

*Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona
Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007*



Indagine sperimentale sulla risposta inelastica di campioni in c.a. danneggiati, riparati con CFRP

R. NUDO, F. CAPANI

Dipartimento di Costruzioni
Università degli Studi di Firenze



Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



INTRODUZIONE

I **pilastr**i di strutture intelaiate in c.a. sono esposti a **danneggiamento** più o meno accentuato anche a seguito di eventi sismici di intensità non elevata.

Essi inoltre presentano spesso una diversa intensità di danno alle due estremità per cui l'eventuale intervento di **riparazione** in tali zone può essere di tipo diverso.



Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



IL PROGRAMMA SPERIMENTALE

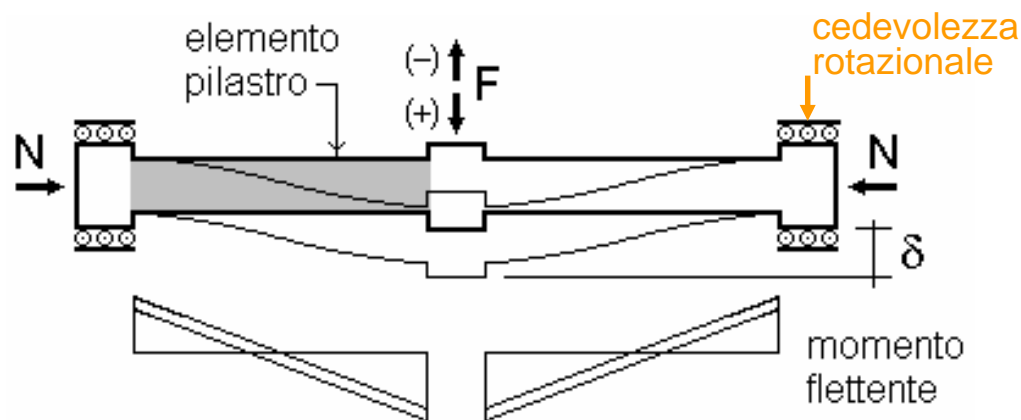
Sono stati sottoposti a prova **10** campioni; **2** di essi sono stati utilizzati come campioni di confronto, i restanti **8** sono stati definiti sulla base dei seguenti parametri:

1. **Livello di danneggiamento**: i campioni, prima della riparazione, sono stati assoggettati a 2 diverse intensità di danno (severo e moderato).
2. **Tipo di rinforzo**: sono stati ipotizzati diversi tipi di rinforzo in materiale composito (CFRP) ottenuti utilizzando tessuti in fibre uniassiali e quadriassiali.
3. **Sforzo normale**: sono stati considerati 2 livelli di compressione assiale ($n \cong 10\%$ ed $n \cong 20\%$).

