrosa. In questo caso le lamine sono incollate mediante sottili adesivi acrilici.

Nell'articolo di Robert E. Evans and John Masters "A New Generation of Epoxy Composites for Primary Structural Applications: Materials and Mechanics" Toughened composites ASTM STP-937 1987: 413-436, si affronta il problema della resistenza all'impatto dei compositi e delle tecniche che si possono mettere in atto per migliorare le loro prestazioni in tal senso.

Gli autori propongono la tecnica dell'interleaving utilizzando proprio uno strato di resina come materiale da inserire all'interno della sequenza di lamine resina-fibre. Tale resina è caratterizzata dal fatto di essere uno strato discreto molto tenace, co-reticolabile insieme al composito, e dal fatto di avere un elevato modulo

1/129858-EFE

elastico anche ad alte temperature.

Nelle conclusioni si può leggere:

"...to be effective, the interleaf system must have a high modulus and must retain its modulus at elevated temperature. Candidate interleaf systems are screened on this basis... (....per essere efficaci, il sistema interleaf deve avere elevato modulo elastico anche ad elevata temperatura. Sistemi interleave idonei sono stati selezionati su queste basi....) "

I materiali selezionati come interleaf sono resine comparabili con quelle utilizzate nel composito (caratterizzati da alto modulo elastico anche ad elevate temperature).

Prendendo spunto dai risultati ottenuti nell'articolo appena citato, N.Odagiri, H. Kishi and T. Nakae in "T800H/3900-2 Toughened Epoxy Prepreg System: Toughening Concept and Mechanism" Proceedings of The American Society for Composites, Sixth Technical Conference; 1991 p.43-52, introducono delle migliorie: la tecnica dell'interleaving viene anche stavolta realizzata mediante l'introduzione, come interleave, di resina; si tratta di classiche resine termoindurenti in cui vengono disperse particelle di polimero termoplastico (poliammide amorfa).

In alternativa, l'articolo di S. Rechak and C.T.

1/129858-EFE

Sun "Optimal Use of Adhesive Layers in Reducing Impact Damage in Composite Laminates", Journal of Reinforced Plastics and Composites 1990; 9; 569, è un esempio di applicazione di adesivo tale da apportare una notevole resistenza all'impatto della struttura composita, in cui detto materiale adesivo è inserito come interleaf.

Contestualmente a quanto sopra citato, in letteratura l'introduzione di materiali viscoelastici nei pannelli è stato di frequente riportato come soluzione al problema delle vibrazioni e quindi al rumore, cui queste strutture in ambito aeronautico vanno particolarmente soggette.

Infatti l'introduzione all'interno di una struttura composita di un "damping layer", cioè una strato di materiale smorzante, detto materiale caratterizzato da bassa temperatura di transizione vetrosa ed alto valore del loss factor ($\tan \delta$) cioè alta capacità di smorzamento meccanico, induce una attenuazione delle vibrazioni meccaniche della struttura e quindi del rumore.

In tal senso si possono citare il brevetto USP 5368916 in cui si fa riferimento all'introduzione di un materiale viscoelastico all'interno di un CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic o plastica

1/129858-EFE

rinforzata con fibre di carbonio) o composito rinforzato con fibre di carbonio comprendente resina termoindurente, per migliorarne le proprietà acustiche, a seguito dello smorzamento acustico e meccanico. Non si fa alcun riferimento alle proprietà ad impatto.

L'inventore fa l'elenco di tali materiali viscoelastici descrivendone le caratteristiche, detto materiale viscoelastico essendo una resina termoindurente, opzionalmente in combinazione con gomma.

La scelta di detto materiale viscoelastico, in qualità di "damping layer", è in funzione dell'intervallo di temperatura da -35°C a $+35^{\circ}\text{C}$ in cui dovrà essere utilizzato il materiale composito rinforzato con fibre.

In un ambito diverso da quello di laminati in composito rinforzato ottenuti attraverso la tecnica di laminazione interleaving, il brevetto EP 0 564 249 A1 - IMPACT RESISTANT AND IMPACT ABSORBING LAMINATES - fa esplicito riferimento alle eccezionali proprietà di assorbimento dell'energia d'impatto da parte di materiali viscoelastici, in particolare materiali gommosi. La lamina di materiale viscoelastico viene direttamente attaccata ad una lamina di polietilene o

1/129858-EFE

altro (anche metallo), per costituire la parte essenziale di protezione all'urto per ginocchia, gomiti, ma anche in giubbotti antiproiettile.

Generalmente la principale debolezza delle strutture in composito è rappresentata dalla elevata tendenza alla delaminazione associata all'inabilità del composito a resistere a carichi di taglio. Questa limitazione è il risultato primariamente della tecnica di costruzione del laminato stesso (sovrapposizione di strati successivi), dell'assenza di rinforzi ortogonali al piano di laminazione, e della natura fragile delle resine che ne costituiscono la matrice.

Su questo fronte, sebbene diverse tecniche siano state inventate e messe in opera (rinforzi nella terza direzione, resine tenacizzate, lamine di sola resina da utilizzarsi come interleaf etc.), spesso esse sono accompagnate da riduzioni di altre proprietà, limitazioni nei campi di applicazioni, elevato costo e complessità del processo di manifattura.

Era quindi fortemente sentita l'esigenza di conseguire nuovi laminati a base di compositi rinforzati aventi migliorate proprietà di resistenza all'impatto tali da impedire il fenomeno della

1/129858-EFE

delaminazione dello stesso laminato composito, anche in condizioni di sollecitazione meccanica e termica estreme, laminati conseguibili attraverso processi realizzativi più semplici

Sommario dell'invenzione

La richiedente, proseguendo la ricerca nel presente campo tecnico ha sorprendentemente ed inaspettatamente trovato che l'utilizzo di particolari materiali viscoelastici, cioè comprendenti polimeri elastomeri, consente in modo efficace di ridurre la tendenza dei materiali compositi alla delaminazione a seguito di impatto; questo rappresenta una novità se si considera che essi non sono semplicemente strati di resina tenacizzata, ma sono materiali in grado, contestualmente, di aumentare il damping acustico e di essere efficaci anche rispetto al problema del comfort acustico.

La presente invenzione permette di ottenere miglioramenti in merito al problema tecnico della delaminazione di laminati in materiale composito sopra presentato, mediante l'utilizzo di una specifica classe di materiali elastomerici con elevato loss factor e bassa temperatura di transizione vetrosa.

Ai fini della presente invenzione, per polimero

1/129858-EFE

elastomero con elevato loss factor a basse temperature si intende che il polimero elastomero presenta un loss factor pari ad almeno 0,18 a temperature inferiori a 0°C, con una misura effettuata secondo il protocollo ASTM D4065 - 06 "Standard Practice for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures". Preferibilmente, il polimero elastomero presenta un loss factor pari ad almeno 0,20 e più preferibilmente è pari ad almeno 0,25 e ancora più preferibilmente è pari ad almeno 0,30.

