



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Nuovi materiali biocompositi ottenuti mediante l'utilizzo di tessuti
commingled a base PLA/fibre di lino e di canapa

Claudia Massaro, Roberto Terzi

Report RdS/2012/104

NUOVI MATERIALI BIOCOSPOSITI OTTENUTI MEDIANTE L'UTILIZZO DI TESSUTI COMMINGLED A BASE
PLA/FIBRE DI LINO E DI CANAPA

Claudia Massaro, Roberto Terzi (ENEA)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i
mezzi di trasporto

Responsabile del Progetto: Giuseppe Barbieri, ENEA

Indice

Sommario.....	4
Introduzione.....	5
Laminati in materiale composito biodegradabile.....	5
Caratterizzazione meccanica dei laminati A, B, C.....	11
Caratterizzazione microstrutturale (SEM) dei laminati A, B, C.....	15
Caratterizzazione meccanica dei laminati D, E, F.....	19
Caratterizzazione microstrutturale SEM dei laminati D, E, F.....	25
Conclusioni.....	26
Riferimenti bibliografici	26
Abbreviazioni ed acronimi	26

Sommario

Il lavoro è inquadrato nell'ambito delle attività sul Progetto 3.5 "Risparmio di energia elettrica nei mezzi di trasporto: nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto" dell' AdP ENEA-MSE. In particolare l'attività sperimentale riguarda la messa a punto di pannelli in materiale composito a matrice biodegradabile rinforzati con fibre naturali realizzati a partire da tessuti *commingled*. Le applicazioni sono orientate alla realizzazione di interiors per il settore automobilistico.

I tessuti *commingled* sono stati compattati mediante stampaggio a caldo in modo da ottenere laminati piani dello spessore di circa 3mm. La caratterizzazione meccanica statica dei laminati è stata effettuata mediante test di trazione condotti secondo la normativa ASTM. I risultati sperimentali sono stati utilizzati per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei laminati in funzione dei parametri di processo adottati. La caratterizzazione microstrutturale, condotta attraverso analisi SEM, ha permesso di studiare l'influenza dei parametri di stampaggio, come la temperatura, pressione e tempo, sulla struttura interna del laminato. La correlazione di tutti i risultati sperimentali ha consentito infine l'ottimizzazione dei parametri di processo per l'ottenimento di laminati con caratteristiche meccaniche sufficienti per essere utilizzati nella fabbricazione di parti e componenti interiors per il settore trasporti.

Introduzione

Il problema dell'impatto ambientale delle plastiche ha generato negli ultimi anni una crescente sensibilizzazione verso il riciclo di questi materiali. A fronte di situazioni in cui è possibile il loro recupero, esistono condizioni in cui non lo è perché il materiale risulta essere inquinato o difficilmente recuperabile e quindi il riciclo non è più una operazione economicamente conveniente. In questi casi l'uso di polimeri biodegradabili rappresenta una possibile alternativa in linea con l'ambiente. Polimeri biodegradabili vengono attualmente utilizzati in molte applicazioni biomediche, ma il loro uso in applicazioni meno nobili, come ad esempio nel settore dei trasporti, nell'imballaggio e nell'agricoltura, non è diffuso a causa dei costi non ancora competitivi rispetto ai materiali tradizionali. I compositi offrono l'opportunità di modificare le proprietà dei polimeri e, attraverso l'utilizzo di fibre naturali derivanti da risorse rinnovabili e poco costose, di ridurre il costo del materiale finale. Tale approccio è stato utilizzato per modificare le caratteristiche di polimeri termoplastici di uso comune come il polietilene, polipropilene, polistirene ecc.. L'uso di queste fibre naturali disperse in matrici biodegradabili permette la realizzazione di un composito totalmente biodegradabile ed ecocompatibile. Tra le fibre naturali più utilizzate troviamo le fibre di lino, canapa, legno, alghe, juta, ginestra, sisal. Queste possono dar luogo a compositi a fibre corte o lunghe che presentano buone proprietà meccaniche, sia in termini di modulo elastico che di resistenza.

Laminati in materiale composito biodegradabile

Selezione di tessuti in fibre naturali

I tessuti di tipo commingled presi in considerazione sono stati: PLA/Fibre di lino e PP/ fibre di lino disponibili commercialmente come Biotex e forniti dalla Composites Evolution.

I tessuti acquisiti sono costituiti di fibra di lino al 40% e fibre di PLA e PP al 60% rispettivamente e sono disponibili con due tessiture differenti: Twill e Hopsack. I dettagli relativi ai tessuti acquistati sono riportati nelle schede tecniche seguenti.



Biotex 40% Flax/PLA 4x4 Hopsack 530gsm



Biotex 40% Flax/PP 4x4 Hopsack 550gsm



Biotex 40% Flax/PLA 2x2 Twill 420 gsm



Biotex 40% Flax/PP 2x2 Twil 420 gsm

**Biotex Flax/PLA
Technical Information**



Composition

Volume Fraction	40%	Standard
	Others	On request

Yarn

Linear Density	250tex	Standard
	125-2000tex	On request

Processing | The commingled yarn can be consolidated by heating to 180-200°C and applying a pressure of at least 1bar. Typical processes for the yarn include filament winding.

Fabric

Weave Style	2x2 twill	Standard
	4x4 hopsack	Standard
	Other styles	On request

Fabric Weight	420-520gsm	Standard (depending on weave style)
	250-800gsm	On request

Fabric Width	1.25m	Standard
	Up to 3m	On request

Processing | The commingled fabric can be consolidated by heating to 180-200°C and applying a pressure of 1-50bar. Typical processes include vacuum consolidation, autoclave and press moulding.

Preconsolidated Sheet

Thickness	0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4 & 2.8mm	Standard
	Others	On request

Processing | The sheets can be formed to shape by heating to 180-200°C and stamp forming with a matched tool in a press at typical pressures of 10-100bar.

Typical Properties

Density	1.33g/cm ³	
Tensile Modulus	13.2GPa	(ISO 527-4)
Tensile Strength	102MPa	(ISO 527-4)
Tensile Elongation	1.6%	(ISO 527-4)
Flexural Modulus	7.8GPa	(ISO 14125)
Flexural Strength	131MPa	(ISO 14125)
Charpy Impact (flat)	32.8kJ/m ²	(ISO 179-1 unnotched, flatwise)
Charpy Impact (edge)	28.4kJ/m ²	(ISO 179-1 unnotched, edgewise)

Data for laminate made from Biotex 40vol% flax-PLA 4x4 hopsack fabric by press moulding and tested at ambient temperature.