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Schema di prova



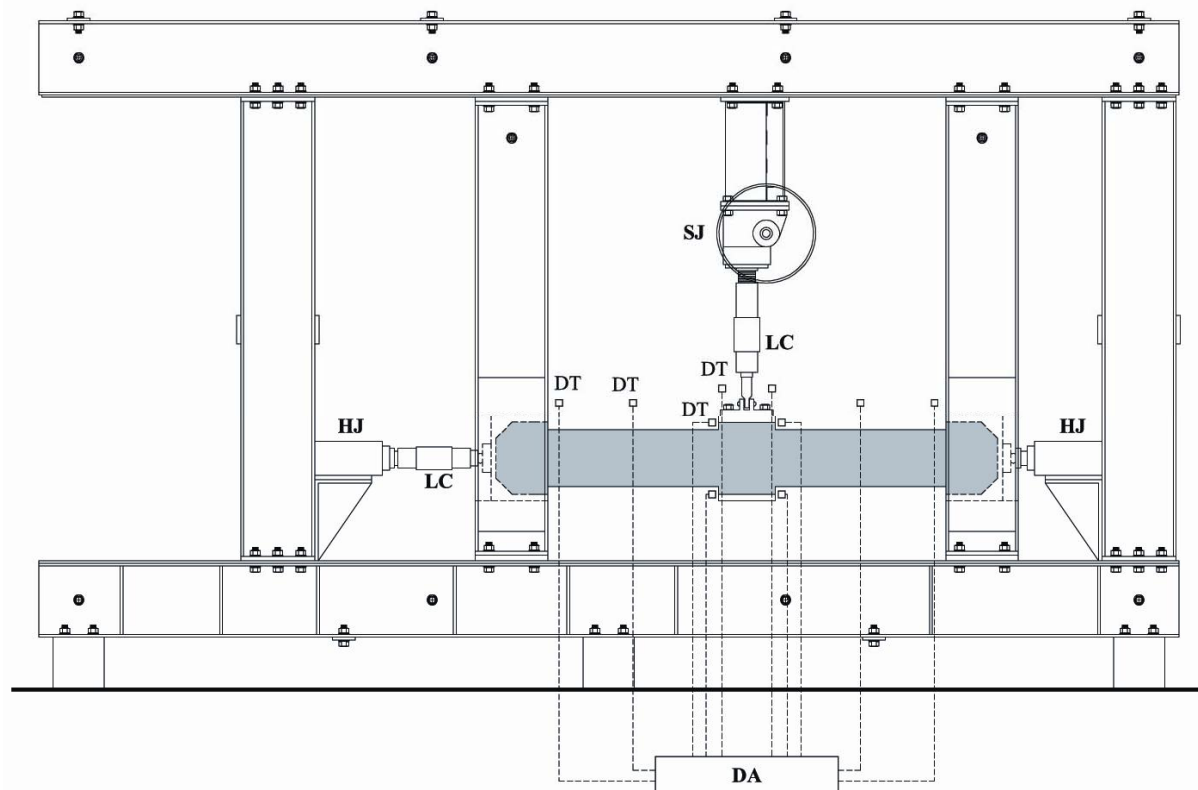
- rapporto di scala: 1:2
- rapporto di snellezza: $a/d \cong 2$

E' stata indotta una **cedevolezza rotazionale** in corrispondenza dei dispositivi di vincolo in modo da determinare una diversa intensità di danno alle estremità del singolo elemento pilastro.

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



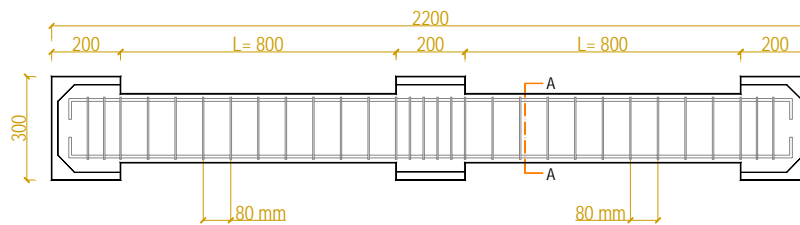
Apparecchiatura di prova



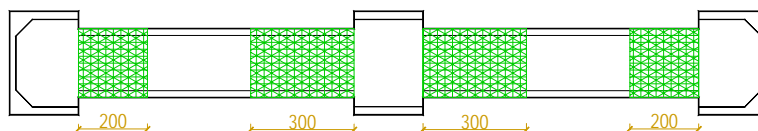
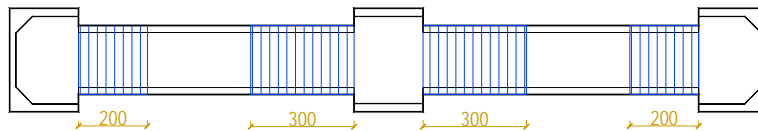
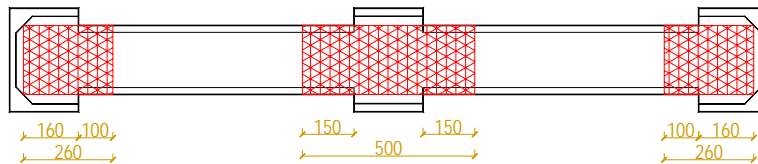
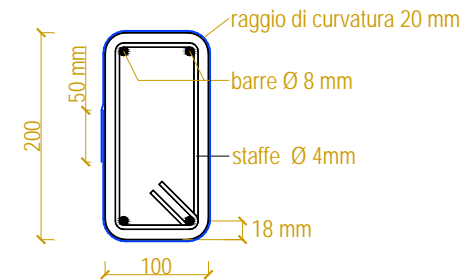
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Geometria dei campioni e sistemi di rinforzo



