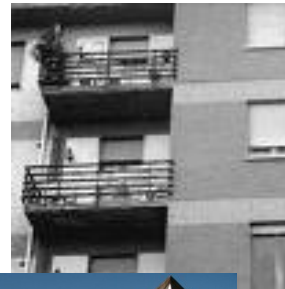


LA DURABILITÀ DEI MATERIALI COMPOSITI (CASE HISTORIES)

DACS – Dipartimento di Architettura, Costruzioni e
Strutture
Università Politecnica delle Marche - Ancona

I vantaggi dei compositi a Fibra metallica, la
durabilità dei compositi in carbonio, Rimini, 27
marzo 2009

130 ANNI



CEMENTO ARMATO



1850

1900

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2009



COMPOSITI RESTAURO CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE



VETRO CARBONIO
ARAMIDE
ACCIAIO AL CARBONIO



20 ANNI



QUADRO DELLE CONOSCENZE

- ▣ Grande disponibilità di informazioni sulla durabilità dei singoli materiali
 - ▣ Fibre (vetro, carbonio, aramide, p-aramide, acciaio...)
 - ▣ Matrici (epossidiche, cementizie...)
- ▣ Minore disponibilità di dati effettivi sull'accoppiamento materiali supporto in relazione a specifici tipi di rinforzo
 - ▣ Karbahri, 2000 (gap analysis...)

A z i o n i a m b i e n t a l i

- Le proprietà meccaniche degradano in presenza di determinate condizioni ambientali:
 - ambiente alcalino
 - Degrado della matrice nelle zone di interfaccia
 - umidità (acqua e soluzioni saline)
 - plasticizzazione, riduzione della temperatura di transizione vetrosa, riduzione di resistenza e riduzione (meno pronunciata) di rigidità
 - temperature estreme e cicli termici
 - Al crescere della temperatura si manifesta una diminuzione del modulo di elasticità normale della resina. Se la temperatura supera quella di transizione vetrosa, il livello di prestazione del composito in FRP si abbassa in maniera significativa.
 - cicli di gelo e disgelo
 - Riduzione delle prestazioni meccaniche delle resine e problemi nell'interfaccia
 - radiazioni ultraviolette (UV)
 - Fragilizzazione ed erosione superficiale resine

L'approccio normativo alla durabilità

Il valore di calcolo, **X_d** , della generica proprietà di resistenza o di deformazione di un materiale o di un prodotto usato nel rinforzo può essere espresso in forma generale mediante una relazione del tipo:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m},$$

X_d è il valore caratteristico della proprietà in questione

η (eta) è un fattore di conversione che tiene

conto, in maniera moltiplicativa, di problemi speciali di progetto

γ_m è infine il coefficiente parziale del materiale o del prodotto.

η_a

fattore di conversione ambientale

Criterio	Fibra	Massimo	Mediana	Minore	CNR-DT 200/04		
Riduzione per fattori ambientali	CFRP	1	0.88	0.6	0.95 (int)	0.85 (ext)	0.85 (aggr.)
	GFRP	0.8	0.7	0.13	0.75	0.65	0.5
	AFRP	0.9	0.85	0.31	0.85	0.75	0.7
Riduzione per stress sostenuti	CFRP	1	0.95	0.9			
	GFRP	1	0.9	0.8			
	AFRP	1	0.85	0.7			
Riduzione totale per fatto ambientali e stress sostenuti	CFRP	1	0.86	0.6			
	GFRP	0.80	0.55	0.3			
	AFRP	0.90	0.74	0.42			
Limite di rotture per Creep	CFRP	0.55	0.55	0.55			
	GFRP	0.22	0.22	0.22			
	AFRP	0.30	0.30	0.30			
I, (American code), JSCE (Japanese code), CHBDC (Canadian code), NS3473 (Norwegian code), SÉ EURO CRETE (British code), FIB Task group 9.3 (European code), CNR-DT200/2004.							
Limite di stress per cicli	CFRP	0.85	0.76	0.44	0.80	0.50 (ciclico)	



Il problema non è pertanto la mancanza di conoscenze sulla durabilità dei singoli materiali che costituiscono i componenti bensì sulla durabilità dell'intervento

**Interazione composito-
supporto**



ANALISIDICASE HISTORIES

VOLTE IN MURATURA

VOLTE IN CANNA E GESSO

LE ATTIVITA' DI RICERCA

FASE 1

- Analisi di interventi effettuati da 15-20 anni e rilievo delle problematiche intervenute

FASE 2

- Riproduzione delle condizioni ambientali gravose per quest'intervallo di tempo analoghe a quelle presenti in situ
 - Verifica degli effetti di cicli gelo-disgelo a secco ed a umido;
 - Verifica degli effetti di cicli termici tipo thunder-shower (soleggiamento temporale) con e senza interventi protettivi;
 - Verifica della resistenza ad esposizione ad alte temperature;



Chiesa di S. Biagio in Frassineto

□ Anno di esecuzione delle opere

□ 1983

□ Problema presente

□ Dissesti della volta realizzata con mattoni in foglio su una base ottagonale

□ Tipo di intervento

• fasciatura della calotta



Dissesto
della cupola





FORTI RREGOLARIT

EP-N + FIBRA
CALOTTA CONTINUA



Stato dei dipinti



- Non si manifestano alterazioni visibili se non legate ad un ingresso puntuale di acqua per non tenuta della copertura
- Carotaggi non evidenziano accumuli anomali
- Perché le condizioni d'uso non determinano grandi carichi igrometrici

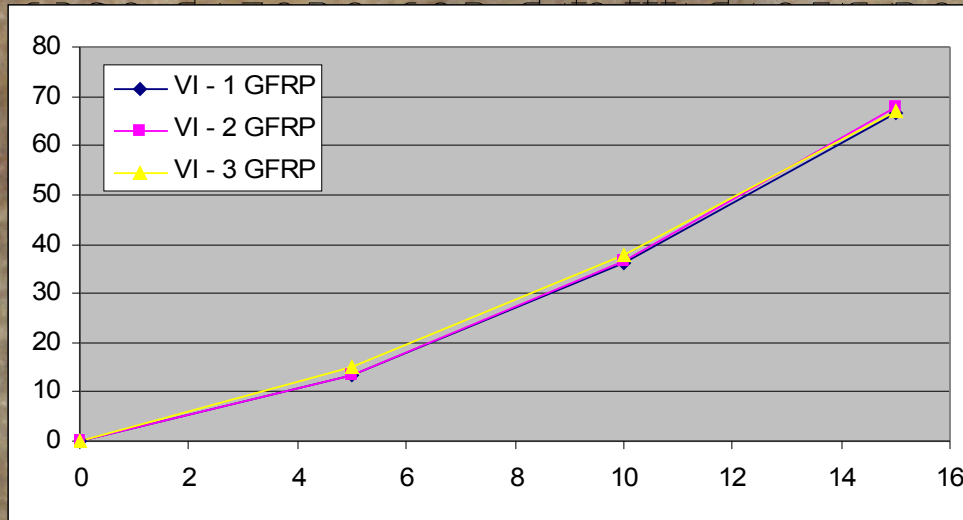
Adezione

- Rottura sul supporto nelle zone ben realizzate con distacchi per valori caratteristici del tipo di materiale di base (laterizio);
- Rottura tra adesivo e laterizio nelle zone con difetti applicativi di origine