Biotex Flax/PP Technical Information



Composition

Volume Fraction	40%	Standard
	Others	On request

Yarn

Linear Density	250tex 125-2000tex	Standard On request
----------------	-----------------------	------------------------

Processing	The commingled yarn can be consolidated by heating to 180-200°C and applying a pressure of at least 1bar. Typical processes for the yarn include filament winding.	
------------	--	--

Fabric

Weave Style	2x2 twill 4x4 hopsack Other styles	Standard Standard On request
-------------	--	------------------------------------

Fabric Weight	420-520gsm 250-800gsm	Standard (depending on weave style) On request
---------------	--------------------------	---

Fabric Width	1.25m Up to 3m	Standard On request
--------------	-------------------	------------------------

Processing	The commingled fabric can be consolidated by heating to 180-200°C and applying a pressure of 1-50bar. Typical processes include vacuum consolidation, autoclave and press moulding.	
------------	---	--

Preconsolidated Sheet

Thickness	0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4 & 2.8mm Others	Standard On request
-----------	--	------------------------

Processing	The sheets can be formed to shape by heating to 180-200°C and stamp forming with a matched tool in a press at typical pressures of 10-100bar.	
------------	---	--

Typical Properties

Density	1.04g/cm ³	
Tensile Modulus	8.1GPa	(ISO 527-4)
Tensile Strength	56.0MPa	(ISO 527-4)
Tensile Elongation	1.5%	(ISO 527-4)
Flexural Modulus	4.5GPa	(ISO 14125)
Flexural Strength	79.2MPa	(ISO 14125)
Charpy Impact (flat)	27.4kJ/m ²	(ISO 179-1 unnotched, flatwise)
Charpy Impact (edge)	23.4kJ/m ²	(ISO 179-1 unnotched, edgewise)

Data for laminate made from Biotex 40vol% flax-PP 4x4 hopsack fabric by press moulding and tested at ambient temperature.

Processo di stampaggio

Il processo di laminazione realizzato mediante stampaggio a caldo dei tessuti commingled è stato studiato in funzione dei parametri principali quali: Temperatura dei piatti, Pressione e Tempo di applicazione, al fine di massimizzare le caratteristiche meccaniche del laminato in materiale composito. A tale scopo è stata utilizzata una pressa a piatti piani, per la laminazione dei tessuti Biotex 40% Flax/PLA 4x4 Hopsack 530gsm. La compattazione dei tessuti è stata effettuata mediante una pressa a piatti piani CAMPANA tipo P7-91-PL.



Pressa a piatti piani CAMPANA

- Caratteristiche della pressa
- movimentazione mediante cilindro idraulico a doppio effetto comandato da apposita centralina alloggiata all'interno del basamento;
- pompa idraulica a doppio stadio;
- corsa utile e luce tra le piastre di mm 150;
- piastre in acciaio indurite superficialmente 340x340mm;
- termoregolatori ad azione PID con visualizzatore per il rilievo in continuo della temperatura;
- temperatura di lavoro da 50° a 240° C
- manometro per impostazione e lettura della forza di chiusura (30 T)

Per l'ottenimento di pannelli del materiale composito dai tessuti Biotex 40% Flax/PLA 4x4 Hopsack 530gsm sono stati utilizzati n.4 strati di tessuto sovrapposti stampati secondo i parametri di processo indicati nella tabella seguente:

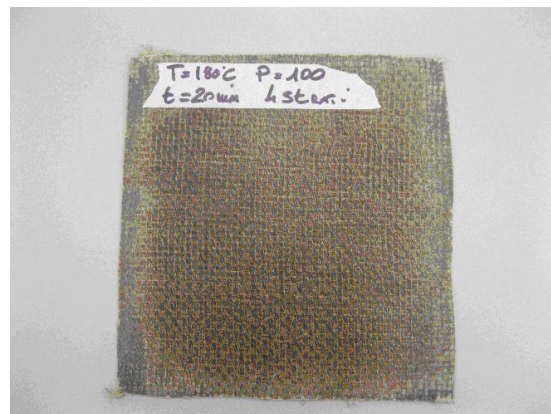
NOME CAMPIONE	MATERIALE	STRATI	PRESSIONE (bar)	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)
FLAXPLAT200P50t20S4	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	50	200	20
FLAXPLAT180P50t20S4 A	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	50	180	20
FLAXPLAT180P70t20S4 B	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	70	180	20
FLAXPLAT180P100t20S4 C	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	100	180	20

Sono stati quindi quattro tipologie di laminati di tessuto stampato della dimensione di circa 300x300mm dello spessore di circa 3 mm.

Nelle immagini seguenti sono riportate le foto dei laminati realizzati



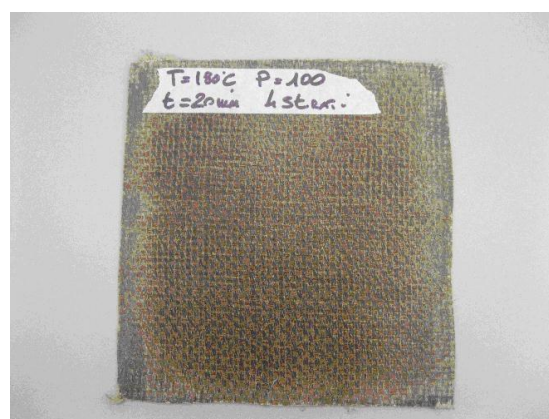
FLAXPLAT200P50S4



FLAXPLAT180P50S4



FLAXPLAT180P70S4



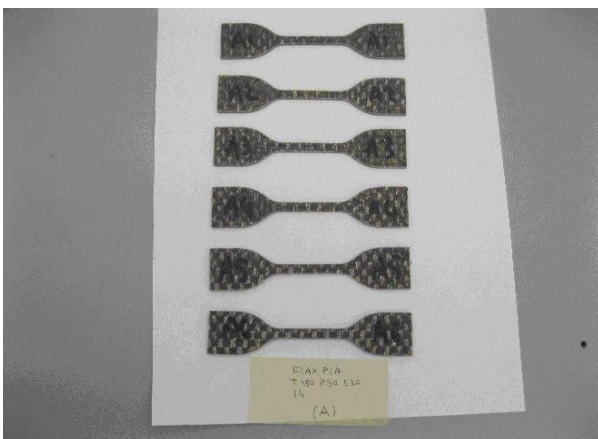
FLAXPLAT180P100S4

Dalle mattonelle stampate nella pressa a piatti piani sono poi stati ritagliati i campioni secondo la geometria indicata nella norma tecnica di prova ASTM D 638M per le prove meccaniche di trazione. A questo scopo è stata utilizzata una fustellatrice GIBITRE, caratterizzata da un movimento fustella assiale e da un carico massimo applicabile sulla leva manuale di 2000N.



Fustellatrice GIBITRE

Sono di seguito riportate immagini di alcuni campioni ritagliati con la fustellatrice, secondo i parametri della norma di riferimento per le successive prove di trazione.