SEZIONE A-A



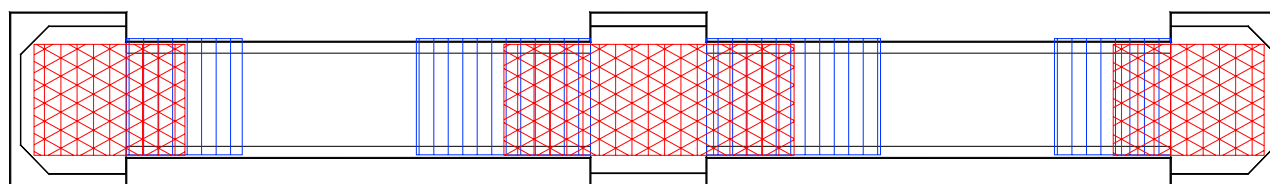
SISTEMI DI RINF. A, B

SISTEMI DI RINF. C, D

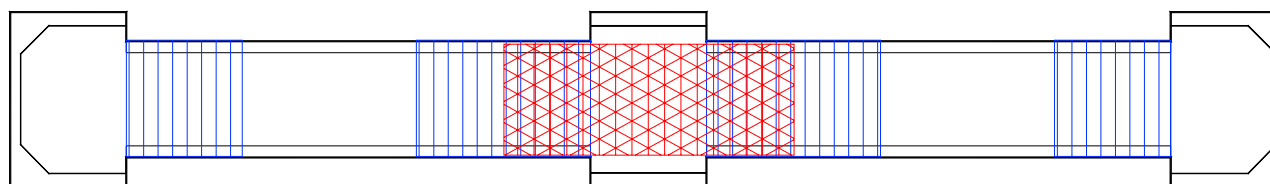
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Rinforzo di tipo A - dann. severo



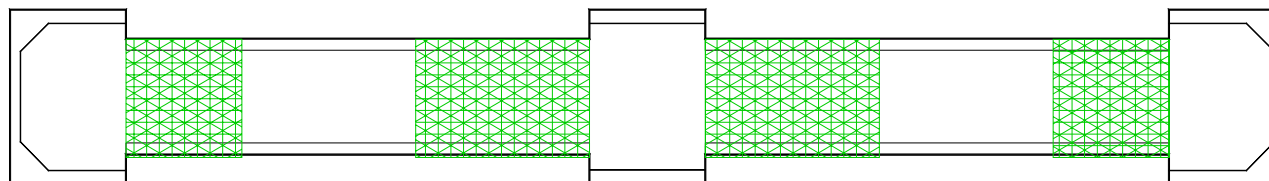
Rinforzo di tipo B - dann. moderato



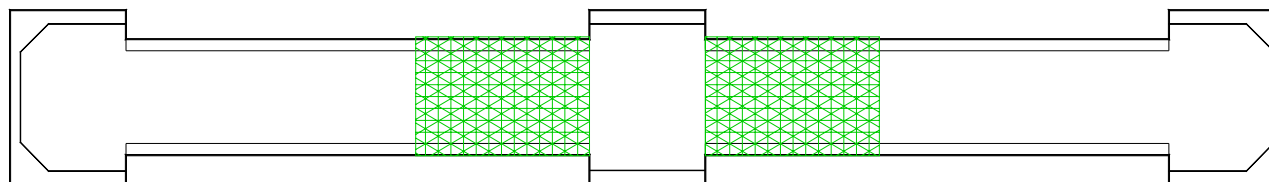
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Rinforzo di tipo C - dann. severo