Adesione ULTRASUONI

- Tempi di attraversamento prossimi a quelli ricavati su laterizi con interventi attuati oggi nel caso di zone senza difetti di origine
- Tempi di attraversamento elevati nel



DIFETTI
LOCALI



IL PROBLEMA:
LA MANCANZA DI UNO
TRATTO DI IMBELLIMENTO

Le misure igroscopiche

lievo di campioni al di sotto dell'FRP

misura del contenuto d'acqua igroscopico

misura del contenuto d'acqua in essiccatore al 95% UR

analisi dei Sali solubili

CAMPIONI	W%	W- 95%UR
P1	0,88	
P2	2,81	
P3	1,81	8,17
P4	4,22	4,94
P5	9,6	

La presenza di fosfati

CAMPIONI	Cloruri (%)	Nitrati (%)	Solfati (%)	Sodio (%)	Potassio (%)	Magnesio (%)	Calcio (%)
C1	0,73	0,71	0,13	0,46	0,2	0,17	2,4
C2	0,4	0,11	0,62	0,3	0,15	0,13	1,13

CAMPIONI	Cloruri (%)	Nitrati (%)	Solfati (%)	Fosfati (%)
C3	0,49	0,14	0,55	0,74
C4	0,42		0,28	0,59



Collegiata di San Lorenzo



□ Anno di
esecuzione delle
opere

□ 1984-1985

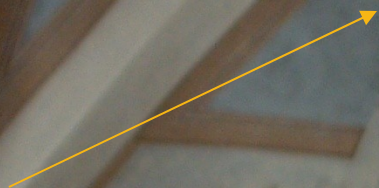
□ Problema
presente

□ Dissesti della volta
realizzata con
mattoni in foglio

□ Tipo di intervento
Fasciatura discontinua

Stato dei dipinti

Infiltrazioni



I carotaggi non hanno evidenziato accumuli anomali

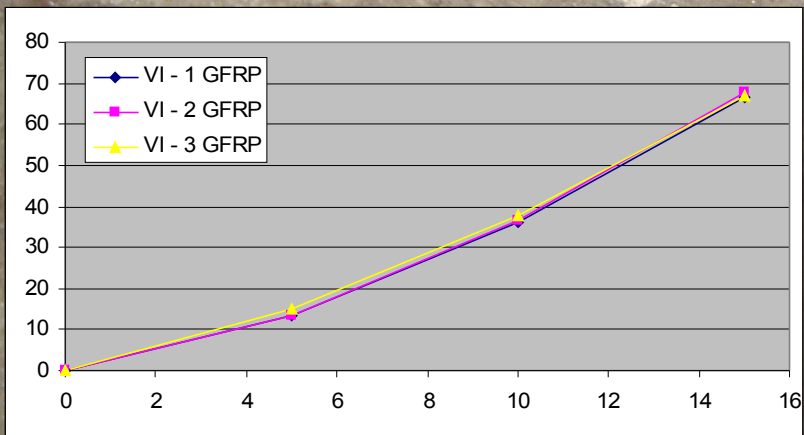
Adesione PULL-OFF

- Distacchi per rottura del supporto



Adesione ULTRASUONI

- Tempi di attraversamento prossimi a quelli ricavati su laterizi con interventi attuati oggi nel caso di zone senza difetti di origine
- Tempi di attraversamento elevati nel caso di zone di difetti di origine
- Zone distaccate limitate dimensionatamente



A close-up photograph showing a person's hands using a handheld device with two grey circular sensors on a textured, greyish-brown surface. The person is wearing a white long-sleeved shirt and a yellow wristband. A black cable is connected to the device. A black circle highlights a specific area on the surface, and a black arrow points from the bottom left towards this circled area, indicating a defect. The defect appears as a small, irregular, light-colored mark on the textured surface.

**Si evidenzia la presenza di difetti di origine dovuti all'applicazione
a di RIDOTTA entità**

<i>CAMPIONI</i>	<i>W%</i>	<i>W- 95%UR</i>
P3	1,81	8,17
P4	4,22	4,94
P5	9,6	

	<i>Cloruri</i>	<i>Nitrati</i>	<i>Solfati</i>		<i>Sodio</i>	<i>Potassio</i>	<i>Magnesio</i>	<i>Calcio</i>
<i>CAMPIONI</i>	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)
C1	0,73	0,71	0,13		0,46	0,2	0,17	2,4
C2	0,4	0,11	0,62		0,3	0,15	0,13	1,13
	<i>Cloruri</i>	<i>Nitrati</i>	<i>Solfati</i>	<i>Fosfati</i>				
<i>CAMPIONI</i>	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
C3	0,49	0,14	0,55	0,74				
C4	0,42		0,28	0,59				

Conclusioni tratte dai casi di studio

- Non appaiono esserci state problematiche significative
 - ▣ Né di tipo meccanico
 - ▣ Né di tipo igroscopico
 - ▣ Localmente aggressione di tipo chimico
- Anomalie solo laddove non era stato inizialmente preparato adeguatamente il fondo
 - ▣ Assenza dello strato di livellamento
 - ▣ Discontinuità significative nel supporto



La durata del legam e adesivo

A) LE PROVE DI LABORATORIO

Le attività

□ **Caratterizzazione dei materiali base**

- Resistenze meccaniche a compressione ed a flessione
- Rilievi ultrasonici
- Assorbimento per capillarità
- Permeabilità al vapore

□ **Stress termici gelo/disgelo**

- 50 cicli (MATERIALE **SECCHI**) della durata di 6 ore ciascuno +55/-25°C
- 50 cicli (MATERIALE **SATURI**) della durata di 6 ore ciascuno +55/-25°C

□ **Stress con apparecchio Thunder-Shower**

- 10+10 Cicli di
 - riscaldamento della superficie 60°C per 5 ore e 45 minuti
 - Raffreddamento per bagnatura della superficie con acqua a 12°C per 15 minuti