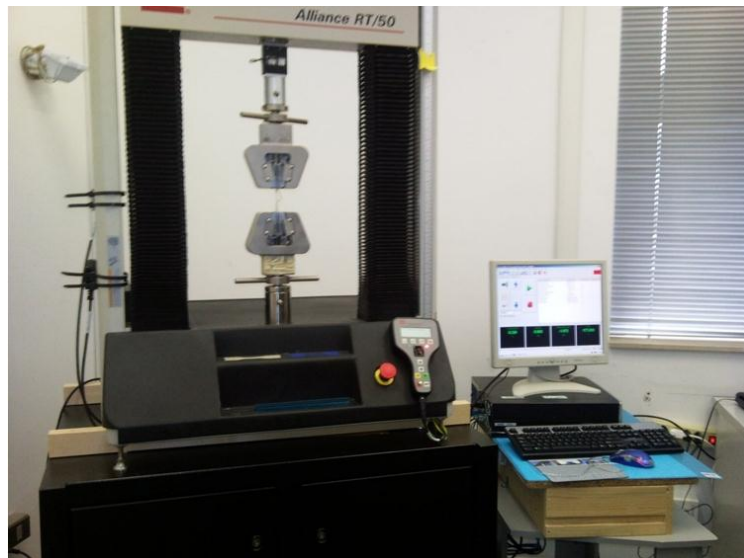


Esempi di provini per le prove di trazione

Caratterizzazione meccanica dei laminati A, B, C

I campioni ritagliati con la fustellatrice, secondo i parametri della norma di riferimento, sono stati sottoposti a test meccanici di trazione. Le prove di trazione, secondo la norma tecnica ASTM D638M, sono state eseguite con una macchina per prove statiche, Tabletop MTS Alliance 50kN equipaggiata con:

- Cella di carico MTS con fondo scala da 2kN (accuratezza del trasduttore di carico 0,04%; accuratezza globale di misura del carico +/- 0,5% del valore letto);
- Estensometro a contatto MTS (campo di lavoro +/- 4 mm);
- Afferraggio dei campioni mediante morsetti MTS a cuneo autostringenti



Tabletop MTS Alliance 50kN



Campione sottoposto a test di trazione con estensometro



Immagine di campioni sottoposti al test di trazione

I risultati ottenuti dalle prove di trazione dei laminati compositi ottenuti per stampaggio sono qui di seguito riportati. Il campione FLAXPLAT200P50S4 non è stato analizzato in quanto su di esso erano visibili indicazioni di degradazione termica dovute evidentemente ad una temperatura di processo troppo elevata.

Campione FLAXPLAT180P50t20s4 (A)

Sample Information:

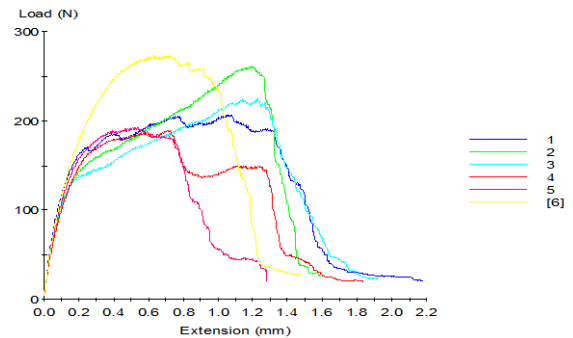
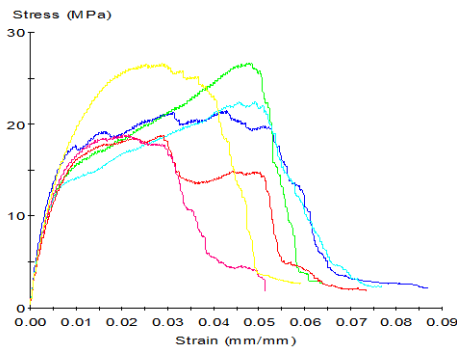
Name	Value
SampleID	FLAXPLAT180P50t20s4 (A)

Specimen Results:

Specimen	Thickness mm	Width mm	Peak Load N	Peak Stress MPa	Modulus MPa	Strain_max mm/mm
1	1.707	5.660	207.159	21.4	4174.856	0.087
2	1.746	5.610	261.275	26.7	3375.664	0.064
3	1.786	5.590	224.209	22.5	3615.943	0.077
4	1.769	5.690	189.352	18.8	3345.756	0.073
5	1.806	5.660	192.427	18.8	3617.244	0.051
6	1.815	5.660	273.105	26.6	3460.417	0.059
MeaMedia	1.772	5.645	224.588	22.5	3598.313	0.069
Std. Dev.	0.040	0.037	35.439	3.5	305.105	0.013

Test Inputs:

Name	Value	Units
Humidity	50	%
Temperature	25	°C
Speed	0.5	mm/min
Nominal Gage Length	25.000	Mm



Campione FLAXPLAT180P70t20s4 (B)

Sample Information:

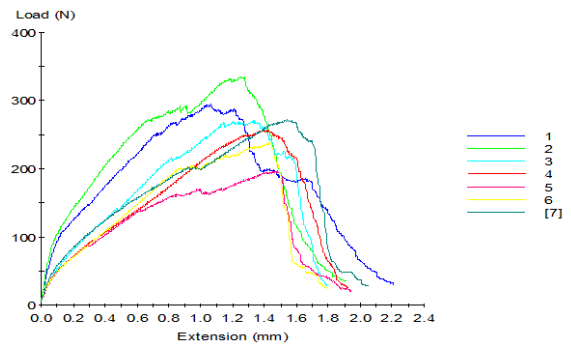
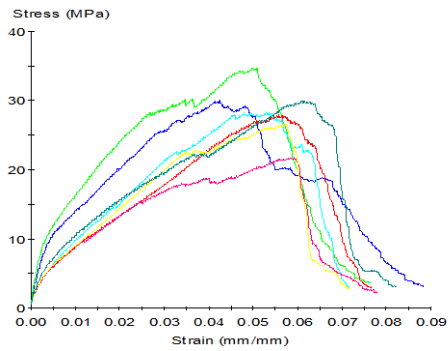
Name	Value
SampleID	FLAXPLAT180P70t20s4 (B)

Specimen Results:

Specimen	Thickness mm	Width mm	Peak Load N	Peak Stress MPa	Modulus MPa	Strain_max mm/mm
1	1.710	5.760	295.744	30.0	2878.839	0.088
2	1.686	5.740	335.666	34.7	3625.804	0.076
3	1.611	5.930	270.709	28.3	1266.887	0.072
4	1.569	5.880	257.131	27.9	1232.278	0.077
5	1.541	5.860	196.503	21.8	1476.030	0.078
6	1.518	5.880	237.947	26.7	1286.030	0.072
7	1.561	5.817	271.945	29.9	1570.786	0.082
MeaMedia	1.599	5.838	266.521	28.5	1905.236	0.078
Std. Dev.	0.073	0.069	43.759	3.9	952.900	0.006

Test Inputs:

Name	Value	Units
Humidity	50	%
Temperature	25	°C
Speed	0.5	mm/min
Nominal Gage Length	25.000	Mm



Campione FLAXPLAT180P100t20s4 (C)

Sample Information:

