

Workshop
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica
e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture

Consorzio ReLUIS

Sperimentazione di nuove tipologie
di ancoraggio di rinforzi in FRP nel restauro statico
di costruzioni monumentali in muratura

L. Petti, M. Modesti, I. Marino



12-13 febbraio 2007, Università degli Studi di Salerno



Nell'ambito della salvaguardia dell'ampio patrimonio culturale europeo, la conservazione delle costruzioni storico-monumentali è un tema fortemente sentito dalla collettività, in quanto la maggior parte di esse riveste un importante ruolo architettonico e storico nei diversi contesti socio-culturali.

Intervenire su tali costruzioni per incrementarne la sicurezza sismica e prolungarne la vita attesa, come è noto, non è semplice poiché vi è l'esigenza, nel rispetto dei principi del restauro, della conservazione dell'autenticità e dell'integrità delle stesse.

In tale contesto, le metodologie di intervento che si basano sull'uso dei materiali compositi sembrano particolarmente adatte per la reversibilità e la minima invasività che li caratterizza.

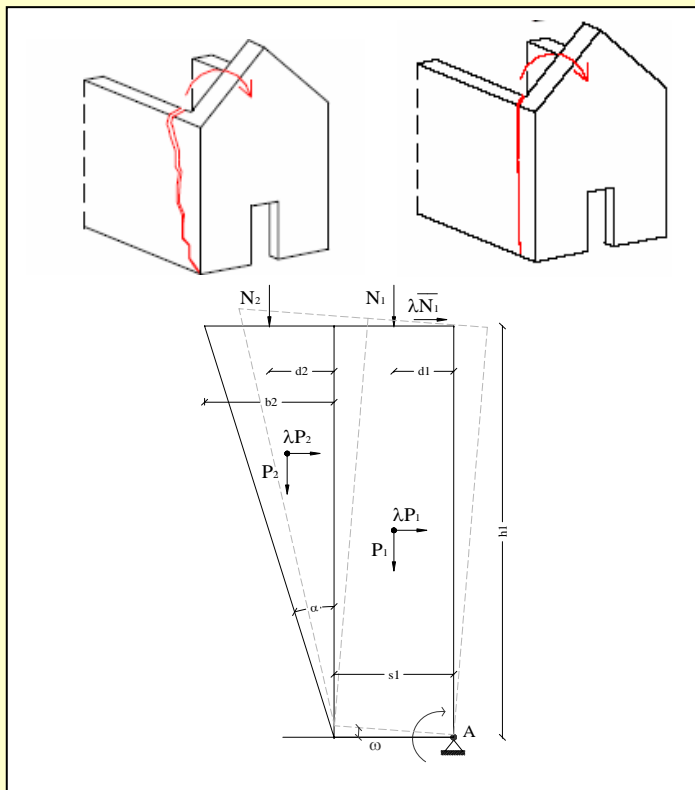


12-13 febbraio, Salerno

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture

Il lavoro presenta i primi risultati di una ricerca più ampia il cui obiettivo è progettare nuove tipologie di ancoraggio di tiranti in FRP per il rinforzo statico delle strutture monumentali in muratura