□ **Stress per esposizione ad alte temperature**

- (fino a 100°C -500°C) per tempi di 30-60-90-120 minuti

I materiali del supporto

I PIETRA TIPO 1 14 MPa

II PIETRA TIPO 2 18 MPa

III MALTA 8 MPa

IV CLS 35 MPa

V CLS 40 MPa

VI Laterizio 35 MPa

I compositi

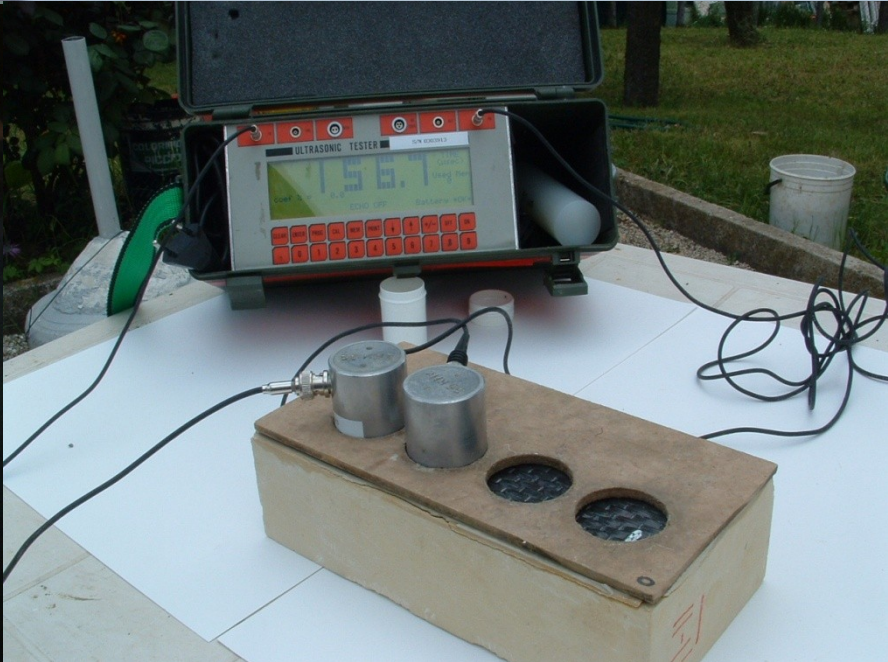
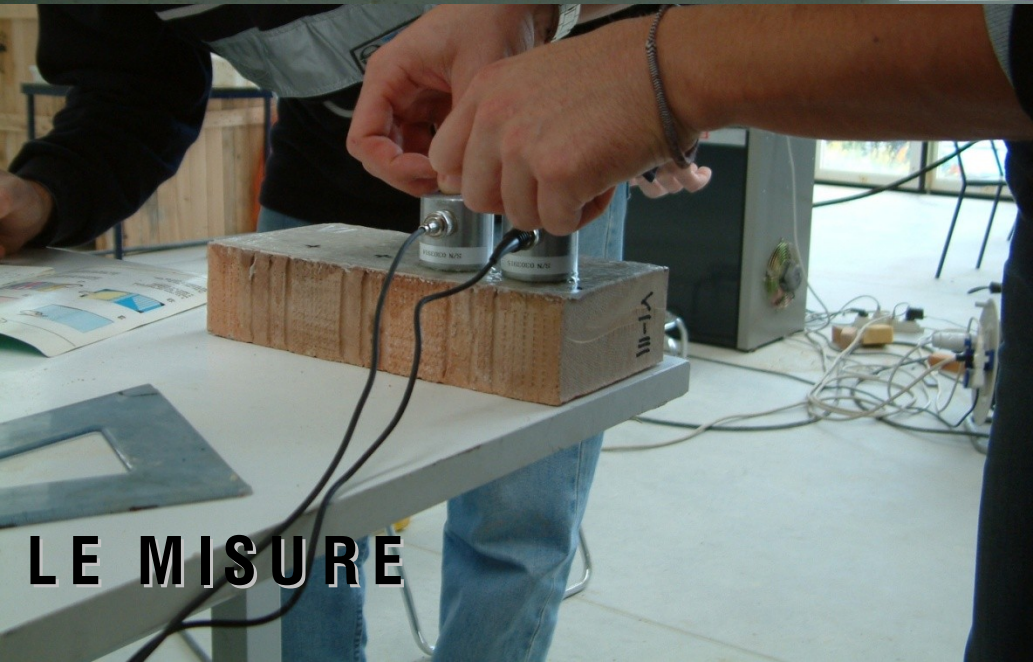
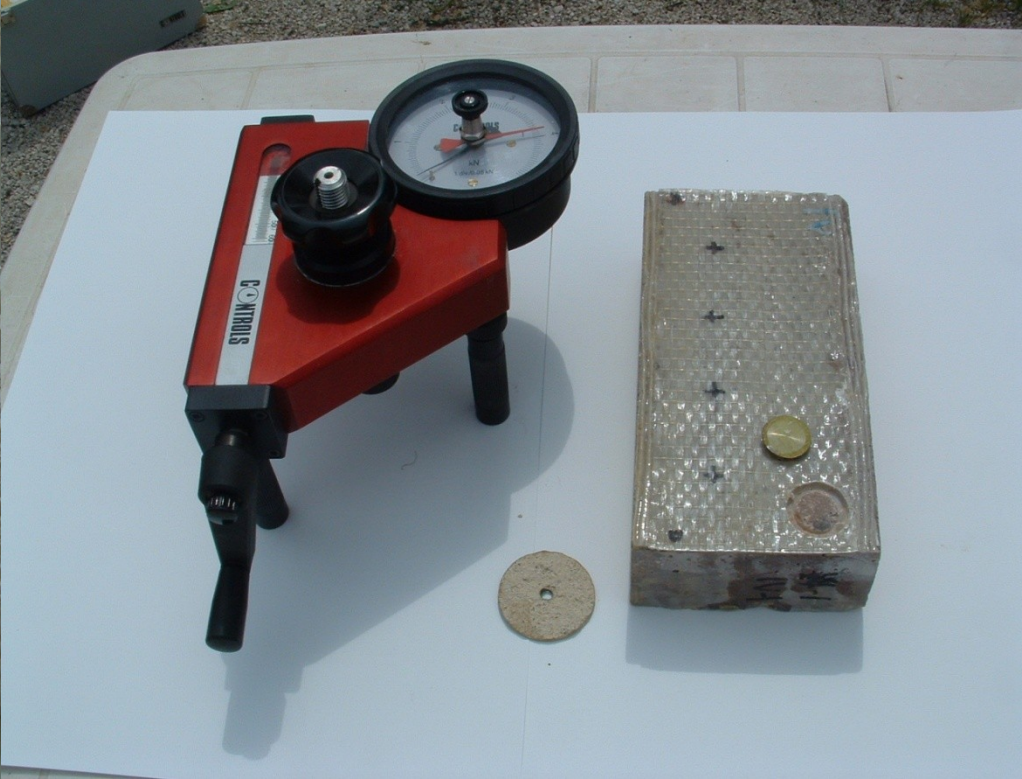
Identificativo	Supporto	Strato di livellamento	Fibra	Resina di impregnazione	N° provini
I	Pietra 1	-	-	-	3
II	Pietra 2	-	-	-	3
III	Malta	-	-	-	3
IV	CLS tipo A	-	-	-	3
V	CLS tipo B	-	-	-	3
VI	Laterizio	-	-	-	3
I GFRP	Pietra 1	EP-TX	VETRO-VR300	EP-IN	3
II GFRP	Pietra 2	EP-TX	VETRO-VR300	EP-IN	3
III GFRP	Malta	EP-TX	VETRO-VR300	EP-IN	3
IV GFRP	CLS tipo A	EP-TX	VETRO-VR300	EP-IN	3
V GFRP	CLS tipo B	EP-TX	VETRO-VR300	EP-IN	3
VI GFRP	Laterizio	EP-TX	VETRO-VR300	EP-IN	3
I CFRP	Pietra 1	EP-TX	CARBONIO-CB300	EP-IN	3
II CFRP	Pietra 2	EP-TX	CARBONIO-CB300	EP-IN	3
III CFRP	Malta	EP-TX	CARBONIO-CB300	EP-IN	3
IV CFRP	CLS tipo A	EP-TX	CARBONIO-CB300	EP-IN	3
V CFRP	CLS tipo B	EP-TX	CARBONIO-CB300	EP-IN	3
VI CFRP	Laterizio	EP-TX	CARBONIO-CB300	EP-IN	3