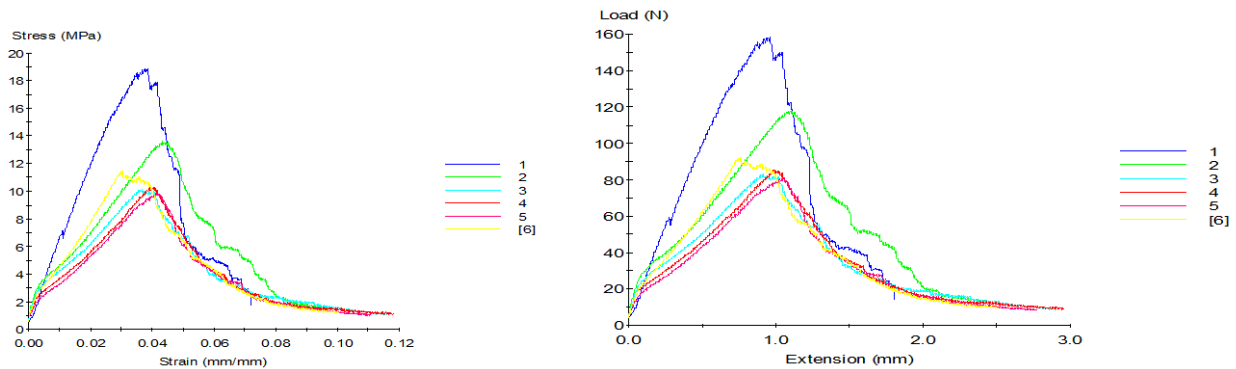
Name	Value
SampleID	FLAXPLAT180P100t20s4 (C)

Specimen Results:

Specimen	Thickness mm	Width mm	Peak Load N	Peak Stress MPa	Modulus MPa	Strain_max mm/mm
1	1.508	5.557	158.493	18.9	704.337	0.072
2	1.464	5.930	117.900	13.6	1024.237	0.098
3	1.391	5.890	82.994	10.1	1137.095	0.116
4	1.402	5.910	85.474	10.3	834.984	0.118
5	1.397	5.870	80.742	9.8	587.111	0.111
6	1.361	5.920	92.469	11.5	834.795	0.100
MeaMedia	1.420	5.846	103.012	12.4	853.760	0.103
Std. Dev.	0.055	0.143	30.382	3.5	201.734	0.017

Test Inputs:

Name	Value	Units
Humidity	50	%
Temperature	25	*C
Speed	0.5	mm/min
Nominal Gage Length	25.000	Mm

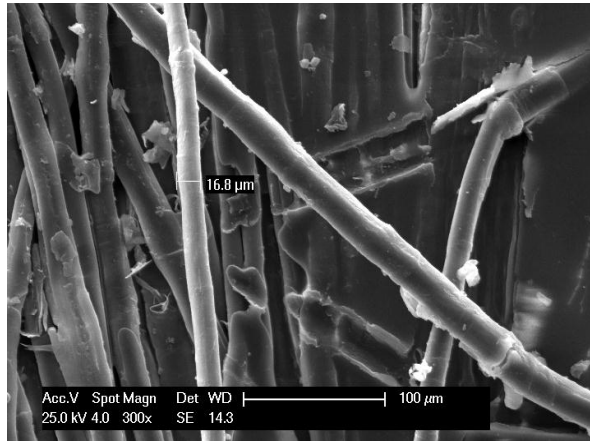
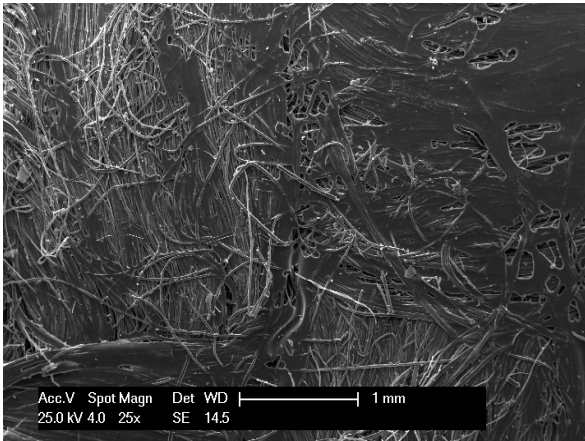


In tutti i campioni analizzati è stato evidenziato un basso valore del modulo (MPa) così come del Peak Stress (MPa) ad indicare una scarsa adesione tra la fibra e la matrice costituitasi durante il processo di stampaggio. Il lino non produce un rinforzo nella matrice di PLA in queste condizioni di processo. Anche le osservazioni SEM riportate di seguito sulla sezione del laminato di questi campioni confermano la scarsa adesione fibra-matrice.

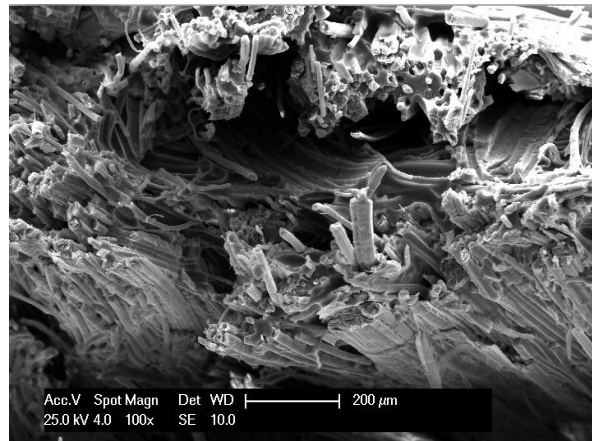
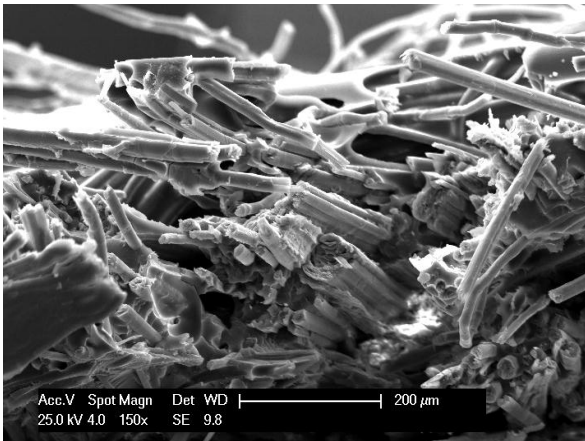
Caratterizzazione microstrutturale (SEM) dei laminati A, B, C

Le osservazioni sono state effettuate con un Microscopio elettronico a Scansione (SEM) Philips XL 40 ad emissione termoionica con filamento in esaboruro di lantanio (LaB6), avente una risoluzione spaziale di 3 nm a 30 kV (10 nm a 3 kV) e tensione di accelerazione compresa fra 0.2 kV e 30 kV.

