

Proprietà dei compositi



- Fibre, Resine e Materiali d'anima
- Stima delle proprietà teoriche
- Caratterizzazione Ing. Angelo Panunzi
- Influenza dei processi tecnologici



Progettazione e verifica



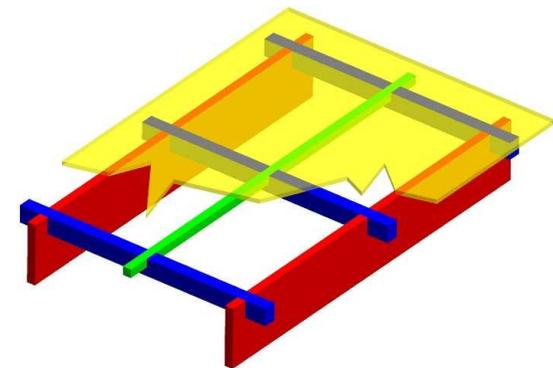
- Macromeccanica Ing. Angelo Panunzi
- Trave
- Pannello monolitico
- Pannello sandwich
- Criteri di crisi Ing. Angelo Panunzi

$$\frac{\sigma_j^2}{\sigma_{LU}^2} - \frac{\sigma_L \sigma_T}{\sigma_{LU}^2} + \frac{\sigma_T^2}{\sigma_{TU}^2} + \frac{\tau_{LT}^2}{\sigma_{LTU}^2} < 1$$

Esercitazione di calcolo



- Pannello piano strutturato
- Analisi strato per strato
- Comparazione delle soluzioni



Filo di base



Filamenti (da 4 a 20 micron da 160 a 4800 tex) apprettati.

In gruppi da circa 200 unità costituiscono il filo di base.

Il **tex** è una unità di misura per la densità lineare e corrisponde a un grammo al chilometro (per esempio di filo o di filato).

$$1\text{tex} = 1 \frac{\text{g}}{\text{km}}$$

Viene utilizzato in campo tessile per la titolazione delle fibre tessili. Più comunemente si utilizza il **decitex**, abbreviato in **dtex**, che corrisponde a 1 grammo su 10 chilometri.

È possibile calcolare il diametro di un filo applicando la seguente formula:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 \times 10^{-6} \cdot \text{dtex}}{\pi \rho}}$$

Dove ρ rappresenta la densità del materiale.

Strand (filamenti continui e paralleli)

Single Yarn (filamenti continui e ritorti)

Continuos filament mat

Chopped strand mat

Roving (30-60 strand continui e non ritorti)

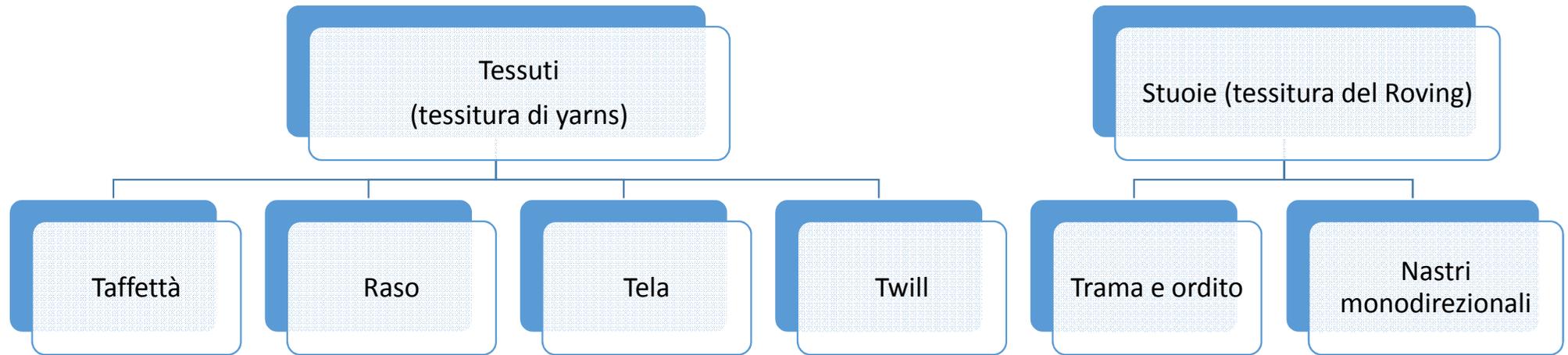
Filament winding

Pultrusione

Spray-up

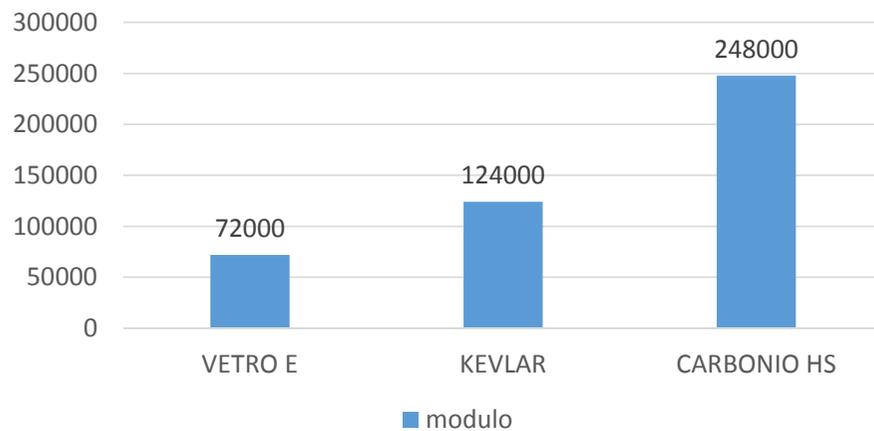


Powered by DLYTrade.com

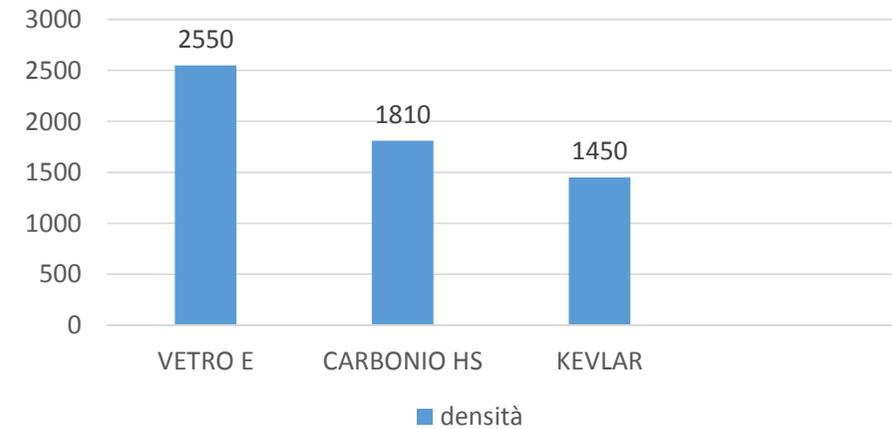


Vetro, Carbonio, Fibre aramidiche (fase fibra)

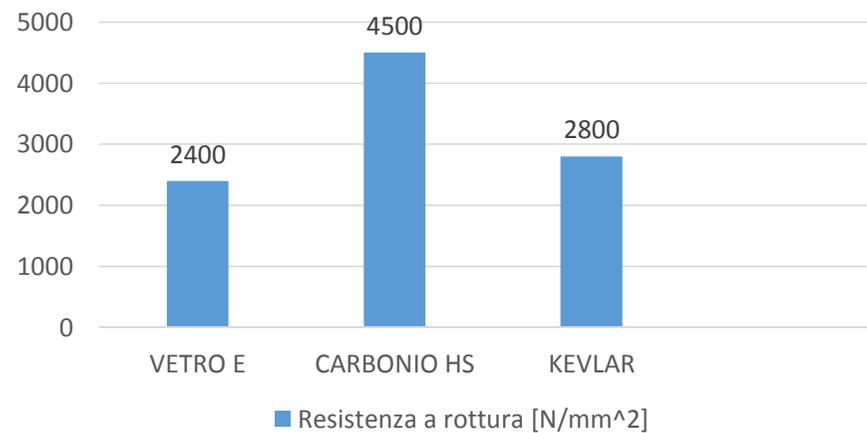
Modulo elastico [N/mm²]

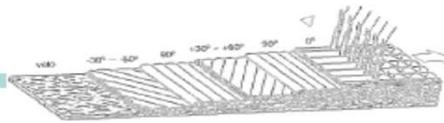


Densità [Kg/m³]



Resistenza a rottura [N/mm²]





BIASSIALI

Prodotti **STANDARD** :

SELCOM Articolo	Fibra	0° gr/m ²	+45° gr/m ²	90° gr/m ²	-45° gr/m ²	Mat gr/m ²	Cucitura gr/m ²	Totale gr/m ²
EBX250	VETRO "E"	-	126	-	126	-	14	266
EBX300	VETRO "E"	-	152	13	152	-	8	325
EBX400	VETRO "E"	-	200	-	200	-	8	408
EBX450	VETRO "E"	-	228	-	228	-	8	464
EBX600	VETRO "E"	-	300	-	300	-	8	608
EBX800	VETRO "E"	-	397	-	397	-	7	801
EBX900	VETRO "E"	-	450	-	450	-	7	907
EBX1200	VETRO "E"	-	597	-	597	-	7	1201
EBX400 M150 / M225	VETRO "E"	-	202	-	202	150 / 225	7	561 / 636
EBX450M150	VETRO "E"	-	220	13	220	150	13	616
EBX600 M150 / M225	VETRO "E"	-	300	13	300	150 / 225	11	774 / 849
EBX800 M100 / M225	VETRO "E"	-	401	13	401	100 / 225	9	924 / 974
EBX850M225	VETRO "E"	-	419	13	419	225	9	1085
EBX1200M150	VETRO "E"	-	597	-	597	150	8	1352
EBXS300	VETRO "E"	150	-	167	-	-	13	330
EBXS400	VETRO "E"	210	-	188	-	-	13	411
EBXS600	VETRO "E"	300	-	300	-	-	12	612
EBXS800	VETRO "E"	413	-	385	-	-	11	808
EBXS1200	VETRO "E"	590	-	610	-	-	9	1209
EBXS450M150	VETRO "E"	236	-	215	-	150	11	612
EBXS600M225	VETRO "E"	295	-	305	-	225	6	831
EBXS800M225	VETRO "E"	402	-	400	-	225	6	1033
EBXS850M225	VETRO "E"	425	-	425	-	225	6	1081

*Tessuti in carbonio ultraleggeri realizzati con ultimissimo impianto (vedi. TESSUTI IN FIBRA DI CARBONIO)

CBX150*	CARBONIO	-	75	-	75	-	5	155
CBX200*	CARBONIO	-	100	-	100	-	5	205
CBX250*	CARBONIO	-	125	-	125	-	5	255
CBX300*	CARBONIO	-	150	-	150	-	5	305
CBX400*	CARBONIO	-	200	-	200	-	5	405
CBX450*	CARBONIO	-	225	-	225	-	5	455
CBX600*	CARBONIO	-	300	-	300	-	4	604
CBXS200*	CARBONIO	100	-	100	-	-	6	206
CBXS400*	CARBONIO	200	-	200	-	-	6	406
CBXS600*	CARBONIO	300	-	300	-	-	6	606

Possibilità di realizzazione su richiesta di tessuti con le seguenti combinazioni di fibre :
[VETRO-ARAMIDE], [VETRO-CARBONIO-ARAMIDE], [VETRO-CARBONIO], [CARBONIO-ARAMIDE],
[FIBRE NATURALI] ecc.. di seguito alcuni esempi :

KBX250	ARAMIDE	-	125	-	125	-	8	258
KEBX400	ARAMIDE	-	67	13	67	-	8	407
	VETRO	-	126	-	126	-	-	-
TWARMAT600	ARAMIDE	118	-	-	55	200	9	588
	VETRO	84	-	-	122	-	-	-
CKEBX400	CARBONIO	-	17	-	17	-	-	-
	ARAMIDE	-	7	20	7	-	8	422
	VETRO	-	173	-	173	-	-	-
LBX620R	LINO	-	308	16	308	-	7	639

- ALTEZZA STANDARD TESSUTO : 1270 MM / 2540 MM
- LUNGHEZZA TESSUTO : 50 MTL STANDARD / SU SPECIFICHE DEL CLIENTE
- PESO TESSUTO : STANDARD / SU SPECIFICHE DEL CLIENTE



DET NORSKE VERITAS
TYPE APPROVAL CERTIFICATE

CERTIFICATE NO. K-3366
This Certificate consists of 3 pages

This is to certify that the
Glass Fibre Products

with type designation(s)
EQ; Quadri-axial (0°/±45°/90°) - (350-2500 g/m²) with and without chopped strand mats (100-500 g/m²)

Manufactured by
SAERTEX GmbH & Co. KG
Saerbeck, Germany

is found to comply with
Det Norske Veritas' Tentative Rules for Certification and Classification of Boats 1997
Det Norske Veritas' Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft
Det Norske Veritas' Rules for Certification of Life Boats 1998

Application
For use in marine vessels according to stated Rules.

Place and date
Høvik, 2008-04-23
for DET NORSKE VERITAS AS



This Certificate is valid until
2012-06-30

Hanne Anita Hjerpetjønn
Hanne Anita Hjerpetjønn
Head of Section

Local Office
DNV Essen

Erik Askheim
Erik Askheim
Surveyor

Notice: This Certificate is subject to terms and conditions overlaid. Any significant change in design or construction may render this Certificate invalid. The validity date relates to the Type Approval Certificate and not to the approval of equipment/systems installed.

If any person suffers loss or damage which is proved to have been caused by any negligence on the part of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation to such person for his proved direct loss or damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to the sum of the fee charged for the service in question, provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million. Det Norske Veritas shall remain the Foundation Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, divisions, offices, enterprises, agents and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.

DET NORSKE VERITAS AS · VERITASVEIEN 1, 1322 HØVIK, NORWAY · TEL: (+47) 67 57 99 00 · FAX: (+47) 67 57 99 11
Form No.: 20.90a Issue: January 98 Page 1 of 3

Certificazione



wave
ingegneria
Cert. No.: K-3366
File No.: 332.50

Product description

EQ; Quadri-axial (0°/±45°/90°) - (350-2500 g/m²) with and without chopped strand mats (100-500 g/m²).

Style no. example: S35EQ330-01160-01270-097000 (ref. SAERTEX Style-Number-System)

Legends:

S: Saerbeck

E: E-Glass

Q: Quadriaxial 0°/-45°/90°/+45°

The following indicative properties have been verified by Type Testing of laminates:

Property	Test Method	S35EQ330		
		Value	Unit	Mean
Tensile Strength – Longitudinal	ASTM D3039	289	MPa	msmv
Tensile Modulus – Longitudinal	ASTM D3039	13 932	MPa	msv
Tensile Elongation – Longitudinal	ASTM D3039	2,9	%	msmv
Glass content	ASTM D2584	53,9	%	mean
Resin	Synthopan 281 - 30			
Curing Procedure for Type Testing	24 hrs at room temperature, 24 hrs at 60°C			

msmv = Manufacturer's Specified Minimum Value (verified to be below mean - 2 standard deviation of Type Test results)

msv = Manufacturer's Specified Value (verified to be within mean - 10% of Type Test results)

mean = Mean of Type Test results

- Gruppi poliestere insaturi disciolti in monomero reattivo (es: stirolo) contenente inibitori
- Ortoftalica (general purpose)
- Isoftalica (migliore resistenza chimica e meccanica, minor assorbimento di acqua, buona resistenza ad urti)
- Vinilestere
- Tempo di conservazione 6 mesi
- Catalizzatori
- Accelerante
- Tempo di gelo
- Ambiente >16 °C e umidità <50-60%

Le resine: proprietà

Tipo di resina	Densità [Kg/m ³]	Modulo elastico [N/mm ²]	σ rottura trazione [N/mm ²]	σ r compressione [N/mm ²]	ε rottura trazione [%]	HDT [°C]
Poliestere isoftalica	1210	3600	60	130	2,5	95
Vinilestere ve370	1120	3400	83	120	5	110
Epossidica	1200	3000	85	130	5	110

Materiali d'anima

- PVC
- Balsa
- Coremat o Soric
- Anime alveolari



Data Sheet AA/ Issue 11/07 / Replaces Issue 7/06

Typical properties AIREX® C70			C70.40	C70.48	C70.55	C70.75	C70.90	C70.130	C70.200
Apparent nominal density	ISO 845	kg/m ³ lb/ft ³	40 2.5	48 3.0	60 3.7	80 5.0	100 6.2	130 8.1	200 12.5
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	N/mm ² psi	0.45 65	0.60 87	0.90 130	1.3 190	1.9 275	2.6 380	4.8 700
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	N/mm ² psi	37 5370	48 7000	69 10000	97 14100	125 18150	160 23200	280 40600
Tensile strength in the plane	ISO 1926	N/mm ² psi	0.70 100	0.95 138	1.3 190	2.0 290	2.7 390	3.8 550	6.0 870
Tensile modulus in the plane	ISO 1926	N/mm ² psi	28 4060	35 5100	45 6530	66 9600	84 12200	110 16000	175 25400
Shear strength	ISO 1922	N/mm ² psi	0.45 65	0.55 80	0.80 120	1.2 175	1.6 230	2.3 330	3.5 510
Shear modulus	ASTM C393	N/mm ² psi	13 1900	15 2200	22 3190	30 4350	38 5510	47 6850	75 10900
Shear elongation at break	ISO 1922	%	8	10	16	23	27	30	30
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K BTU.in/ft ² .hr.°F	0.031 0.21	0.031 0.21	0.031 0.21	0.033 0.23	0.035 0.24	0.039 0.27	0.048 0.33
Plain sheet	width	mm ± 10	1330	1270	1150	1020 / 1080	950	850	750
		in	53.36	50	45.27	40.16 / 42.5	37.4	33.5	29.5
	length	mm ± 10	2850 **	2730 **	2450 **	2180 / 1500	2050	1900	1600
in		112.2	107.48	96.5	85.8 / 59	80.7	74.8	63	
thickness	mm ± 0.5	5 to 80	5 to 70	5 to 70	3* to 70	3* to 60	5 to 50	5 to 40	
	in	0.2 to 3.15	0.2 to 2.76	0.2 to 2.76	0.118 to 2.76	0.118 to 2.36	0.2 to 1.97	0.2 to 1.57	
Block	thickness	mm ± 2	84	80	78	72	68	58	48
		in	3.31	3.15	3.07	2.83	2.68	2.28	1.89
Scrim	width	mm ± 10	690	660	600	510	510	on request	on request
		in	27.16	25.98	23.62	18.89	20.07		
	length	mm ± 10	1120	1200	1140	1080	930		
in		47.24	47.24	44.88	42.52	36.61			
thickness	mm ± 0.5	5 to 30	5 to 25	5 to 25	5 to 25	5 to 25			
	in	3.57 to 1.18	3.54 to 0.98	3.54 to 0.98	3.54 to 0.98	3.54 to 0.98			
Color		light green	violet	yellow	green	red	blue	brown	

Other dimensions, configurations, and closer tolerances upon request

* Tolerance for 3mm: + 0.8mm / - 0.2mm

** Half size plane sheets for thickness ≤ 8mm (0.315")

The data provided gives approximate values for the nominal density. Due to density variations these values can be lower than indicated above. Minimum values to calculate sandwich constructions can be provided upon request.

The information contained herein is believed to be correct and to correspond to the latest state of scientific and technical knowledge. However, no warranty is made, either expressed or implied, regarding its accuracy or the results to be obtained from the use of such information. No statement is intended or should be construed as a recommendation to infringe any existing patent.

Alcan Airex AG
CH-5643 Sins, Switzerland
Tel: +41 41 789 66 00
Fax: +41 41 789 66 60
www.alcanairex.com

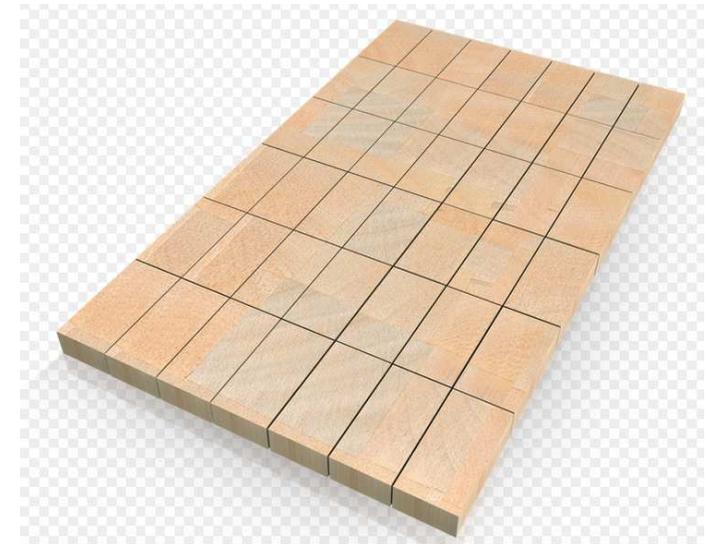
Alcan Baltek Corporation
108 Fairway Court, P.O. Box 195
Northvale, NJ 07647, USA
Tel: +1 201 767 14 00
Fax: +1 201 387 66 31
www.baltek.com