Ai fini dell'invenzione, per bassa temperatura di transizione vetrosa si intende che la temperatura di transizione vetrosa è inferiore a 0°C.

La richiedente ha potuto osservare sperimentalmente che questi materiali, essendo caratterizzati da ottimali capacità intrinseche di smorzamento meccanico e dalla capacità di sviluppare un'ottimale adesione con le lamine di composito, conferiscono allo stesso notevole capacità di resistenza all'impatto.

Tale invenzione si inquadra come applicazione (in particolare, nel settore aeronautico) grazie all'individuazione di una classe di materiali le cui caratteristiche permangono tali in un ampio

1/129858-EFE

intervallo di temperature (da -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$), comprendendo, in particolare, i campi di variazioni termiche di esercizio delle strutture primarie aeronautiche.

L'invenzione contempla quindi l'utilizzo di materiali elastomerici con elevato loss factor e bassa temperatura di transizione vetrosa, i quali inseriti all'interno della sequenza di laminazione di un materiale composito, portano alla realizzazione di laminati che trovano applicazione come materiali strutturali di fusoliere di velivoli aeronautici, in ragione dei requisiti di isolamento acustico e di elevata resistenza all'impatto e resistenza alla delaminazione che vengono richiesti alla basse temperature operative.

Infatti la presente invenzione consente la realizzazione di laminati che si applicano a parti strutturali (in particolare lo skin) delle fusoliere aeronautiche a cui sono demandate funzioni strutturali (elevata resistenza e rigidità, resistenza all'impatto di corpi esterni, confort) e funzionali (confort acustico) in condizioni di volo cioè con temperature fino anche a -55°C .

L'applicazione dei laminati propri della presente invenzione è estendibile a diversi settori

1/129858-EFE

(aeronautico, elicotteristico, automobilistico, navale) in cui l'esigenza di avere strutture leggere e meccanicamente performanti ed allo stesso tempo isolanti acusticamente conduce all'utilizzo di materiali compositi.

Quali forme concrete di impiego dei laminati oggetto della presente invenzione nei vari settori sopra indicati si possono citare lo skin dei barili di fusoliera, e/o carlinghe e/o pannelli divisori di aeromobili: aerei, cargo, vettori e/o navette e/o satelliti spaziali, skin di paratie/scafi di natanti, parti della carrozzeria di veicoli a trazione di tipo meccanica, elettromeccanica, elettromagnetica: autovetture, treni, pulman, autobus, veicoli pesanti per il trasporto di merci.

Costituisce pertanto oggetto della presente invenzione laminati a base di compositi comprendenti materiale viscoelastico, metodo di preparazione degli stessi e loro impiego come materiali strutturali, in particolare, di fusoliera di velivoli aeronautici.

Elenco delle Figure

Forme di realizzazione particolari dell'invenzione sono qui di seguito dettagliatamente descritte, a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento alle figure allegate, nelle quali:

1/129858-EFE

- la Figura 1A mostra una sezione di un laminato secondo una forma realizzativa in accordo con la presente invenzione,
- la Figura 1B mostra una vista prospettica di una barile di fusoliera di un aeromobile avente come "skin" un laminato quale, ad esempio, quello della Figura 1A,
- la Figura 1C mostra un esploso di detto barile di fusoliera,
- la Figura 2 è un'immagine presa al microscopio elettronico a scansione della vista in sezione del campione di un laminato secondo la presente invenzione in cui si evidenzia la parziale interdifferenza tra lo strato centrale in materiale viscoelastico comprendente polimero elastomero (nello specifico elastomero termoplastico poliuretano Mobilon® MF200T) e gli strati esterni in materiale composito rinforzato, nello specifico resina epossidica rinforzata con fibre di carbonio, tale da generare una notevole forza di adesione all'interfaccia,
- la Figura 3 è, in accordo con una realizzazione preferita dell'invenzione, la rappresentazione grafica della configurazione A di preparazione del laminato oggetto della presente invenzione, attinente

1/129858-EFE

un laminato ad almeno tre strati in cui due strati in materiale composito sono alternati tra loro da uno strato, quale interleaf, in materiale viscoelastico a base di poliuretano termoplastico, si riferisce al caso in cui una pellicola di materiale viscoelastico Mobilon® MF200T (di colore più chiaro nella figura 3) di spessore 150µm è inserita in mezzaria, cioè dopo la sesta pellicola, nella sequenza di laminazione di 6/6 pellicole di CRFP di 180µm di spessore ciascuna (di colore più scuro nella figura 3);

- la Figura 4 è, in accordo con una realizzazione preferita dell'invenzione, la rappresentazione grafica della configurazione B di preparazione del laminato oggetto della presente invenzione, attinente un laminato ad almeno tre strati in materiale composito alternati tra loro da due strati, quali interleaf, in materiale viscoelastico a base di poliuretano termoplastico, si riferisce al caso in cui la sequenza di laminazione è 5/2/5 pellicole di CRFP di 180µm di spessore ciascuna (di colore più scuro nella figura 4), dove due pellicole di Mobilon® MF200T di 150µm di spessore ciascuna (di colore più chiaro nella figura 4), sono inserite: la prima dopo la quinta pellicola, e la seconda dopo la settima pellicola, di prepreg di resina termoindurente CRFP:

1/129858-EFE

resina epossidica con fibre di carbonio;

- la Figura 5 è, in accordo con una realizzazione preferita dell'invenzione, la rappresentazione grafica della configurazione C di preparazione del laminato oggetto della presente invenzione, attinente sempre un laminato ad almeno tre strati in materiale composito alternati tra loro da due strati, quali interleaf, in materiale viscoelastico a base di poliuretano termoplastico, si riferisce al caso in cui la sequenza di laminazione è 4/4/4 pellicole di CRFP di 180µm di spessore ciascuna (di colore più scuro nella figura 5), dove due pellicole di Mobilon® MF200T di 150µm di spessore ciascuna (di colore più chiaro nella figura 5), sono inserite: la prima dopo la quarta pellicola, e la seconda dopo l'ottava pellicola, di prepreg di resina termoindurente CRFP: resina epossidica con fibre di carbonio,

- la Figura 6 mostra la Tabella 3 relativa a test di impatti effettuati su laminati in accordo con esempi di realizzazione dell'invenzione.

Descrizione dettagliata dell'invenzione

Costituiscono pertanto un oggetto della presente invenzione laminati comprendenti materiale composito in fibre di carbonio e materiale viscoelastico

1/129858-EFE

ottenuti/ottenibili per laminazione di almeno uno strato in materiale viscoelastico. Il materiale viscoelastico comprende un polimero elastomero, inserito nella sequenza di laminazione di almeno due strati di materiale composito comprendente una resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio.