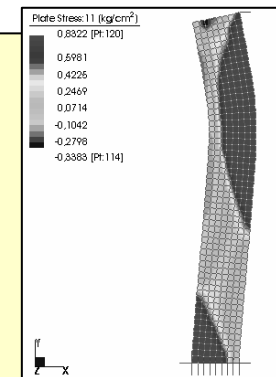
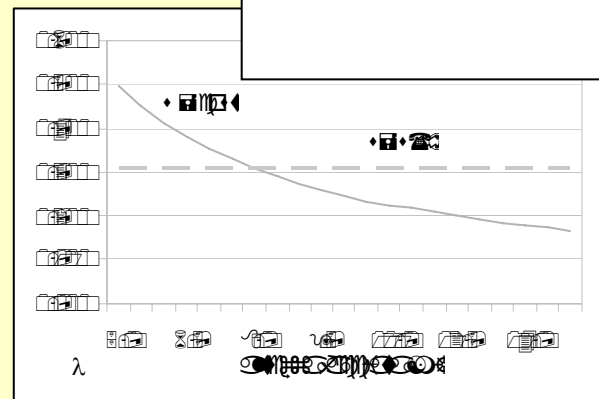
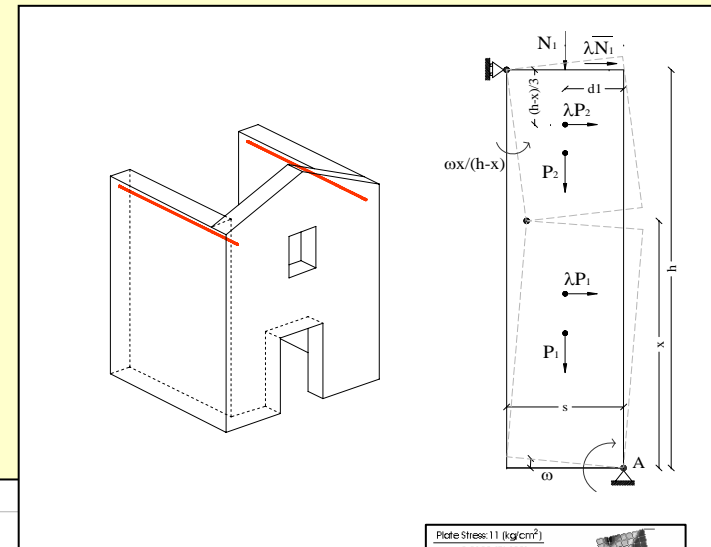
Esempi di Meccanismo di ribaltamento configurazione originaria



Metodologie innovative di restauro statico per la riduzione della vulnerabilità sismica delle facciate delle chiese

L. Petti, I. Marino, M. Modesti - Ingegneria Sismica, 3-2005

Esempi di Meccanismo di ribaltamento configurazione con catene in CFRP



12-13 febbraio, Salerno

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture

La muratura, come è noto, è un materiale fortemente eterogeneo, composto da conci uniti a secco o per mezzo di malte di allettamento e contraddistinto da scarse caratteristiche meccaniche.

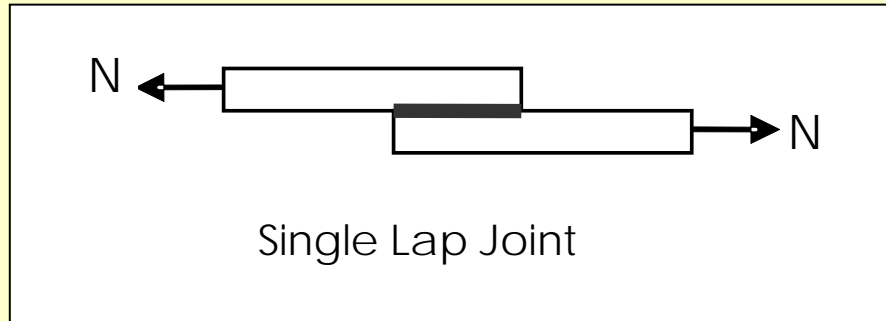
Pertanto, gli interventi rivolti al controllo dei meccanismi di rottura nel piano o fuori dal piano di parti strutturali in muratura mediante l'uso di fasce da impregnare in situ o elementi pultrusi in FRP necessitano di una particolare attenzione soprattutto nell'interfaccia FRP-muratura.

Obiettivo della ricerca è lo studio di sistemi di ancoraggio di semplice messa in opera ed elevata affidabilità realizzati mediante l'uso di piastre in acciaio che consentono maggiore flessibilità nella realizzazione del nodo