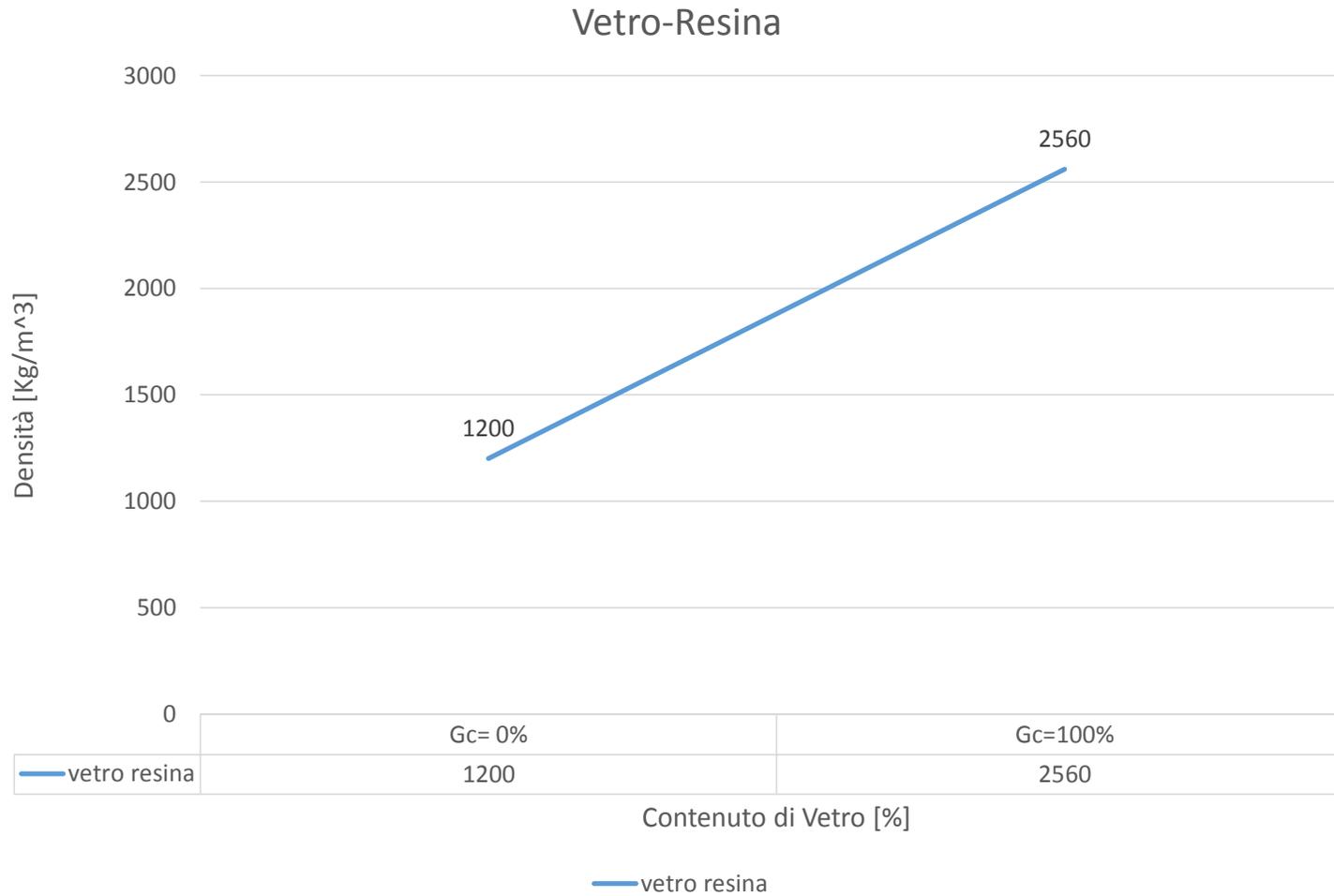
Materiali d'anima: Balsa

Typical properties for BALTEK® SB			SB.50	SB.100	SB.150
Apparent nominal density	ASTM C 271	kg/m ³	94	153	247
		lb/ft ³	5.9	9.5	15.4
Compressive strength perpendicular to the plane	ASTM C 365	N/mm ²	6.3	12.9	26.3
		psi	917	1878	3813
Compressive modulus perpendicular to the plane	ASTM C 365	N/mm ²	1993	4005	7982
		psi	289098	580914	1157714
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C 297	N/mm ²	7.4	13.2	23.5
		psi	1073	1920	3413
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C 297	N/mm ²	2200	3570	5759
		psi	319131	517774	835277
Shear strength	ASTM C 273	N/mm ²	1.8	3.0	4.9
		psi	262	433	712
Shear modulus	ASTM C 273	N/mm ²	106	160	309
		psi	15364	23191	44786
Thermal conductivity at room temperature	ASTM C 177	W/m.K	0.048	0.066	0.084
		BTU.in/ft ² .hr.°F	0.331	0.456	0.581
Dimensions	width	mm	609.6	609.6	609.6
		in	24	24	24
	length	mm	1219.2	1219.2	1219.2
		in	48	48	48
	thickness	mm	5 to 100	5 to 100	5 to 100
		in	3/16 to 4	3/16 to 4	3/16 to 4
Contoured	width	mm	609.6	609.6	609.6
		in	24	24	24
	length*	mm	1219.2	1219.2	1219.2
		in	48	48	48
	thickness	mm	5 to 50	5 to 50	5 to 50
		in	3/16 to 2	3/16 to 2	3/16 to 2

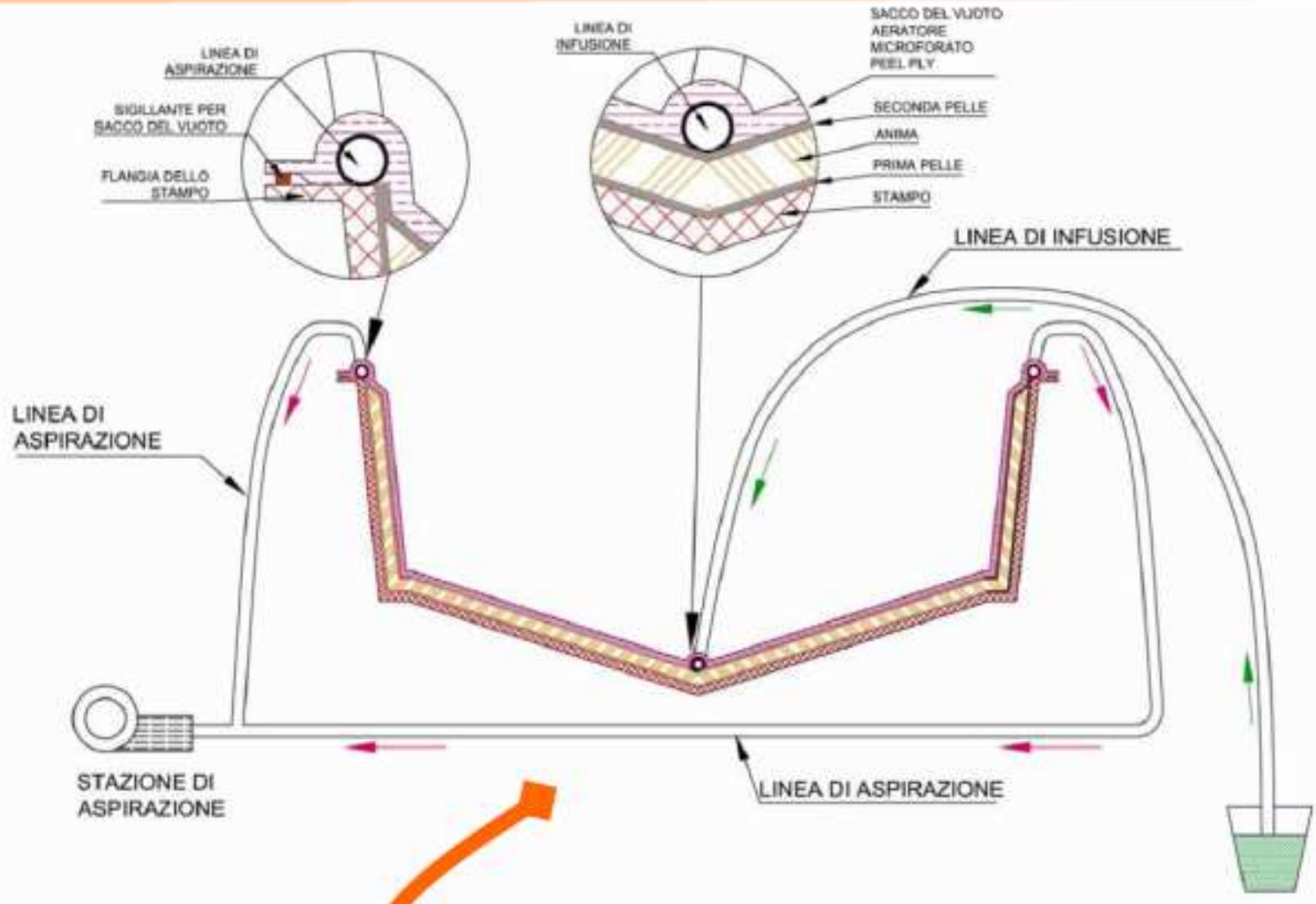
Other dimensions, configurations, and closer tolerances upon request

* over 38mm (1½") sheets are 24" by 24"

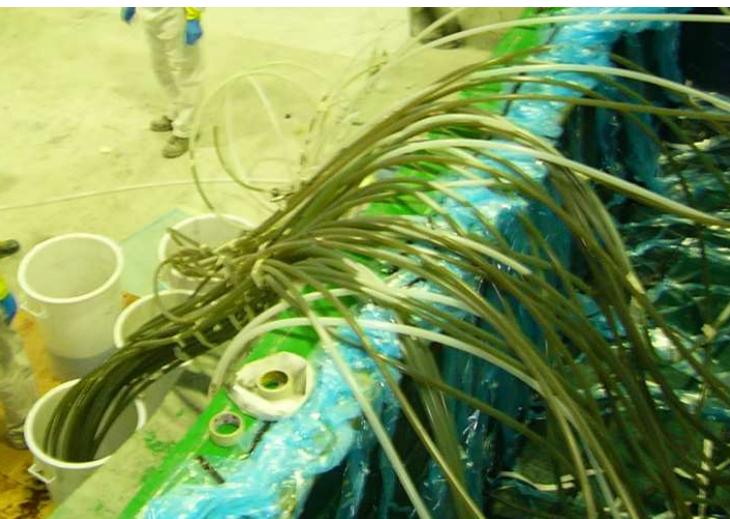




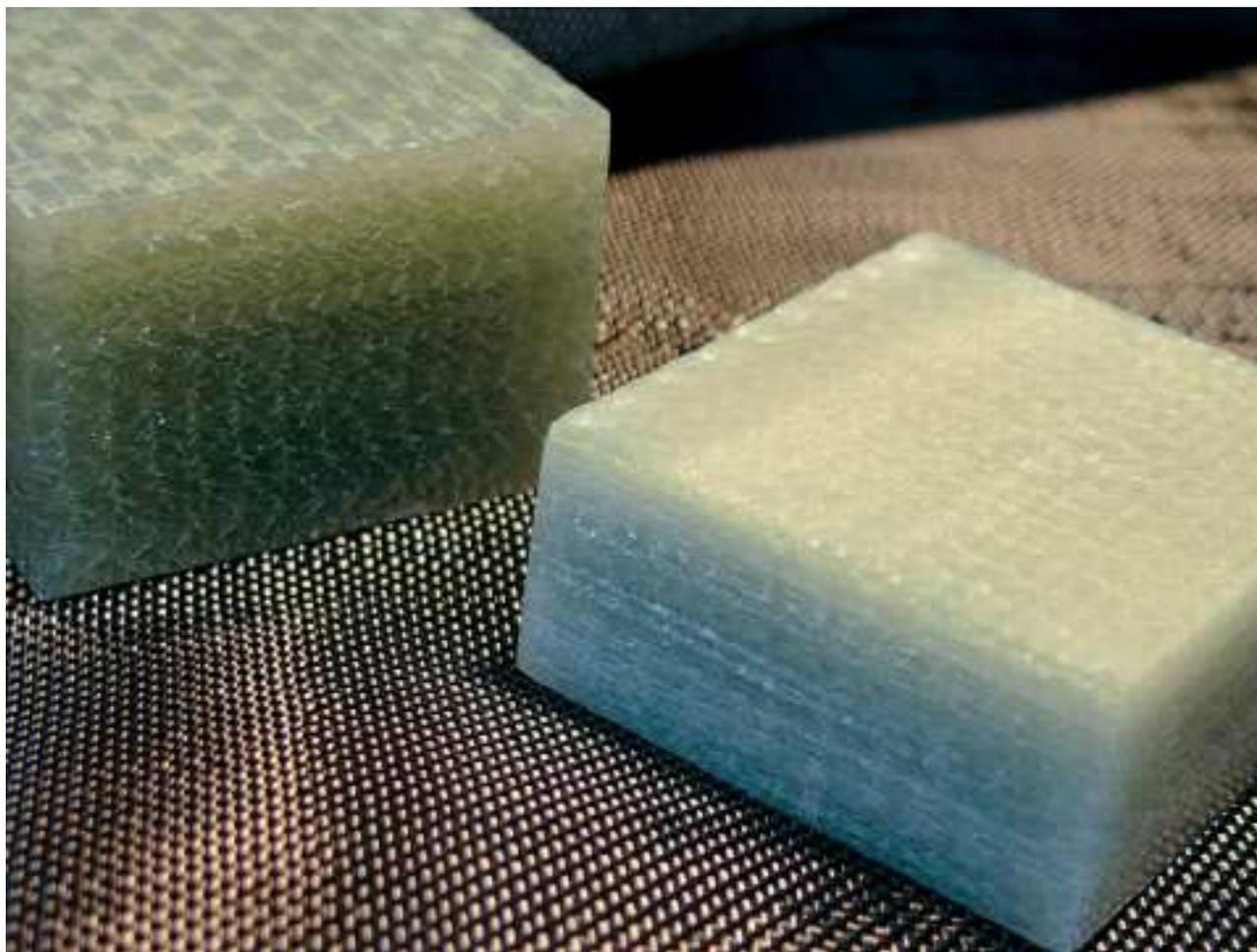
Il processo di infusione



Il processo di infusione e la laminazione manuale



Il processo di infusione e la laminazione manuale



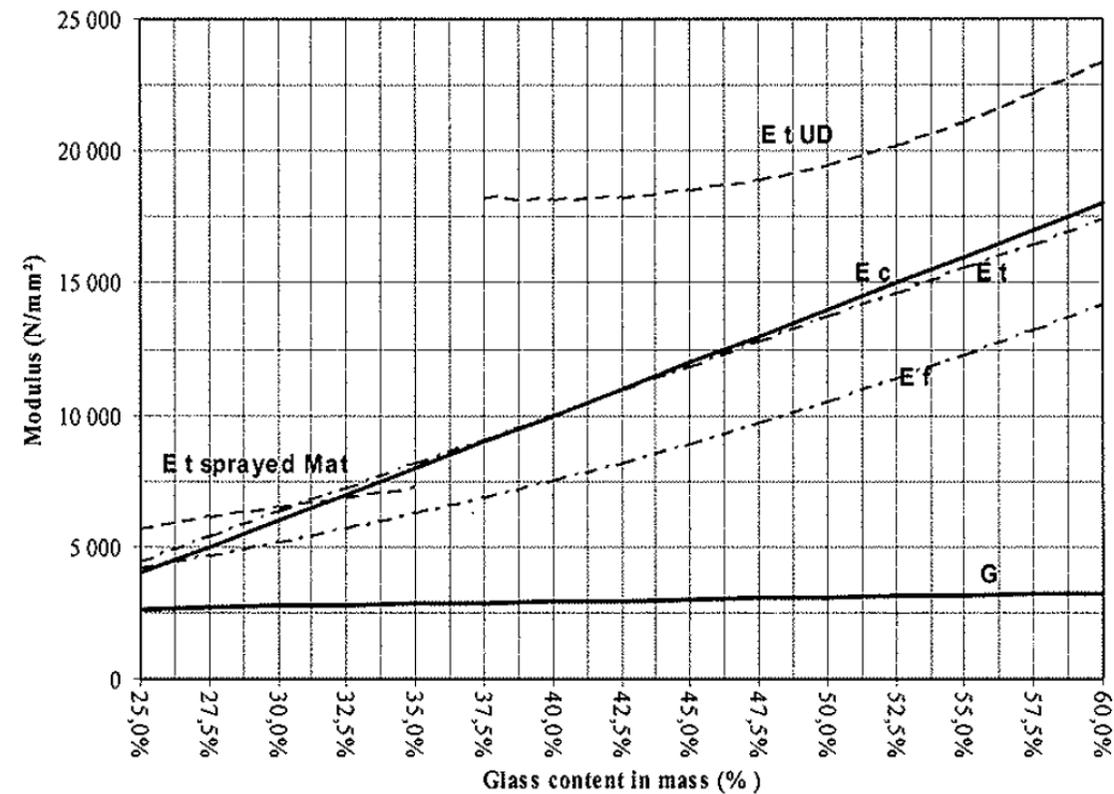
Il composito

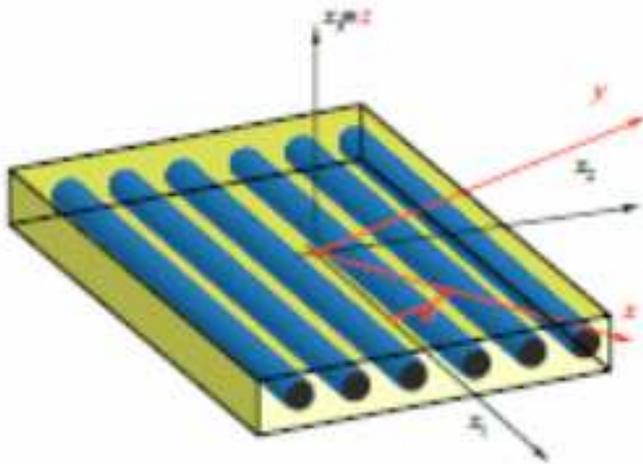
Fibre	Glass E						Kevlar 49 /Aramid					Carbon				
Resin	Polyester/Epoxy						Polyester/Epoxy					Polyester/Epoxy				
Fibre density ρ_f (t/m^3)	2,56						1,45					1,8				
Resin density ρ_r (t/m^3)	1,2						1,2					1,2				
E fibre(N/mm^2)	72 000						135 000					230 000				
Misalignment coeff α				0,330	0,500	0,900				0,50	0,90				0,50	0,90
Fibre content in volume ϕ	Fibre content in mass ψ	thickness/ fibre weight t/Wf mm/kg	Laminate density ρ t/m^3	Mat E Mat N/mm^2	Roving or Eq cross ply E +/- eq N/mm^2	UD Laminate E modulus E_{UD} N/mm^2	Fibre content in mass ψ	thickness/ fibre weight t/Wf mm/kg	Laminate density ρ t/m^3	Roving or Eq cross ply E +/- eq N/mm^2	UD Laminate E modulus E_{UD} N/mm^2	Fibre content in mass ψ	thickness/ fibre w t/Wf mm/kg	Laminate density ρ t/m^3	Roving or Eq cross ply E +/- eq N/mm^2	UD Laminate E modulus E_{UD} N/mm^2
0,10	0,19	3,91	1,34	5 076			0,12	6,90	1,23			0,14	5,56	1,26		
0,12	0,23	3,26	1,36	5 491			0,14	5,75	1,23			0,17	4,63	1,27		
0,14	0,26	2,79	1,39	5 906			0,16	4,93	1,24			0,20	3,97	1,28		
0,16	0,29	2,44	1,42	6 322			0,19	4,31	1,24			0,22	3,47	1,30		
0,18	0,32	2,17	1,44	6 737	8 940	14 124	0,21	3,83	1,25	14 610	24 330	0,25	3,09	1,31	23 160	39 720
0,20	0,35	1,95	1,47	7 152	9 600	15 360	0,23	3,45	1,25	15 900	26 700	0,27	2,78	1,32	25 400	43 800
0,22	0,38	1,78	1,50	7 567	10 260	16 596	0,25	3,13	1,26	17 190	29 070	0,30	2,53	1,33	27 640	47 880
0,24	0,40	1,63	1,53		10 920	17 832	0,28	2,87	1,26	18 480	31 440	0,32	2,31	1,34	29 880	51 960
0,26	0,43	1,50	1,55		11 580	19 068	0,30	2,65	1,27	19 770	33 810	0,35	2,14	1,36	32 120	56 040
0,28	0,45	1,40	1,58		12 240	20 304	0,32	2,46	1,27	21 060	36 180	0,37	1,98	1,37	34 360	60 120
0,30	0,48	1,30	1,61		12 900	21 540	0,34	2,30	1,28	22 350	38 550	0,39	1,85	1,38	36 600	64 200
0,32	0,50	1,22	1,64		13 560	22 776	0,36	2,16	1,28	23 640	40 920	0,41	1,74	1,39	38 840	68 280
0,34	0,52	1,15	1,66		14 220	24 012	0,38	2,03	1,29	24 930	43 290	0,44	1,63	1,40	41 080	72 360
0,36	0,55	1,09	1,69		14 880	25 248	0,40	1,92	1,29	26 220	45 660	0,46	1,54	1,42	43 320	76 440
0,38	0,57	1,03	1,72		15 540	26 484	0,43	1,81	1,30	27 510	48 030	0,48	1,46	1,43	45 560	80 520
0,40	0,59	0,98	1,74		16 200	27 720	0,45	1,72	1,30	28 800	50 400	0,50	1,39	1,44	47 800	84 600
0,42	0,61	0,93	1,77		16 860	28 956	0,47	1,64	1,31	30 090	52 770	0,52	1,32	1,45	50 040	88 680
0,44	0,63	0,89	1,80		17 520	30 192	0,49	1,57	1,31	31 380	55 140	0,54	1,26	1,46	52 280	92 760
0,46	0,65	0,85	1,83		18 180	31 428	0,51	1,50	1,32	32 670	57 510	0,56	1,21	1,48	54 520	96 840
0,48	0,66	0,81	1,85		18 840	32 664	0,53	1,44	1,32	33 960	59 880	0,58	1,16	1,49	56 760	100 920
0,50	0,68	0,78	1,88		19 500	33 900	0,55	1,38	1,33	35 250	62 250	0,60	1,11	1,50	59 000	105 000
0,52	0,70	0,75	1,91		20 160	35 136	0,57	1,33	1,33	36 540	64 620	0,62	1,07	1,51	61 240	109 080

Proprietà meccaniche al variare del Gc

Table C 1 — GRP mechanical properties

Property	Values, (N/mm ²)
Hand laminated Chopped strand mat (CSM), Combi mat/Woven roving, Woven Roving (WR) and Crossplied (CP) – 0/90 reinforcement ^{a)}	
Ultimate tensile strength, σ_{ut}	$1278 \cdot \psi^2 - 510 \psi + 123$
Tensile modulus, E_t	$(37 \cdot \psi - 4,75) \cdot 10^3$
Ultimate flexural strength, σ_{uf}	$502 \cdot \psi^2 + 106,8$
Flexural modulus, E_f	$(33,4 \cdot \psi^2 + 2,2) \cdot 10^3$
Ultimate compressive strength, σ_{uc}	$150 \cdot \psi + 72$
Compressive Modulus, E_c	$(40 \cdot \psi - 6) \cdot 10^3$
Ultimate intra-plane shear strength, τ_u	$80 \cdot \psi + 38$
Intra-plane shear modulus G	$(1,7 \cdot \psi + 2,24) \cdot 10^3$
Sprayed Chopped Strand Mat	
Ultimate tensile strength, σ_{ut}	$150 \cdot \psi + 25$
Tensile modulus, E_t	$(15 \cdot \psi + 2) \cdot 10^3$
Ultimate flexural strength, σ_{uf}	$300 \cdot \psi^2 + 106,8$
Other properties for sprayed CSM shall be obtained from the CSM equations above	
Uni-directional (UD) reinforcement	
Ultimate tensile strength ^{b)} , σ_{ut}	$1800 \cdot \psi^2 - 1400 \cdot \psi + 510$
Tensile modulus, E_t	$(130 \cdot \psi^2 - 104 \cdot \psi + 39) \cdot 10^3$
a) For combi-mat or mixed CSM/WR layups, ψ shall be obtained from paragraph C.2.1.	
b) In the absence of better data, the ultimate compressive strength for UD may be taken as the ultimate tensile strength value	





Le interazioni dei costituenti (matrice = m e fibra = f) sono analizzate nelle due seguenti condizioni teoriche di:

Isodeformazione (molle in parallelo)

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m$$

$$V_{12} = V_m V_m + V_f V_f$$

(da cui le medie pesate sulle frazioni volumetriche V ovvero le REGOLE DELLE MISCELE basate sulla **proporzionalità** come tipicamente avviene per il calcolo della densità del composito);