Materiali forniti
dalla K M IA spa



L'invecchiamento termico





LE MISURE

La situazione iniziale

PIETRA 14

	I - 1	I - 2	I - 3	MEDIA	STDEV	I - 1 GFRP	I - 2 GFRP	I - 3 GFRP	MEDIA	STDEV	I - 1 CFRP	I - 2 CFRP	I - 3 CFRP	MEDIA	STDEV
0 cm	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00
5 cm	31.4	36	33.7	33.70	2.30	8	9	9	8.67	0.58	9.9	10.6	10.6	10.37	0.40
10 cm	62.3	62.7	61.7	62.23	0.50	31.4	25.4	25.2	27.33	3.52	33.05	39.9	36.6	36.52	3.43
15 cm	89	93.9	88.7	90.53	2.92	46.1	60.1	60.7	55.63	8.26	63	59.7	60.4	61.03	1.74
diretta	20	21	20	20.33	0.58	20	20	21.3	20.43	0.75	20.3	19.7	20	20.00	0.30

PIETRA 3€

	..	II - 2	II - 3	MEDIA	STDEV	II - 1 GFRP	II - 2 GFRP	II - 3 GFRP	MEDIA	STDEV	II - 1 CFRP	II - 2 CFRP	II - 3 CFRP	MEDIA	STDEV
0 cm	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00
5 cm	36	28.2	34.7	32.97	4.18	9.3	14.2	8.6	10.70	3.05	10.9	10.9	11.2	11.00	0.17
10 cm	50.9	48	45.1	48.00	2.90	41.8	38.2	43.1	41.03	2.54	DISTACCO	33.4	65.3	49.35	22.56
15 cm	68.8	69.8	66.9	68.50	1.47	59.4	75.4	66.6	67.13	8.04	70.8	70.1	73.7	71.53	1.91
diretta	22.6	21.6	21.6	21.93	0.58	22.9	23.6	22.6	23.03	0.51	23.3	26.2	23.9	24.47	1.53

MALTA 8I

	III - 1	III - 2	III - 3	MEDIA	STDEV	III - 1 GFRP	III - 2 GFRP	III - 3 GFRP	MEDIA	STDEV	III - 1 CFRP	III - 2 CFRP	III - 3 CFRP	MEDIA	STDEV
0 cm	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00
5 cm	27.2	39.9	37.3	34.80	6.71	12.2	12.2	11.9	12.10	0.17	11.2	11.9	11.9	11.67	0.40
10 cm	48	68.5	67.5	61.33	11.56	47	47.7	47.4	47.37	0.35	35.3	34.7	37.9	35.97	1.70
15 cm	76.3	102	105	94.43	15.78	71.1	69.2	73.7	71.33	2.26	73.7	74.7	75	74.47	0.68
diretta	24.3	23.6	23.6	23.83	0.40	23.6	23.3	23.9	23.60	0.30	25.2	23.9	24.3	24.47	0.67

CLS 35

	IV - 1	IV - 2	IV - 3	MEDIA	STDEV	IV - 1 GFRP	IV - 2 GFRP	IV - 3 GFRP	MEDIA	STDEV	IV - 1 CFRP	IV - 2 CFRP	IV - 3 CFRP	MEDIA	STDEV
0 cm	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00
5 cm	29.1	26.5	30.1	28.57	1.86	9	8	8.6	8.53	0.50	7.6	9.3	9.3	8.73	0.98
10 cm	52.6	50.3	52.9	51.93	1.42	20	19.4	21	20.13	0.81	19.7	20.7	20.3	20.23	0.50
15 cm	69.8	65.3	47.4	60.83	11.85	46.4	46.7	30.8	41.30	9.09	30.8	32.4	31.7	31.63	0.80
diretta	13.5	13.5	14.2	13.73	0.40	14.2	14.5	13.8	14.17	0.35	14.5	14.8	14.2	14.50	0.30

CLS 40

	V - 1	V - 2	V - 3	MEDIA	STDEV	V - 1 GFRP	V - 2 GFRP	V - 3 GFRP	MEDIA	STDEV	V - 1 CFRP	V - 2 CFRP	V - 3 CFRP	MEDIA	STDEV
0 cm	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00
5 cm	26.5	30.8	28.2	28.50	2.17	8	8.3	7.3	7.87	0.51	7.6	8.3	8.6	8.17	0.51
10 cm	51.6	58.8	56.8	55.73	3.72	20.3	20.3	19.4	20.00	0.52	20.3	20.7	21	20.67	0.35
15 cm	72.1	88.4	87.4	82.63	9.14	32.4	32.1	32.1	32.20	0.17	32.4	32.4	32.7	32.50	0.17
diretta	13.8	14.2	13.5	13.83	0.35	14.2	13.8	14.2	11.65	5.54	14.5	14.8	14.2	14.50	0.30

BRICK

	VI - 1	VI - 2	VI - 3	MEDIA	STDEV	VI - 1 GFRP	VI - 2 GFRP	VI - 3 GFRP	MEDIA	STDEV	VI - 1 CFRP	VI - 2 CFRP	VI - 3 CFRP	MEDIA	STDEV
0 cm	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0.00	0.00
5 cm	31.7	24.3	20.3	25.43	5.78	13.2	13.5	15.1	13.93	1.02	12.9	12.9	12.9	12.90	0.00
10 cm	53.1	57.1	53.9	54.70	2.12	36.3	36.6	37.6	36.83	0.68	38.6	38.2	35.6	37.47	1.63
15 cm	89	92.3	87.7	89.67	2.37	66.6	67.9	67.2	67.23	0.65	68.5	62		65.25	4.60
diretta	18.4	19.7	19.4	19.17	0.68	19.7	20	19.7	19.80	0.17	20.3	20	20	20.10	0.17

50 CICLIA SECCO

PIETRA 14....