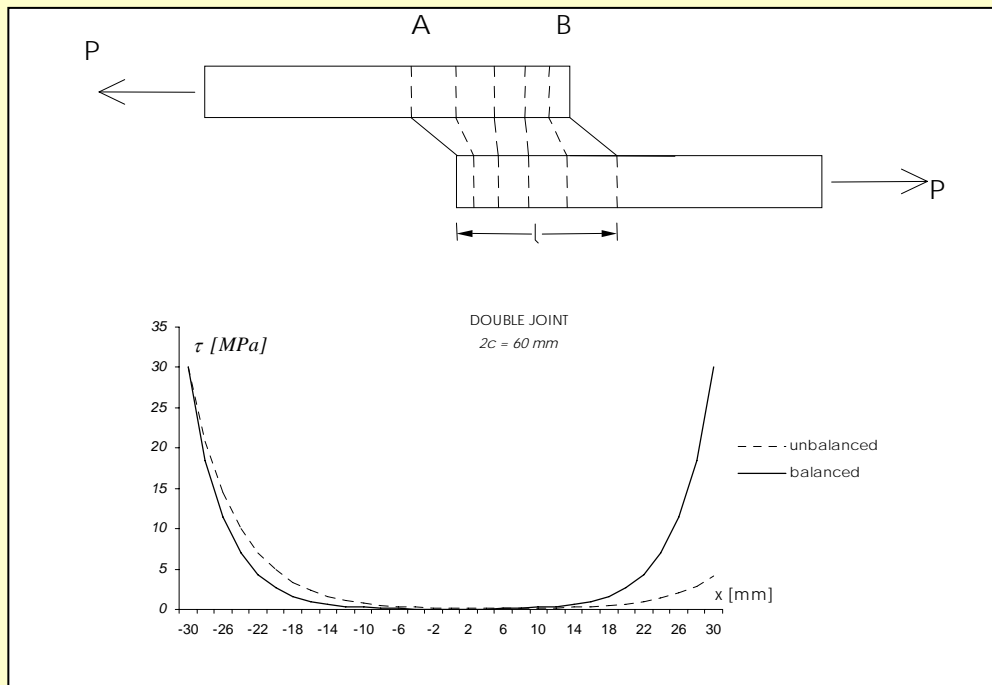
LAP JOINT

single



Volkersen V.O., 1938

Goland M. et Al., 1944

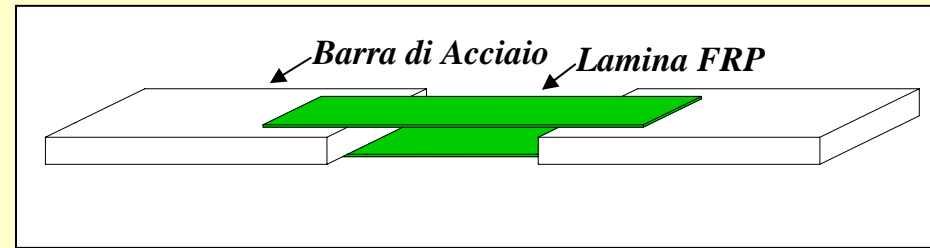
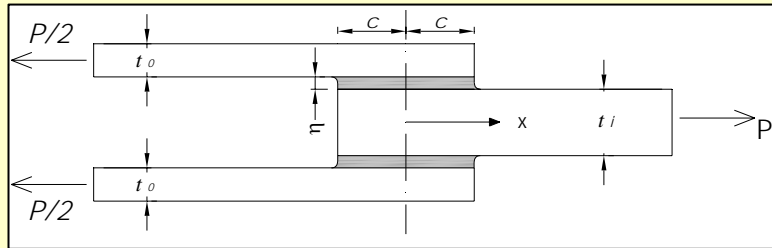


CRITERI DI ROTTURA

1. massima tensione o deformazione;
2. massima tensione o deformazione in una determinata zona o area;
3. stati limite;
4. meccanismi di frattura;
5. meccanismi di danno.

LAP JOINT double

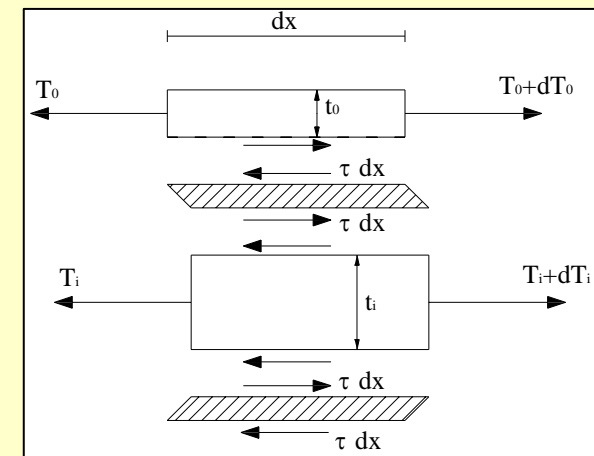
Nodo sperimentale



*Ipotesi
modello teorico di Hart - Smith*

1. *gli aderenti presentano solo deformazioni a trazione;*
2. *l'adesivo è soggetto alle sole deformazioni taglianti;*
3. *le tensioni tangenziali sono costanti lungo lo spessore dell'adesivo.*

$$\frac{d^2 \tau}{dx^2} - \lambda^2 \tau = 0 \quad \lambda^2 = \frac{G}{\eta} \left(\frac{2}{E_i t_i} + \frac{1}{E_0 t_0} \right)$$