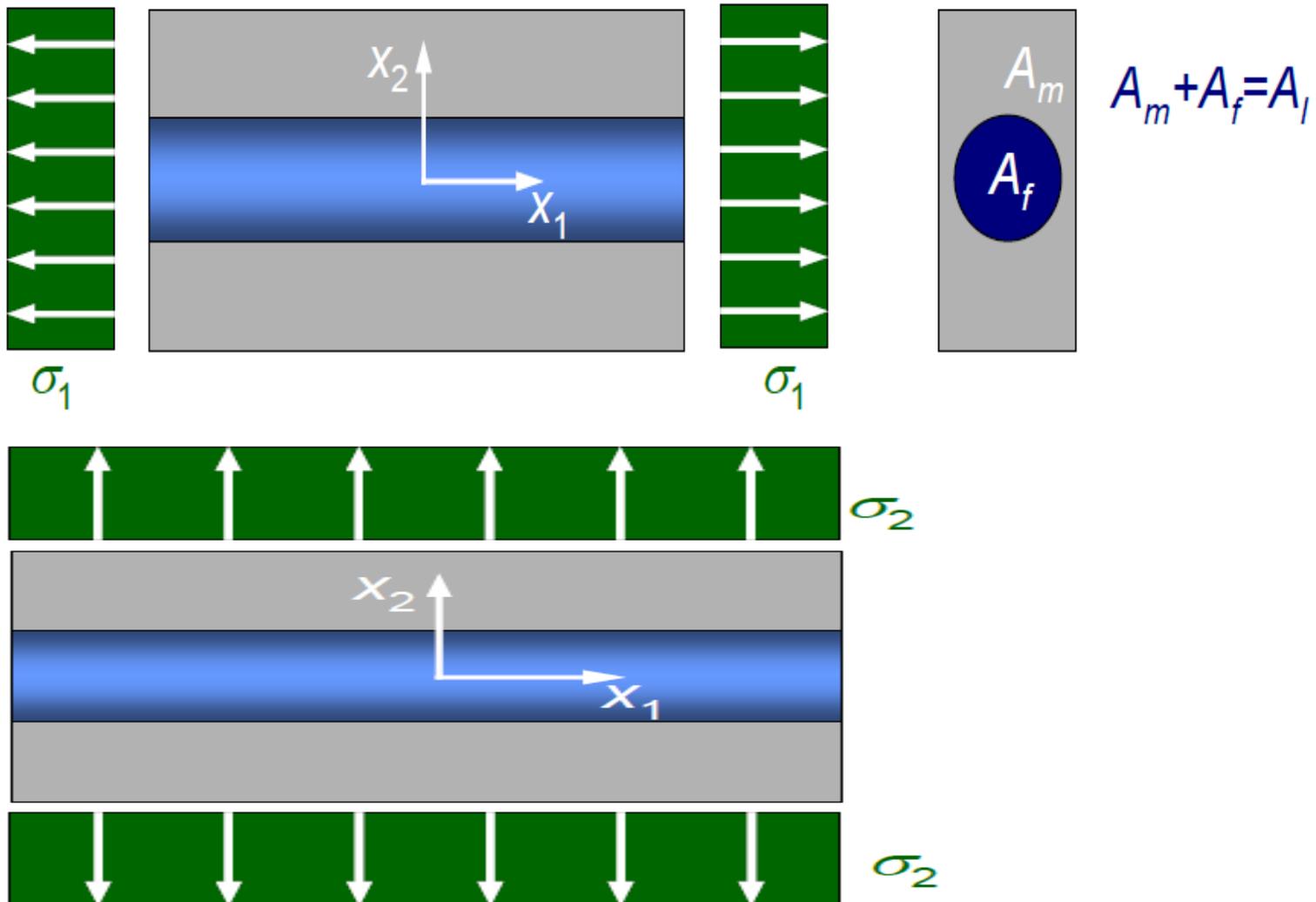
Isosforzo (molle in serie)

$$E_2 = \frac{E_m E_f}{V_f E_m + V_m E_f}$$

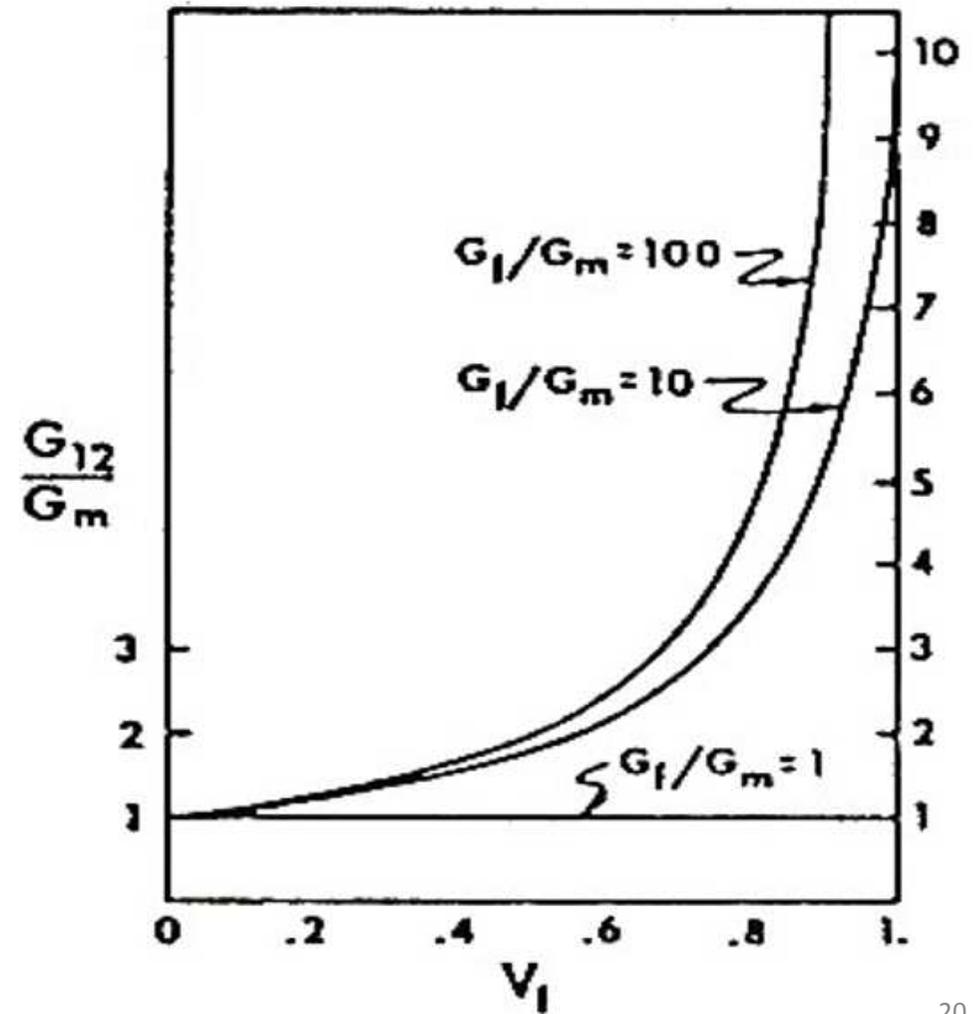
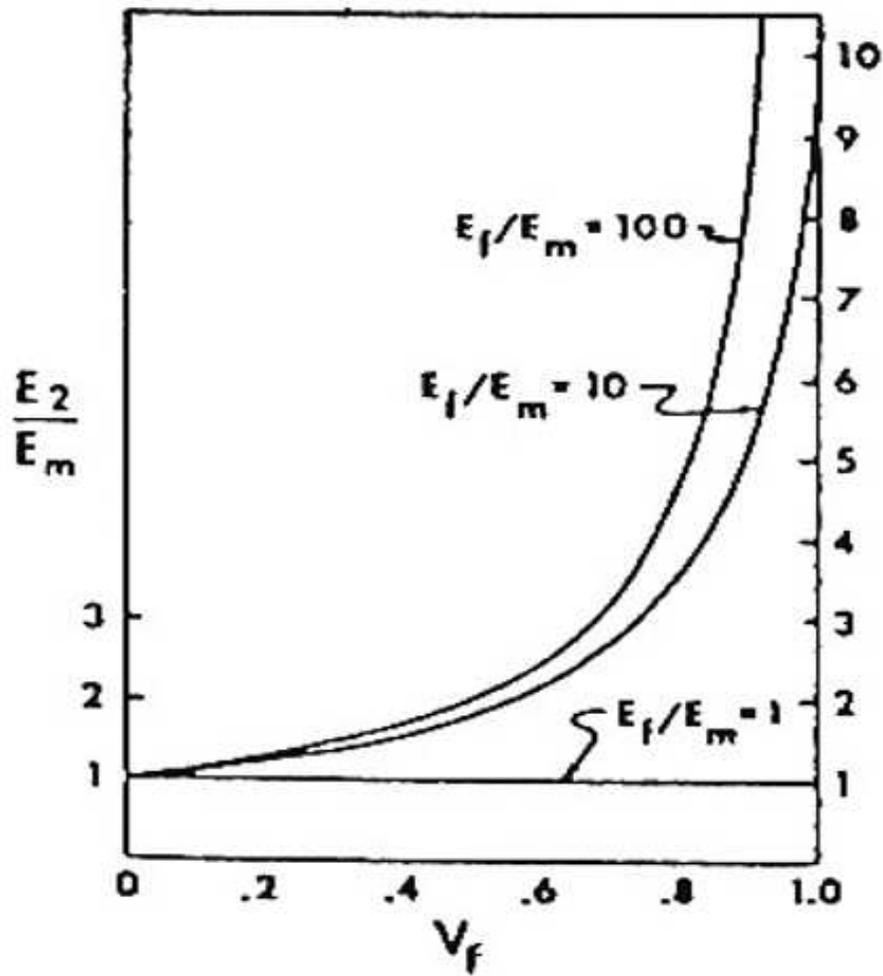
$$G_{12} = \frac{G_m G_f}{V_m G_f + V_f G_m}$$

nelle quali le rigidità trasversale E_2 ed al taglio G_{12} non sono lineari rispetto alla frazione volumetrica V_f delle fibre.

Ipotesi teoriche fondamentali

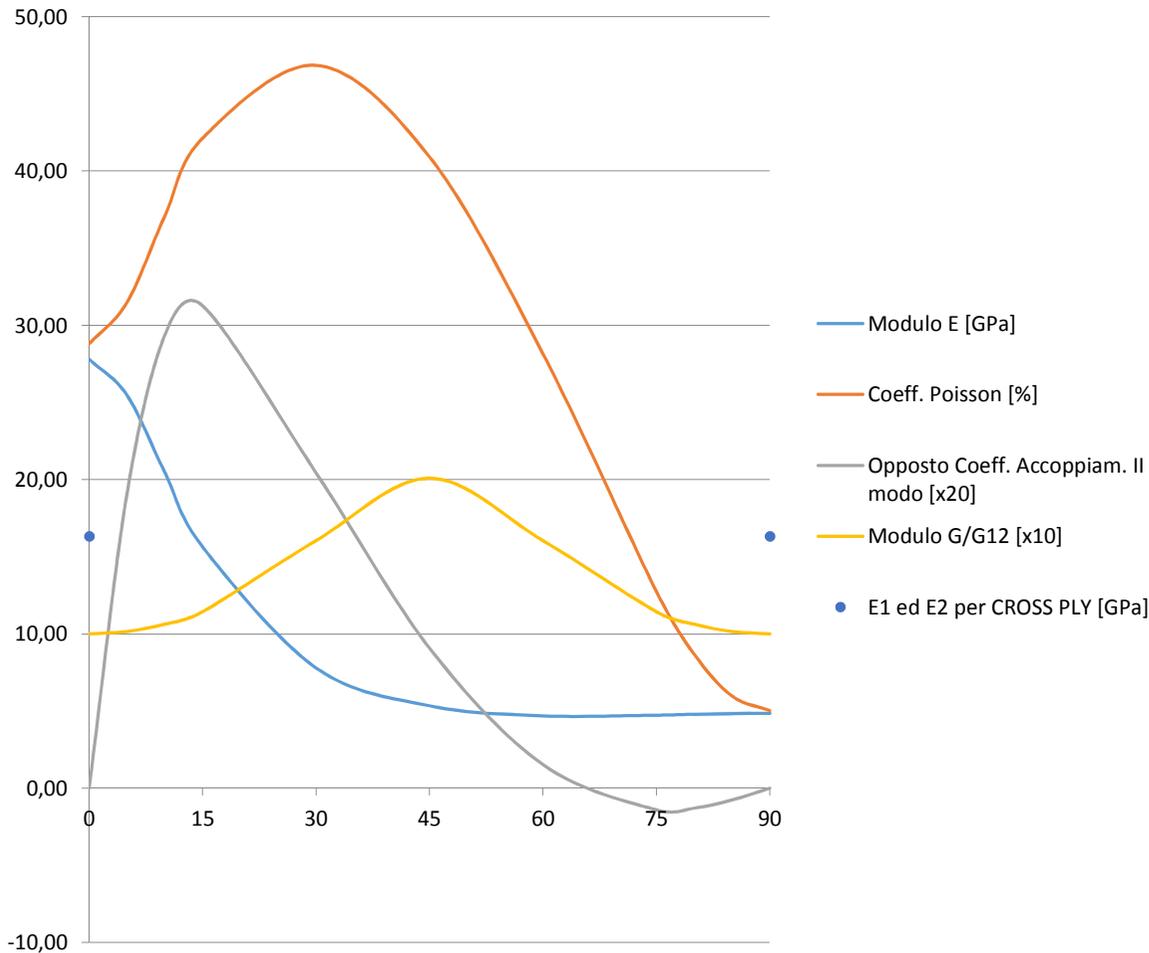


Modulo lineare trasversale e Modulo tangenziale

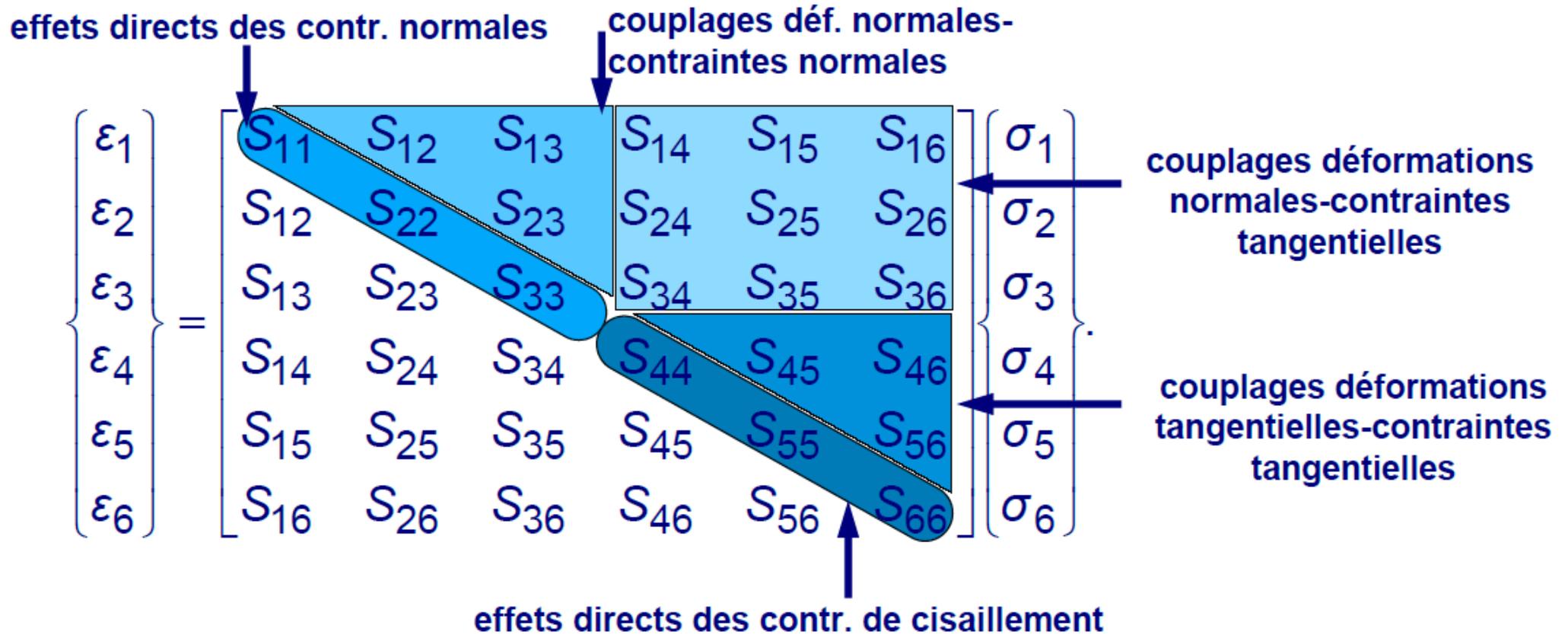


Moduli tecnici fuori asse

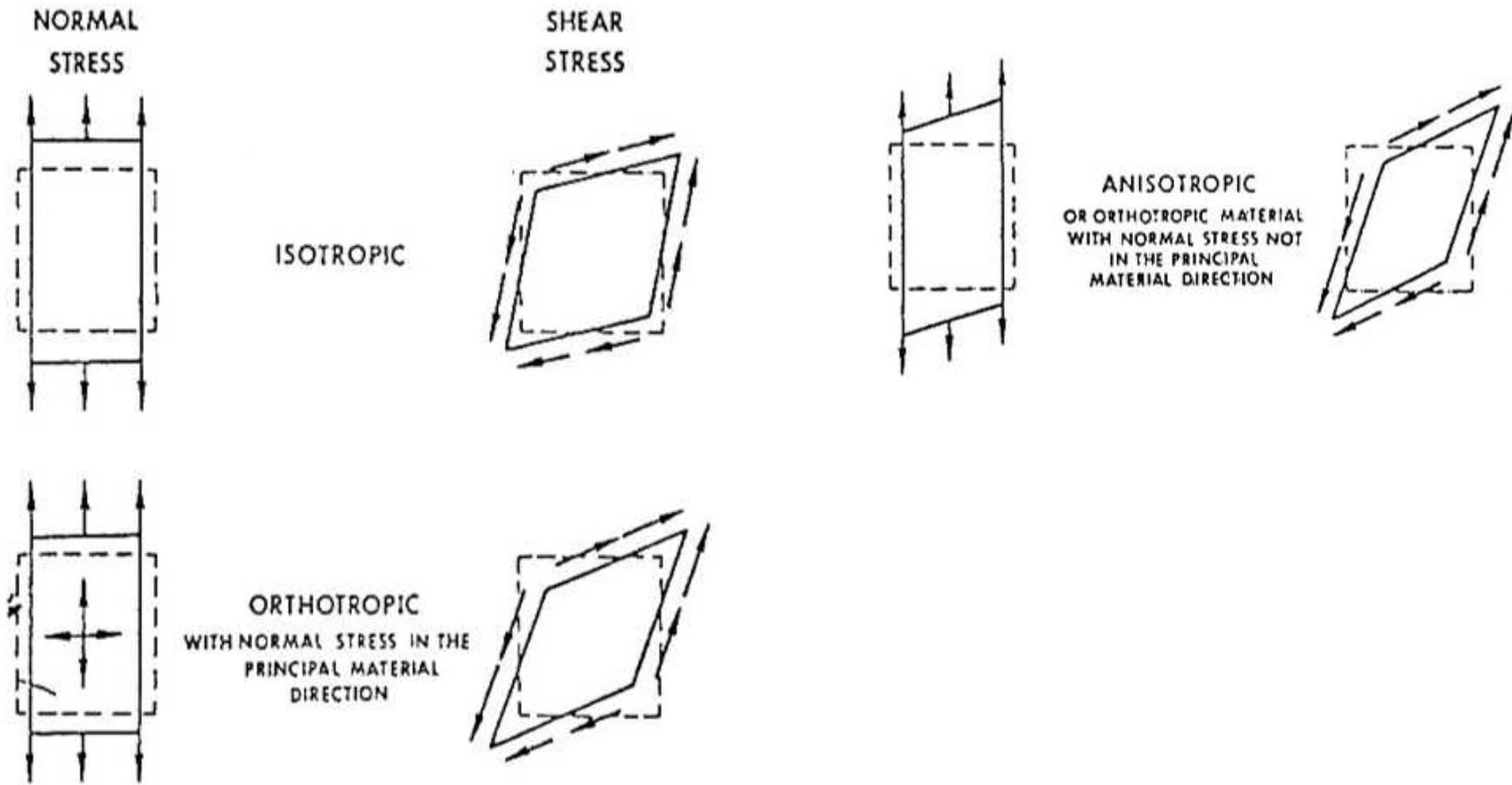
File: moduli tecnici



MICROMECCANICA DELLA LAMINA UNIDIREZIONALE					
Omogeneizzazione del composito eterogeneo a lamina continua: costanti ingegneristiche per lo stato tensionale piano					
COMPOSIZIONE FIBRA-MATRICE					
Frazione volumetrica di fibra	V_f	0,4	ad		
Frazione volumetrica di matrice	V_m	0,6	ad	COMPLEMENTO FRAZIONE FIBRA	
COSTANTI ELASTICHE DELLE FASI ISOTROPE					
Modulo lineare (Young) della fibra	E_f	65	GPa		
Modulo lineare (Young) della matrice	E_m	3	GPa		
Coefficiente di contrazione laterale (Poisson) della fibra	ν_f	0,3	ad		
Coefficiente di contrazione laterale (Poisson) della matrice	ν_m	0,28	ad		
Modulo tangenziale (Coulomb) della fibra	G_f	25,000	GPa	IPOTESI DI ISOTROPIA FIBRA	
Modulo tangenziale (Coulomb) della matrice	G_m	1,172	GPa	IPOTESI DI ISOTROPIA MATRICE	
COSTANTI INGEGNERISTICHE NELLE DIREZIONI NATURALI 1-2 (Longitudinale-Trasversale)					
Modulo (Young) longitudinale	E_1	27,800	GPa	IPOTESI DI ISODEFORMAZIONE	
Modulo (Young) trasversale	E_2	4,851	GPa	IPOTESI DI ISOSFORZO	
Coefficiente di contrazione (Poisson) longitudinale-trasversale	ν_{12}	0,288	ad	IPOTESI DI ISODEFORMAZIONE	
Modulo tangenziale (Coulomb)	G_{12}	1,894	GPa	IPOTESI DI ISOSFORZO	
Coefficiente di contrazione (Poisson) trasversale-longitudinale	ν_{21}	0,050	ad	SIMMETRIA DELLE CEDEVOLEZZE	



Ortotropia (anisotropia ortogonale)



$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix}$$

Rigidezza:
il caso ortotropo in asse

$$E_2 = E_3 \quad \nu_{12} = \nu_{13} \quad G_{12} = G_{13}$$

$$G_{23} = E_2 / [2(1 + \nu_{23})]$$

Il caso ortotropo:
introduzione dell'isotropia
trasversale sul piano 2-3

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad [\mathcal{T}] = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sin^2\theta & 0 & 0 & 0 & 2\sin\theta\cos\theta \\ \sin^2\theta & \cos^2\theta & 0 & 0 & 0 & -2\sin\theta\cos\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -\sin\theta\cos\theta & \sin\theta\cos\theta & 0 & 0 & 0 & \cos^2\theta - \sin^2\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{11} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{12} & S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(S_{11} - S_{12}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11} - S_{12}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{11} - S_{12}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix}$$

- Il materiale isotropo lineare elastico
- 2 costanti indipendenti (Young e Poisson)

Le **restrizioni** alle costanti ingegneristiche nel caso ortotropo sono più complesse di quelle del caso isotropo benché originate dalle stesse considerazioni termodinamiche sulla positività del lavoro elastico. In particolare, sia un'azione di taglio che una pressione idrostatica su di un materiale **isotropo** non possono produrre energie negative, dunque con $E > 0$, ponendo:

$$\text{modulo tangenziale } G > 0 \quad \text{e} \quad \text{modulo di massa } B = \frac{3(1-2\nu)}{E} > 0$$

segue:

$$-1 < \nu < \frac{1}{2}$$

Per il caso ortotropo, contemporaneamente alla condizione di simmetria delle cedevolezza, per la positività imposta ai termini della diagonale principale della matrice rigidezza, valgono le restrizioni:

$$|\nu_{12}| < \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}$$

$$|\nu_{21}| < \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}$$

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{12}}{E_1} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix}, \quad [Q] = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & \frac{\nu_{12}E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ \frac{\nu_{12}E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & \frac{E_2}{1-\nu_{12}\nu_{21}} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix}.$$

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2(1+\nu)}{E} \end{bmatrix}, \quad [Q] = \begin{bmatrix} \frac{E}{1-\nu^2} & \frac{\nu E}{1-\nu^2} & 0 \\ \frac{\nu E}{1-\nu^2} & \frac{E}{1-\nu^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} \end{bmatrix}.$$