	I - 1	I - 2	I - 3
	vel I - 1	vel I - 2	vel I - 3
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	I - 1 GFRP	I - 2 GFRP	I - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	I - 1 CFRP	I - 2 CFRP	I - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

PIETRA 38

	II - 1	II - 2	II - 3
	vel	vel	vel
5 cm	ANOMALIA	ANOMALIA	ANOMALIA
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	II - 1 GFRP	II - 2 GFRP	II - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	II - 1 CFRP	II - 2 CFRP	II - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	OK
10 cm	DANNO	DANNO	ANOMALIA
15 cm	DANNO	DANNO	OK

MALTA 8L...

	III - 1	III - 2	III - 3
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	III - 1 GFRP	III - 2 GFRP	III - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	III - 1 CFRP	III - 2 CFRP	III - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

CLS 35

	IV - 1	IV - 2	IV - 3
	vel	vel	vel
5 cm	ANOMALIA	ANOMALIA	ANOMALIA
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	IV - 1 GFRP	IV - 2 GFRP	IV - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	IV - 1 CFRP	IV - 2 CFRP	IV - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

CLS 40....

	V - 1	V - 2	V - 3
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	V - 1 GFRP	V - 2 GFRP	V - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	V - 1 CFRP	V - 2 CFRP	V - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

BRICK 28

	VI - 1	VI - 2	VI - 3
	vel	vel	vel
5 cm	ANOMALIA	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

FIBRA DI VETRO

	VI - 1 GFRP	VI - 2 GFRP	VI - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

FIBRA DI CARBONIO

	VI - 1 CFRP	VI - 2 CFRP	VI - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

G -FRP





C - FRP
P i e t r a 2

50 CICLI A UMIDO

PIETRA 14kN

	I - 1	I - 2	I - 3
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	DANNO
10 cm	DANNO	DANNO	DANNO
15 cm	DANNO	DANNO	DANNO

	I - 1 GFRP	I - 2 GFRP	I - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	DANNO	OK
10 cm	OK	OK	DANNO
15 cm	OK	OK	OK

	I - 1 CFRP	I - 2 CFRP	I - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

PIETRA 38kN

	II - 1	II - 2	II - 3
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	DANNO
10 cm	DANNO	DANNO	DANNO
15 cm	DANNO	DANNO	DANNO

	II - 1 GFRP	II - 2 GFRP	II - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	OK	DANNO
10 cm	OK	DANNO	OK
15 cm	OK	OK	OK

	II - 1 CFRP	II - 2 CFRP	II - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	DANNO
10 cm	DANNO	DANNO	DANNO
15 cm	DANNO	DANNO	DANNO

MALTA 8kN

	III - 1	III - 2	III - 3
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	DANNO
10 cm	DANNO	DANNO	DANNO
15 cm	DANNO	DANNO	DANNO

	III - 1 GFRP	III - 2 GFRP	III - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	DANNO
10 cm	OK	OK	DANNO
15 cm	OK	OK	DANNO

	III - 1 CFRP	III - 2 CFRP	III - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

CLS 35kN

	IV - 1	IV - 2	IV - 3
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	DANNO
10 cm	OK	OK	DANNO
15 cm	OK	DANNO	OK

	IV - 1 GFRP	IV - 2 GFRP	IV - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	IV - 1 CFRP	IV - 2 CFRP	IV - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	DANNO	OK
10 cm	DANNO	DANNO	OK
15 cm	DANNO	DANNO	OK

CLS 40kN

	V - 1	V - 2	V - 3
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	ANOMALIA	OK
15 cm	OK	OK	OK

	V - 1 GFRP	V - 2 GFRP	V - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	V - 1 CFRP	V - 2 CFRP	V - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	DANNO	OK
10 cm	OK	DANNO	OK
15 cm	OK	DANNO	OK

BRICK 28 kN

	VI - 1	VI - 2	VI - 3
	vel	vel	vel
5 cm	DANNO	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	VI - 1 GFRP	VI - 2 GFRP	VI - 3 GFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	OK

	VI - 1 CFRP	VI - 2 CFRP	VI - 3 CFRP
	vel	vel	vel
5 cm	OK	OK	OK
10 cm	OK	OK	OK
15 cm	OK	OK	DANNO