Il polimero elastomero ha una elevata capacità di smorzamento meccanico (nel seguito si userà anche il termine inglese, loss factor) "a basse temperature". Per polimero elastomero con elevato loss factor a basse temperature si intende ai fini della presente invenzione che il polimero elastomero presenti un loss factor pari ad almeno 0,18 a temperature inferiori a 0°C, con una misura effettuata secondo il protocollo ASTM D4065 - 06 "Standard Practice for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures". Preferibilmente, il polimero elastomero presenta un loss factor pari ad almeno 0,20 e più preferibilmente è pari ad almeno 0,25 e ancora più preferibilmente è pari ad almeno 0,30. I valori sopra indicati di loss factor si riferiscono, ad esempio, a misure effettuate in accordo con il protocollo citato e provocando sollecitazioni con frequenza pari a 20 Hz. Inoltre, si osservi che esistono polimeri elastomeri

1/129858-EFE

che raggiungono i valori di loss factor indicati a temperature comprese tra 0°C e -20 °C oppure fra -20°C e -30°C o fra -30°C e -60 °C.

Vantaggiosamente, il modulo elastico del polimero elastomero è basso e, ad esempio, è dell'ordine dei MPa, particolarmente ma non limitativamente, compreso fra 1 e 100 Mpa.

Inoltre, il polimero elastomero ha una bassa temperatura di transizione vetrosa Tg. Per bassa temperatura di transizione vetrosa si intende che la temperatura di transizione vetrosa è inferiore a 0°C. Preferibilmente il polimero elastomero ha una temperatura di transizione vetrosa Tg inferiore a -30°C e più preferibilmente inferiore a -50 °C. I valori indicati della temperature di transizione vetrosa si intendono calcolati secondo il protocollo ASTM D4065 - 06, sopra menzionato.

Il polimero elastomero presenta anche una temperatura di fusione/rammollimento superiore alla temperatura di reticolazione della resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio. In particolare tale temperatura di fusione/rammollimento è pari ad almeno 150 °C e preferibilmente è pari ad almeno 200°C, quando misurata secondo il protocollo ASTM E794 - 06 "Standard Test Method for Melting And

1/129858-EFE

Crystallization Temperatures By Thermal Analysis".

Secondo un esempio, lo spessore del materiale viscoelastico è compreso tra 50 e 200 μm e più preferibilmente tra 100 e 200 μm . Inoltre, gli strati in materiale composito possono presentare, esemplificativamente, uno spessore di almeno 125 μm .

Come è noto per materiale viscoelastico si intende un materiale caratterizzato da un comportamento in parte elastico ed in parte viscoso.

Più in particolare per polimero elastomero si intende secondo la presente invenzione un polimero scelto dal gruppo comprendente poliacrilati, poliuretani, copolimeri etilene-propilene, copolimeri stirene-butadiene, elastomeri fluorurati, gomme butile, gomme nitrile, poliisoprene, polibutadiene, siliconi, terpolimeri etilene-propilene, polisolfuri.

Come è noto per materiale composito si intende più in generale un materiale comprendente almeno due parti: tipicamente una parte detta matrice ed una detta rinforzo. Come già indicato sopra, il materiale composito impiegabile nella realizzazione dei laminati in accordo alla presente invenzione comprende una matrice a base di resina termoindurente e un rinforzo costituito da fibre di carbonio.

Più in particolare, per resina termoindurente è

1/129858-EFE

impiegabile una resina scelta dal gruppo comprendente resine alchiliche, alliliche, epossidiche, fenoliche, melamminiche, ureiche, siliconiche, a base di poliesteri reticolati, o loro miscele.

Per "polimero", quale ad esempio il polimero elastomero del materiale viscoelastico, o "resina", quale la resina termoindurente del materiale composito, si può impiegare un polimero, copolimero, terpolimero o un polimero ottenuto per polimerizzazione di quattro o più monomeri, detti "polimero" o "resina" da intendersi sia lineari, che ramificati che reticolati.

Verranno di seguito fornite ulteriori definizioni utili alla comprensione della presente descrizione e/o delle successive rivendicazioni.

Con l'acronimo CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic (plastica rinforzata con fibre di carbonio), si intendono materiali compositi rinforzati con fibre di carbonio.

Per "strato", sia se riferito al materiale viscoelastico sia al materiale composito, si intende una strato costituito da uno o più pellicole a base di polimeri o resine come descritte e definite.

Con il termine "Damping Layer" si intende una lamina/strato di materiale smorzante.

1/129858-EFE

Con il termine "delaminazione" si intende il distacco in un materiale composito di due lamine/strati successive sovrapposte.

Con il termine "Elastomero" o "polimero elastomero" o "materiale elastomero" si intendono sostanze naturali o sintetiche che hanno le proprietà tipiche del caucciù (o gomma naturale), la più evidente delle quali è la capacità di subire grosse deformazioni elastiche, ad esempio il poter essere allungato diverse volte riassumendo la propria dimensione una volta ricreata una situazione di riposo. Gli elastomeri sono polimeri e si dividono in due classi principali: termoplastici e termoindurenti; vengono modellati nelle forme desiderate tramite estrusione o stampaggio a caldo.

Con il termine "Interleaf" (interfoglio) si intende uno strato o pellicola di materiale diverso rispetto a quelli che costituiscono il composito.

Con il termine "Interleaving" (interfogliamento) si intende la tecnica di inserimento di un interleaf nella sequenza di laminazione di un materiale composito.

Con il termine "Loss factor" e/o " $(\tan \delta)$ " secondo la presente invenzione si intende il rapporto tra parte viscosa G'' e parte elastica G' di

1/129858-EFE

un materiale viscoelastico. Rappresenta altresì, alla risposta dinamica ad un carico sinusoidale applicato al materiale, il rapporto tra l'energia dissipata e l'energia totale.

Con il termine "Pre-impregnato" e/o "prepreg" si intende uno strato di fibre unidirezionali o intrecciate, impregnate con resina termoindurente. Nel pre-impregnato la resina si trova in uno stato non liquido ma è parzialmente reticolata avendo una viscosità tale da sostenere le fibre e consentire all'operatore tutte le operazioni di manipolazione, trasporto, deposizione etc.

Con la notazione "Tg" si intende la temperatura di transizione vetrosa. La temperatura di transizione vetrosa Tg, rappresenta il valore di temperatura al di sotto del quale un materiale amorfo si comporta da solido vetroso.

Analizzando più in dettaglio il processo implicato, in pratica la temperatura di transizione vetrosa regola la transizione di fase del secondo ordine definita, appunto, transizione vetrosa. Si osservi che fondendo una fase totalmente o parzialmente amorfa, esempi classici sono i vetri e le materie plastiche, è possibile effettuare un successivo sottoraffreddamento che condotto fino al

1/129858-EFE

valore di temperatura pari a T_g porta alla formazione di una struttura solida vetrosa.

In pratica la temperatura di transizione vetrosa segna il confine tra lo stato amorfo vetroso e lo stato amorfo gommoso, liquido molto rigido e caratterizzato da elevata viscosità.