- Il materiale ortotropo lineare elastico
- 4 costanti indipendenti (Young longitudinale, Young trasversale, Poisson, Coulomb)

$$\begin{aligned}
 E_x &= \left(c^4 \frac{1}{E_1} \quad -2sc^3 \frac{\eta_{121}}{E_1} \quad -2s^2c^2 \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad +s^2c^2 \frac{1}{4G_{12}} \quad -2s^3c \frac{\eta_{122}}{E_2} \quad +s^4 \frac{1}{E_2} \right)^{-1} \\
 \eta_{xy,x} &= \left(-2sc^3 \frac{1}{E_1} + (c^4 - 3s^2c^2) \frac{\eta_{121}}{E_1} + 2(s^3c - sc^3) \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad -(s^3c - sc^3) \frac{1}{4G_{12}} \quad + (3s^2c^2 - s^4) \frac{\eta_{122}}{E_2} + 2s^3c \frac{1}{E_2} \right) E_x \\
 \nu_{xy} &= \left(s^2c^2 \frac{1}{E_1} - (sc^3 - s^3c) \frac{\eta_{121}}{E_1} \quad -(c^4 + s^4) \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad -s^2c^2 \frac{1}{4G_{12}} \quad -(s^3c - sc^3) \frac{\eta_{122}}{E_2} + s^2c^2 \frac{1}{E_2} \right) E_x \\
 G_{xy} &= \left(4s^2c^2 \frac{1}{E_1} - 4(sc^3 - s^3c) \frac{\eta_{121}}{E_1} \quad -8s^2c^2 \frac{\nu_{12}}{E_1} + (c^4 + s^4 - 2s^2c^2) \frac{1}{4G_{12}} \quad -4(s^3c - sc^3) \frac{\eta_{122}}{E_2} + 4s^2c^2 \frac{1}{E_2} \right)^{-1} \\
 \eta_{xy,y} &= \left(-2s^3c \frac{1}{E_1} + (3s^2c^2 - s^4) \frac{\eta_{121}}{E_1} + 2(sc^3 - s^3c) \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad -(sc^3 - s^3c) \frac{1}{4G_{12}} \quad + (c^4 - 3s^2c^2) \frac{\eta_{122}}{E_2} + 2sc^3 \frac{1}{E_2} \right) E_y \\
 E_y &= \left(s^4 \frac{1}{E_1} \quad -2s^3c \frac{\eta_{121}}{E_1} \quad -2s^2c^2 \frac{\nu_{12}}{E_1} \quad +s^2c^2 \frac{1}{4G_{12}} \quad -2sc^3 \frac{\eta_{122}}{E_2} \quad +c^4 \frac{1}{E_2} \right)^{-1}
 \end{aligned}$$

- **Carbone-époxyde T300/5208 Vf=0.7:** orthotrope (source: Tsai et Hahn).

$$[Q] = \begin{bmatrix} 181.8 & 2.89 & 0 \\ 2.89 & 10.35 & 0 \\ 0 & 0 & 7.17 \end{bmatrix} \text{ GPa.}$$

$$E_1 = 181 \text{ GPa}, E_2 = 10.3 \text{ GPa}, G_{12} = 7.17 \text{ GPa},$$

$$\nu_{12} = 0.28, \eta_{1,12} = \eta_{2,12} = 0.$$

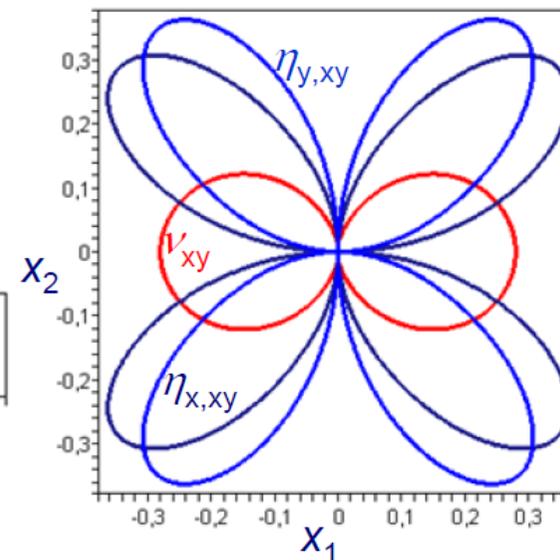
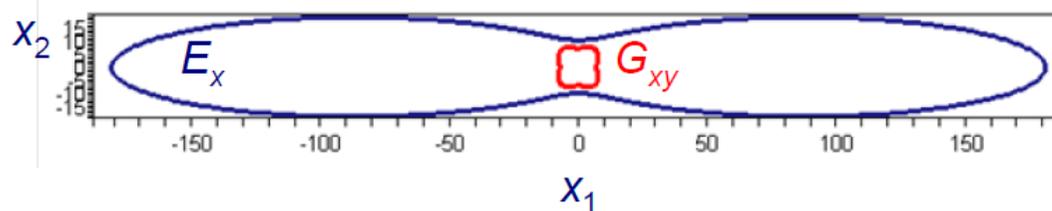
$$U_1 = 76.36 \text{ GPa}, U_2 = 85.72 \text{ GPa}, U_3 = 19.71 \text{ GPa},$$

$$U_4 = 22.60 \text{ GPa}, U_5 = 26.88 \text{ GPa}, U_6 = U_7 = 0.$$

$$T_0 = 26.88 \text{ GPa}, T_1 = 24.74 \text{ GPa}, R_0 = 19.71 \text{ GPa},$$

$$R_1 = 21.43 \text{ GPa}, \Phi_0 = 0^\circ, \Phi_1 = 0^\circ.$$

- Diagrammes directionnels



■ **Verre-époxyde avec renfort en tissu: orthotrope (source: Jones).**

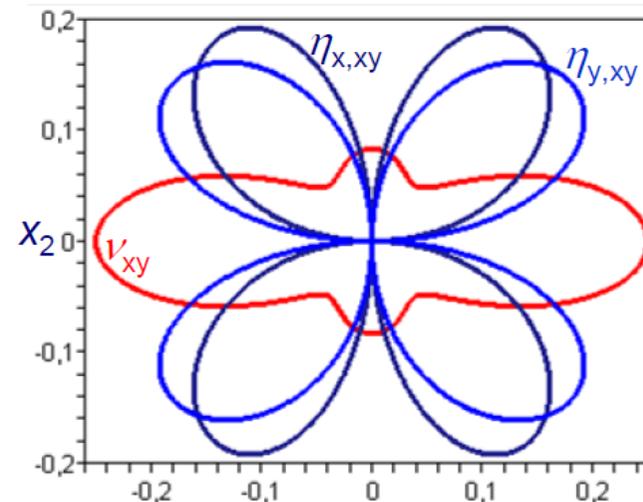
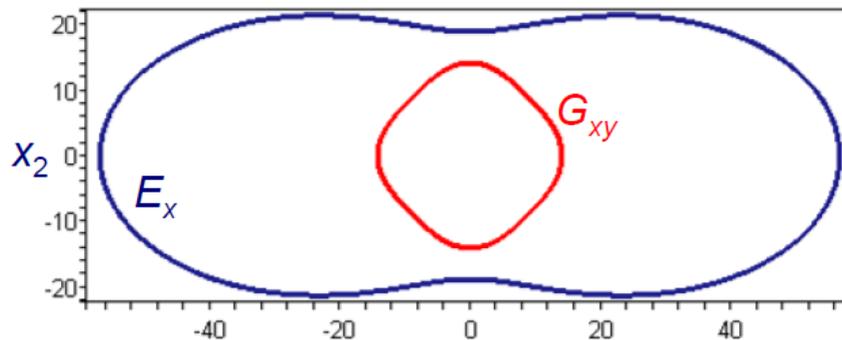
$$[Q] = \begin{bmatrix} 58 & 4.82 & 0 \\ 4.82 & 19.3 & 0 \\ 0 & 0 & 14.14 \end{bmatrix} \text{ GPa.}$$

$$E_1=56.8 \text{ GPa}, E_2= 18.9 \text{ GPa}, G_{12}=14.14 \text{ GPa}, \\ \nu_{12}=0.25, \eta_{1,12}=\eta_{2,12}=0.$$

$$U_1=37.26 \text{ GPa}, U_2=19.35 \text{ GPa}, U_3=1.39 \text{ GPa}, \\ U_4=6.21 \text{ GPa}, U_5=15.52 \text{ GPa}, U_6=U_7=0.$$

$$T_0=15.53 \text{ GPa}, T_1= 10.87 \text{ GPa}, R_0= 1.38 \text{ GPa}, \\ R_1= 4.84 \text{ GPa}, \Phi_0=0^\circ, \Phi_1=0^\circ.$$

■ **Diagrammes directionnels**



- **Verre-époxyde avec renfort en tissu équilibré**: orthotrope cubique (symétrie du carré; source: Tsai et Hahn).

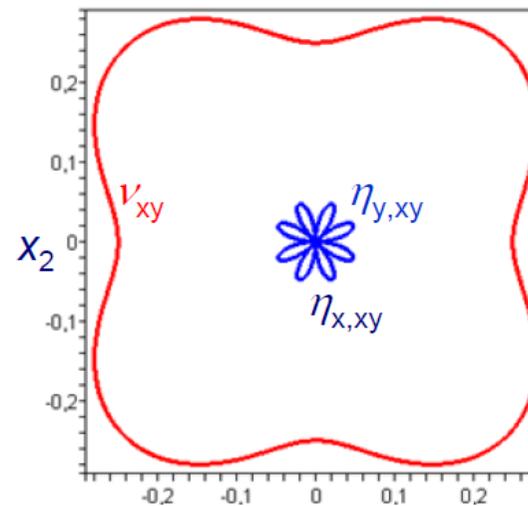
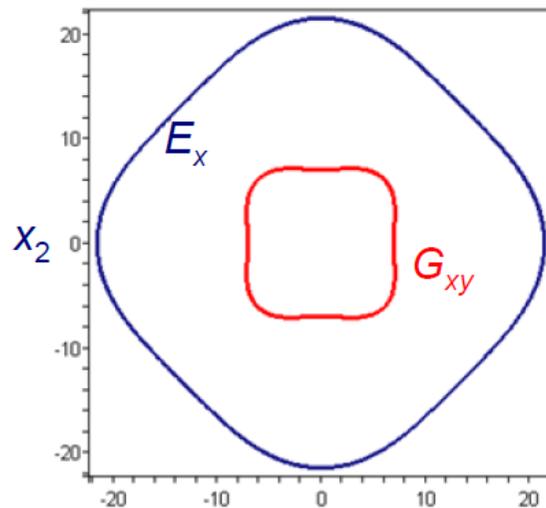
$$[Q] = \begin{bmatrix} 22.93 & 5.73 & 0 \\ 5.73 & 22.93 & 0 \\ 0 & 0 & 7 \end{bmatrix} \text{ GPa.}$$

$$E_1 = E_2 = 21.5 \text{ GPa}, G_{12} = 7 \text{ GPa}, \nu_{12} = 0.25, \eta_{1,12} = \eta_{2,12} = 0.$$

$$U_1 = 22.13 \text{ GPa}, U_2 = 0 \text{ GPa}, U_3 = 0.8 \text{ GPa}, U_4 = 6.53 \text{ GPa}, U_5 = 7.80 \text{ GPa}, U_6 = U_7 = 0.$$

- Diagrammes directionnels

$$T_0 = 7.8 \text{ GPa}, T_1 = 7.17 \text{ GPa}, R_0 = 0.8 \text{ GPa}, R_1 = 0, \Phi_0 = 0^\circ, \Phi_1 = 0^\circ.$$





Il report delle prove

PAN 01 (monolitico)

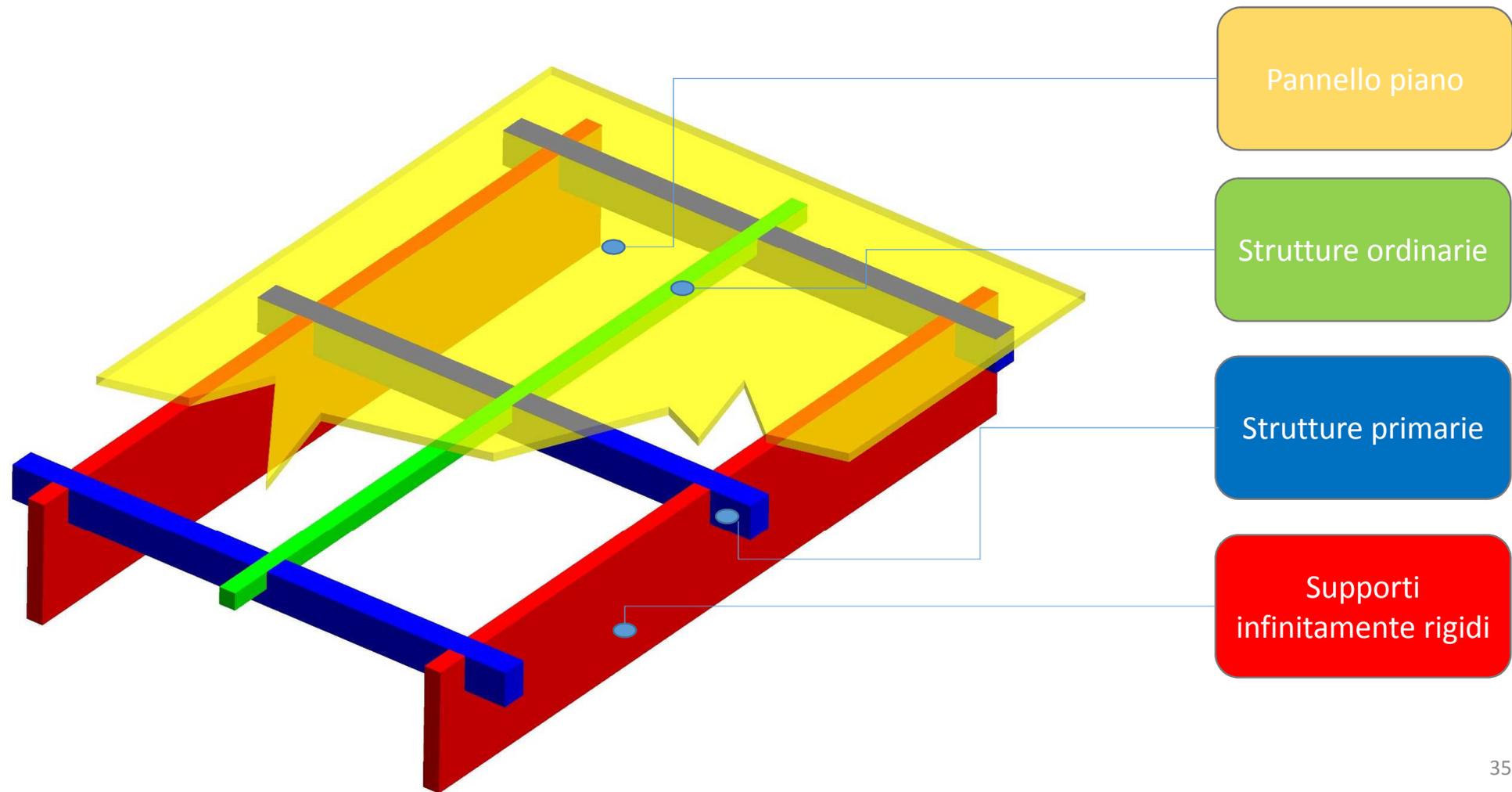
Thickness	12,6mm						
Fiber Content	53,28%						
Water absorption	0,09%						
	<i>Resistenza a traz. R^t (MPa)</i>	<i>Modulo a traz. E^t (GPa)</i>	<i>Resistenza a comp. R^c (MPa)</i>	<i>Modulo a comp. E^c (GPa)</i>	<i>Resistenza a flex. R^f (MPa)</i>	<i>Modulo a flex. E^f (GPa)</i>	<i>Resistenza a taglio R₃₁ (MPa)</i>
Campioni prelevati a 0	284	18,22	288	16,78	418	15,00	38,0
Campioni prelevati a 90	173	14,70	193	14,05	293	11,26	29,7
Valori di rif. RINA	214,1	14,96	151,9	15,31	249,5	11,68	17,0

PAN 02 (monolitico)

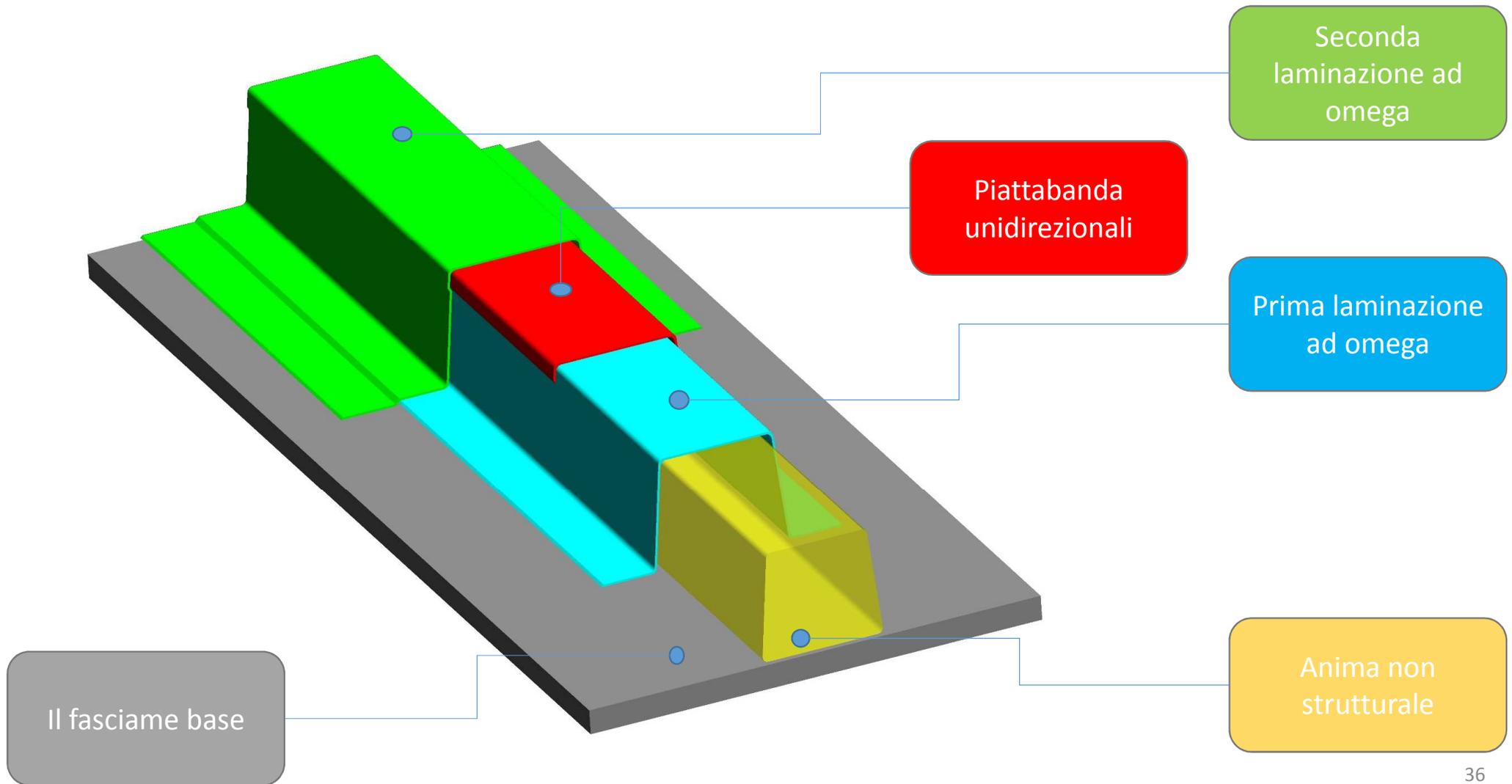
Thickness	6,5mm						
Fiber Content	73,69%						
Water absorption	0,10%						
	<i>Resistenza a traz. R^t (MPa)</i>	<i>Modulo a traz. E^t (GPa)</i>	<i>Resistenza a comp. R^c (MPa)</i>	<i>Modulo a comp. E^c (GPa)</i>	<i>Resistenza a flex. R^f (MPa)</i>	<i>Modulo a flex. E^f (GPa)</i>	<i>Resistenza a taglio R₃₁ (MPa)</i>
Campioni prelevati a 0	383	26,24	404	26,99	538	21,41	41,9
Campioni prelevati a 90	299	19,62	264	16,81	395	16,80	34,5
Valori di rif. RINA	441,2	22,52	182,5	23,48	379,6	20,34	17,0



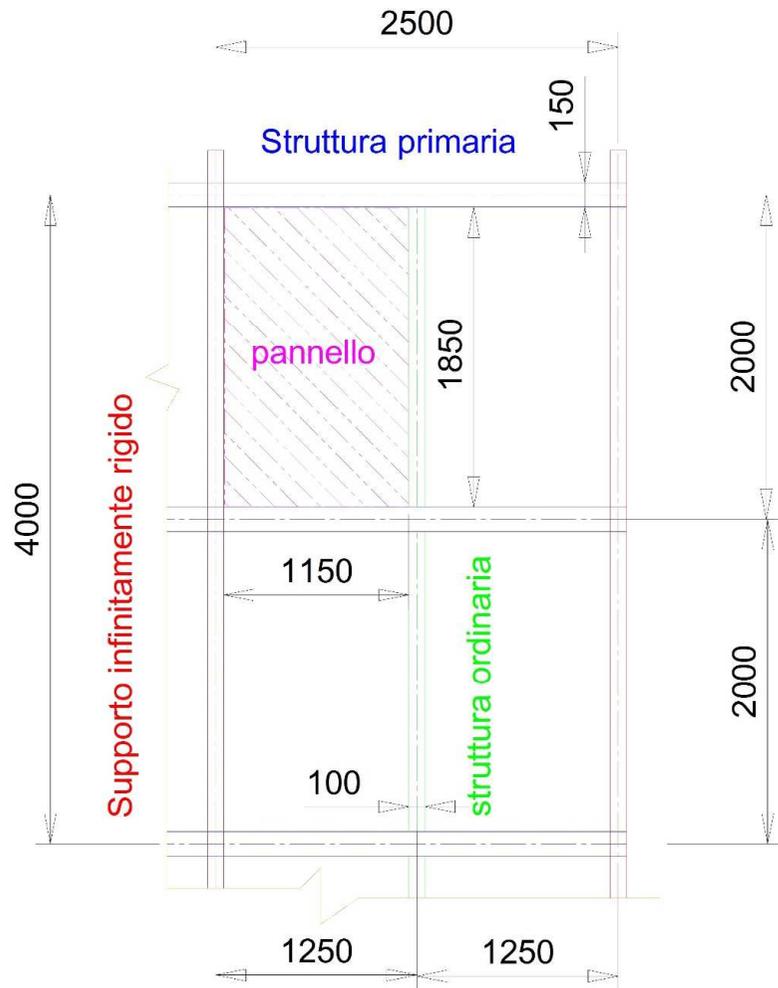
Pannello piano strutturato



Il corrente ordinario



Pannello piano strutturato



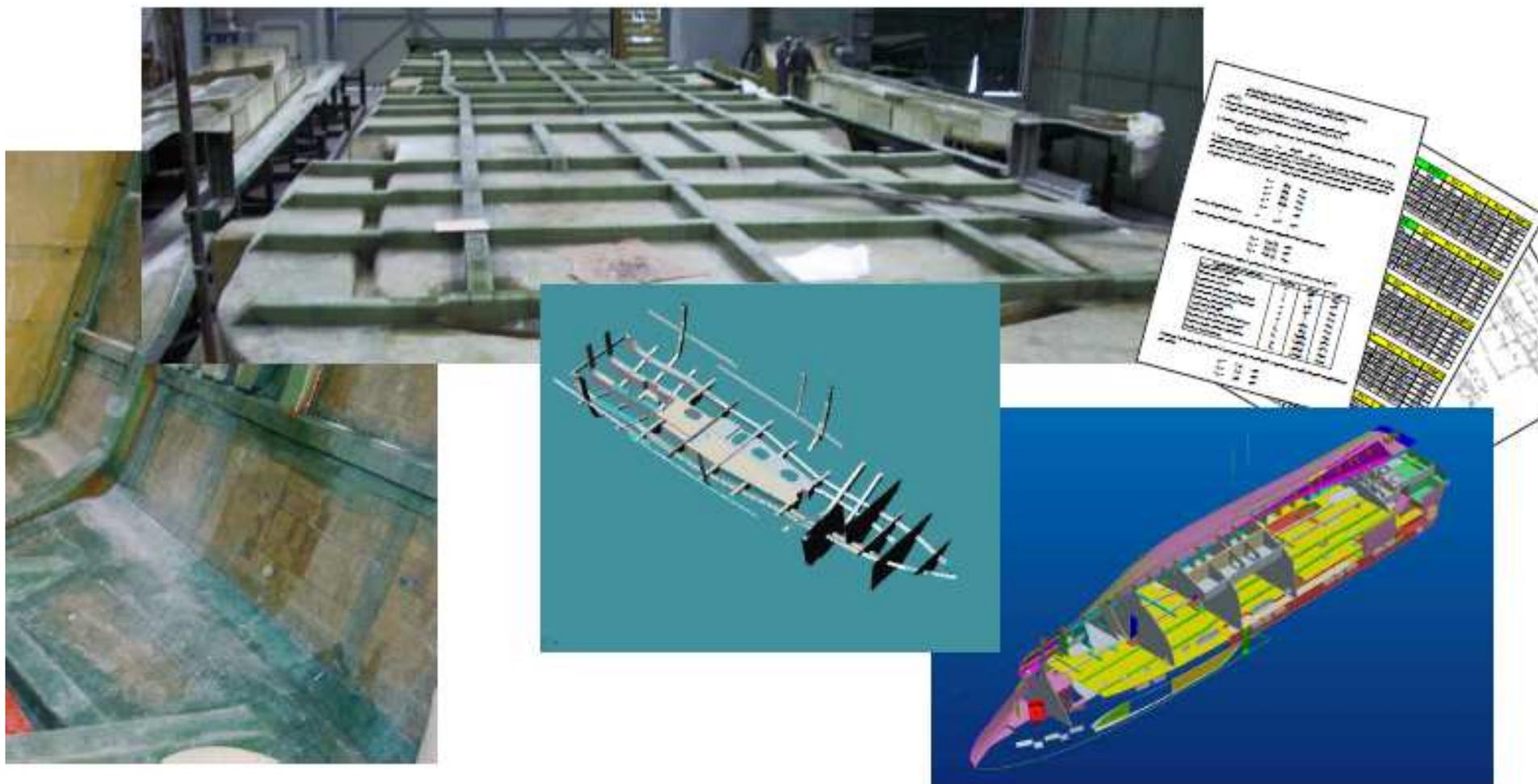
Struttura primaria
 $s = 4/2 = 2 \text{ m}$
 $l = 2.5 \text{ m}$

struttura ordinaria
 $s = 2.5 / 2 = 1.25 \text{ m}$
 $l = 2 \text{ m}$

pannello
 $s = 1.15 \text{ m}$
 $l = 1.85 \text{ m}$

Pannello piano sottoposto a carico uniformemente distribuito di 5000 N/m^2 .