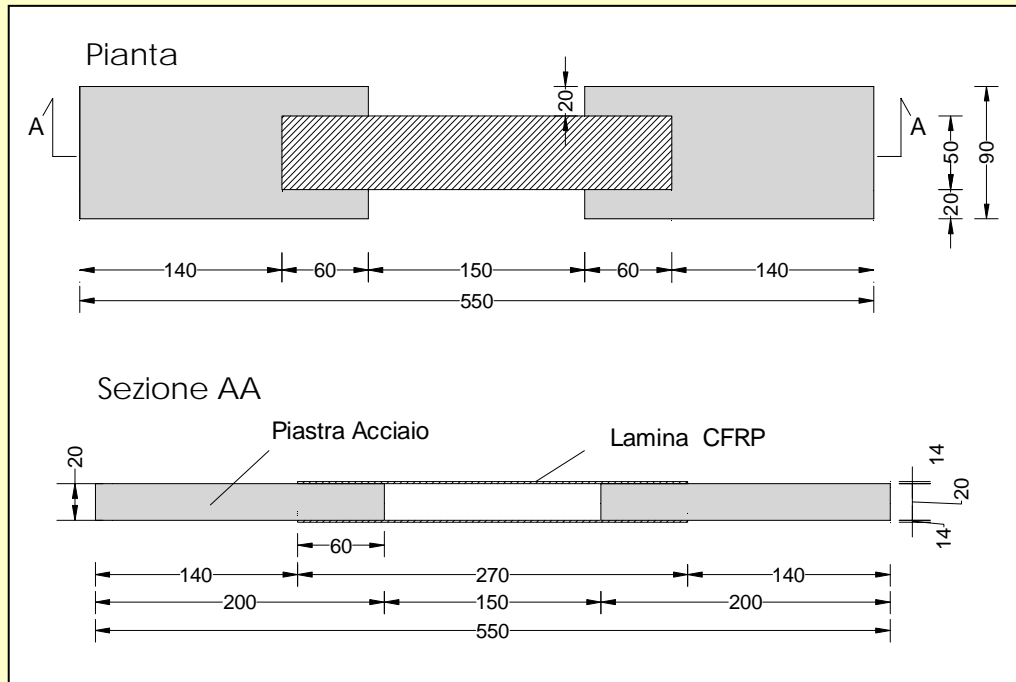


**Soluzione
teorica**

$$\tau(x) = \tau_{AV}(\lambda c) \left[\frac{(1-\psi)}{\cosh(\lambda c)(1+\psi)} \sinh(\lambda x) + \frac{1}{\sinh(\lambda c)} \cosh(\lambda x) \right]$$

$$T_{MAX} = 2 \cdot \tau_{AV}(\lambda c) \quad \psi = \frac{E_i t_i}{2 E_0 t_0}$$

NODO SPERIMENTALE



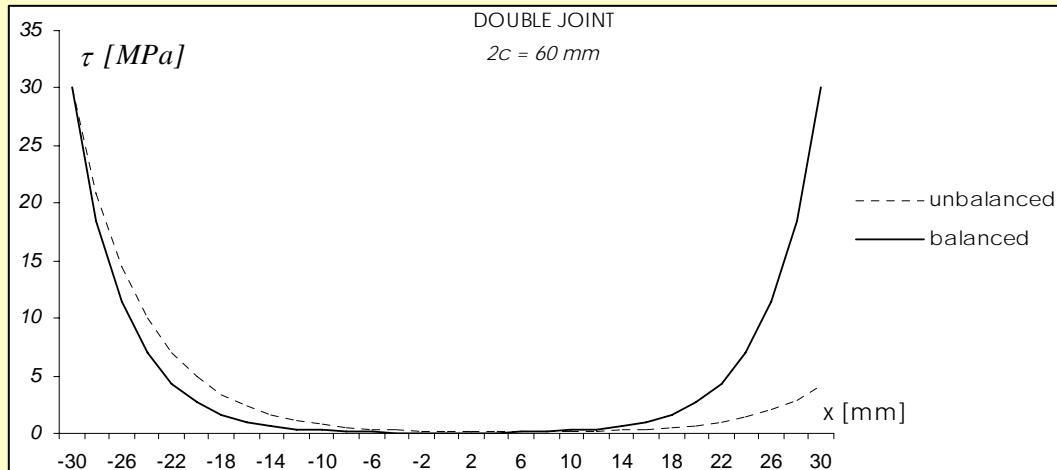
Lamine in CFRP <i>Sika CarboDur M514</i> ^(*)		Resina epossidica <i>Sikadur 30</i> ^(*)		Piastrine in acciaio Fe510	
Modulo elasticità a trazione	210 GPa	Modulo elasticità a trazione	12,80GPa	Modulo elasticità a trazione	210GPa
Coefficiente di Poisson	0.25	Modulo tangenziale	5,12 GPa	Coefficiente di Poisson	0.25
Larghezza	50 mm	Coefficiente di Poisson	0.25	Larghezza	90 mm
Spessore	1.4 mm	Resistenza tangenziale	30 MPa	Lunghezza	200 mm
Resistenza a trazione	2,80GPa	Spessore	0,6 mm	Spessore	20 mm
				Resistenza a trazione	2,80GPa