Con la notazione " T_f " si intende la temperatura di fusione.

Ulteriore oggetto della presente invenzione è l'utilizzo di materiali elastomerici caratterizzati da elevato loss factor e da una bassa temperatura di transizione vetrosa T_g , i quali inseriti come pellicole nella sequenza di laminazione di strati in materiali compositi, ne determinano una migliorata resistenza all'impatto, ovviando al fenomeno di delaminazione di detti strati in materiale composito.

In una ulteriore forma realizzativa preferita della presente invenzione, lo strato di materiale viscoelastico è costituito da una o più pellicole di polimero elastomero, con spessore complessivo variabile da 50 a 200 μm (più preferibilmente, da 100 a 200 μm), caratterizzato da una bassa temperatura di transizione vetrosa (tipicamente inferiore a -50°C) e da un elevato loss factor a basse temperature.

Di questa classe di materiali ne fanno parte

1/129858-EFE

alcuni tipicamente considerati come materiali damping e pertanto commercializzati per le applicazioni in cui si richiede la riduzione del rumore acustico. Tra questi si possono citare poliuretani termoplastici quali: Desmopan® DP9370AU prodotto dalla Bayer Material Science o Mobilon® MF200T; poliesteri quali Arnitel PM381® prodotto dalla DSM; gomme viscoelastiche quali: Smactane EX® prodotto dalla SMAC o ISD830® prodotto dalla 3M; copolimeri etilene-acrilici quali VAMAC® prodotto dalla DuPont™; altri copolimeri lineari quali il ROICA® sintetizzato dalla Asahi Chemical.

L'introduzione di questi interleaf genera, come discusso e verificato sperimentalmente di seguito, a parità di energia di impatto (nell'esempio proposto 13 Joule), una riduzione dell'area danneggiata, dal 26% dell'area complessiva del composito a meno del 3% in tutti gli esempi proposti.

Materiali viscoelastici interleaf secondo la presente invenzione, caratterizzati da bassa temperatura di transizione vetrosa, alto loss factor, temperatura di fusione intorno ai 200°C (per gli elastomeri termoplastici), trovano pertanto ottimale utilizzo per la realizzazione di laminati da impiegarsi nelle strutture aeronautiche primarie con

1/129858-EFE

intervalli di temperature di esercizio da -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$.

Il materiale viscoelastico comprendente polimero elastomero, secondo la presente invenzione, una volta ridotto in forma di pellicola, laddove non lo sia già commercialmente, è inserito all'interno della sequenza di laminazione di un materiale composito secondo la presente invenzione. Il manufatto viene portato alla temperatura di polimerizzazione della resina termoindurente quale matrice del composito. L'effetto della temperatura è quello di condurre ad una parziale inter-diffusione tra l'interleaf e gli strati del composito generando una notevole forza di adesione all'interfaccia responsabile, poi, dell'eccezionale resistenza ai carichi d'impatto trasversi, ai carichi di taglio ed alla delaminazione.

I materiali viscoelastici selezionati sono elastomeri in forma di pellicole caratterizzati, come già detto, da una bassa temperatura di transizione vetrosa T_g ed elevato valore del loss factor ($\tan \delta$). Durante il processo di reticolazione del composito si sviluppa l'adesione con lo strato di materiale viscoelastico inserito. La temperatura di fusione (ad esempio, intorno ai 200°C) di alcuni di essi consente

1/129858-EFE

durante il processo di polimerizzazione del composito una parziale fusione di questi, favorendo la parziale miscelazione e/o inter-diffusione delle due fasi (resina e viscoelastico) all'interfaccia tra esse.

Si fa parimenti notare che l'invenzione consente anche di disporre a piacere del progettista lo strato, in una o più pellicole, di materiale viscoelastico non solo al centro, tra i due strati di materiale composito, del laminato risultante, ma eventualmente prevedere l'inserimento di più strati in materiale viscoelastico secondo la presente invenzione, ciascuno in una o più pellicole dello stesso materiale viscoelastico, in posizioni diverse ma comunque tra loro simmetriche rispetto allo strato centrale del laminato, strato o in materiale viscoelastico o in materiale composito come definiti secondo la presente invenzione, allargando lo spettro delle possibili sequenze di laminazioni (o configurazioni) in grado di risolvere il problema presentato.

A tale scopo negli esempi proposti sono stati riportate tre configurazioni (di seguito nominate come configurazioni A, B e C) che conducono a risultati simili in termini di resistenza all'impatto. Un'adeguata progettazione, sulla base

1/129858-EFE

dell'individuazione dello spettro dei carichi e della loro dinamica può portare ad una ottimale configurazione (scelta degli opportuni spessori e disposizione delle pellicole interleaf in materiale viscoelastico secondo la presente invenzione) conducendo ad ulteriori migliorie nella capacità di resistenza all'impatto del laminato finito a base di composito.

In particolare costituiscono ulteriore oggetto della presente invenzione laminati ad almeno tre strati in materiale composito in resina termoindurente con fibra di carbonio, come sopra definiti, alternati tra loro da due strati, quali interleaf, in materiale viscoelastico a base di polimero elastomero, come sopra definiti, ottenuti/ottenibili per laminazione interleaving.

Si faccia, per esempio, riferimento alla figura 1A che mostra una sezione di un laminato secondo una forma realizzativa in accordo con la presente invenzione che comprende due strati esterni in CFRP e uno strato elastomerico viscoelastico interposto fra questi.

Ancora più in particolare sono ulteriore oggetto della presente invenzione laminati scelti dal gruppo comprendente: laminati ad almeno tre strati in cui

1/129858-EFE

due strati in materiale composito in resina termoindurente, preferibilmente resina epossidica, rinforzato in fibre di carbonio sono alternati tra loro da uno strato, quale interleaf, in materiale viscoelastico a base di polimero elastomero, preferibilmente poliuretano termoplastico, in cui una pellicola di materiale viscoelastico è inserita in mezzaria, cioè dopo la sesta pellicola, nella sequenza di laminazione di 6/6 pellicole di composito; o laminati ad almeno tre strati in materiale composito in resina termoindurente, preferibilmente resina epossidica, rinforzato in fibre di carbonio alternati tra loro da due strati, quali interleaf, in materiale viscoelastico a base di polimero elastomero, preferibilmente poliuretano termoplastico, cui la sequenza di laminazione è: o 5/2/5 pellicole di composito, dove due pellicole di materiale viscoelastico, sono inserite: la prima dopo la quinta pellicola, e la seconda dopo la settima pellicola, di composito; o 4/4/4 pellicole di composito dove due pellicole di materiale viscoelastico sono inserite: la prima dopo la quarta pellicola, e la seconda dopo l'ottava pellicola, di composito.