Il modello strutturale: costruzioni navali



Risoluzione del pannello piano monolitico

Rectangular plate, all edges fixed			REV.1	Modificato polinomio interpolatore per coeff spessore
Geometria del pannello				
lato lungo	a	1850mm	Massima deformazione	y 10,5
lato corto	b	1150mm		
spessore	t	10mm		
area pannello	A	2,1275m ²		
Carichi				
pressione uniforme	q	5,00E-03N/mm ² 510Kg/m ² 1084Kg	Plate 18,4	Membrana 10,5
Materiale				
Modulo	E	12000N/mm ²		
sigma max (centro lato lungo)		-31 N/mm²		
sigma (centro pannello)		15 N/mm²		
fattore aspetto	a/b	1,61		

Rectangular plate, all edges fixed			REV.1	Modificato polinomio interpolatore per coeff spessore
Geometria del pannello				
lato lungo	a	1850mm	Massima deformazione	y 8,2
lato corto	b	1150mm		
spessore	t	10mm		
area pannello	A	2,1275m ²		
Carichi				
pressione uniforme	q	5,00E-03N/mm ² 510Kg/m ² 1084Kg	Plate 12,3	Membrana 8,2
Materiale				
Modulo	E	18000N/mm ²		
sigma max (centro lato lungo)		-31 N/mm²		
sigma (centro pannello)		15 N/mm²		
fattore aspetto	a/b	1,61		

File: Pannello monolitico

Risoluzione del pannello piano monolitico

Rectangular plate, all edges fixed			REV.1	Modificato polinomio interpolatore per coeff spessore
Geometria del pannello				
lato lungo	a	1850mm	Massima deformazione	y
lato corto	b	1150mm		
spessore	t	10mm		
area pannello	A	2,1275m ²		
Carichi				
pressione uniforme	q	5,00E-03N/mm ² 510Kg/m ²	Plate	18,4
			Membrana	10,5
Materiale				
Modulo	E	12000N/mm ²		
sigma max (centro lato lungo)		-31 N/mm²		
sigma (centro pannello)		15 N/mm²		
fattore aspetto	a/b	1,61		

Rectangular plate, all edges fixed			REV.1	Modificato polinomio interpolatore per coeff spessore
Geometria del pannello				
lato lungo	a	1850mm	Massima deformazione	y
lato corto	b	1150mm		
spessore	t	11,7mm		
area pannello	A	2,275m ²		
Carichi				
pressione uniforme	q	5,00E-03N/mm ² 510Kg/m ²	Plate	11,5
			Membrana	8,2
Materiale				
Modulo	E	12000N/mm ²		
sigma max (centro lato lungo)		-23 N/mm²		
sigma (centro pannello)		11 N/mm²		
fattore aspetto	a/b	1,61		

Risoluzione del pannello sandwich

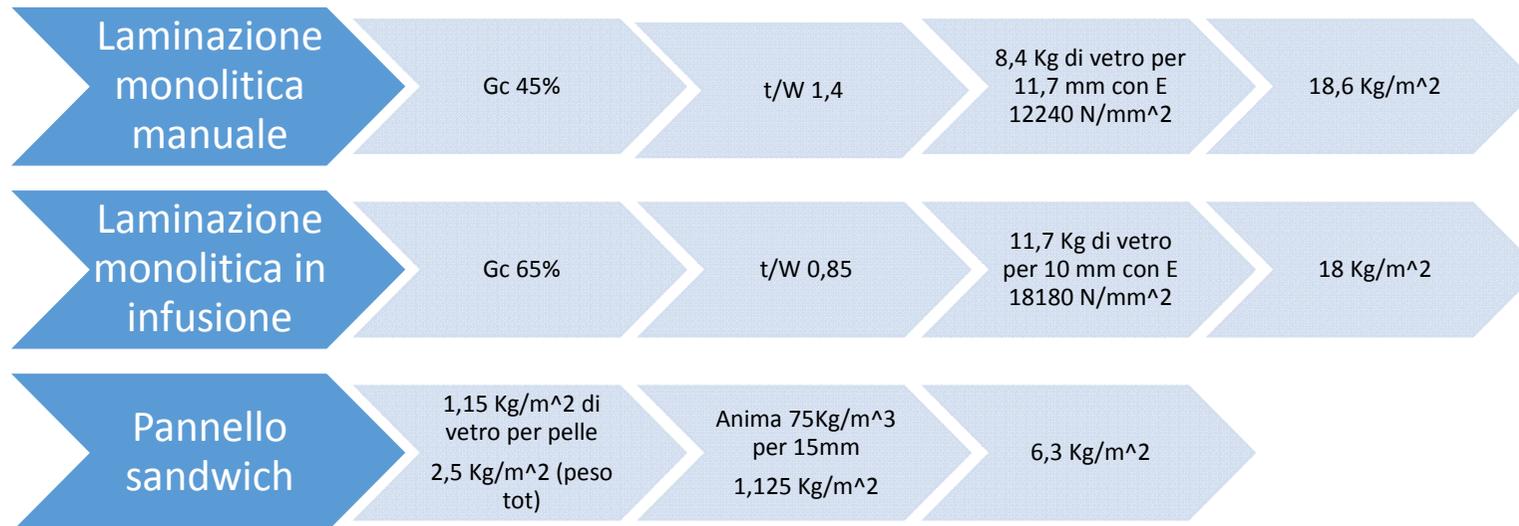
sigma n	11[N/mm ²]	massimo sforzo a trazione della pelle esterna in lato lungo
sigma n	20[N/mm ²]	massimo sforzo a trazione della pelle esterna in lato corto
sigma n	11[N/mm ²]	massimo sforzo a trazione della pelle interna in lato lungo
sigma n	20[N/mm ²]	massimo sforzo a trazione della pelle interna in lato corto
p	5[KN/m ²]	pressione di carico
b	1,15[m]	lato corto del pannello
a	1,85[m]	lato lungo del pannello
b/a	0,62[-]	fattore di aspetto
W	24[mm ³ /mm]	modulo a flessione del pannello
ni1	0,32	poisson pelle esterna
ni2	0,32	poisson pelle interna
t1 (out)	1,6 [mm]	spessore pelle esterna (1)
tc* (anima)	15 [mm]	spessore anima
t2 (in)	1,6 [mm]	spessore pelle interna (2)

I1nn	111[mm ⁴ /mm]	inerzia per 1 mm di larghezza, trasportata all'asse neutro
I2nn	111[mm ⁴ /mm]	inerzia per 1 mm di larghezza, trasportata all'asse neutro
I	221[mm ⁴ /mm]	inerzia del sw per mm di larghezza
C1	0,89	appoggiato?
C8	0,27	appoggiato?
tau c	0,15[N/mm ²]	massimo sforzo di taglio dell'anima (lato lungo)
tau c	0,13[N/mm ²]	massimo sforzo di taglio dell'anima (lato corto)
w	8,2 [mm]	freccia massima
E1	12000	
E2	12000	
ni (medio)	0,32	
Gc	30	modulo a taglio
Local skin buckling		
exposed to compression (interna?)		
sigma cr	163	
Ec	97	compressione dell'anima
Gc	30	taglio dell'anima

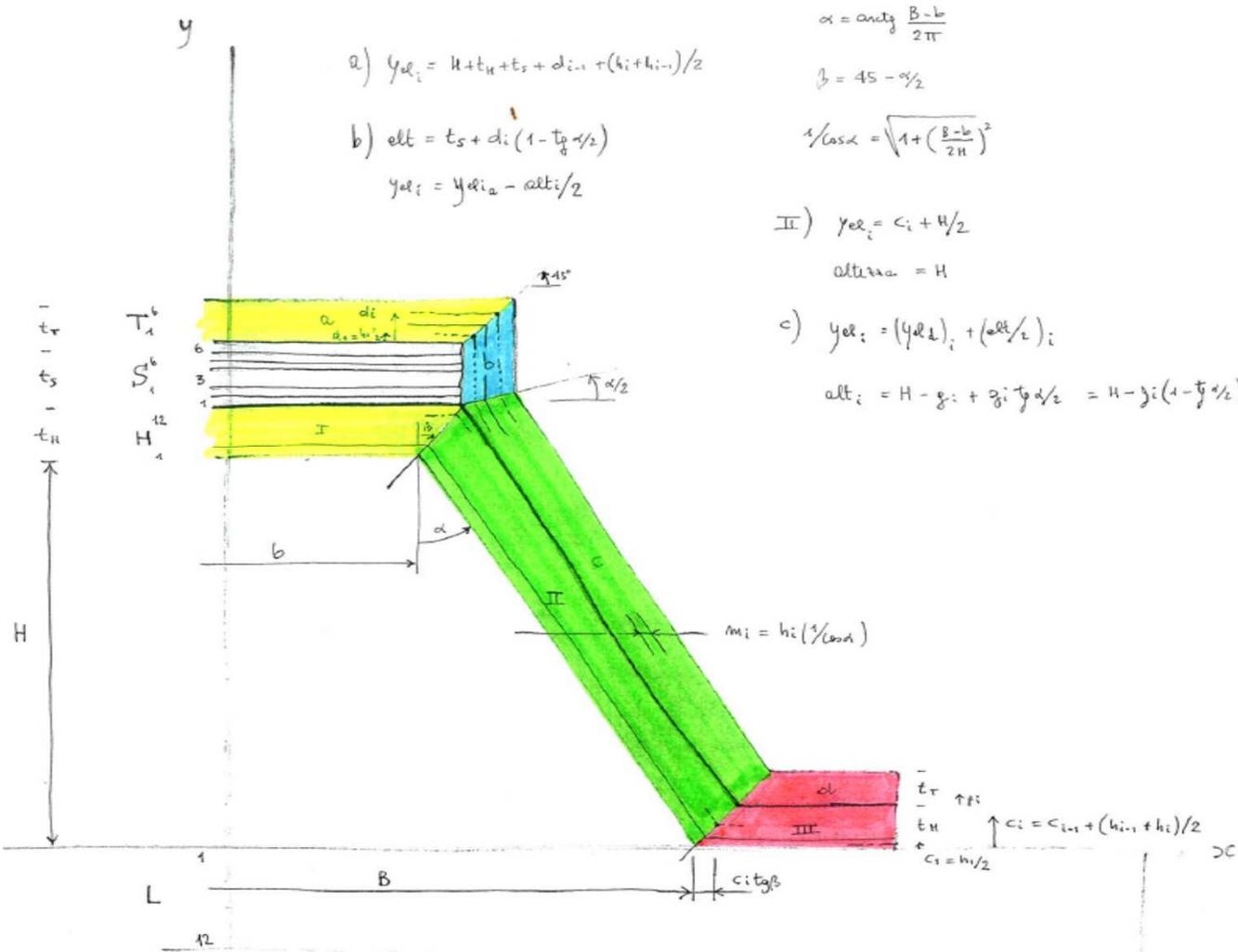


Con modulo E 18000 N/mm² W max= 5,9 mm
sigma cr 187 N/mm²

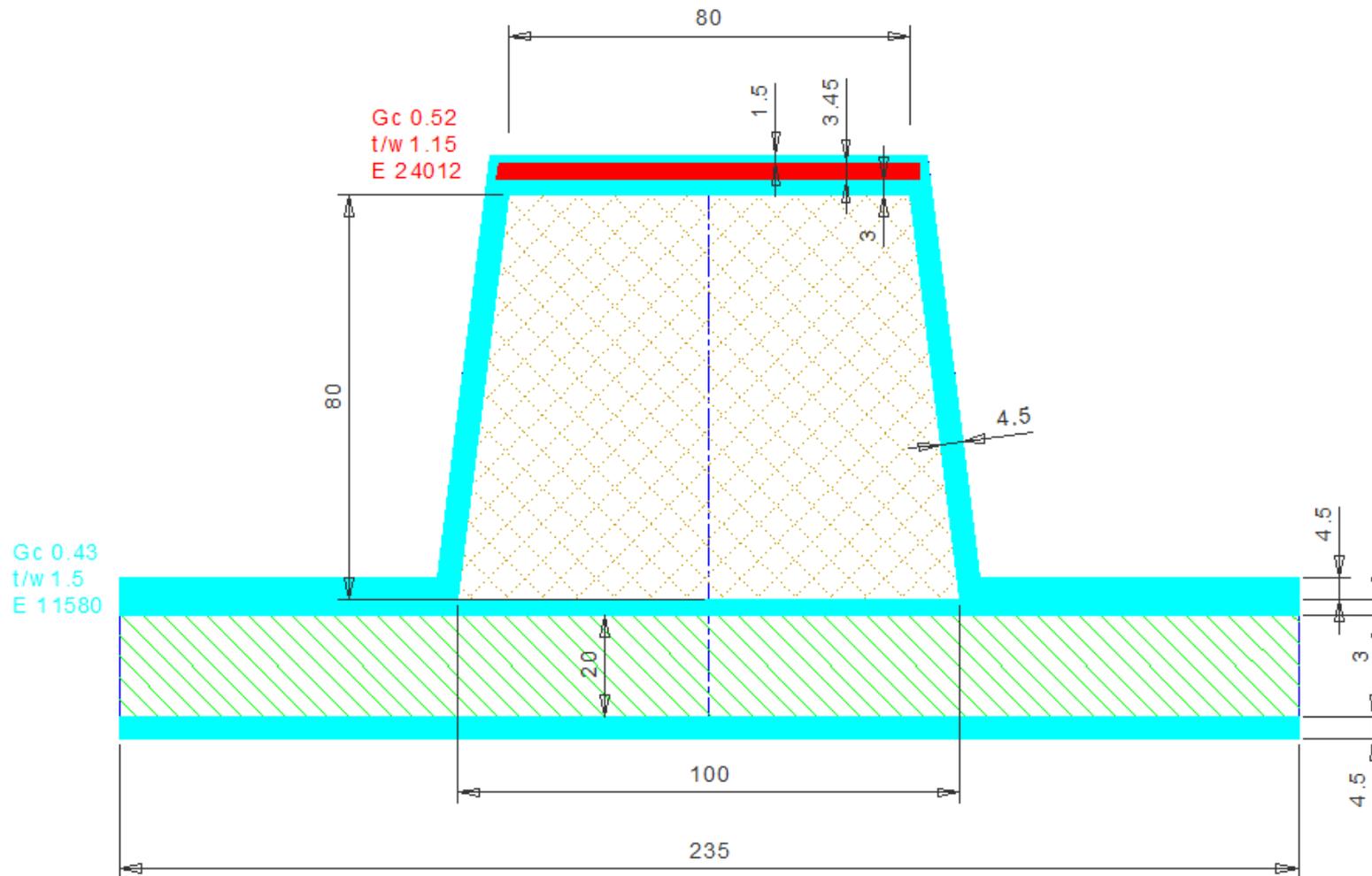
Dilemma Spessore/Modulo



Risoluzione struttura ordinaria: offerta



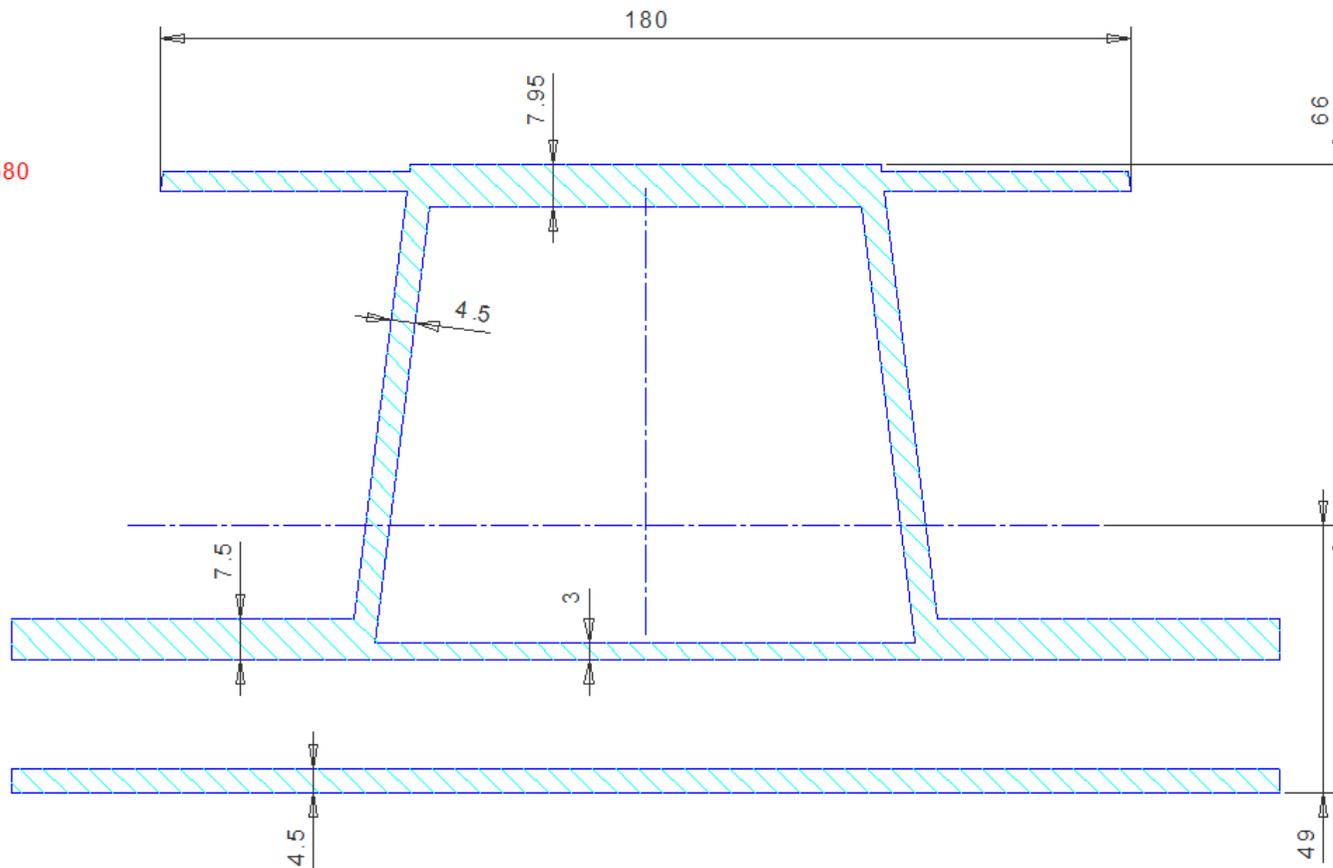
Risoluzione struttura ordinaria: offerta



Risoluzione struttura ordinaria: offerta

24012/11580
= 2.07

Gc 0.43
t/w 1.5
E 11580

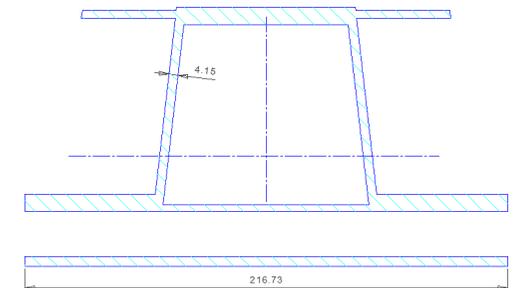


$I_{xx} = 752 \text{ cm}^4$
 $y_{\text{max}} = 6.6 \text{ cm}$

Modulo elastico
 $E = 11580 \text{ N/mm}^2$
Inerzia
 $I = 7520000 \text{ mm}^4$

Rigidezza
 $EI = 8,7 \text{ E10}$
 $\text{N/mm}^2 \times \text{mm}^4$

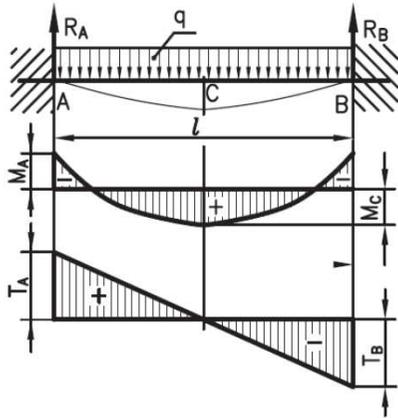
Modulo resistenza
flessione
 $W 114 \text{ cm}^3$



$I_{xx} = 694 \text{ cm}^4$
 $y_{\text{max}} = 6.6 \text{ cm}$
 $W 105 \text{ cm}^3$

Incastrato o appoggio, carico distribuito

- Trave incastrata ai due estremi e con carico uniformemente distribuito



$$R_A = R_B = \frac{q \cdot l}{2}$$

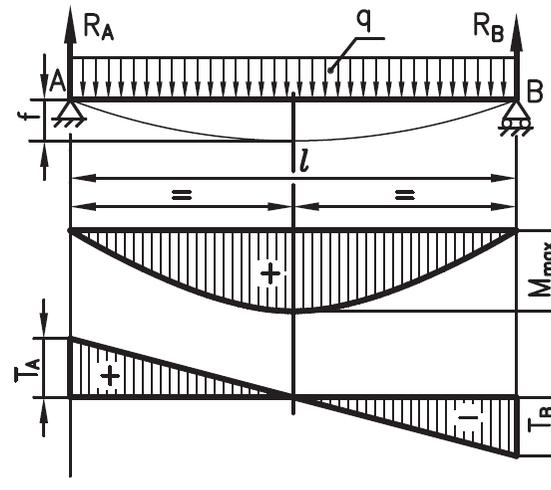
$$T_A = R_A; \quad T_B = -R_B$$

$$M_A = M_B = -\frac{1}{12} \cdot q \cdot l^2$$

$$M_C = \frac{1}{24} \cdot q \cdot l^2$$

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

- Trave appoggiata agli estremi con carico uniformemente distribuito



$$R_A = R_B = \frac{q \cdot l}{2}$$

$$T_A = R_A; \quad T_B = -R_B$$

$$M_A = M_B = 0$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Inversione momento

Materiale consegnato

- ❑ **PAN 1** – Monolitico (50x50) cm – VIP Wave – N°3 CEQX 1000 g/m² – matrice VE.
- ❑ **PAN 2** – Monolitico (40x40) cm – VIP Wave – N°6 CEQX 1000 g/m² – matrice VE.
- ❑ **PAN 3** – Monolitico (50x50) cm – VIP Wave – N°8 CUD 300 g/m² – matrice VE – CF 12k-T700S.
- ❑ **PAN 4** – Monolitico (40x40) cm – VIP Wave – N°16 CUD 300 g/m² – matrice VE - CF 12k-T700S.