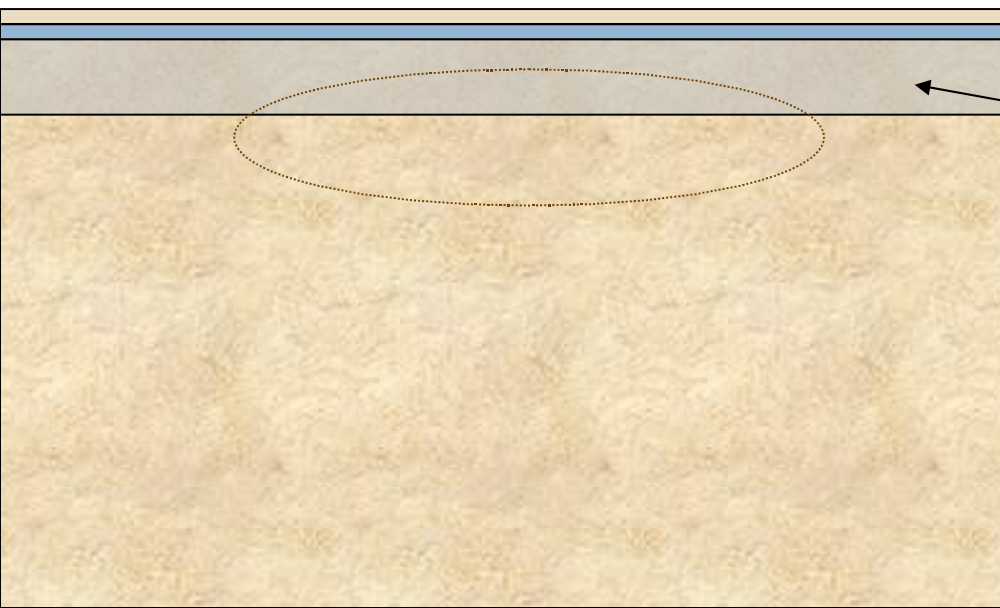
FIBRA DI VETRO

FIBRA DI CARBONIO

I cicli a umido

Dannial
supporto a
basse
proprietà
meccaniche





Fibre e resina di impregnazione

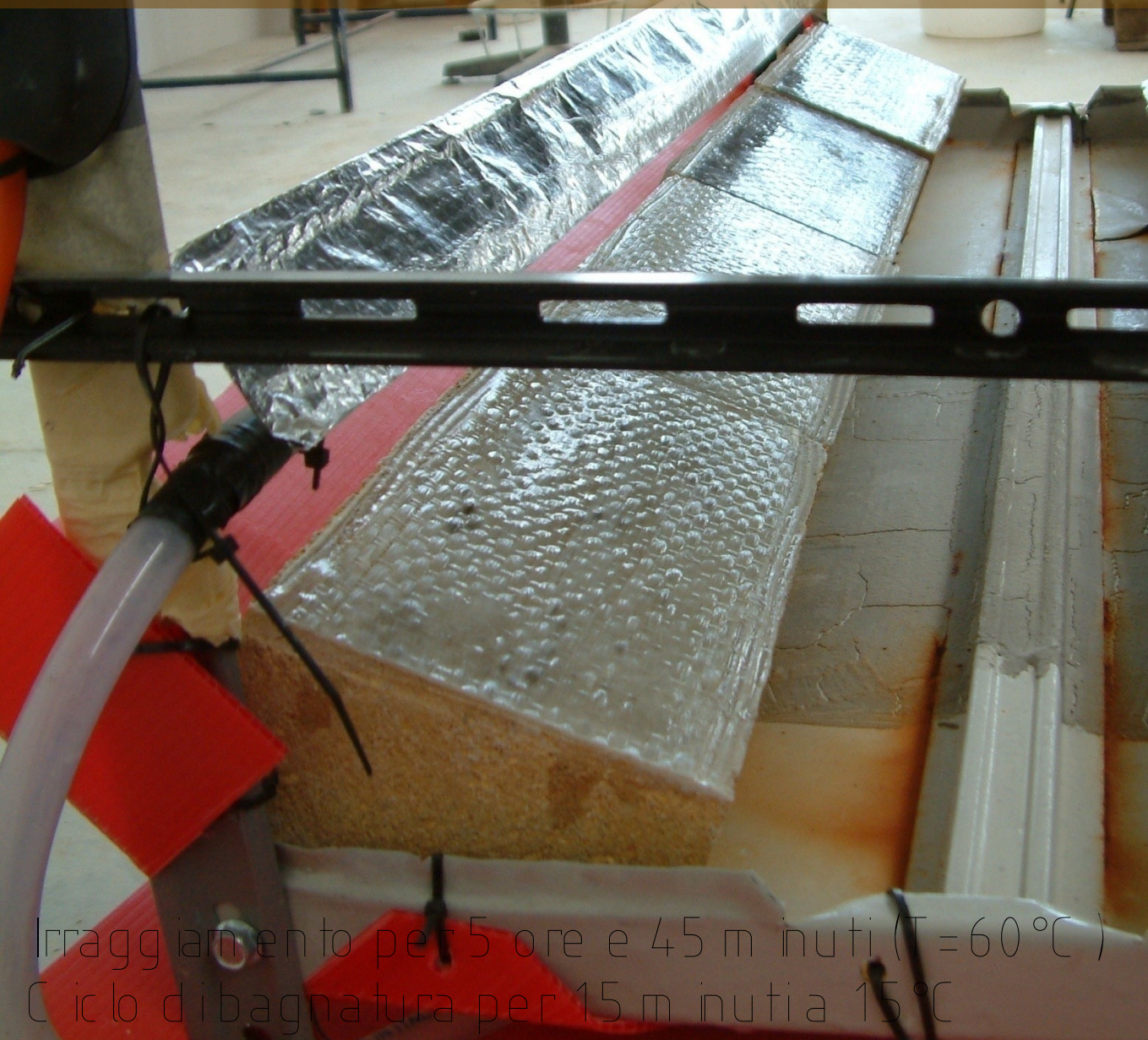
Strato di livellamento

Resina per preconsolidamento

Materiale a struttura porosa "fine" che ha ridotto la capacità di penetrazione della resina di preconsolidamento

- I cicli gelo-disgelo hanno determinato:
 - ▣ Ampliamento di distacchi presenti in origine indipendentemente dal tipo di supporto (cicli a secco)
 - ▣ Distacchi tra CFRP e supporto ma solo per un particolare tipo di supporto
 - ▣ Degrado del materiale di supporto prima che del tessuto e della resina (cicli a umido)

Il thunder-shower



Irraggiamento per 5 ore e 45 minuti ($T = 60^{\circ}\text{C}$)
Ciclo di bagnatura per 15 minuti a 15°C





Compositi non protetti

Iniziale rammollimento della resina

Leggera erosione della resina di impregnazione

Distacchi localizzati



Compositi con resina e malta

Nessun danno ai compositi

Leggere screpolature sulla malta



Compositi con intonaco

Nessun danno ai compositi

Erosione dell'intonaco

Effetti delle alte temperature

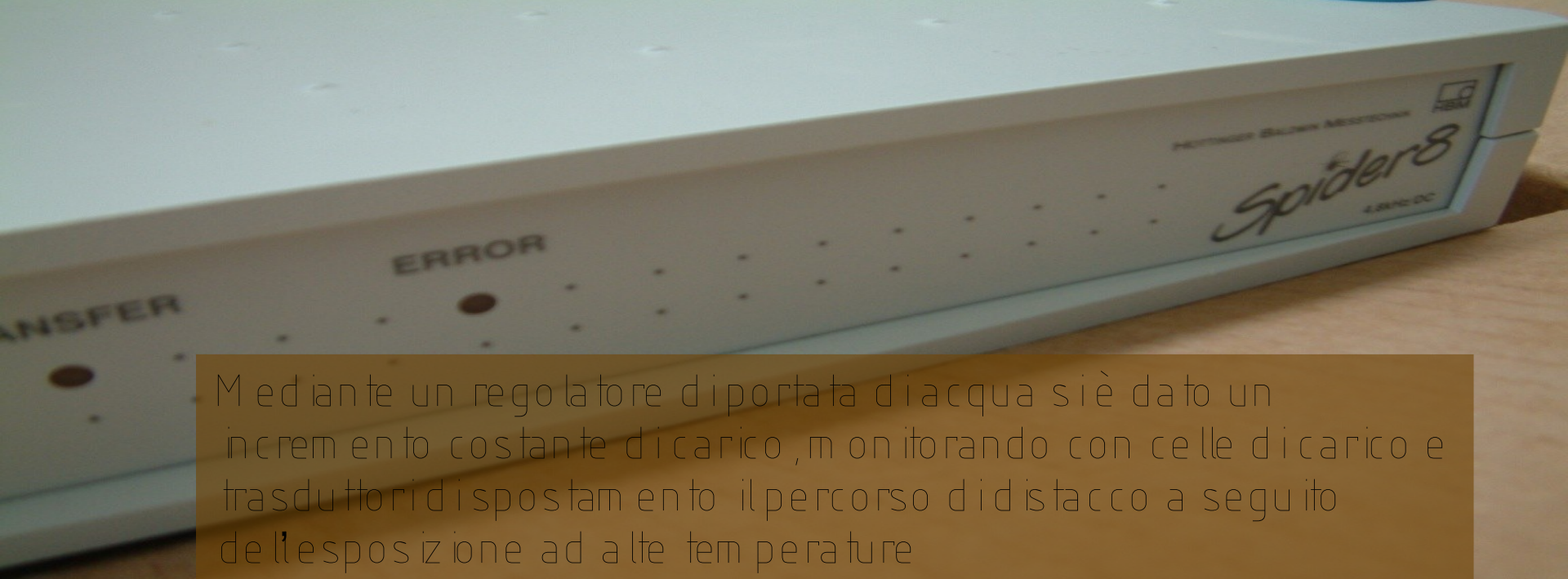
- Programma di prove volto a verificare l'effetto di esposizioni ad alte temperature per tempi pari