Costituisce ulteriore oggetto della presente

1/129858-EFE

invenzione un procedimento per la preparazione di laminati mediante tecnica interleaving in cui si ha la laminazione di almeno uno strato in materiale viscoelastico comprendente un polimero elastomero (interleave), inserito nella sequenza di laminazione di almeno due strati di materiale composito comprendente resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio, essendo gli strati di materiale composito durante la fase di interleaving in forma di pre-impregnato (pregreg), cioè in forma di strati di fibre di carbonio unidirezionali o intrecciate impregnate con resina termoindurente parzialmente reticolata, il tutto seguito da trattamento termico di reticolazione del materiale composito del laminato.

I seguenti esempi non limitativi descrivono forme di realizzazione dell'invenzione.

ESEMPI

ESEMPI DI MATERIALI UTILIZZATI E TECNICA DI REALIZZAZIONE DEI PROVINI

A titolo di esempio, vengono di seguito riportati i risultati ottenuti utilizzando alcuni materiali viscoelastici interessanti per le loro notevoli proprietà di assorbimento acustico e quindi elevati valori del loss factor: poliuretani

1/129858-EFE

termoplastici quali Mobilon® MF200T; poliesteri quali Arnitel PM381®; gomme viscoelastiche quali Smactane EX®, e resine nitrile-fenoliche quale la resina termoindurente AF30 prodotta dalla società 3M in forma di film adesivo strutturale.

Questi materiali sono generalmente disponibili in forma di pellicole e vengono laminati, secondo le tecniche ben note della laminazione interleave, insieme agli strati di materiale composito CFRP a base di resina epossidica con fibre di carbonio, detto materiale in forma di pre-impregnato (prepreg), cioè in forma di strati di fibre di carbonio unidirezionali o intrecciate impregnate con resina termoindurente parzialmente polimerizzata (stadio B); il tutto è poi posto in autoclave alla temperatura di reticolazione della resina epossidica.

Si osservi che l'uso di resina parzialmente polimerizzata risulta vantaggioso in quanto presenta un grado di adesività opportunamente elevato che gli permette di aderire, meglio in fase di stratificazione e inoltre risulta più reattiva in fase di polimerizzazione. La polimerizzazione non nulla è vantaggiosa in quanto tale polimerizzazione parziale conferisce alla resina ed anche al pre-impregnato da ottenere una adeguata maneggevolezza.

1/129858-EFE

Il composito è costituito da dodici pellicole di prepreg in resina epossidica e fibre di carbonio, di spessore pari a 0.18 mm ciascuna; la temperatura di reticolazione della resina utilizzata era di 180°C.

La Tabella 1 riporta l'elenco dei materiali viscoelastici usati: tutti i materiali utilizzati, disponibili in forma di pellicole, sono stati inseriti nella sequenza di laminazione così come ricevuti dal fornitore.

Nel corso della campagna di prove, sono state analizzate anche le proprietà di impatto di un laminato in composito di tipo CFRP a base di resina epossidica rinforzata con fibre di carbonio, privo di inserti, allo scopo di evidenziare le differenze tra laminati con interleaf in materiale viscoelastico e laminati a base di solo CFRP.

Tabella 1					
Lista dei materiali viscoelastici utilizzati per la produzione di laminati in composito di prova.					
N.A.= non applicabile					
Materiali utilizzati	Natura chimica	Spessore [µm]	Tg (DMA, onset G')	Tf (DSC)	Massimo tan δ (DMA, 20Hz)
Smactane® Ex (fornitore SMAC)	Elastomero	180	-56 °C	-	1.42 @ -42°C
Arnitel PM381® (fornitore DSM)	Elastomero termoplastico (co-poliestere)	120	-58°C	210°C	0.34 @ -48°C

1/129858-EFE

Mobilon® MF200T	Elastomero termopla- stico (poliuretano)	150	-66 °C	180-210°C	0.42 @ -18°C
--------------------	---	-----	--------	-----------	--------------------

I materiali viscoelastici selezionati sono elastomeri in forma di film caratterizzati da una bassa temperatura di transizione vetrosa ed elevato valore del loss factor ($\tan \delta$). Durante il processo di reticolazione del composito si sviluppa l'adesione con lo strato di materiale viscoelastico inserito. La temperatura di fusione (intorno ai 200°C) di alcuni di essi consente durante il processo di reticolazione del composito una parziale fusione di questi, favorendo la parziale miscelazione e/o interdiffusione delle due fasi (resina termoindurente e viscoelastico) all'interfaccia tra esse (vedi figura 2).

Generalmente il materiale viscoelastico è inserito in mezzeria rispetto alla sequenza di laminazione (configurazione A) come mostrato in figura 3; sono state proposte, tuttavia, anche due configurazioni alternative (configurazioni B e C nelle figure 4 e 5) inserendo due pellicole dello stesso materiale viscoelastico a differenti livelli. Il materiale Mobilon® MF200T, ha fornito i migliori risultati dal punto di vista della resistenza

1/129858-EFE

all'impatto in ciascuna delle tre configurazioni, pertanto, tali risultati, vengono di seguito riportati con dovizia di particolari.

Nello specifico le tre configurazioni sono state realizzate nelle seguenti modalità.

La configurazione A, attinente un laminato ad almeno tre strati in cui due strati in materiale composito sono alternati tra loro da uno strato, quale interleaf, in materiale viscoelastico a base di poliuretano termoplastico, si riferisce al caso in cui una pellicola di materiale viscoelastico Mobilon® MF200T (di colore più chiaro nella figura 3) di spessore 150µm è inserita in mezzaria, cioè dopo la sesta pellicola, nella sequenza di laminazione di 6/6 pellicole di CRFP di 180µm di spessore ciascuna (di colore più scuro nella figura 3);

La configurazione B, attinente un laminato ad almeno tre strati in materiale composito alternati tra loro da due strati, quali interleaf, in materiale viscoelastico a base di poliuretano termoplastico, si riferisce al caso in cui la sequenza di laminazione è 5/2/5 pellicole di CRFP di 180µm di spessore ciascuna (di colore più scuro nella figura 4), dove due pellicole di Mobilon® MF200T di 150µm di spessore ciascuna (di colore più chiaro nella figura 4), sono

1/129858-EFE

inserite: la prima dopo la quinta pellicola, e la seconda dopo la settima pellicola, di prepreg di resina termoindurente CRFP: resina epossidica con fibre di carbonio;

La configurazione C, attinente sempre un laminato ad almeno tre strati in materiale composito alternati tra loro da due strati, quali interleaf, in materiale viscoelastico a base di poliuretano termoplastico, si riferisce al caso in cui la sequenza di laminazione è 4/4/4 pellicole di CRFP di 180µm di spessore ciascuna (di colore più scuro nella figura 5), dove due pellicole di Mobilon® MF200T di 150µm di spessore ciascuna (di colore più chiaro nella figura 5), sono inserite: la prima dopo la quarta pellicola, e la seconda dopo l'ottava pellicola, di prepreg di resina termoindurente CRFP: resina epossidica con fibre di carbonio.