12-13 febbraio, Salerno

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture

Confronti Risultati Teorici balanced joint - unbalanced joint



Resistenza compressiva (rott. fragile)

- Per $2c=60 \text{ mm}$

500,5 N/mm
377,1 N/mm

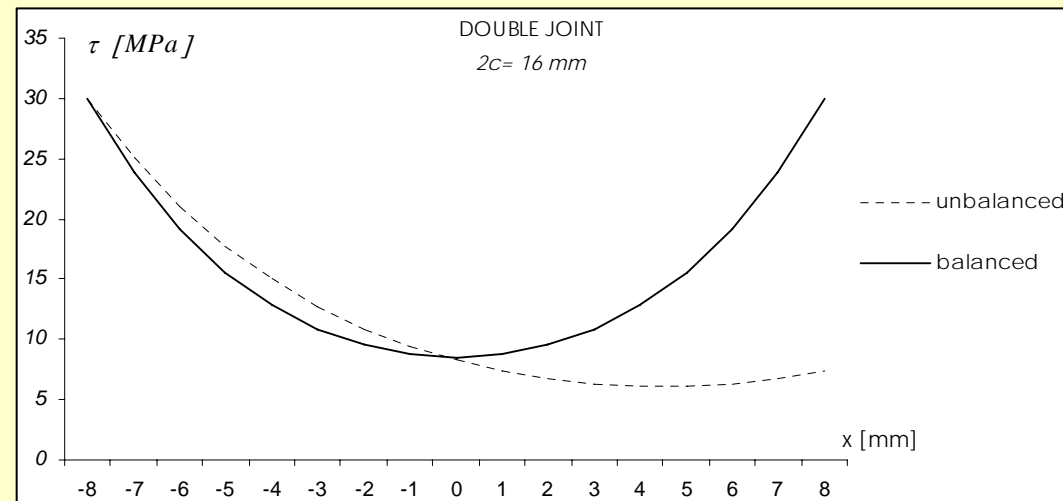
caso balanced
caso unbalanced

- Per $2c=16 \text{ mm}$