30-60-90-120 minuti

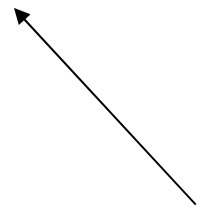
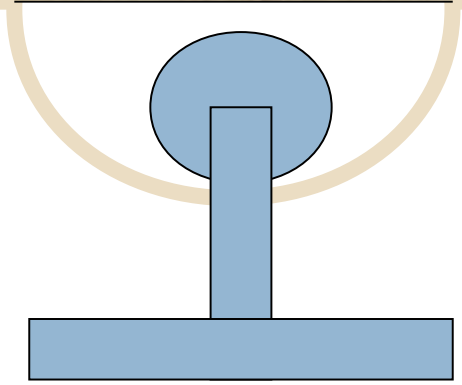
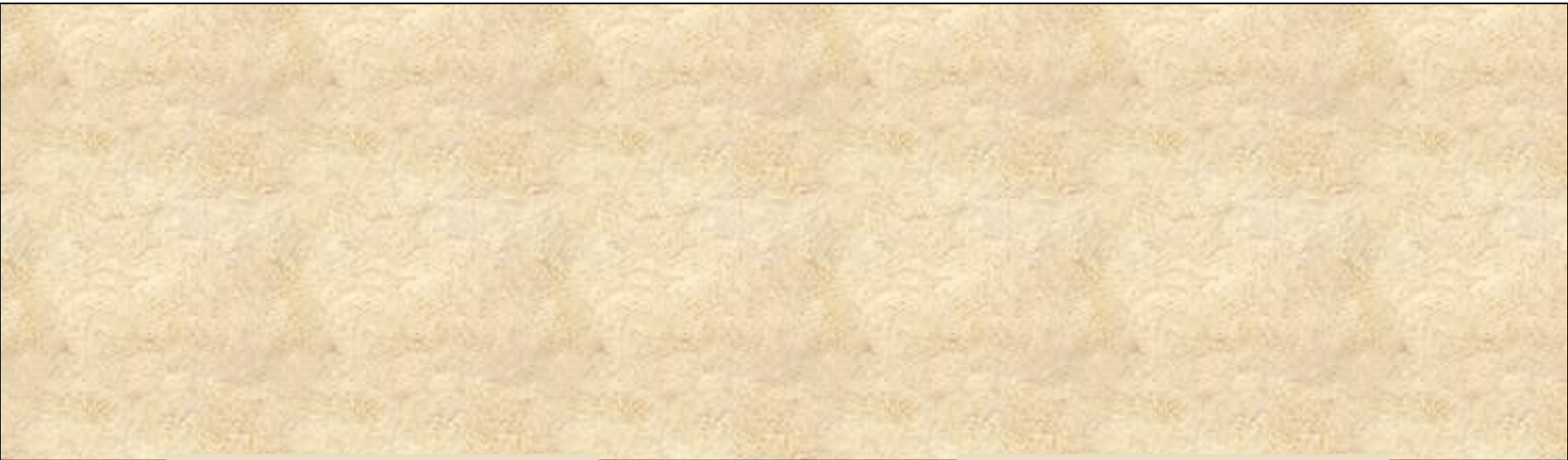
- Range di temperatura pari a

30-60-90-120-300-400-

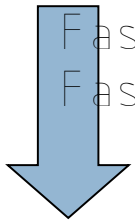
500°C



Mediante un regolatore di portata di acqua si è dato un incremento costante di carico, monitorando con celle di carico e trasduttori di spostamento il percorso di distacco a seguito dell'esposizione ad alte temperature