TEST DI IMPATTO ED ANALISI DI DANNEGGIAMENTO

Prima di sottoporre i provini alla campagna di test da impatto, in accordo con la norma ISO 6603-1985, sono stati definiti i parametri (energia ed altezza del dardo di una macchina per prove di impatto Drop-Weight tester Fractovis) del test che sarebbero stati poi utilizzati per la realizzazione di tutti gli altri impatti. Sono dunque stati

1/129858-EFE

individuati i valori di energia E50 e l'altezza H50 di caduta del target in grado di causare la rottura di più del 50% di provini di riferimento, ossia quelli costituiti da sola resina epossidica e fibre di carbonio (provini CFRP) scegliendo come criterio quello di generazione di una indentazione visibile pari a 0.3 mm.

Una volta calcolata pertanto questa energia, tale da generare una indentazione di 0.3mm su un coupon di sola resina epossidica e fibre di carbonio, questa energia (13 Joule) è stata utilizzata per impattare tutti gli altri provini. La tabella 2 riporta i risultati provenienti dagli esperimenti: l'energia finale assorbita dai provini al termine del fenomeno di impatto, il valore di deflessione massima dei provini al punto di contatto e la misura di indentazione visibile come danno sulla superficie dei campioni dopo il test.

Tabella 2: esempio di risultati provenienti da test di impatto eseguiti a 13 Joule			
Esempi di materiali e configurazioni analizzate	E_{fin} (J)	Deflessione (mm)	Indentazione visibile (mm)
CFRP	6,0	3,1	0,30
CFRP + SMOCTANE EX	8,5	3,8	0,20
CFRP + Arnitel PM381	7,5	3,6	0,27
CFRP+MOBILON (Conf. A)	7,7	3,6	0,25
CFRP+MOBILON (Conf. B)	8,9	3,7	0,25

I risultati evidenziano che l'inserimento di un materiale viscoelastico determina un miglioramento della capacità di assorbire e dissipare l'energia durante l'impatto. Questo effetto è accompagnato dalla diminuzione della rigidità flessionale del provino e quindi un incremento della sua deformabilità a taglio. Il danno visibile sulla superficie impattata (indentazione visibile) si riduce in tutti i casi proposti.

La riduzione dell'indentazione visibile e l'aumento dell'energia dissipata sono conseguenza dell'incremento di damping della struttura.

Per analizzare in maniera non distruttiva l'effetto degli impatti sui provini è stato utilizzato il metodo degli Ultrasuoni (C-scan). Tale metodo consente di ottenere, mediante l'analisi dell'attenuazione introdotta dai materiali in analisi sul segnale ultrasonoro, un C-scan in ampiezza, ovvero la proiezione nel piano delle lamine del provino delle aree impattate e danneggiate. Per quantificare l'effetto dei vari tipi di materiale viscoelastico inseriti nei provini, sono state dunque, confrontate le aree danneggiate in percentuale, ottenendo una chiara evidenza dell'estensione del danno (vedi Tabella 3, riportata

1/129858-EFE

in Figura 6).

Generalmente l'introduzione di questi interleaf genera, come discusso e verificato sperimentalmente, a parità di energia di impatto (nell'esempio proposto 13 Joule), fa sì che l'area danneggiata si riduce dal 26% di quella dell'intero pannello/laminato in solo CFRP, a meno del 3% nel caso di provino con interleaf a base di materiale viscoelastico secondo la presente invenzione.

In particolare, si osserva che nei provini con l'inserito in materiale viscoelastico, a prescindere dal tipo, l'area danneggiata rimane circoscritta alla sola zona corrispondente all'impatto, ossia non tende a propagarsi verso l'esterno ed in maniera circolare come accade generalmente per il classico provino in CFRP. Pertanto è evidente che la tecnica dell'interleaving con materiale viscoelastico riduce notevolmente la propagazione del danno tra lamine e quindi le successive delaminazioni.

La validità di tale applicazione dei materiali viscoelastici è dimostrata anche nel caso in cui si utilizzino diverse configurazioni come nel caso del materiale viscoelastico Mobilon® MF200T.

Con riferimento ad un esempio di applicazione, si osservi la figura 1B e la figura 1C. La figura 1B

1/129858-EFE

mostra un barile di fusoliera 1 comprendente una struttura di supporto alla quale sono applicati come "skin" laminati realizzati in accordo con la presente invenzione quale, per esempio, i laminati descritti con riferimento alla figura 1A.

RIVENDICAZIONI

1. Laminati ottenuti/ottenibili per laminazione e comprendenti una sequenza di laminazione includente
:

un primo, un secondo ed un terzo gruppo di pellicole; ciascun gruppo formato da quattro pellicole di materiale composito includente resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio in fibre di carbonio e in materiale viscoelastico;

una prima ed una seconda —ottenuti/ottenibili per laminazione di almeno uno strato pellicola in materiale viscoelastico comprendente un polimero elastomero, la prima pellicola di materiale viscoelastico essendo inserite/inserita fra il primo ed il secondo gruppo di pellicole e la seconda pellicola di materiale viscoelastico essendo inserita fra il secondo ed il terzo gruppo di pellicole nella sequenza di laminazione di almeno due strati di materiale composito comprendente resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio, il polimero elastomero ivi presente ha una bassa temperatura di transizione vetrosa inferiore a 0°C, un-elevate loss factor a basse temperature pari ad almeno 0,20 ed una temperatura di fusione/rammollimento superiore alla temperatura di

reticolazione della resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio.

2. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui detto loss factor ~~è pari ad almeno 0,20 e più preferibilmente è pari ad almeno 0,25 e ancora più preferibilmente è pari ad almeno 0,30.~~

3. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui la temperatura di transizione vetrosa del polimero elastomero è inferiore a -30°C e preferibilmente a -50°C .

4. Laminati secondo la rivendicazione 1, il polimero elastomero ha un loss factor che è pari ad almeno 0,30 valutato ad una temperatura inferiore a 0°C e una temperatura di fusione/rammollimento superiore a 200°C .

5. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui la temperatura di fusione/rammollimento del polimero elastomero superiore alla temperatura di polimerizzazione della resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio è almeno di 150°C , preferibilmente, almeno di 200°C .

6. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui il polimero elastomero è scelto dal gruppo comprendente poliacrilati, poliuretani, copolimeri etilene-propilene, copolimeri stirene-butadiene,

elastomeri fluorurati, gomme butile, gomme nitrile, poliisoprene, polibutadiene, siliconi, terpolimeri etilene-propilene, polisolfuri.

7. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui la resina termoindurente è scelta dal gruppo comprendente resine alchiliche, alliliche, epossidiche, fenoliche, melamminiche, ureiche, siliconiche, a base di poliesteri reticolati, o loro miscele.

8. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui il polimero elastomero è un polimero scelto dal gruppo comprendente poliuretano termoplastico, poliestere termoplastico o gomma viscoelastica e la resina termoindurente è una resina epossidica.