Tab. 1 - Tensile properties of composite materials (ASTM D3039)

Panel Test	Sampling Direction (°)	Sample Dimension (mm)	Analytic Fiber Volume (%)	Sample Thickness (mm)	COV (%)	Tensile Stress (MPa)	COV (%)	Tensile Strain (%)	COV (%)	Tensile Young Modulus (GPa)	COV (%)	Poisson's Ratio	COV (%)
PAN 1	0	25x250	---	2,74	2,0	398	6,8	1,53	5,5	30,83	8,6	---	---
PAN 1	90	25x250	---	2,71	1,2	508	6,7	1,79	7,1	31,74	4,0	---	---
PAN 3	0	15x250	45,6	2,92	2,6	1694	4,7	1,46	9,9	115,21	9,3	0,36	7,2

Tab. 2 - Compressive properties of composite materials (ASTM D695 modified)

Panel Test	Sampling Direction (°)	Sample Dimension (mm)	Analytic Fiber Volume (%)	Sample Thickness (mm)	COV (%)	Compressive Stress (MPa)	COV (%)
PAN 1	0	83x12	---	2,70	4,3	258	4,3
PAN 1	90	83x12	---	2,69	3,5	269	5,4
PAN 3	0	83x12	46,5	2,87	2,7	486	7,3

Risoluzione struttura ordinaria: richiesta

CARATTERISTICHE DEL RINFORZO			
Dati	[unità in uso]	-	[S.I]
lunghezza rinforzo	l	m	2
striscia di carico	s	m	1,25
pressione	p	KN/m ²	5
Modulo di riferimento	E	N/mm ²	12000
			12000000000 N/m ²
			M max inc
			2083 Nm
DIMENSIONAMENTO A DEFORMAZIONE			
imponendo X% di freccia massima secondo la meccanica classica (modello:incastro-incastro e carico distribuito)			
X			0,500%
f max		m	0,01
		mm	10
EI		Nm ²	26042
		N/mm ² xcm ⁴	260
I		m ⁴	2,17E-06
		cm ⁴	217
secondo ABS			
I		cm ⁴	72
DIMENSIONAMENTO A ROTTURA			
(ABS segue la meccanica classica del modello inc-inc carico distribuito)			
sigma rottura	sigma r.	N/mm ²	150
coeff. Sicurezza			3
sigma amm.	sigma a.		50
Wabs		cm ³	42
Wmeccanica cl.			42

CONCLUSIONI: Dimensionare un generico rinforzo secondo le richieste ABS significa imporre una deformazione massima del 1,5 % della campata. In termini di resistenza si sta praticamente sfruttando il materiale nel rispetto del solo coefficiente di sicurezza

Risoluzione struttura ordinaria: richiesta

Ipotizzando il modello cerniera-cerniera			
X			1,5%
f max	m		0,03
	mm		30
EI	Nm ²		43402
	N/mm ^{2xc}		
	m ⁴		434
I	m ⁴		3,6169E-06
	cm ⁴		362
Ipotizzando il modello cerniera-cerniera e verificando a rottura			
la richiesta sul modulo risulta incrementato del 50%			
W	cm ³		63



Risoluzione struttura ordinaria: offerta

1. Anima:		Base maggiore B:	100	RINFORZO RETTANGOLARE						
		Base minore b:	100							
		Altezza H:	100							
2. Flangia:		Larghezza f:	100	[Secondo M.: L =	123	mm]				
3. Striscia associata		Larghezza L:	280	[Secondo RINA: L =	136	mm]				
secondo CE:		Larghezza L:	280	[Secondo RINA: L =	136	mm]				
B) Composizione strati MODULI E (in direzione longitudinale) e spessori			C) Resistenza a flessione Tensioni normali ultime, coefficiente di sicurezza e controllo dello strato al limite							
Strato	Modulo E [MPa]	Altezza [mm]	s Ultima [MPa]	Coeff Sic	s am [MPa]	D sup [mm]	D inf [mm]	s eff [MPa]	sfrutt%	
T6				0,33	0	91,9	9,1	0	no	
T5				0,33	0	91,9	9,1	0	no	
T4				0,33	0	91,9	9,1	0	no	
T3				0,33	0	91,9	9,1	0	no	
T2				0,33	0	91,9	9,1	0	no	
T1	12000	1	180	0,33	59,4	91,9	10,1	39,4	66,4	
S6				0,33	0	90,9	90,9	0	no	
S5				0,33	0	90,9	90,9	0	no	
S4				0,33	0	90,9	90,9	0	no	
S3				0,33	0	90,9	90,9	0	no	
S2				0,33	0	90,9	90,9	0	no	
S1	24000	1	280	0,33	92,4	90,9	89,9	78,0	84,4	
H12				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H11				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H10				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H9				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H8				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H7				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H6				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H5				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H4				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H3				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H2				0,33	0	89,9	10,1	0	no	
H1	12000	1	180	0,33	59,4	89,9	11,1	38,5	64,9	
L1	12000	10	180	0,33	59,4	11,1	21,1	9,0	15,2	
L2	0	0	0	0,33	0	21,1	21,1	0	no	
L3	0	0	0	0,33	0	21,1	21,1	0	no	
L4	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L5	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L6	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L7	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L8	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L9	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L10	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L11	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	
L12	0	0	0	0,25	0	21,1	21,1	0	no	

R
I
N
F
O
R
Z
O

F
A
S
C
I
A
M
E

Risoluzione struttura ordinaria: offerta

Resistenza al taglio				
Tensione tangenziale ultima (valore mediato nell'ambito del fianco)				
t Ultima [MPa]	Coeff Sic	t am [MPa]		
80	0,8	64		
Momento flettente (di riferimento per C)				
Md =	2083	[N m]		
Taglio sopportabile (fianchi su asse neutro)				
Td =	25351	[N]		NOTA: OK
Rigidezza flessionale				
S EI =	5,83E+06	[N mm ⁻² cm ⁴]		
Taglio sopportabile (interlaminare base rinforzo)				
con una tensione tangenziale interlaminare ammissibile pari a:				20 [MPa]
T int =	432187	[N]		
	Area geometrica =	38,03	cm ²	
	E di riferimento =	12322	MPa	
	Y asse Neutro =	11	mm	
	J ₀ rispetto ad E _{rif} =	473	cm ⁴	
	E _{rif} J _o	5,8E+10	N mm ²	
	t ₁ di Jourawski su y=0	4,6E-05	1 / mm ²	
A eq di taglio su y=0		216	cm ²	
Area di TAGLIO (come T / t max di Jourawski) in cm ²				3,96
MODULO DI RESISTENZA A FLESSIONE in cm³				52

Caratterizzazione della resistenza della lamina

Propriété	UDC300/VE370	Verre-époxyde	Bore-époxyde	Carbone-époxyde	Kevlar-époxyde
E_1	115	54	207	207	76
E_2		18	21	5	5.5
ν_{12}	0,32	0.25	0.3	0.25	0.34
G_{12}	3,15	9	7	2.6	2.1
X_t	1,69	1.035	1.38	1.035	1.38
Y_t		0.028	0.083	0.041	0.028
S	0,04	0.041	0.124	0.069	0.044
X_c	0,486	1.035	2.76	0.689	0.276
Y_c		0.138	0.276	0.117	0.138

1_ Riferito a UDR

2_ Unita' di misura GPa

Criteri di resistenza (massimo sforzo)

Il comportamento a rottura dei compositi fibrorinforzati è, a livello micromeccanico, un fenomeno particolarmente complesso che dipende da diversi fattori quali la tipologia del carico e le proprietà dei materiali costituenti (fibra, matrice ed interfaccia). Per tale motivo, i criteri di rottura dei materiali compositi sono preferibilmente riferiti ad una scala macromeccanica e basati sull'assunzione di omogeneità. Inoltre, viene ipotizzato un comportamento lineare sino a collasso.

Nel caso di una lamina soggetta ad uno stato piano di tensione, uno dei criteri di rottura più semplici è quello dello sforzo massimo.

Indicando con $\sigma_{1u,t}$ ($\sigma_{1u,c}$) e $\sigma_{2u,t}$ ($\sigma_{2u,c}$), rispettivamente, le tensioni di rottura a trazione (a compressione) nelle direzioni di simmetria e con τ_{12u} la corrispondente tensione di rottura a taglio, tale criterio si traduce analiticamente nelle seguenti disuguaglianze:

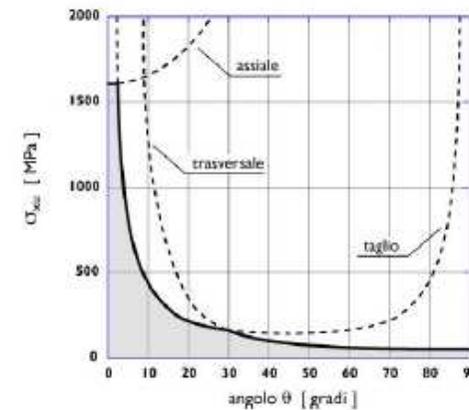
$$\begin{cases} \sigma_1 \begin{cases} \leq \sigma_{1u,t} & \text{per } \sigma_1 > 0, \\ \geq \sigma_{1u,c} & \text{per } \sigma_1 < 0, \end{cases} \\ \sigma_2 \begin{cases} \leq \sigma_{2u,t} & \text{per } \sigma_2 > 0, \\ \geq \sigma_{2u,c} & \text{per } \sigma_2 < 0, \end{cases} \\ |\tau_{12}| \leq \tau_{12u} \end{cases} \quad (6.7)$$

Si osserva che il criterio è indipendente dal segno dello sforzo di taglio ed inoltre non contempla le interazioni tra i diversi modi di rottura. Questi ultimi, infatti, possono manifestarsi l'uno indipendentemente dall'altro.

Con riferimento alla situazione di Figura 6-5, lo sforzo massimo che la lamina è in grado di sopportare è rappresentato dal minore tra i seguenti valori:

$$\begin{aligned} \sigma_m &< \frac{\sigma_{1u}}{\cos^2 \theta}, \\ \sigma_m &< \frac{\sigma_{2u}}{\sin^2 \theta}, \\ \sigma_m &< \frac{\tau_{12u}}{\sin \theta \cdot \cos \theta}. \end{aligned} \quad (6.8)$$

La variazione di tale sforzo in funzione dell'angolo θ è diagrammata in Figura 6-9.

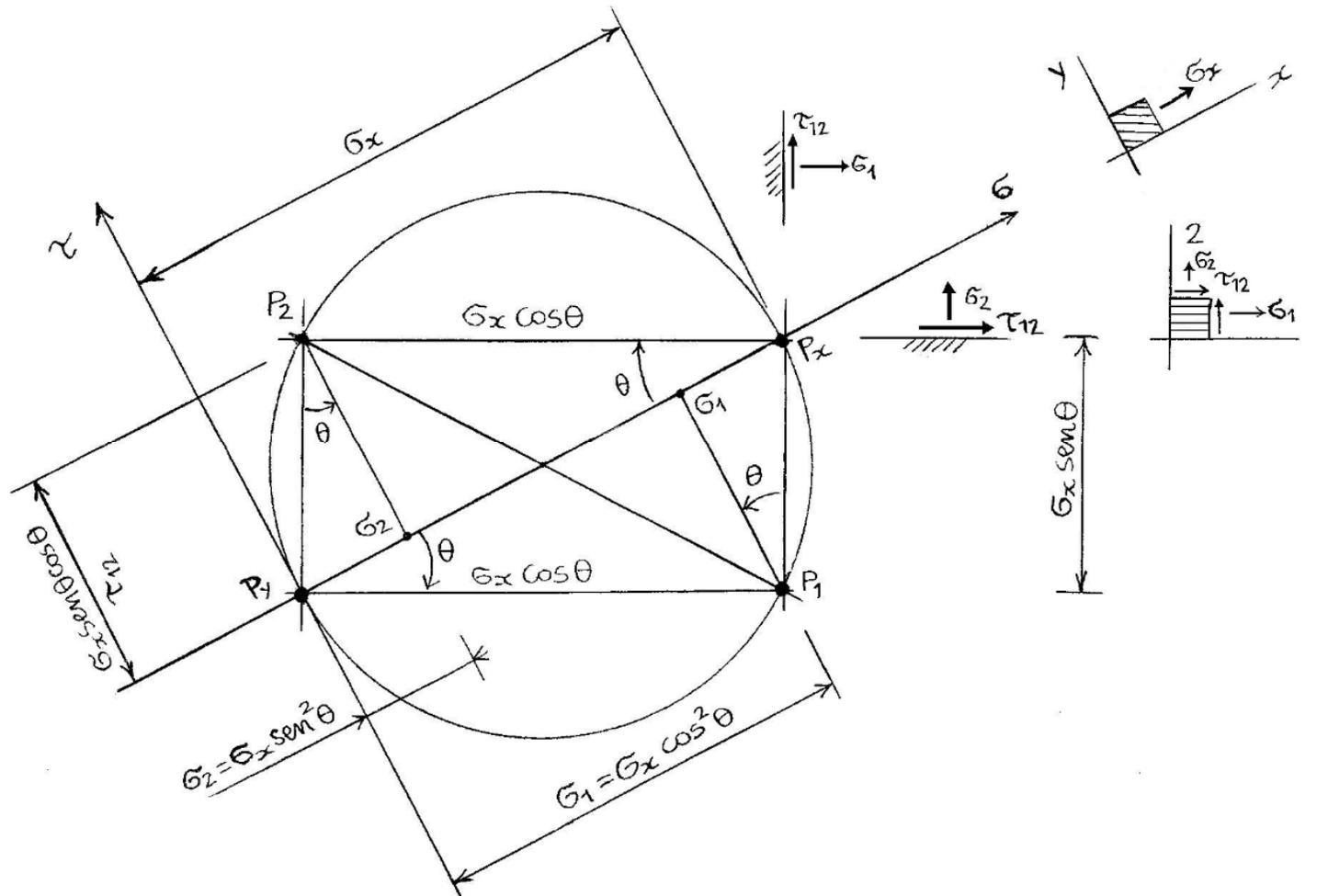


Criterio sigma xu

Figura 6-9 – Criterio dello sforzo massimo: sforzo a rottura a trazione al variare dell'angolo di rotazione θ per una lamina unidirezionale ($\sigma_{1u} = 1600$ MPa; $\sigma_{2u} = 40$ MPa; $\tau_{12u} = 70$ MPa).

In genere, il criterio dello sforzo massimo è in ragionevole accordo con i dati sperimentali solo per prove condotte a trazione ad angoli inferiori a 15° e superiori a 45° . I valori misurati in compressione sono invece notevolmente superiori.

Rotazione in asse sul piano di Mohr



$$\{\sigma'\} = [T]\{\sigma\} \rightarrow \{\sigma\} = [T]^{-1}\{\sigma'\} \rightarrow \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2sc \\ s^2 & c^2 & 2sc \\ sc & -sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_s \end{Bmatrix}.$$

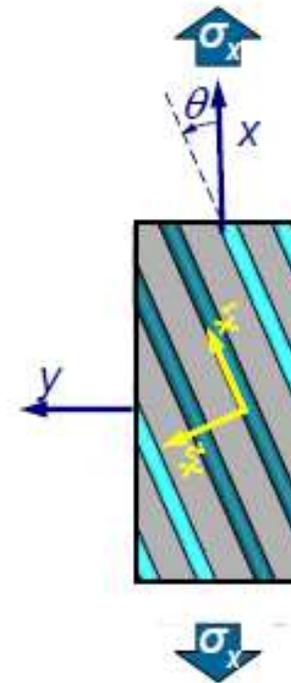
- Il criterio, in un riferimento qualsiasi, è dunque ($s = \sin \theta$, $c = \cos \theta$):

$$-X_c \leq c^2 \sigma_x + s^2 \sigma_y - 2cs \sigma_s \leq X_t,$$

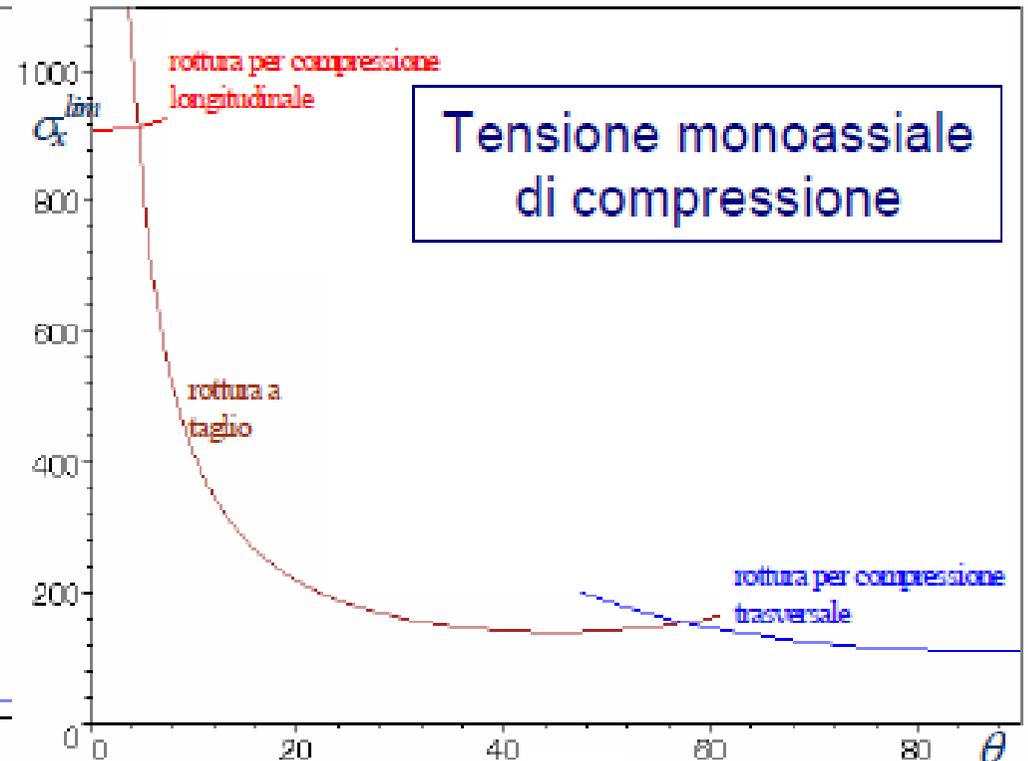
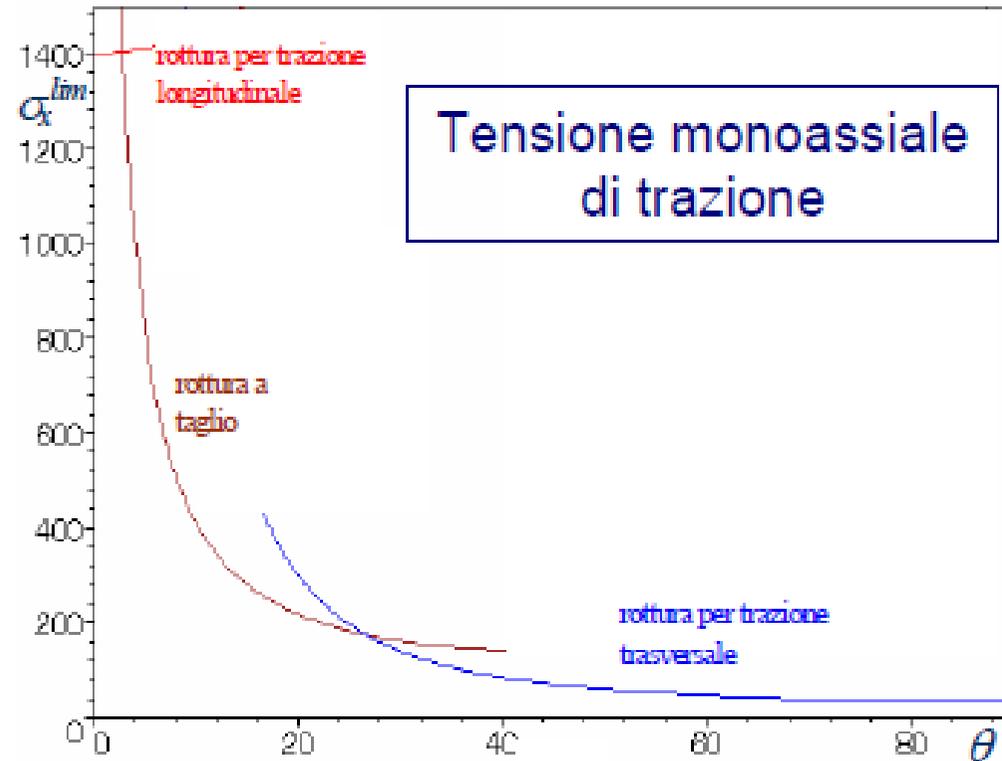
$$-Y_c \leq s^2 \sigma_x + c^2 \sigma_y + 2cs \sigma_s \leq Y_t,$$

$$|cs \sigma_x - cs \sigma_y + (c^2 - s^2) \sigma_s| \leq S.$$

- Consideriamo allora il caso di una lamina unidirezionale sottoposta ad uno stato di tensione monoassiale, di trazione o compressione, variabile con l'inclinazione θ rispetto all'asse x_1 , vedi figura.



Criterio del massimo sforzo



Criterio di resistenza di Tsai-Hill

Un altro criterio molto utilizzato per prevedere la rottura di una lamina ed abbastanza aderente alla realtà è quello di Tsai-Hill, esprimibile nella forma:

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1u}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{2u}}\right)^2 - \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sigma_{1u}^2} + \left(\frac{\tau_{12}}{\tau_{12u}}\right)^2 \leq 1. \quad (6.9)$$

Sempre con riferimento alla situazione di Figura 6-5, il valore dello sforzo a rottura, al variare dell'angolo θ , è fornito dalla seguente relazione:

$$\sigma_m = \left[\frac{\cos^4 \theta}{\sigma_{1u}^2} + \left(\frac{1}{\tau_{12u}^2} - \frac{1}{\sigma_{1u}^2} \right) \cos^2 \theta \cdot \sin^2 \theta + \frac{\sin^4 \theta}{\sigma_{2u}^2} \right]^{-1/2} \quad (6.10)$$

ed è diagrammato in Figura 6-10.