Rinforzo di tipo D - dann. moderato



Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Caratteristiche dei campioni

| Campione | f_{cm} (MPa) | $n = N/bdf_{cm}$ (%) | Danneggiamento | Tipo di rinforzo |
|----------|----------------|----------------------|----------------|------------------|
| REF-50 | 27.1 | 9.2 | – | – |
| REF-100 | 29.9 | 16.7 | – | – |
| FRP50-A | 28.3 | 8.8 | severo | A |
| FRP50-B | 26.9 | 9.3 | moderato | B |
| FRP50-C | 26.6 | 9.4 | severo | C |
| FRP50-D | 24.5 | 10.2 | moderato | D |
| FRP100-A | 28.7 | 17.4 | severo | A |
| FRP100-B | 27.6 | 18.1 | moderato | B |
| FRP100-C | 21.3 | 23.5 | severo | C |
| FRP100-D | 22.1 | 22.6 | moderato | D |

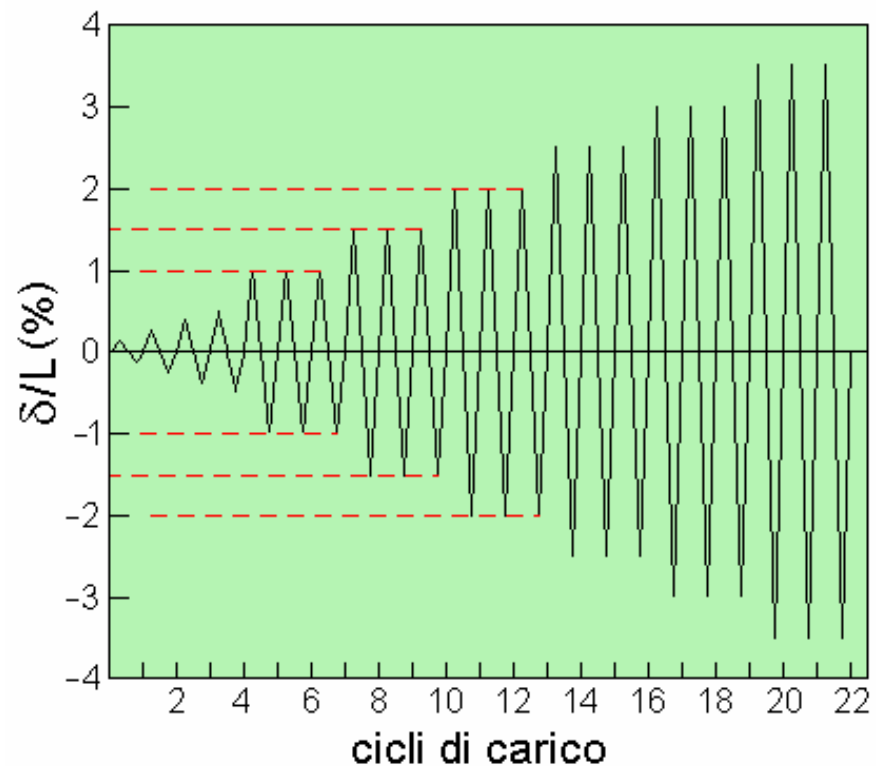
Caratteristiche dei tessuti

| Tipo di fibra | t_{eq} (mm) | E_{fib} (GPa) | f_{fib} (MPa) | $\varepsilon_{fib,u}$ (%) | Peso (g/m ²) |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| uniassiale | 0.166 | 230 | 4830 | 2.0 | 300 |
| quadriassiale | 0.106 | 230 | 4800 | 2.1 | 760 |

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Storia di carico e livelli di danneggiamento