~~9. Uso di materiali viscoelastici ad elevate loss factor e bassa temperatura di transizione vetrosa nei processi interleaving, inseriti come interleave nella sequenza di laminazione di strati di materiali compositi comprendenti resina termoindurente rinforzati con fibre di carbonio per la preparazione di laminati con migliorate proprietà di resistenza meccanica all'impatto e de laminazione.~~

9. Laminati secondo la rivendicazione 8, in cui il polimero elastomero è poliuretano termoplastico e la resina termoindurente è una resina epossidica.

10. Laminati secondo la rivendicazione 1, in cui la prima e la seconda pellicola di materiale viscoelastico sono costituiti da pellicole di 150 µm di spessore e le pellicole di materiale composito sono costituiti da pellicole di 180 µm di spessore.

Formattato: Tipo di carattere: No Grassetto

Formattato: Tipo di carattere: No Grassetto

1011. Uso di laminati secondo la rivendicazione 1 come skin dei barili di fusoliera, e/o carlinghe e/o pannelli divisorii di aeromobili: aerei, cargo, vettori e/o navette e/o satelliti spaziali, skin di paratie/scafi di natanti, parti della carrozzeria di veicoli a trazione di tipo meccanica, elettromeccanica, elettromagnetica: autovetture, treni, pulman, autobus, veicoli pesanti per il trasporto di merci.

1012. Procedimento per la preparazione di laminati secondo la rivendicazione 1, mediante tecnica interleaving in cui si ha la laminazione di ~~almeno uno strato~~ di dette prima e seconda pellicola in materiale viscoelastico comprendente un polimero elastomero (interleave), ~~inserite~~ inseriti nella sequenza di laminazione di ~~almeno due delle strati~~ pellicole di materiale composito ~~comprendente resina termoindurente rinforzata con fibre di carbonio,~~ essendo ~~gli strati~~ pellicole di materiale composito durante la fase di interleaving in forma di pre-

impregnato (prepreg), cioè in forma di strati
pellicole di fibre di carbonio unidirezionali o
intrecciate impregnate con resina termoindurente
parzialmente reticolata, il tutto seguito da
trattamento termico di reticolazione del materiale
composito del laminato.

1213. Barile (1) di fusoliera di aeromobile
comprendente almeno un laminato secondo almeno una
delle rivendicazioni da 1 a 810.

CLAIMS

1. Laminates comprising a carbon fibre and a visco-elastic material composite obtained/obtainable through rolling at least one layer of visco-elastic material comprising an elastomeric polymer, inserted in the rolling sequence of at least two layers of composite material comprising carbon fibre-reinforced thermosetting resin, the elastomeric polymer therein has a low glass transition temperature and a melting/softening temperature higher than the curing temperature of the carbon fibre-reinforced thermosetting temperature.

2. The laminates according to claim 1, wherein said loss factor is at least 0.20 and more preferably at least 0.25 and most preferably at least 0.30.

3. The laminates according to claim 1, wherein the glass transition temperature of the elastomeric polymer is lower than a -30°C and preferably than -50°C .

4. The laminates according to claim 1, the elastomeric polymer has a loss factor which is at least 0.30, when assessed at a lower temperature than 0°C and a melting/softening temperature higher than 200°C .

5. The laminates according to claim 1, wherein

the melting/softening temperature of the elastomeric polymer higher than the polymerization temperature of the carbon fibre-reinforced thermosetting resin is at least 150°C, preferably at least 200°C.

6. The laminates according to claim 1, wherein the elastomeric polymer is selected from the group including polyacrilates, polyurethanes, ethylene-propylene copolymers, styrene-butadiene copolymers, fluorinated elastomers, butyl rubber, polyisoprene, polybutadiene, silicones, ethylene-propylene terpolymers, polysulphides.

7. The laminates according to claim 1, wherein the thermosetting resin is selected from a group including alkyd-, allyl-, epoxy-, phenolic-, melamine-, urea-, silicone-, cured polyester based-resins or mixtures thereof.

8. The laminates according to claim 1, wherein the elastomeric polymer is a polymer selected from the group including thermosetting polyurethane, thermosetting polyester, visco-elastic rubber and the thermosetting resin is an epoxy resin.

9. A use of visco-elastic materials with a high loss factor and a low glass-transition temperature in the interleaving processes, inserted as interleaves in the rolling sequence of layers of composite

materials comprising thermosetting resin, reinforced with carbon fibres for making laminates with improved mechanical strength to impacts and internal bond strength.

10. The use according to claim 1 as skin in aircraft fuselage barrels, and/or nacelles and/or partition panels: aeroplanes, cargoes, carriers and/or spacecrafts and/or space satellites, skin for natant bulkheads/hulls, parts of mechanical, electromechanical, electromagnetic drawn-vehicle body: passenger cars, buses, heavy goods vehicle.

11. Method for making laminates by the interleaving technique, wherein rolling at least one layer in a visco-elastic material is achieved comprising an elastomeric polymer (interleave), inserted in the rolling sequence of at least two layers of composite material, comprising carbon fibre-reinforced resin, the composite material layers in the interleaving step being in form of prepreg, which means in form of unidirectional or braided carbon fibres impregnated with partially cured thermosetting resin, all being followed by a thermal curing procedure of the laminate composite material.

12. An aircraft fuselage barrel (1) comprising at least a laminate according to any of claims 1 to

8.