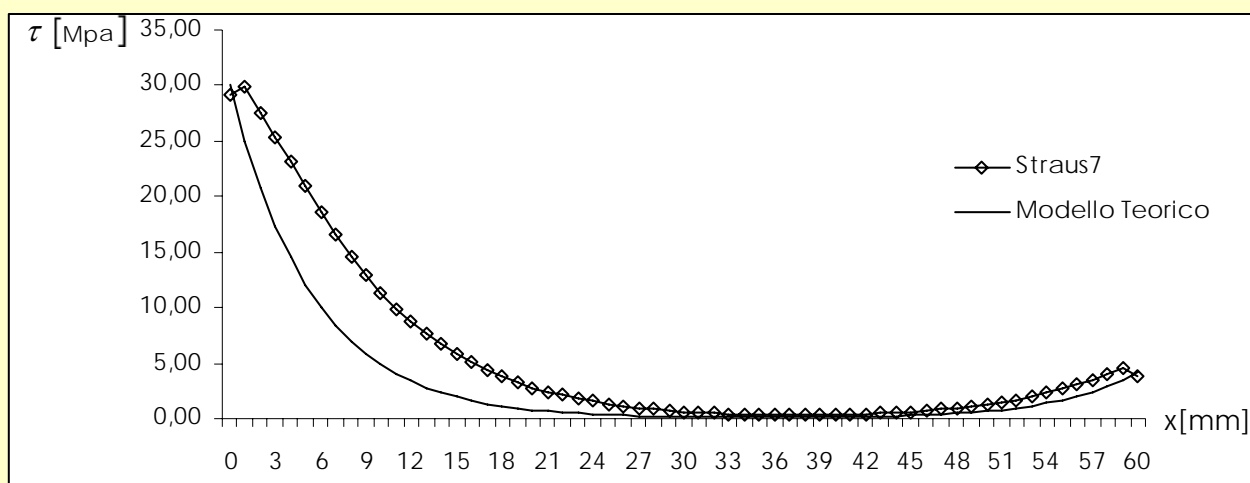
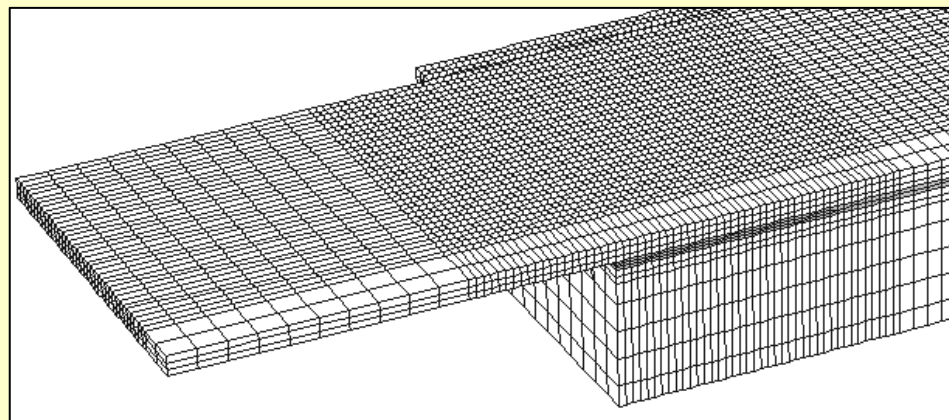
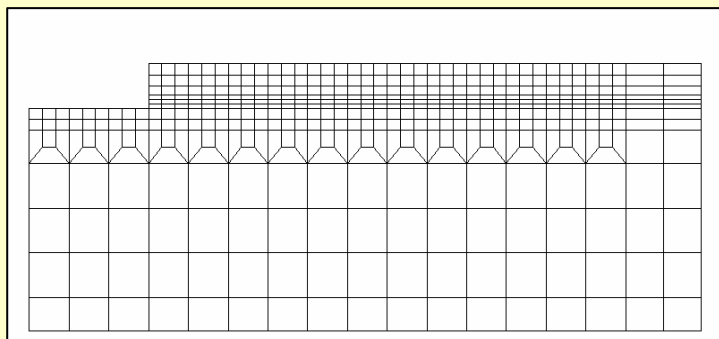
479,7 N/mm
345,5 N/mm

caso balanced
caso unbalanced

Per una semilunghezza di sovrapposizione c pari a circa $2/l$ si ha una riduzione di resistenza rispettivamente del 4% e del 8% per i casi balanced e unbalanced