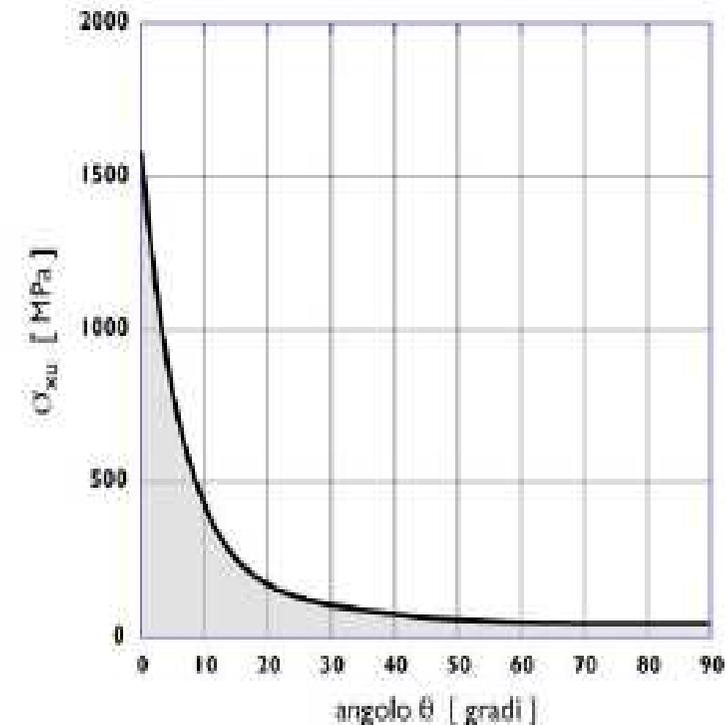
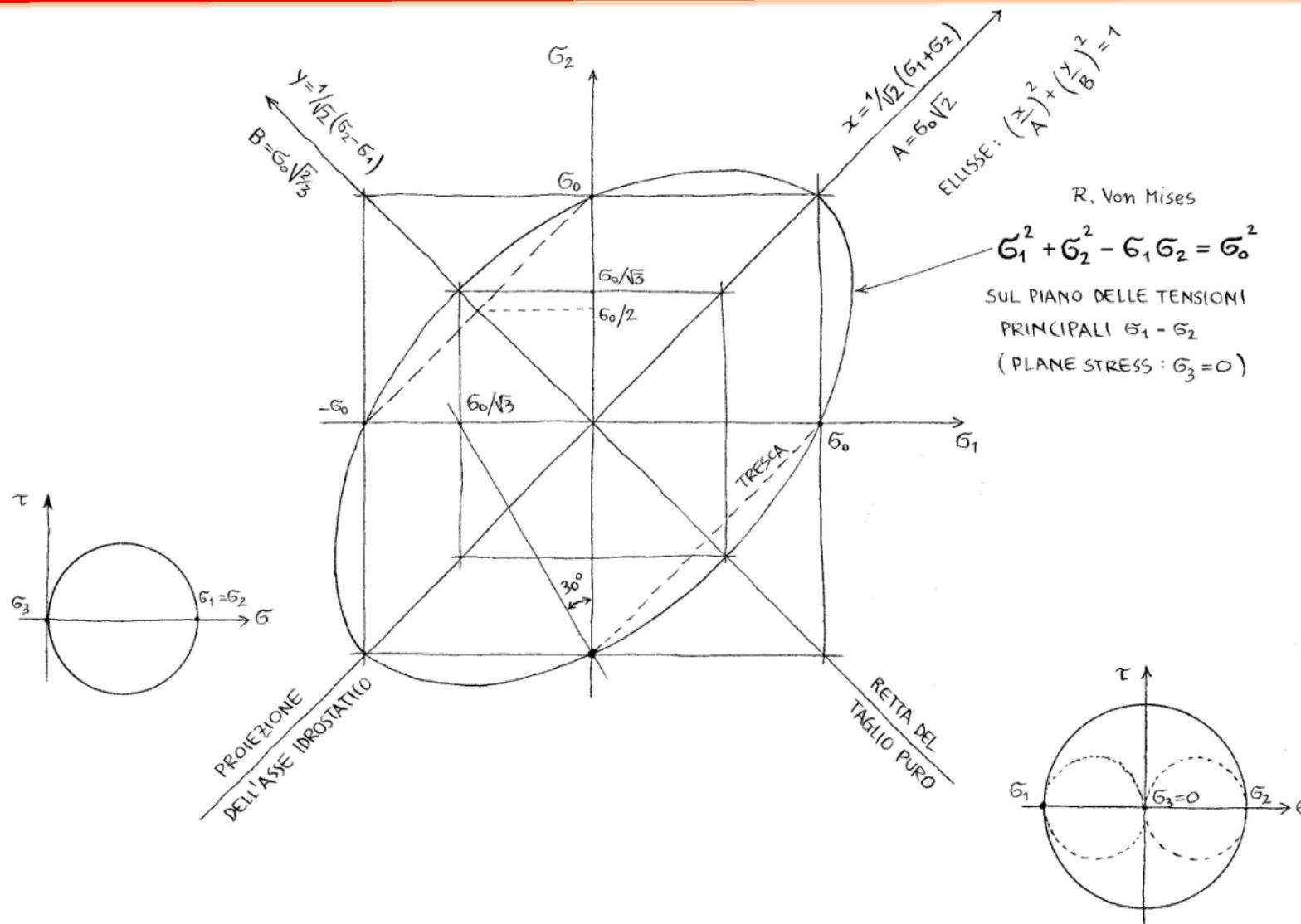
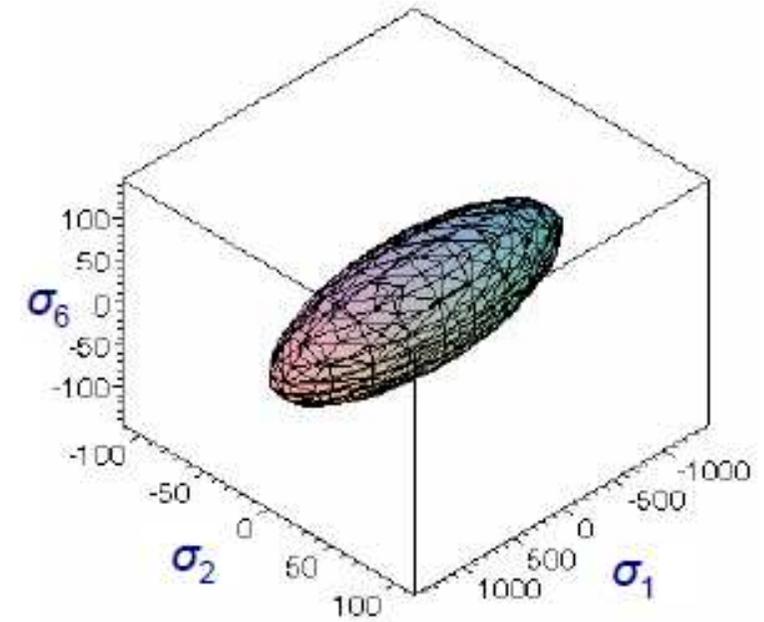


Figura 6-10 – Criterio di Tsai-Hill: sforzo a rottura a trazione al variare dell'angolo di rotazione θ per una lamina unidirezionale ($\sigma_{1u} = 1600$ MPa; $\sigma_{2u} = 40$ MPa; $\tau_{12u} = 70$ MPa).

Criterio di resistenza: Von Mises in stato biassiale

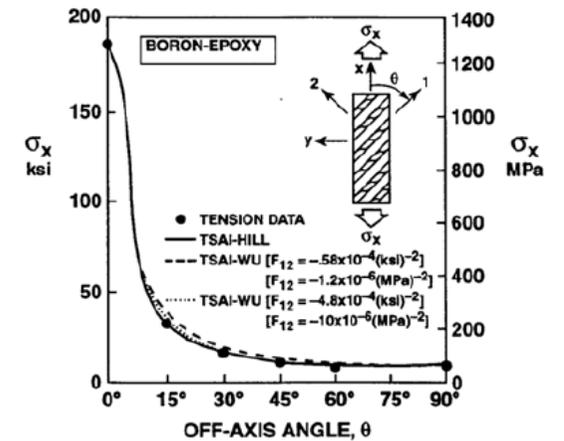
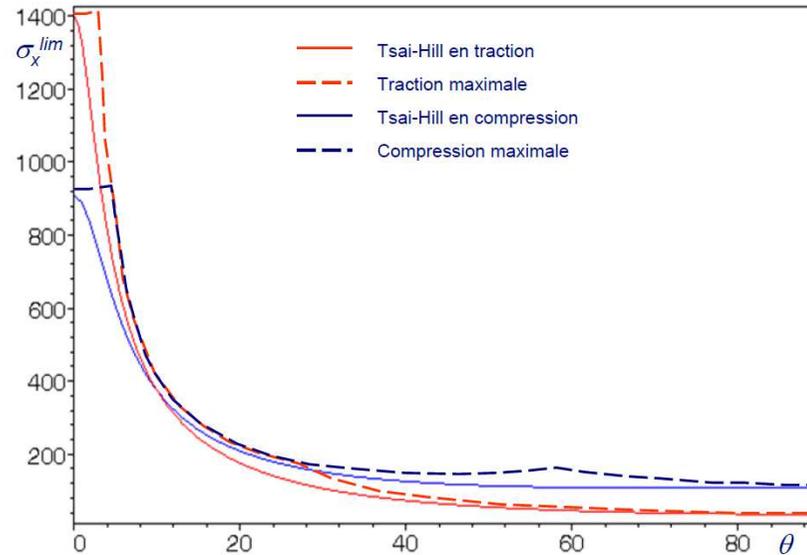
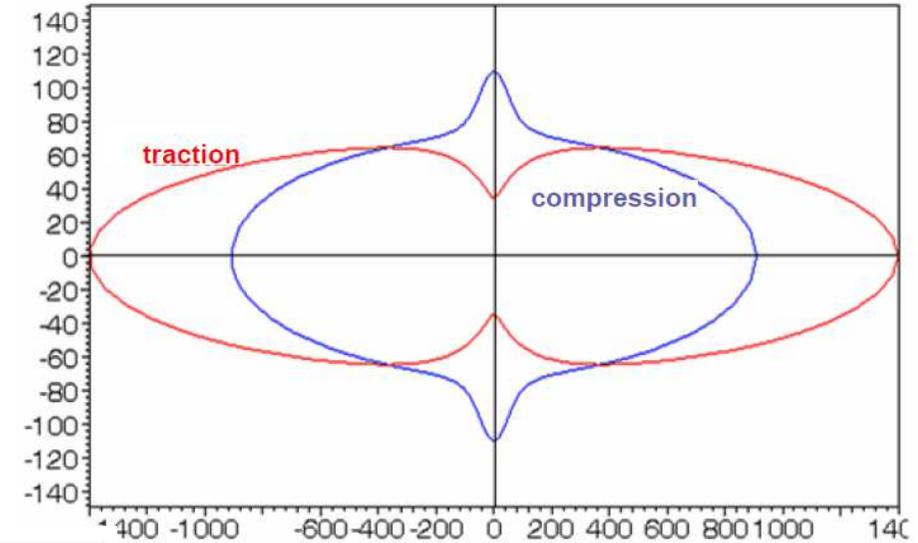
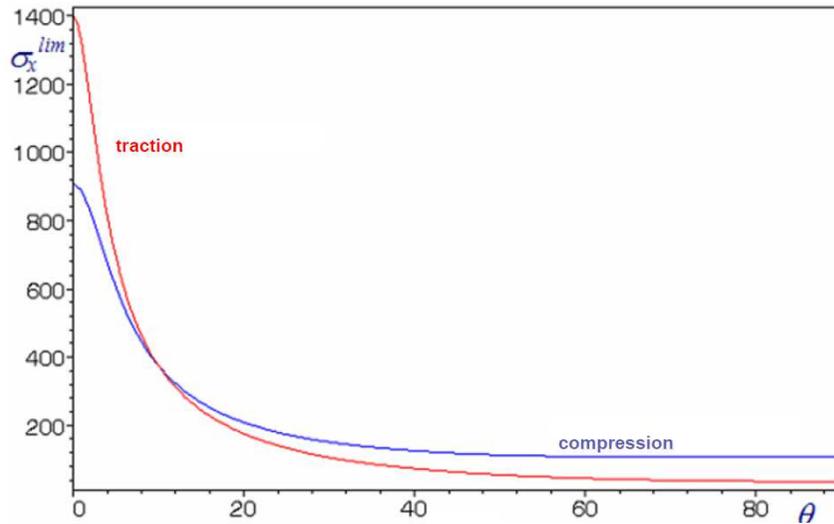


$$\left(\frac{c^2\sigma_x + s^2\sigma_y - 2cs\sigma_s}{X}\right)^2 + \left(\frac{s^2\sigma_x + c^2\sigma_y + 2cs\sigma_s}{Y}\right)^2 - \frac{(c^2\sigma_x + s^2\sigma_y - 2cs\sigma_s)(s^2\sigma_x + c^2\sigma_y + 2cs\sigma_s)}{X^2} + \left[\frac{cs\sigma_x - cs\sigma_y + (c^2 - s^2)\sigma_s}{S}\right]^2 \leq 1$$

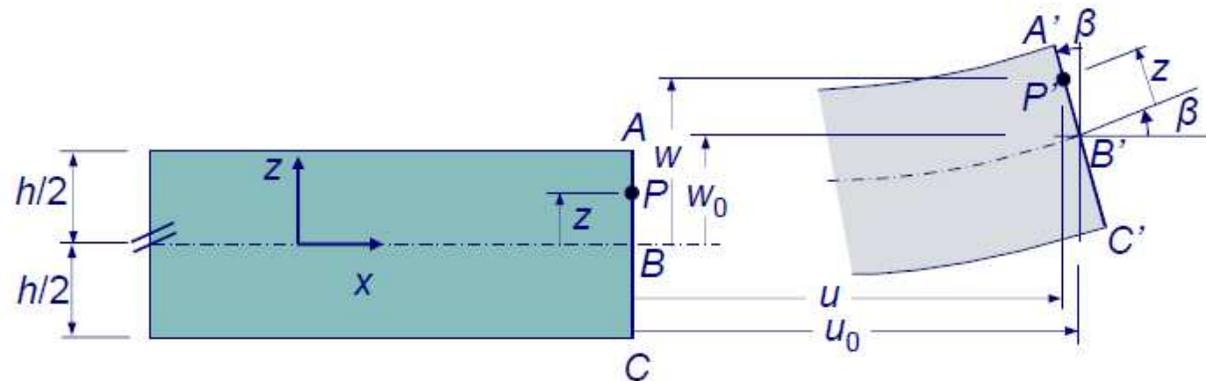


$$\sigma_x^2 \left[\frac{\cos^4 \theta}{X^2} + \frac{\sin^4 \theta}{Y^2} + \cos^2 \theta \sin^2 \theta \left(\frac{1}{S^2} - \frac{1}{X^2} \right) \right] = 1$$

Risultati del criterio di Tsai-Hill e Tsai-Wu

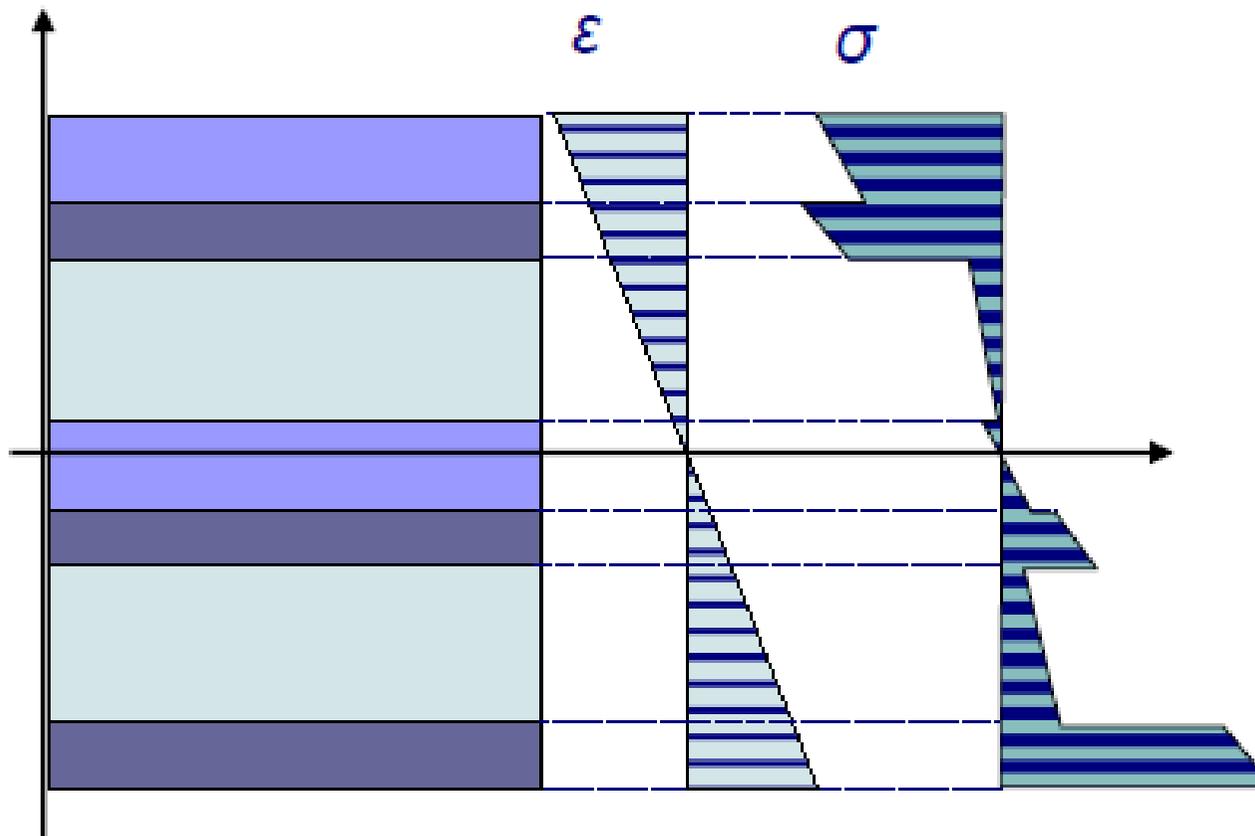


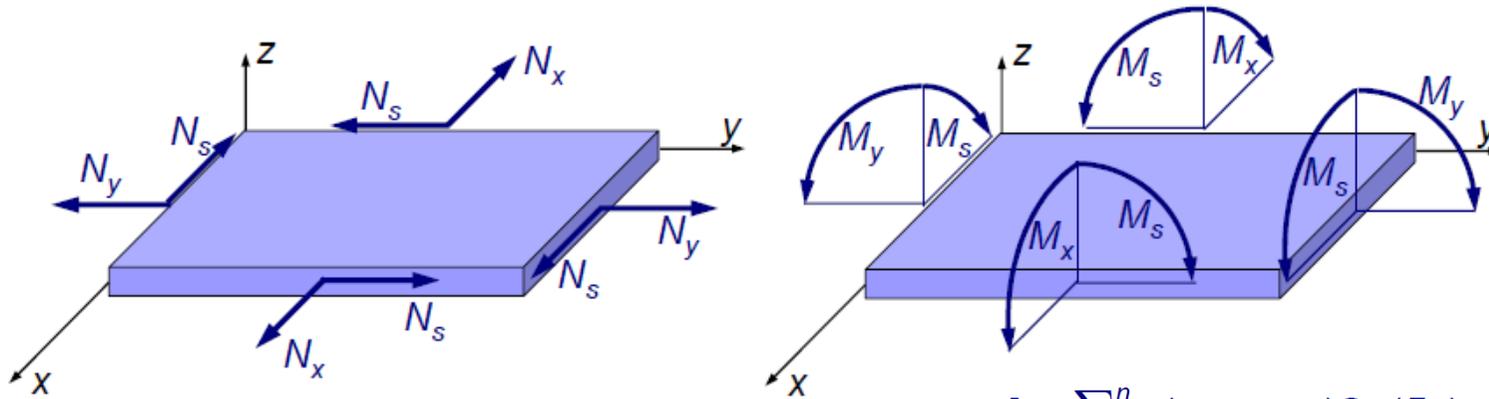
Macromeccanica del laminato: piastra di Kirchhoff



$$\boldsymbol{\varepsilon}^0 = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \varepsilon_s^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u_0(x,y)}{\partial x} \\ \frac{\partial v_0(x,y)}{\partial y} \\ \frac{\partial u_0(x,y)}{\partial y} + \frac{\partial v_0(x,y)}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad \mathbf{K} = \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_s \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w_0(x,y)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w_0(x,y)}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w_0(x,y)}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}^0 + z \mathbf{K} \rightarrow \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \varepsilon_s^0 \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_s \end{Bmatrix}$$





$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x dz \\ \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y dz \\ \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_s dz \end{Bmatrix},$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz \\ \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz \\ \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_s z dz \end{Bmatrix}$$

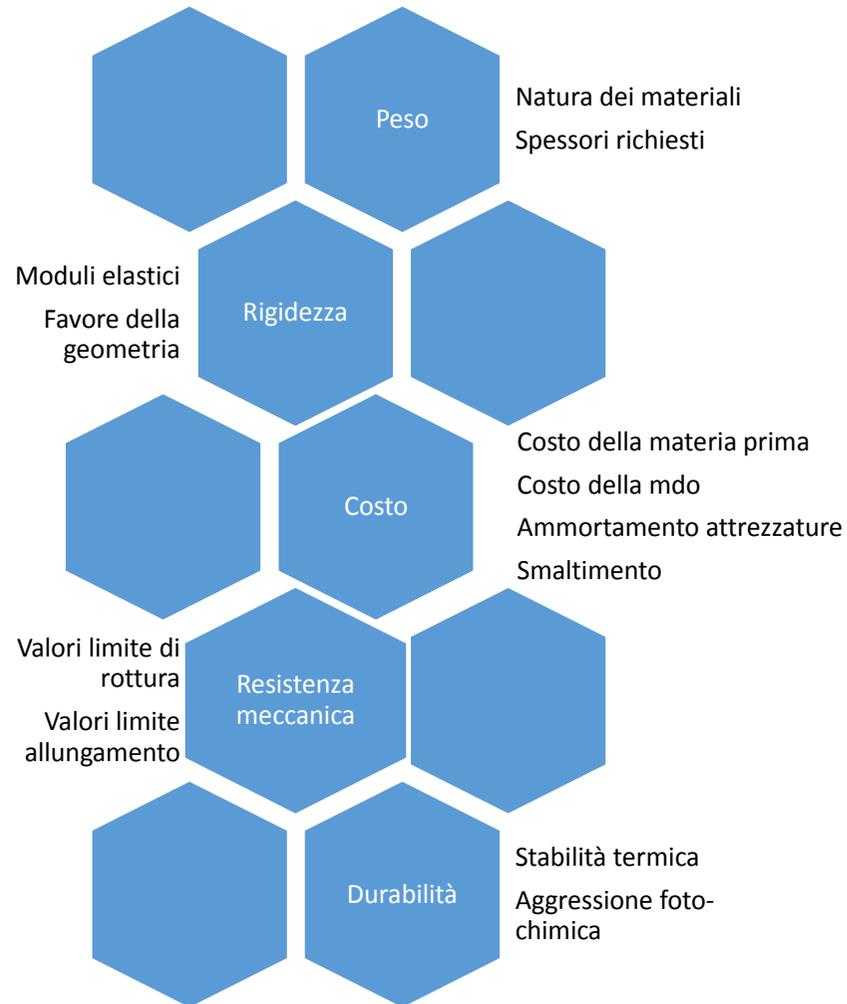
$$\mathbf{A} = \sum_{k=1}^n (z_k - z_{k-1}) \mathbf{Q}_k (\delta_k),$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (z_k^2 - z_{k-1}^2) \mathbf{Q}_k (\delta_k),$$

$$\mathbf{D} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (z_k^3 - z_{k-1}^3) \mathbf{Q}_k (\delta_k).$$

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{N} \\ \mathbf{M} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B} & \mathbf{D} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}^0 \\ \boldsymbol{\kappa} \end{Bmatrix}$$

Comparazione delle soluzioni





cerca nel sito...