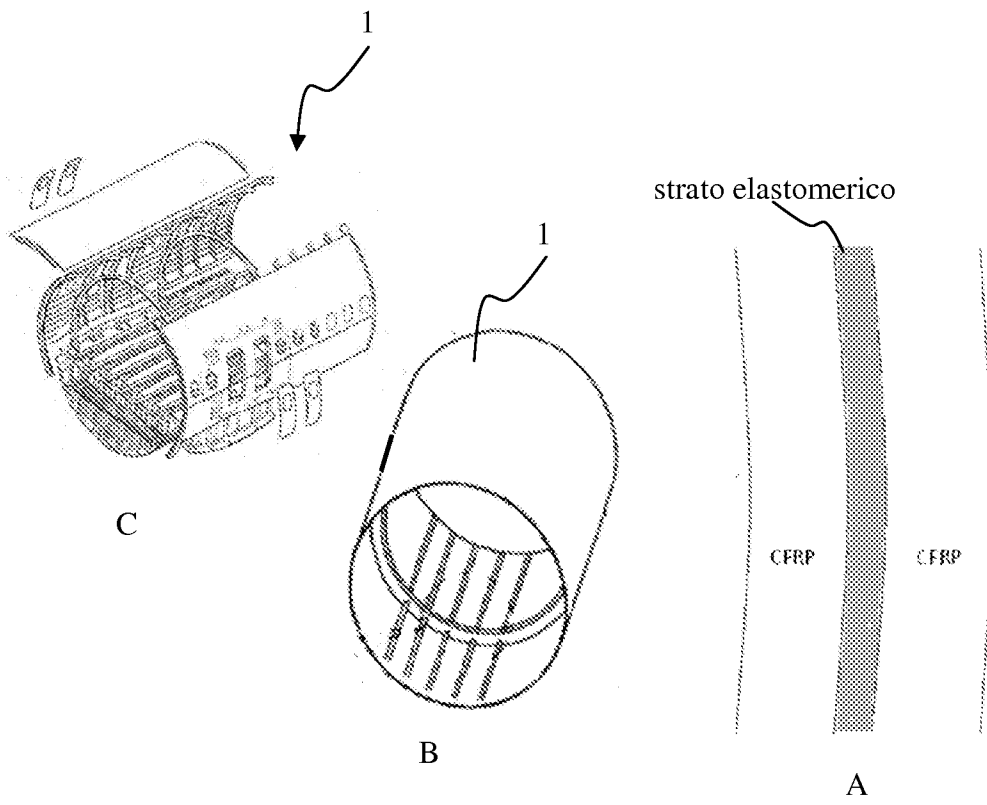


Fig. 1

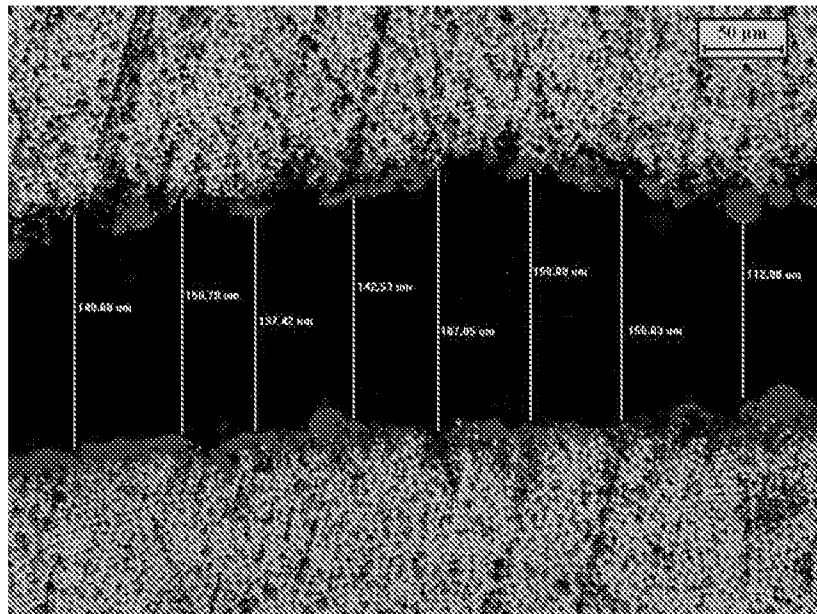


Fig. 2

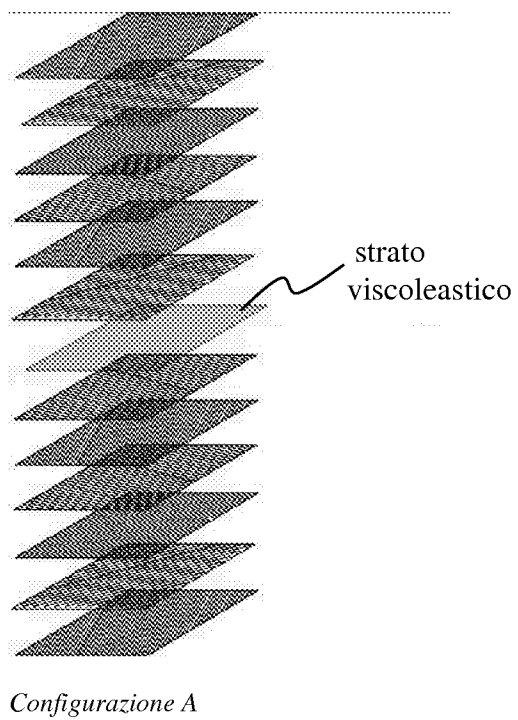


Fig. 3

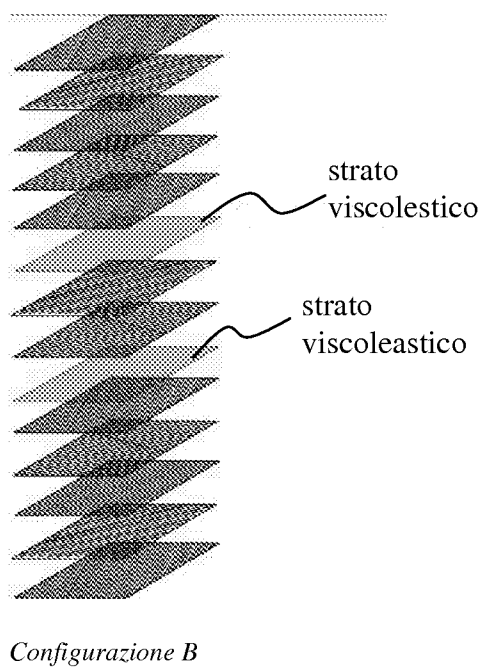
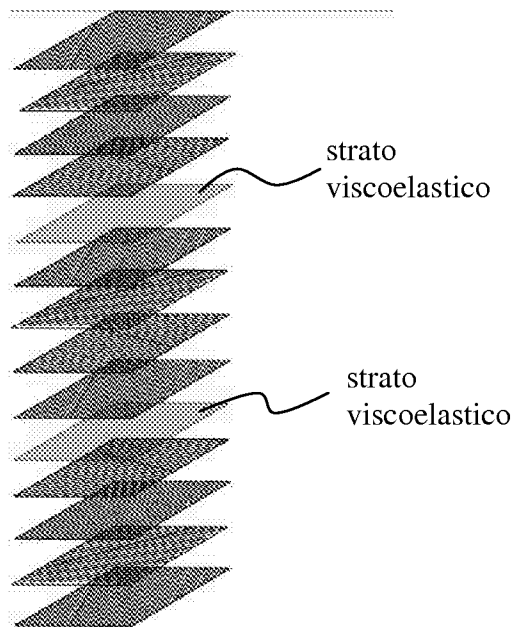


Fig. 4



Configurazione C

Fig. 5

Tabella 3
C-scan in ampiezza di ciascuna tipologia di provini, in cui viene messa
in risalto l'area percentuale danneggiata.

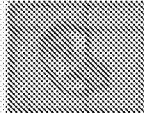




TIPOLOGIA PROVINO	AREA DANNEGGIATA	C-SCAN
CFRP	28%	
CFRP con Arnitel PM361	2%	
CFRP con Mobilon MF200T Es. configurazione A	2%	
CFRP con Mobilon MF200T Es. configurazione B	2,5%	
CFRP con Mobilon MF200T Es. configurazione C	1%	

Fig. 6