Confronti Risultati Teorici – FEM

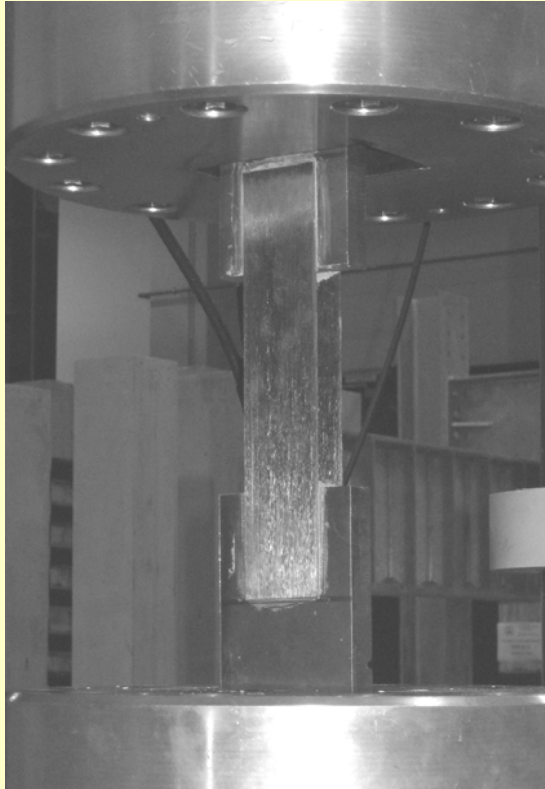


Andamento tensioni tangenziali in corrispondenza dell'attacco CFRP-acciaio

Straus7

Analisi Lineari

Test Sperimentali



Primo Insieme di Prove

<u>10 Provini</u> <i>2c=60</i>	<u>10 Provini</u> <i>2c=30</i>
DJU-SP 01	DJU-SP 01
DJU-SP 02	DJU-SP 02
DJU-SP 03	DJU-SP 03
DJU-SP 04	DJU-SP 04
DJU-SP 05	DJU-SP 05
DJU-SP 06	DJU-SP 06
DJU-SP 07	DJU-SP 07
DJU-SP 08	DJU-SP 08
DJU-SP 09	DJU-SP 09
DJU-SP 10	DJU-SP 10

→ **Test già eseguiti**

*prova di trazione monotona a controllo di forza con velocità di applicazione del carico pari a 0,1 KN/s
monitoraggio forza - deformazione complessiva*



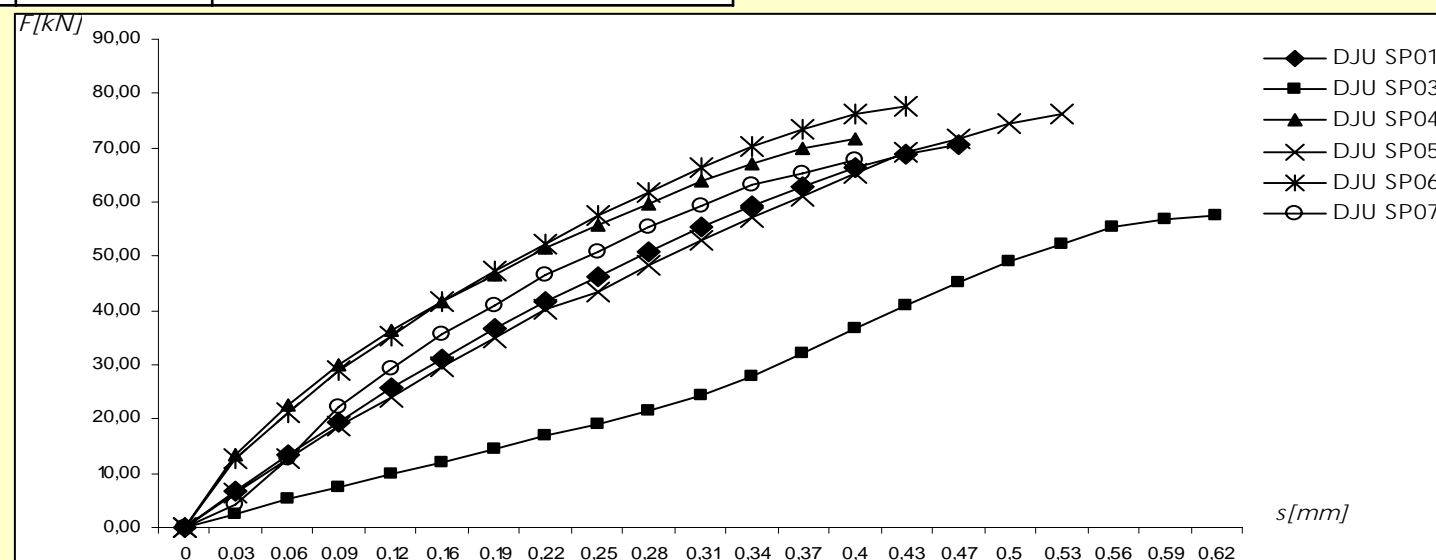
12-13 febbraio, Salerno

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture

Provino	Carico max [kN]	Deforma. [mm]	Note
DJU-SP 01	72.0	0.456	
DJU-SP 02	-	-	Una delle due lamine in CFRP si è distaccata a compressione nella fase di setup della prova
DJU-SP 03	57.5	0.631	Una delle due lamine in CFRP si è inflessa a compressione nella fase di setup della prova
DJU-SP 04	73.0	0.387	
DJU-SP 05	77.0	0.525	
DJU-SP 06	76.5	0.419	
DJU-SP 07	66.5	0.403	Una delle due lamine in CFRP si è inflessa a compressione nella fase di setup della prova