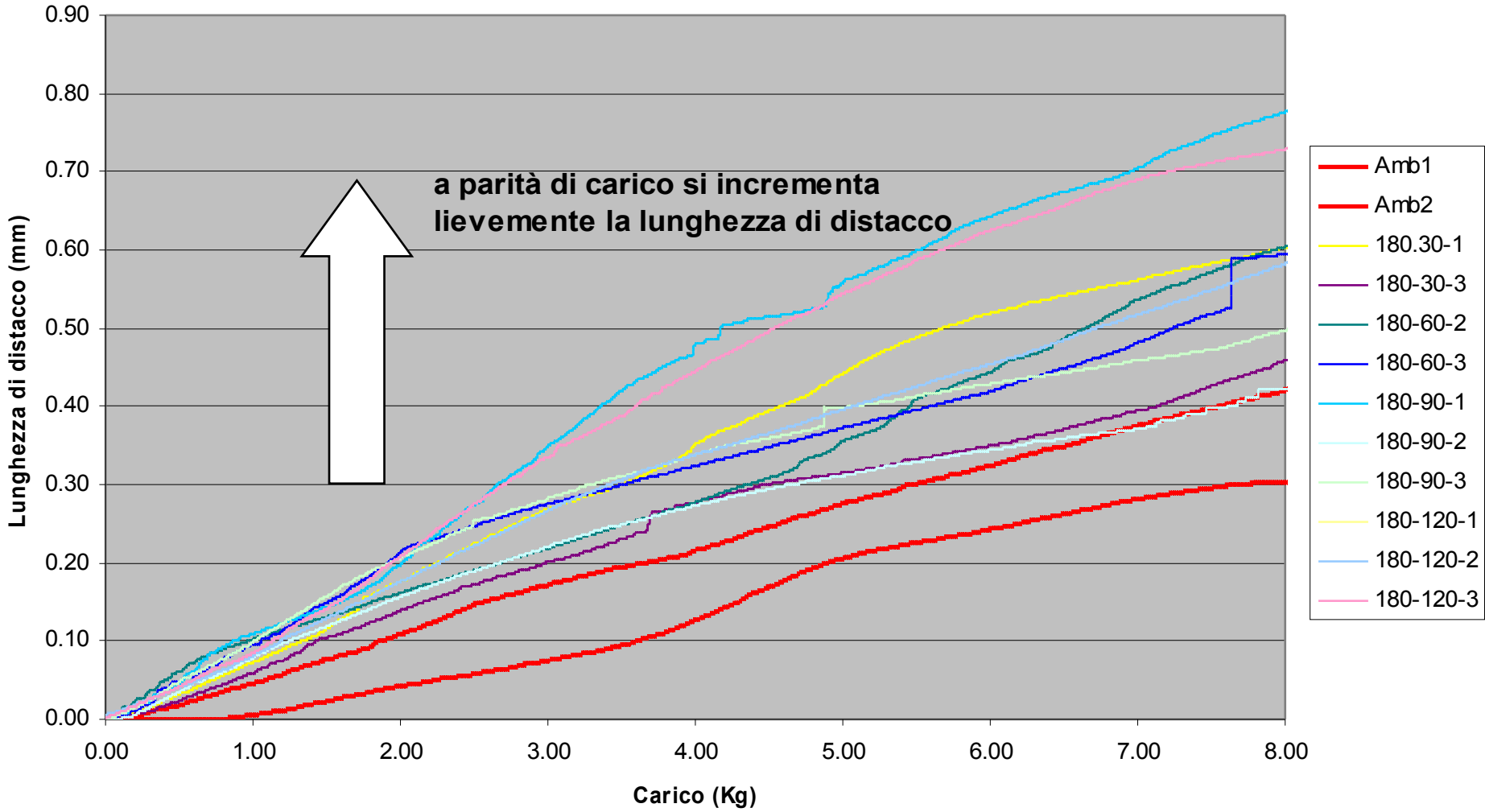


Trasduttori disposti in



Fase di precarico
Fase di carico a incrementi costanti di carico

Esposizione a 180° (30-60-90-120)



Prove a T ambiente

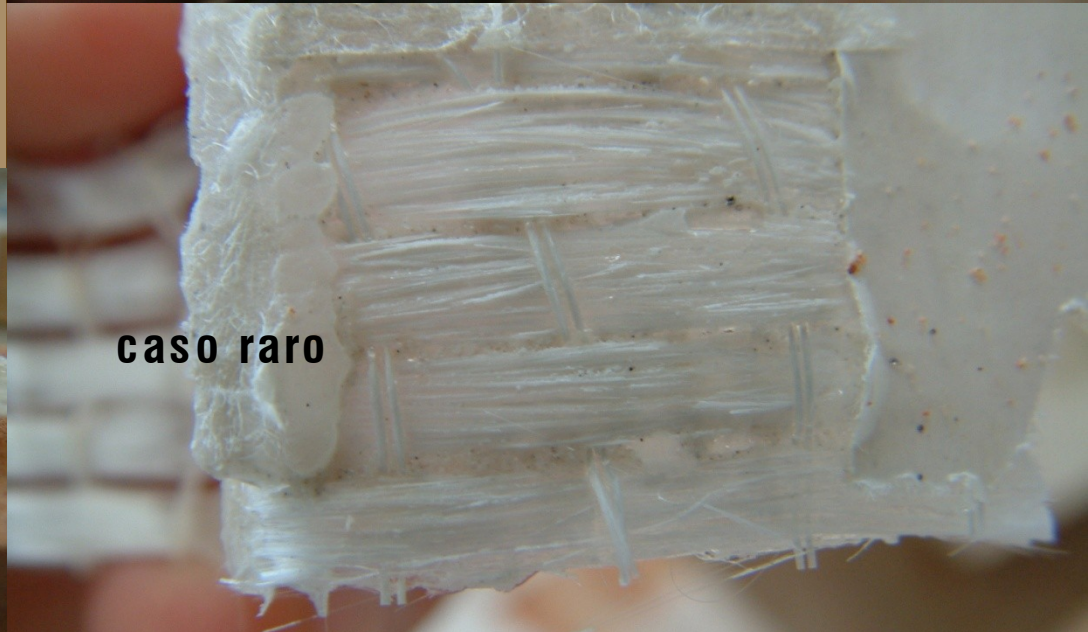
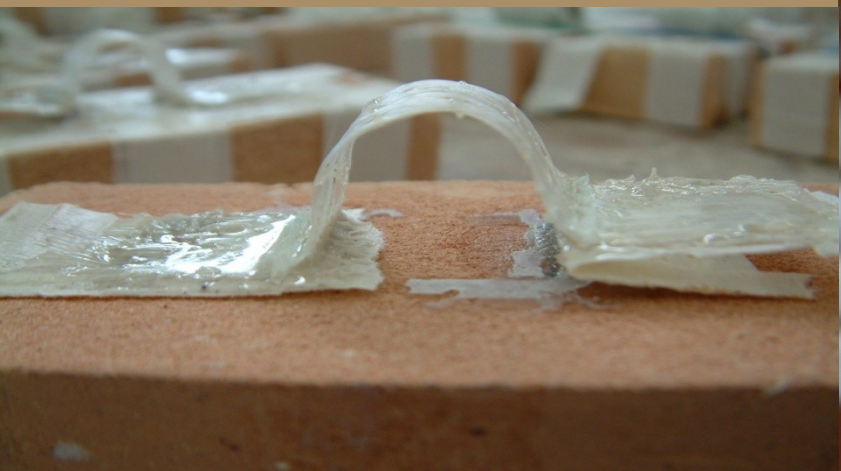
- Due tipi di distacco
 - nel supporto
 - tra adesivo e strato di livelloamento

Prove dopo esposizione a 30-60-90-120-180°C

- Distacchi analoghi
- Ridotte variazioni nelle capacità portanti

Prove dopo esposizione a 300°C

- Perdita della capacità adesiva per ovvi problemi di incenerimento delle resine;





Conclusioni tratte dalle prove di lab.

- Gelo-disgelo a secco
 - Danni limitatissimi
- Gelo disgelo a umido
 - Danni significativi in prima sui supporti
- ▣ Thunder-shower (tipo temporale estivo)
 - Danni significativi (necessità di protezione)
- ▣ Esposizione ad alte temperature
 - Riduzione della capacità adesiva al supporto fino a 150-180°C ; annullamento della capacità adesiva se $T > 180^\circ\text{C}$