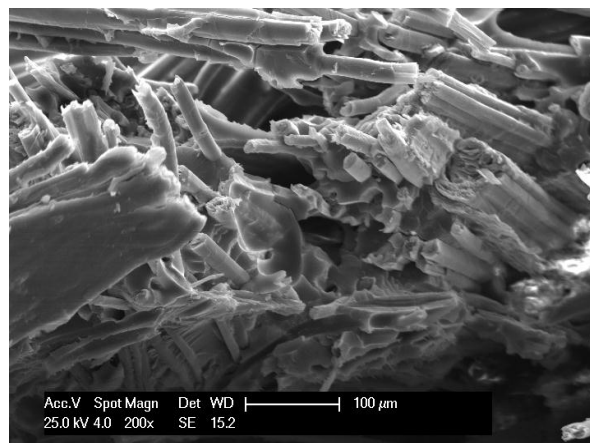
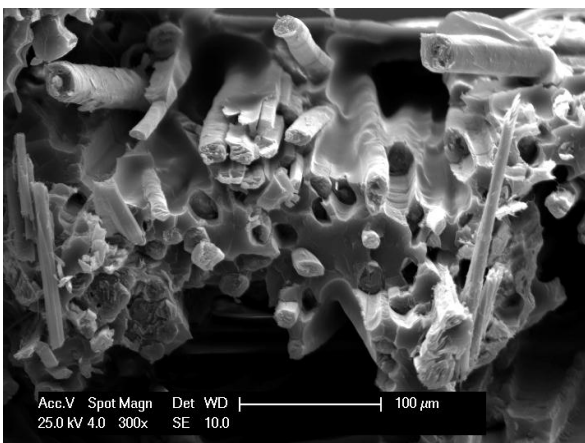
Considerata la tipologia dei campioni, i campioni prima di essere osservati sono stati ricoperti con un coating di oro della spessore di 20 nm tramite sputtering. Le osservazioni sono state condotte sia sulla superficie del campione (plan), sia su una sezione di frattura (effettuata in azoto liquido) per studiare l'impregnazione e l'adesione della fibra nella matrice. Le immagini SEM effettuate evidenziano di fatto la scarsa adesione tra la matrice di PLA e le fibre di lino.



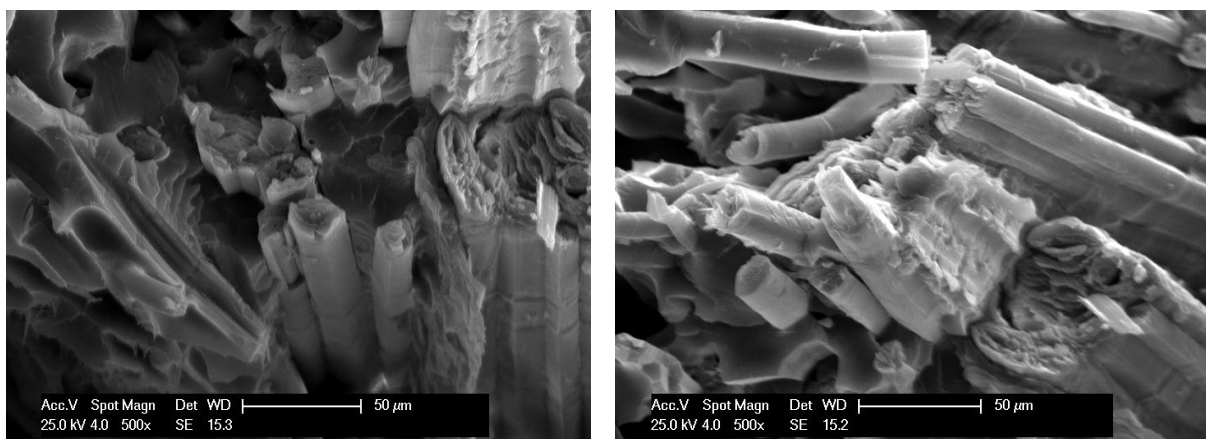
Immagini SEM del campione A (FLAXPLAT180P50t20S4) planare



Immagini SEM del campione A (FLAXPLAT180P50t20S4) in sezione



Immagini SEM del campione B (FLAXPLAT180P50t20S4) in sezione

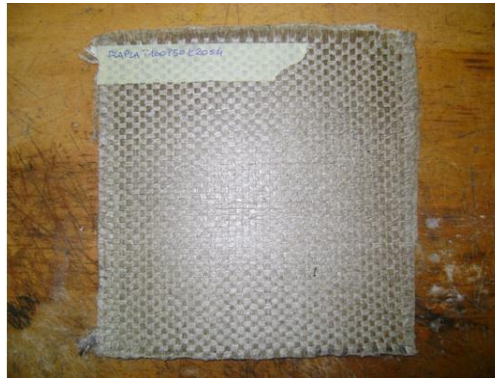


Immagini SEM del campione C FLAXPLAT180P50t20S4 in sezione

I risultati delle caratterizzazioni meccaniche e delle osservazioni al SEM sui laminati prodotti, suggeriscono quindi una scarsa adesione tra la fibra e la matrice. I bassi valori del modulo elastico e della resistenza massima sono imputabili probabilmente alla degradazione termica della matrice conseguente alle elevate temperature di processo adottate. Inoltre si è osservato in fase di laminazione, a causa delle elevate pressioni impiegate, la fuoriuscita della matrice polimerica fusa verso la parte esterna dello stampo. Questo ha causato un impoverimento della componente polimerica legante nel composito. Quindi al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche del laminato si è scelto di variare i parametri di processo di laminazione sperimentando temperature e pressioni più basse. Il set dei parametri utilizzati insieme alla nomenclatura dei laminati realizzati è riportato nella tabella seguente.

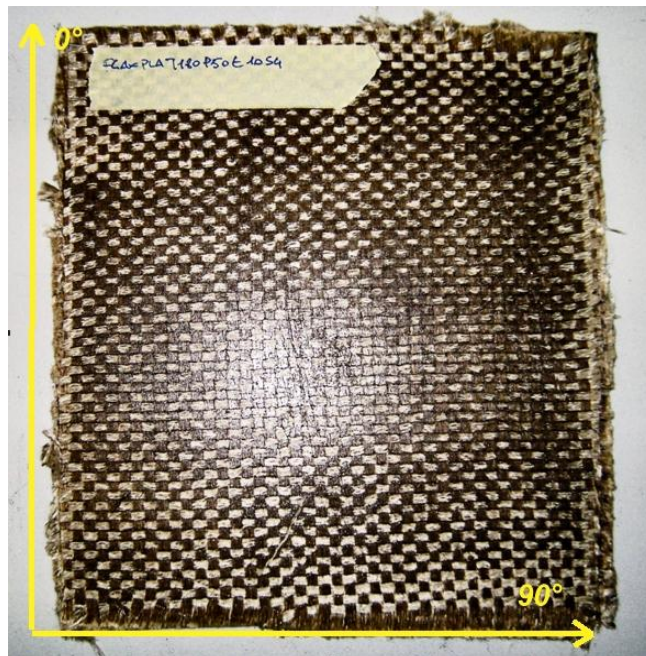
NOME CAMPIONE	MATERIALE	STRATI	PRESSIONE (bar)	TEMPERATURA (°C)	TEMPO (min)
FLAXPLAT140P30t20S4	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	30	140	20
FLAXPLAT160P50t20S4	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	50	160	20
FLAXPLAT180P50t10S4 D	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	50	180	10
FLAXPLAT160P50t10S4	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	50	160	10
FLAXPLAT160P70t10S4 E	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	70	160	10
FLAXPLAT180P30t20S4 F	BIOTEX HOPSACK 4x4	4	30	180	20

I campioni D, E, F sono stati sottoposti alle prove di trazione mentre i restanti laminati non stati testati meccanicamente perché, per le condizioni di processo utilizzate, gli strati di tessuto non si son compattati come è evidente nella foto riportata sotto.



esempio di campione non compattato

Inoltre, per approfondire e rilevare eventuali differenze delle caratteristiche meccaniche del laminato (trama ed ordito) si è scelto di effettuare la campionatura dei provini ritagliando i campioni nelle due direzioni longitudinale e trasversale (0°-90°) del laminato.