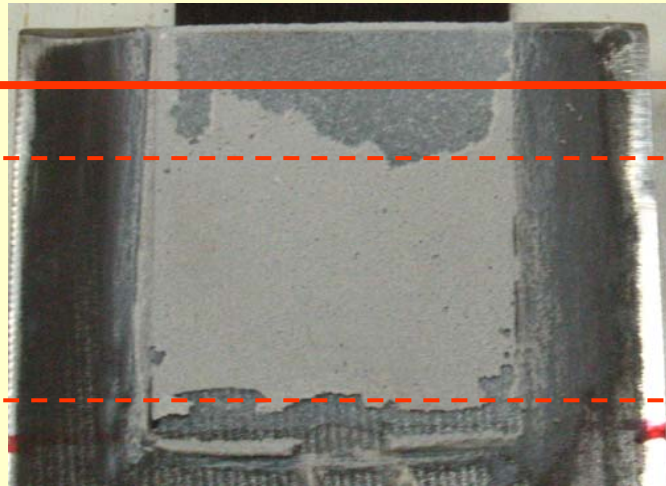
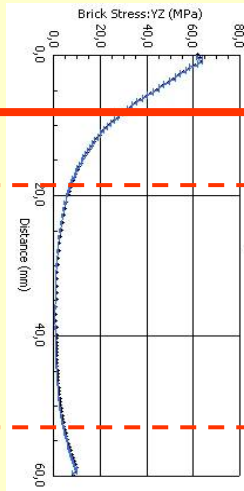
PRIMI RISULTATI SPERIMENTALI

Per i provini 01-04-05-06 si è registrato un valore medio della resistenza a trazione pari a 74,6 kN ed un coefficiente di variazione pari a 0,03

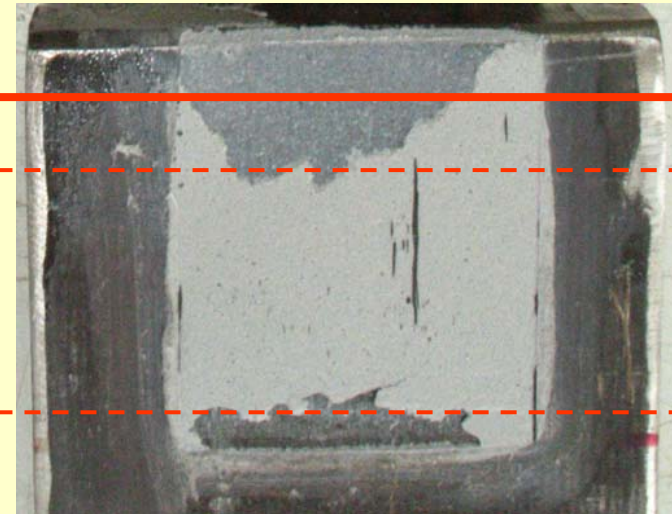


PRIMI RISULTATI SPERIMENTALI

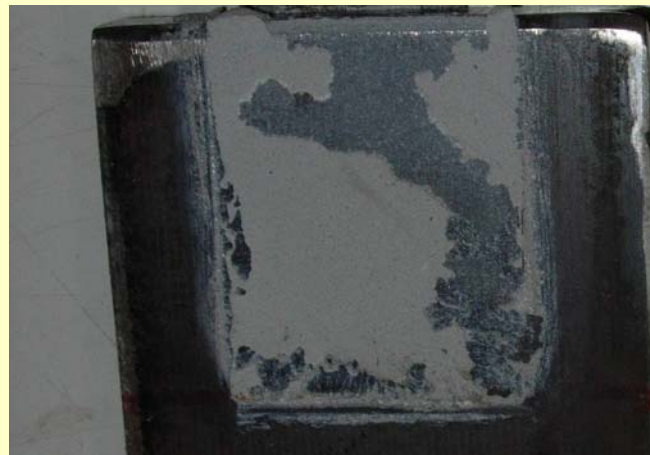
Danneggiamento dell'adesivo dopo il collasso



DJU SPO5



DJU SPO6



DJU SPO3



DJU SPO7