OSSERVATORIO SUL CALCESTRUZZO E SUL CALCESTRUZZO ARMATO. RAPPORTO SULLE ATTIVITÀ DEL 2014

L'Osservatorio sul calcestruzzo e sul calcestruzzo armato, www.osservatorioca.it, istituito nel 2011 presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con la condivisione delle rappresentanze più qualificate delle componenti del settore, ha contribuito ad accrescere la consapevolezza nei confronti delle problematiche specifiche del mondo del calcestruzzo e del



- Home
- Chi siamo
- Cosa facciamo
 - Attività
 - Aree tematiche
 - Novità**
- Attività consultiva e normativa
- Certificazioni e qualificazioni
- Contatti
- Link Utili

AREA RISERVATA

Username

 Ricordami

[Password dimenticata?](#)

Home > Cosa facciamo > Novità > Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni



Con DM 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30 sono state approvate le NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.

E' possibile scaricare i files in formato PDF:

[DM norme tecniche](#)

[Indice Generale](#)

[Cap 01 CONCERTO GU](#)

[Cap 02 CONCERTO GU](#)

[Cap 03 CONCERTO GU](#)

[Cap 04 CONCERTO GU](#)

[Cap 05 CONCERTO GU](#)

[Cap 06 CONCERTO GU](#)

[Cap 07 CONCERTO GU](#)

[Cap 08 CONCERTO GU](#)

[Cap 09 CONCERTO GU](#)

[Cap 10 CONCERTO GU](#)

[Cap 11 CONCERTO GU](#)

[Cap 12 CONCERTO GU](#)

[ALLEGATO A/B PERICOLOSITA CONCERTO](#)

[COPERTINA TABELLA1 GU](#)

[TABELLA PARAMETRI SPETTRALI GU](#)

[TABELLA 2 ISOLE GU](#)

[Scarica il file compresso](#)

GLI ARTICOLI PIU' LETTI

[Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni](#)

[Centri di trasformazione](#)

[Il Servizio Tecnico Centrale](#)

[Circolare sulle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008](#)

[Azioni sismiche - Spettri di risposta ver. 1.03](#)

[Normative](#)

[Normative tecniche per le costruzioni](#)

8.5.5 AZIONI

I valori delle azioni e le loro combinazioni da considerare nel calcolo, sia per la valutazione della sicurezza sia per il progetto degli interventi, sono quelle definite dalla presente norma per le nuove costruzioni, salvo quanto di seguito precisato.

Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando valori di γ_e adeguatamente motivati. Nei casi per i quali è previsto l'adeguamento, i valori di calcolo delle altre azioni saranno quelli previsti dalla presente norma.

8.6 MATERIALI

Gli interventi sulle strutture esistenti norme; possono altresì essere utilizzati documenti di comprovata validità

Nel caso di edifici in muratura analogo a quello impiegato e caratteristiche meccaniche.

8.7 VALUTAZIONE E F SISMICHE

Nella valutazione della sicurezza ad azioni sismiche, particolare attenzione quindi assumere le informazioni

meccanismi resistenti siano in grado di continuare a sostenere cicli di sollecitazioni o deformazioni anche dopo il superamento delle soglie di plasticizzazione o di frattura.

8.7.1 COSTRUZIONI IN MURATURA

Nelle costruzioni esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare meccanismi locali e meccanismi d'insieme. I meccanismi locali interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari. I meccanismi globali sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano.

La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.

Per l'analisi sismica dei meccanismi locali si può far ricorso ai metodi dell'analisi limite dell'equilibrio delle strutture murarie, tenendo conto, anche se in forma approssimata, della resistenza a compressione, della tessitura muraria, della qualità della connessione tra le pareti murarie, della presenza di catene e tiranti. Con tali metodi è possibile valutare la capacità sismica in termini di resistenza (applicando un opportuno fattore di struttura) o di spostamento (determinando l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo).

L'analisi sismica globale deve considerare, per quanto possibile, il sistema strutturale reale della costruzione, con particolare attenzione alla rigidità e resistenza dei solai, e all'efficacia dei collegamenti degli elementi strutturali. Nel caso di muratura irregolare, la resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano di un pannello in muratura potrà essere calcolata facendo ricorso a formulazioni alternative rispetto a quelle adottate per opere nuove, purché di comprovata validità.

8.6 MATERIALI

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap. 12.

Nel caso di edifici in muratura è possibile effettuare riparazioni locali o integrazioni con materiale analogo a quello impiegato originariamente nella costruzione, purché durevole e di idonee caratteristiche meccaniche.

12 RIFERIMENTI TECNICI

Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche.

Attualmente, di fatto in Italia, le norme di riferimento per la progettazione di rinforzi con materiali compositi sono il documento approvato dal **CNR DT 200/2004**: ***“Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati”*** e le ***“Linee guida per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP”***, documento approvato il 24 luglio 2009 dall’assemblea Generale del CS.LL.PP.

Consiglio Nazionale delle Ricerche
English version | Cerca nel sito

Home | Mappa | Commenti | Staff | Contattaci | RSS

Per l'ecorobotica marina', primo tuffo in Antartide

News 04/02/2015

La giravolta di un fascio di elettroni

Team di ricercatori dell'Istituto nanoscienze del Cnr, in collaborazione con Università di Ottawa e di Modena e Reggio Emilia, genera un fascio di elettroni ad alto momento angolare orbitale e potenzialmente adatto per studiare a scala atomica il magnetismo dei materiali. Il risultato è pubblicato sulla rivista Physical Review Letters

Docscient festival: i premi al Cnr

La Ricerca

- Rete Scientifica del CNR
- Progetti
- Commesse
- Istituti
- Dipartimenti

News 06/02/2015

Pesticidi sì, ma fuori dal piatto!

Un gruppo di quattro ricercatori dell'IBP-CNR hanno costituito una start-up innovativa: DETOXIZYMES, che è stata invitata a partecipare al convegno BIOUNIVERSE, organizzato all'Università degli Studi di Napoli Federico II, riscuotendo un buon interesse dei partecipanti. La notizia è stata riportata sull'edizione del 31 gennaio scorso del quotidiano "Il Denaro"

News 04/02/2015

Agricoltura e Ricerca: Cia, firmato accordo quadro con Cnr

Siglato un protocollo d'intesa tra l'organizzazione agricola e il Consiglio nazionale delle Ricerche. I presidenti Dino Scanavino e Luigi Nicolais: "Molti i progetti importanti su cui attivare sinergie di lavoro costruttive"

News 28/01/2015

Il Cnr all'Expo 2015

Alla manifestazione internazionale, che si svolgerà a Milano dal 1 maggio al 31 ottobre, il Consiglio nazionale delle ricerche è presente con 24 eventi, alcuni di questi sono illustrati nel Focus monografico dell'Almanacco della Scienza

[Tutte le News](#)

I Servizi

- Concorsi e opportunità
- Amministrazione trasparente
- Edizioni
- Divulgazione
- Ufficio Stampa
- URP
- Utilità

Il CNR

- Chi siamo
- Organizzazione
- Attività
- Innovazione
- Dati e Statistiche

Dagli Highlights

Un metodo per ottenere una parametrizzazione formata da patch quadrate data una geometria tridimensionale

Nell'ambito della CG, una parametrizzazione di una data superficie immersa in 3D è un mapping fra una porzione di piano appositamente determinata (il dominio 2D) e quella superficie...

[Altri Highlights](#)

Dall'Almanacco

Con 'Esca' alla scoperta dei Poli

Il progetto 'Esplora, conosci e scopri l'Artico' del Dipartimento terra e ambiente del Cnr promuove la conoscenza della ricerca italiana nelle aree più estreme, attraverso attività divulgative nelle scuole e in realtà culturali di tutta Italia

[Altri articoli dall'Almanacco della Scienza](#)

Eventi

- **23/Feb/2015**
Workshop "Inquinamento atmosferico interno e salute nelle scuole italiane"
- **23/Feb/2015**
La Matematica Applicata per una Buona Scuola
- **24/Feb/2015**
The present and future life of mangrove forests
- **25/Feb/2015**
La filosofia interroga la scienza

Statuto Cnr
Modifiche ordinali in corso

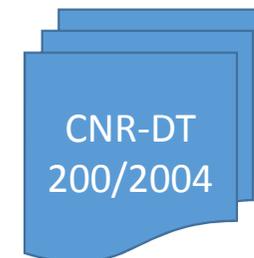
Research Italy un'iniziativa del MIUR

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE INCARICATA DI FORMULARE PARERI IN MATERIA
DI NORMATIVA TECNICA RELATIVA ALLE COSTRUZIONI

Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati

Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie



CNR-DT 200/2004

INDICE

1	PREMESSA	1
1.1	PREMESSA ALLA VERSIONE DEFINITIVA DEL DOCUMENTO A CONCLUSIONE DELL'INCHIESTA PUBBLICA	3
1.2	CONTENUTO E SCOPO DELLE ISTRUZIONI	3
1.3	SIMBOLOGIA	5
2	MATERIALI	8
2.1	INTRODUZIONE	8
2.2	LE CARATTERISTICHE DEI COMPOSITI E DEI LORO COMPONENTI	8
2.2.1	Principali fibre per compositi	11
2.2.1.1	Tipologie di fibre disponibili in commercio e classificazione	11
2.2.1.2	Fibre di vetro	13
2.2.1.3	Fibre di carbonio	15
2.2.1.4	Fibre aramidiche	15
2.2.1.5	Altre tipologie di fibre	17
2.2.1.6	Caratteristiche tecniche del filato	17
2.2.2	Tessuti non impregnati	18
2.2.2.1	Caratteristiche tecniche dei tessuti non impregnati	19
2.2.3	Matrici	21
2.2.3.1	Resine epossidiche	21
2.2.3.2	Resine poliestere	22
2.2.3.3	Altre tipologie di resine	23
2.2.3.4	Scheda tecnica della resina	23
2.2.4	Adesivi e principi generali di incollaggio	25
2.2.4.1	Scheda tecnica dell'adesivo	27
2.3	SISTEMI DI RINFORZO	28
2.3.1	Proprietà meccaniche dei sistemi di rinforzo	29
2.3.2	Sistemi preformati	31
2.3.2.1	Caratteristiche meccaniche	31
2.3.2.2	Schede tecniche per compositi preformati	32
2.3.3	Sistemi impregnati <i>in situ</i>	33
2.3.3.1	Determinazione area resistente	33
2.3.3.2	Caratteristiche meccaniche	35
2.3.3.3	Schede tecniche per sistemi impregnati <i>in situ</i>	36
2.3.4	Sistemi preimpregnati	36
2.4	QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI	36
2.4.1	Livello 1: Proprietà fisico-meccaniche	37
2.4.2	Livello 2: Proprietà a lungo termine	39
2.5	ACCETTAZIONE	39
2.5.1	La scelta e la verifica dei materiali: i compiti e le responsabilità degli operatori	39
2.6	TRASPORTO, STOCCAGGIO E MOVIMENTAZIONE	41
3	CONCETTI BASILARI DEL PROGETTO DI RINFORZO E PROBLEMATICHE SPECIALI	43
3.1	REQUISITI FONDAMENTALI	43
3.2	REQUISITI DI DURABILITÀ	44
3.3	PRINCIPI GENERALI DEL PROGETTO DI RINFORZO	44
3.3.1	Generalità	44
3.3.2	Coefficienti parziali ed azioni di calcolo	45

3.3.3	Proprietà dei materiali e dei prodotti	45
3.3.4	Capacità di calcolo	46
3.4	COEFFICIENTI PARZIALI	46
3.4.1	Coefficienti parziali γ_m per i materiali ed i prodotti	46
3.4.2	Coefficienti parziali γ_{Ra} per i modelli di resistenza	47
3.5	PROBLEMI SPECIALI DI PROGETTO E RELATIVI FATTORI DI CONVERSIONE	47
3.5.1	Azioni ambientali e fattore di conversione ambientale η_a	47
3.5.2	Modalità di carico e fattore di conversione per effetti di lunga durata η_l	49
3.5.3	Resistenza alle azioni causate da impatto ed esplosione	49
3.5.4	Resistenza alle azioni causate da atti vandalici	49
3.6	LIMITI DEL RINFORZO NEL CASO DI ESPOSIZIONE AL FUOCO	50
4	RINFORZO DI STRUTTURE DI C.A. E DI C.A.P.	51
4.1	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DELLA DELAMINAZIONE	51
4.1.1	Meccanismi di rottura per delaminazione	51
4.1.2	Verifiche di sicurezza nei confronti della delaminazione	52
4.1.3	Resistenza allo stato limite ultimo per delaminazione di estremità (modalità 1)	53
4.1.4	Resistenza allo stato limite ultimo per delaminazione intermedia (modalità 2)	53
4.1.5	Verifica delle tensioni di interfaccia allo stato limite di esercizio	54
4.2	RINFORZO A FLESSIONE	56
4.2.1	Generalità	56
4.2.2	Analisi del comportamento allo stato limite ultimo	56
4.2.2.1	Generalità	56
4.2.2.2	Stato della struttura all'atto del rinforzo	57
4.2.2.3	Resistenza di progetto a flessione dell'elemento rinforzato con FRP	57
4.2.2.4	Resistenza di progetto a flessione dell'elemento rinforzato con FRP in presenza di forza assiale (pressoflessione)	59
4.2.2.5	Collasso per delaminazione di estremità	60
4.2.3	Analisi del comportamento agli stati limite di esercizio	61
4.2.3.1	Basi del calcolo	61
4.2.3.2	Verifica delle tensioni	62
4.2.3.3	Verifica delle frecce	63
4.2.3.4	Verifica dell'apertura delle fessure	63
4.2.4	Duttilità	64
4.3	RINFORZO A TAGLIO	64
4.3.1	Generalità	64
4.3.2	Configurazioni per il rinforzo a taglio	64
4.3.3	Resistenza di progetto a taglio dell'elemento rinforzato con FRP	65
4.3.3.1	Resistenza di progetto a taglio	65
4.3.3.2	Resistenza efficace di progetto del rinforzo	67
4.3.3.3	Limitazioni e dettagli costruttivi	68
4.4	RINFORZO A TORSIONE	68
4.4.1	Generalità	68
4.4.2	Configurazioni per il rinforzo a torsione	69
4.4.3	Resistenza di progetto a torsione dell'elemento rinforzato con FRP	69
4.4.3.1	Resistenza di progetto a torsione	69
4.4.3.2	Limitazioni e dettagli costruttivi	70
4.5	CONFINAMENTO	71
4.5.1	Generalità	71
4.5.2	Resistenza di progetto a compressione centrata o con piccola eccentricità dell'elemento confinato	72

4.5.2.1	Stima della pressione laterale di confinamento	73
4.5.2.1.1	Sezioni circolari	75
4.5.2.1.2	Sezioni quadrate e rettangolari	75
4.5.3	Duttilità di elementi presso-inflessi confinati con FRP	76
4.6	RINFORZO A FLESSIONE DI STRUTTURE DI C.A.P.	77
4.6.1	Utilizzo di compositi FRP per elementi pre-tesi o post-tesi di c.a.	77
4.6.1.1	Analisi del comportamento allo stato limite ultimo	77
4.6.1.2	Analisi del comportamento agli stati limite di esercizio	78
4.7	INTERVENTI IN ZONA SISMICA	78
4.7.1	Principi generali di intervento	78
4.7.1.1	Obiettivi della progettazione	78
4.7.1.2	Criteri per la scelta dell'intervento con FRP	79
4.7.2	Strategie di intervento	79
4.7.2.1	Eliminazione dei meccanismi di collasso di tipo fragile	80
4.7.2.2	Eliminazione dei meccanismi di collasso di piano	80
4.7.2.3	Incremento della capacità deformativa globale di una struttura	80
4.7.2.3.1	Incremento della capacità deformativa locale degli elementi	80
4.7.2.3.2	Applicazione del criterio della gerarchia delle resistenze	81
4.7.3	Verifiche di sicurezza	81
4.7.3.1	Elementi e meccanismi duttili	81
4.7.3.1.1	Pressoflessione	81
4.7.3.1.2	Rotazione rispetto alla corda	81
4.7.3.2	Elementi e meccanismi fragili	82
4.7.3.2.1	Taglio	82
4.7.3.2.2	Zone di sovrapposizione	82
4.7.3.2.3	Svergolamento delle barre longitudinali	83
4.7.3.2.4	Nodi	84
4.8	INSTALLAZIONE, MONITORAGGIO E CONTROLLO	84
4.8.1	Controllo e preparazione del substrato	84
4.8.1.1	Valutazione del deterioramento del substrato	85
4.8.1.2	Rimozione e ricostruzione del substrato ed eventuale trattamento delle barre metalliche	85
4.8.1.3	Preparazione del substrato	85
4.8.2	Raccomandazioni per l'esecuzione a regola d'arte	86
4.8.2.1	Condizioni di umidità e temperatura dell'ambiente e del substrato	86
4.8.2.2	Particolari costruttivi e norme di esecuzione	86
4.8.2.3	Protezione del sistema di rinforzo	87
4.8.3	Controllo di qualità dell'esecuzione	87
4.8.3.1	Prove semi-distruttive	87
4.8.3.2	Prove non distruttive	88
4.8.4	Qualifica degli operatori per l'esecuzione delle prove	89
4.8.5	Monitoraggio dell'intervento di rinforzo	89
4.9	ESEMPI NUMERICI	90
5	RINFORZO DI STRUTTURE MURARIE	91
5.1	GENERALITÀ	91
5.1.1	Oggetto ed ambito di applicazione	91
5.1.2	Interventi di restauro su strutture di interesse storico e monumentale	91
5.1.3	Criteri per il progetto del consolidamento strutturale	91
5.1.4	Articolazione degli interventi	92
5.2	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA	92
5.2.1	Modellazione della struttura	92
5.2.2	Criteri di verifica	93
5.2.3	Verifiche di sicurezza	93
5.3	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA ALLA DELAMINAZIONE	95

5.3.1	Considerazioni generali e modi di collasso	96
5.3.2	Resistenza alla delaminazione radente allo stato limite ultimo	96
5.3.3	Resistenza alla delaminazione in presenza di azione normale al piano di adesione	98
5.4	VERIFICHE DI ELEMENTI STRUTTURALI RICORRENTI	98
5.4.1	Rinforzo di pannelli murari	98
5.4.1.1	Verifiche per azioni fuori dal piano	98
5.4.1.1.1	Verifica per ribaltamento semplice	99
5.4.1.1.2	Verifica per flessione della striscia muraria verticale	100
5.4.1.1.3	Verifica per flessione della striscia orizzontale	102
5.4.1.2	Verifiche per azioni nel piano del pannello	103
5.4.1.2.1	Pressoflessione nel piano	103
5.4.1.2.2	Taglio	103
5.4.2	Architrave e fascia di piano	104
5.4.2.1	Verifica per funzionamento ad architrave	105
5.4.2.2	Verifica per funzionamento a fascia di piano	106
5.5	RINFORZO DI ELEMENTI STRUTTURALI A SEMPLICE E DOPPIA CURVATURA	106
5.5.1	Archi	107
5.5.1.1	Schema ad arco	107
5.5.1.2	Schema a portale	108
5.5.2	Volte a semplice curvatura: volte a botte	108
5.5.3	Volte a doppia curvatura: cupole	109
5.5.3.1	Regime membranale	109
5.5.3.2	Regime flessionale	109
5.5.4	Volte a doppia curvatura su pianta quadrata	110
5.6	CONFINAMENTO DI COLONNE DI MURATURA	110
5.6.1	Resistenza di progetto a compressione centrata dell'elemento confinato	111
5.6.2	Confinamento di colonne circolari	113
5.6.3	Confinamento di colonne quadrate o rettangolari	114
5.7	PRINCIPI GENERALI DI INTERVENTO PER COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA	117
5.7.1	Obiettivi della progettazione	117
5.7.2	Criteri per la scelta dell'intervento con FRP	118
5.8	INSTALLAZIONE, MONITORAGGIO E CONTROLLO	119
5.8.1	Controllo e preparazione del substrato	120
5.8.1.1	Valutazione del deterioramento del substrato	120
5.8.1.2	Rimozione e ricostruzione del substrato	121
5.8.2	Raccomandazioni per l'esecuzione a regola d'arte	121
5.8.2.1	Condizioni di umidità e temperatura dell'ambiente e del substrato	122
5.8.2.2	Particolari costruttivi e norme di esecuzione	122
5.8.2.3	Protezione del sistema di rinforzo	122
5.8.3	Controllo di qualità dell'esecuzione	123
5.8.3.1	Prove semi-distruttive	123
5.8.3.2	Prove non distruttive	123
5.8.4	Qualifica degli operatori	124
5.8.5	Monitoraggio dell'intervento di rinforzo	125
6	APPENDICE A (SULLE TECNICHE DI PRODUZIONE DEI COMPOSITI E SUI LEGAMI COSTITUTIVI DEI MATERIALI ELASTICI LINEARI ORTOTROPI)	126
6.1	TECNICHE DI PRODUZIONE	126
6.1.1	Pultrusione	126
6.1.2	Laminazione	127
6.2	COMPORAMENTO MECCANICO DEI COMPOSITI	128

6.2.1	Effetto di carichi agenti in direzioni diverse dalle direzioni di simmetria del materiale	131
6.2.2	Criteri di rottura	133
6.3	INDICAZIONI RELATIVE ALLE PROVE MECCANICHE DI CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI FIBRORINFORZATI	135
7	APPENDICE B (SULLA DELAMINAZIONE).....	138
7.1	MODALITÀ DI ROTTURA PER DELAMINAZIONE	138
7.2	MODELLAZIONE DEL LEGAME DI ADERENZA TRA RINFORZO E CALCESTRUZZO	140
7.2.1	Energia specifica di frattura del legame di interfaccia	140
7.2.2	Il legame di aderenza	141
7.3	RESISTENZA ALLA DELAMINAZIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO IN CORRISPONDENZA DI FESSURE DA FLESSIONE (MODALITÀ 2) – METODO SEMPLIFICATO.....	142
8	APPENDICE C (SUL RINFORZO A PRESSOFLESSIONE DI ELEMENTI DI C.A.)...144	
8.1	VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO A FLESSIONE DELL'ELEMENTO RINFORZATO CON FRP IN PRESENZA DI FORZA ASSIALE (PRESSOFLESSIONE).....	144
9	APPENDICE D (SUL LEGAME COSTITUTIVO DEL CALCESTRUZZO CONFINATO).....147	
9.1	LEGAME COSTITUTIVO DEL CALCESTRUZZO CONFINATO	147
10	APPENDICE E (SU ESEMPI DI PROGETTAZIONE DI RINFORZI CON FRP).....149	
10.1	DATI GEOMETRICI, MECCANICI E DI CARICO DELLA STRUTTURA	149
10.2	IPOTESI DI VARIAZIONE DI DESTINAZIONE D'USO	150
10.3	PROGETTO DEL RINFORZO A FLESSIONE.....	151
10.4	PROGETTO DEL RINFORZO A TAGLIO	154
10.5	CONFINAMENTO DI PILASTRI PRESSOINFLESSI CON PICCOLA ECCENTRICITÀ.....	157
10.6	CONFINAMENTO E RINFORZO LONGITUDINALE DI PILASTRI PRESSOINFLESSI CON GRANDE ECCENTRICITÀ.....	160