Campione FLAXPLAT180P50t10S4 (D)



Campione FLAXPLAT160P70t10S4 (E)



Campione FLAXPLAT180P30t20S4 (F)

Caratterizzazione meccanica dei laminati D, E, F

FLAXPLAT180P50t10s4_0 (D)

Method: ENEA ASTM D 638 M two speed Extens-Crossh SI.msm

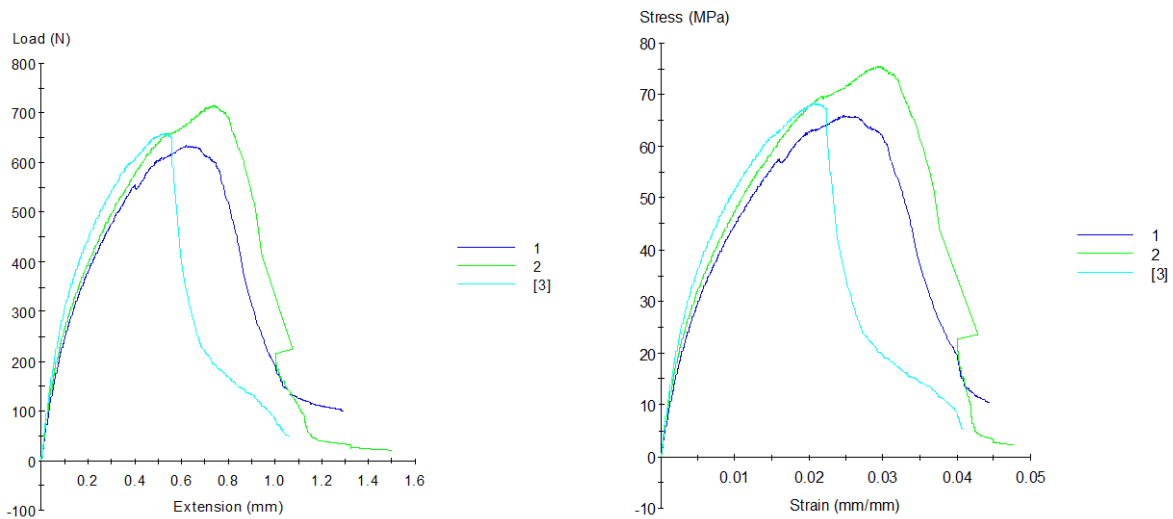
Sample Results:

Specimen Results:

Specimen #	Larghezza mm	Spessore mm	Carico massimo N	Stress (max) MPa	Modulo elastico MPa	Chord Modulus Strain 1 - 2 MPa
D1_0 (1)	5.7200	1.6840	635.11	65.9	7932.4	6993.6
D2_0 (2)	5.7990	1.6340	714.96	75.5	9266.9	7833.8
D3_0 (3)	5.7800	1.6700	660.38	68.4	10776.8	8766.9
MeaMedia	5.7663	1.6627	670.15	69.9	9325.3	7864.8
Std. Dev.	0.0412	0.0258	40.81	4.9	1423.1	887.1

Test Inputs:

Name	Value	Units
v	0.5	mm/min
Grip distance	65	mm
Gage length	25	mm



FLAXPLAT180P50t10s4_90 (D)

Method: ENEA ASTM D 638 M two speed Extens-Crossh Sl.msm

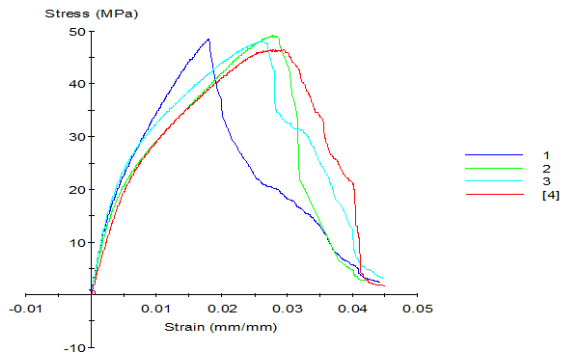
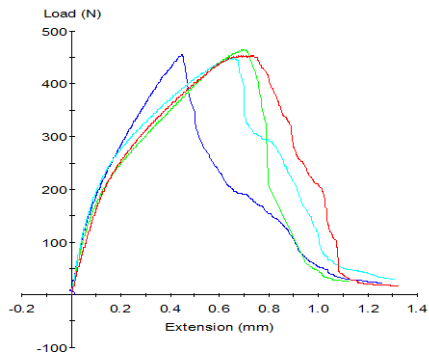
Sample Results:

Specimen Results:

Specimen #	Larghezza mm	Spessore mm	Carico massimo N	Stress (max) MPa	Modulo elastico MPa	Chord Modulus Strain 1 - 2 MPa
D4_90 (1)	5.6220	1.6740	456.04	48.5	6919.6	7030.8
2D5_90 (2)	5.6520	1.6730	465.15	49.2	5965.7	5128.1
D6_90 (3)	5.6330	1.6560	449.27	48.2	7142.6	5855.1
D7_90 (4)	5.6880	1.7180	454.45	46.5	4490.8	4299.3
MeaMedia	5.6488	1.6802	456.23	48.1	6129.7	5578.3
Std. Dev.	0.0290	0.0265	6.61	1.1	1205.9	1158.3

Test Inputs:

Name	Value	Units
v	0.5	mm/min
Grip distance	65	mm
Gage length	25	mm



FLAPLATT160P70t10s4_0 (E)

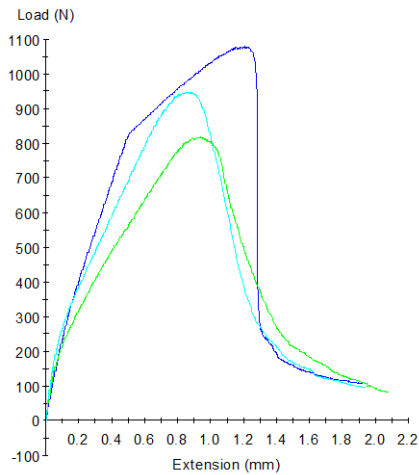
Method: ENEA ASTM D 638 M two speed Extens-Crossh Sl.msm

Specimen Results:

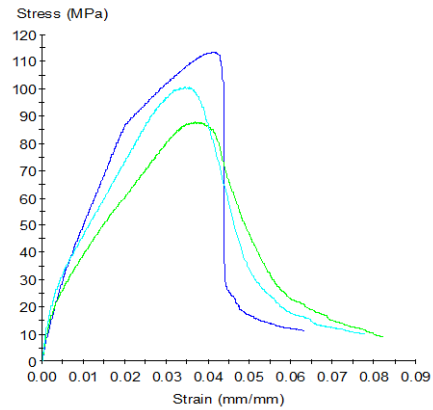
Specimen #	Larghezza mm	Spessore mm	Carico massimo N	Stress (max) MPa	Modulo (Young) MPa	Chord Modulus Strain 1 - 2 MPa
E1_0 (1)	5.8490	1.6250	1079.60	113.6	6278.2	6559.4
E2_0 (2)	5.7940	1.6070	819.29	88.0	7322.2	6851.1
E3_0 (3)	5.8560	1.6110	949.37	100.6	9013.0	8306.7
MeaMedia	5.8330	1.6143	949.42	100.7	7537.8	7239.1
Std. Dev.	0.0340	0.0095	130.15	12.8	1380.1	936.0

Test Inputs:

Name	Value	Units
V	0.5	mm/min
Grip distance	65	mm
Gage length	25	mm



— 1
— 2
— [3]



— 1
— 2
— [3]

FLAXPLAT160P70t10s4_90 (E)

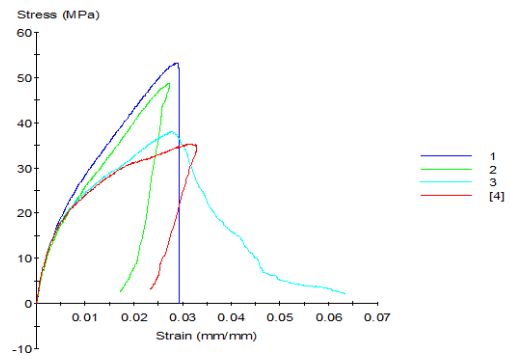
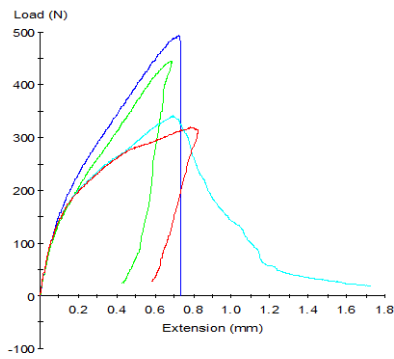
Method: ENEA ASTM D 638 M two speed Extens-Crossh SI.msm

Specimen Results:

Specimen #	Comment	Larghezza Mm	Spessore mm	Carico massimo N	Stress (max) MPa	Modulo (Young) MPa	Chord Modulus Strain 1 - 2 MPa
E4_90 (1)		5.7040	1.6230	493.21	53.3	5129.1	4641.4
E5_90 (2)	FTU	5.7330	1.5940	445.69	48.8	4957.5	4220.1
E6_90 (3)		5.6560	1.5840	341.24	38.1	6009.5	4469.5
E7_90 (4)	FTU	5.6400	1.6040	320.07	35.4	5954.4	4422.3
MeaMedia		5.6832	1.6012	400.05	43.9	5512.6	4438.3
Std. Dev.		0.0429	0.0166	82.90	8.5	546.9	173.3

Test Inputs:

Name	Value	Units
V	0.5	mm/min
Grip distance	65	mm
Gage length	25	mm



FLAXPLAT180P30t20s4_0 (F)

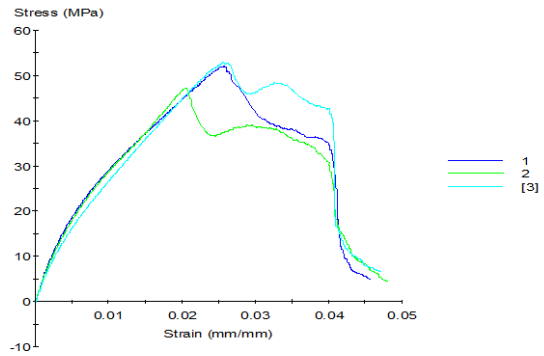
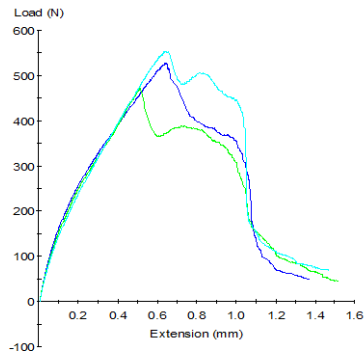
Method: ENEA ASTM D 638 M two speed Extens-Crossh Sl.msm

Specimen Results:

Specimen #	Larghezza mm	Spessore mm	Carico massimo N	Stress (max) MPa	Modulo elastico MPa	Chord Modulus Strain 1 - 2 MPa
F1_0 (1)	5.7340	1.7630	527.14	52.1	4630.4	4342.9
F2_0 (2)	5.7330	1.7380	471.06	47.3	4418.3	4077.0
F3_0 (3)	5.7300	1.8260	553.82	52.9	3865.3	3772.9
MeaMedia	5.7323	1.7757	517.34	50.8	4304.7	4064.3
Std. Dev.	0.0021	0.0453	42.24	3.1	395.0	285.2

Test Inputs:

Name	Value	Units
V	0.5	mm/min
Grip distance	65	mm
Gage length	25	mm



FLAXPLAT180P30t20s4_90 (F)

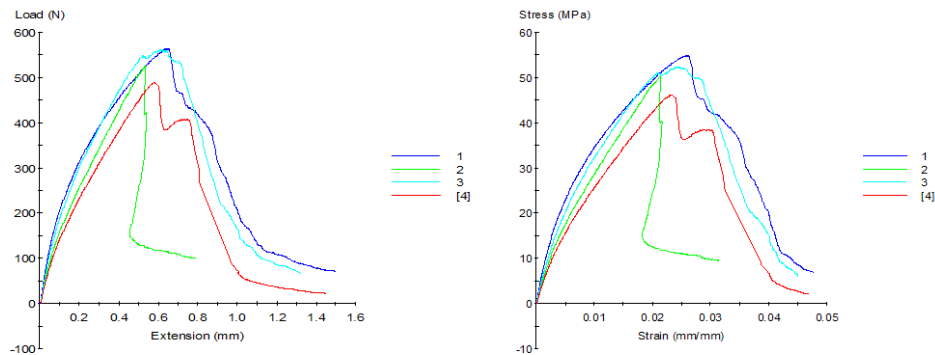
Method: ENEA ASTM D 638 M two speed Extens-Crossh Sl.msm

Specimen Results:

Specimen #	Larghezza mm	Spessore Mm	Commento	Carico massimo N	Stress (max) MPa	Modulo elastico MPa	Chord Modulus Strain 1 - 2 MPa
F4_90 (1)	5.7770	1.7800		563.89	54.8	6336.2	5437.9
F5_90 (2)	5.7610	1.8170	sul bordo della g.l.	524.98	50.2	4347.0	4132.9
F6_90 (3)	5.8030	1.8500		561.40	52.3	5122.4	4707.6
F7_90 (4)	5.7690	1.8360		488.95	46.2	3800.4	3657.6
MeaMedia	5.7775	1.8208		534.80	50.9	4901.5	4484.0
Std. Dev.	0.0182	0.0303		35.36	3.7	1099.6	767.3

Test Inputs:

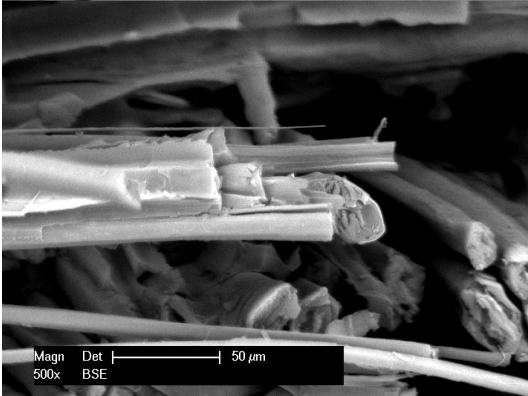
Name	Value	Units
V	0.5	mm/min
Grip distance	65	mm
Gage length	25	mm



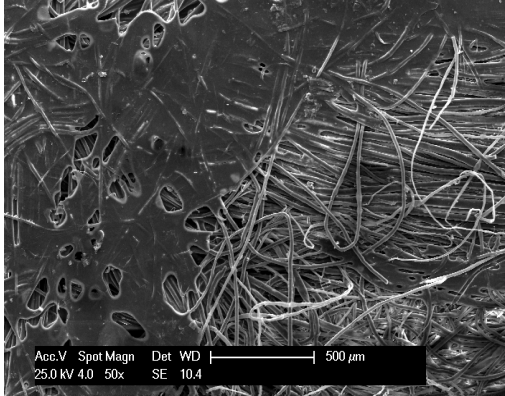
I risultati dei test meccanici di questi campioni evidenziano un valore molto più alto dei moduli , così come anche dei valori di Stress max. rispetto al primo lotto di campioni analizzati.

Questo indica una migliore adesione fibra matrice ottenuta secondo questi parametri di processo di stampaggio. Per lo stesso campione si evidenzia una dipendenza del valore del modulo dalla direzione di campionatura (0°, 90°). Ulteriori approfondimenti saranno effettuati in questo senso.

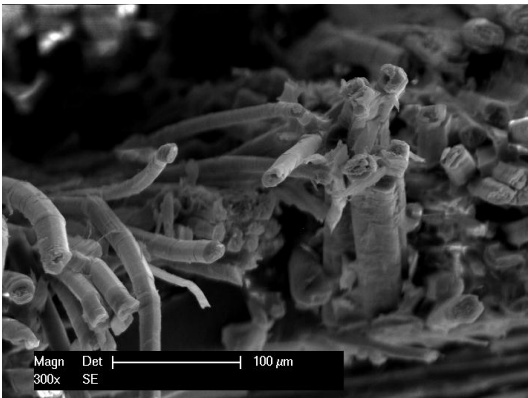
Caratterizzazione microstrutturale (SEM) dei laminati D, E, F



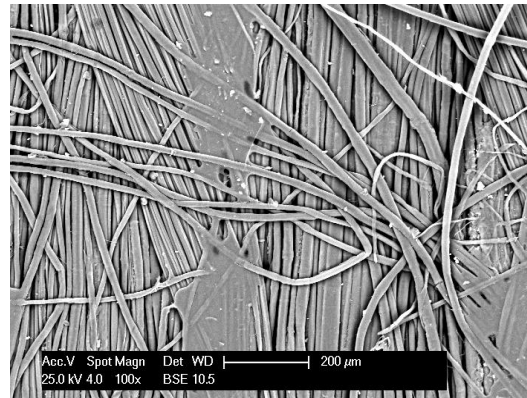
Immagini SEM del campione D in sezione



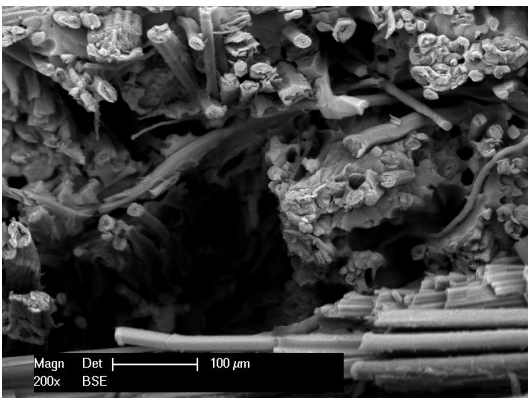
Immagini SEM del campione D in piano



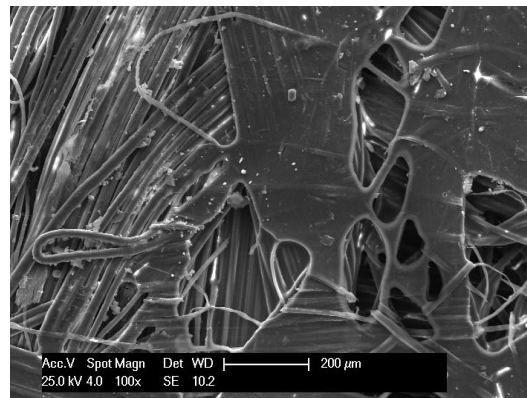
Immagini SEM del campione E in sezione



Immagini SEM del campione E in piano



Immagini SEM del campione F in sezione



Immagini SEM del campione F in piano

Conclusioni

La tabella seguente riporta i valori medi della resistenza massima e del modulo elastico calcolato per tutti i laminati realizzati. E' evidente una significativa dipendenza dalle condizioni di processo adottate. In particolare il campione D (0) esibisce un modulo quasi triplo rispetto a quello del PLA assunto come riferimento e costituente la matrice. Il valore del carico massimo è invece massimizzato per il campione E (0). Sono in corso ulteriori approfondimenti per spiegare la dipendenza delle caratteristiche dalla direzione di campionamento. A conclusione del lavoro svolto fin ora si può dire che i laminati identificati con D, E, ed F possiedono caratteristiche meccaniche tali da renderli idonei ad essere utilizzati per la fabbricazione ,eventualmente anche mediante termoformatura, di componenti strutturali e di rivestimento nel settore dei trasporti completamente biodegradabili.

NOME CAMPIONE	Peak Stress MPa (Media)	Modulus MPa (Media)
PLA	~ 48-53	~ 3400-400
FLAXPLAT180P50t20S4 A	22.5	3598.313
FLAXPLAT180P70t20S4 B	28.5	1905.236
FLAXPLAT180P100t20S4 C	12.4	853.760
FLAXPLAT180P50t10S4 D_0	69.9	9325.3
FLAXPLAT180P50t10S4 D_90	48.1	6129.7
FLAXPLAT160P70t10S4 E_0	100.7	7537.8
FLAXPLAT160P70t10S4 E_90	43.9	5512.6
FLAXPLAT180P30t20S4 F_0	50.8	4304.7
FLAXPLAT180P30t20S4 F_90	50.9	4901.5

Riferimenti bibliografici

I riferimenti bibliografici devono essere richiamati nel testo con numeri progressivi tra parentesi quadre e riportati a fine testo con il seguente formato:

1. www.Compositesevolution.com Biotex Datasheet PLA e PP

Abbreviazioni ed acronimi

PLA - Acido polilattico polimero