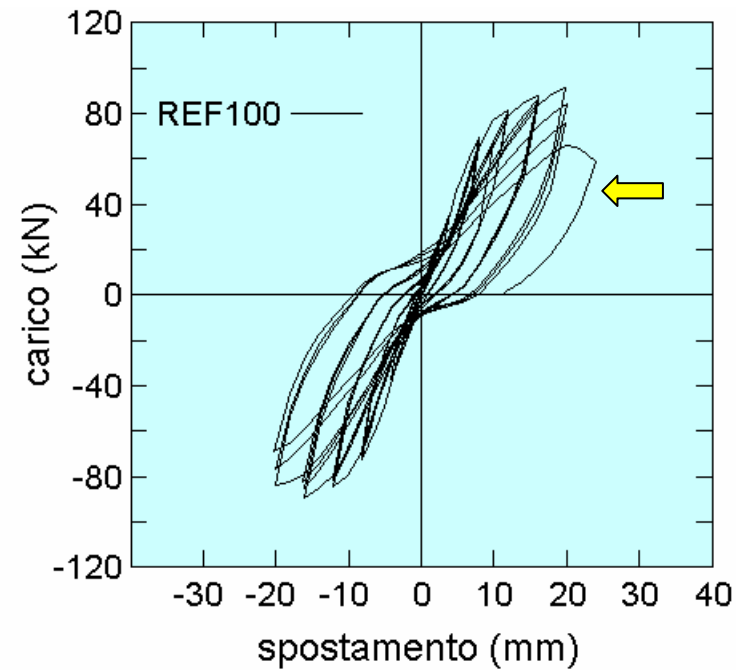
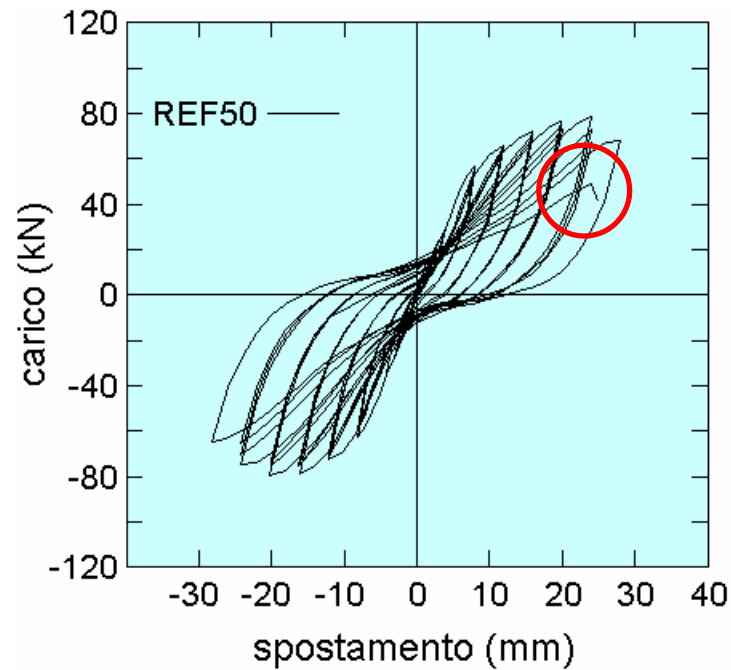


| N (kN) | Liv. dann. | δ/L (%) |
|----------|------------|----------------|
| 50 | severo | 2.0 |
| | moderato | 1.5 |
| 100 | severo | 1.5 |
| | moderato | 1.0 |

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



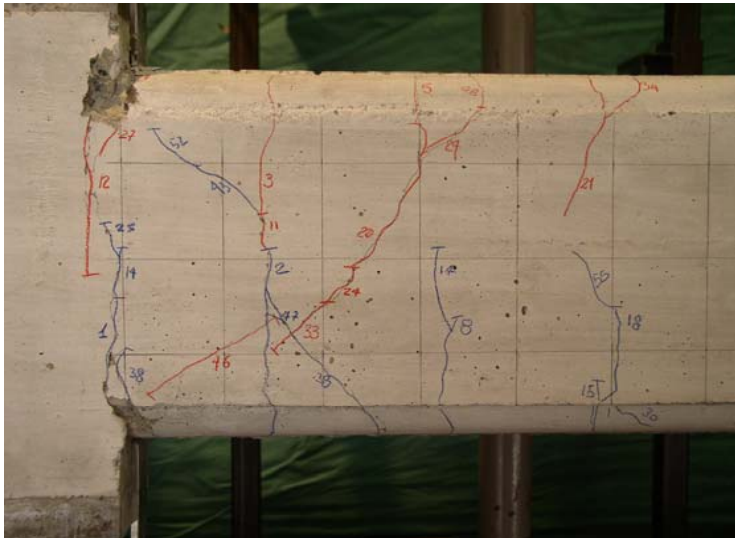
Campioni di confronto



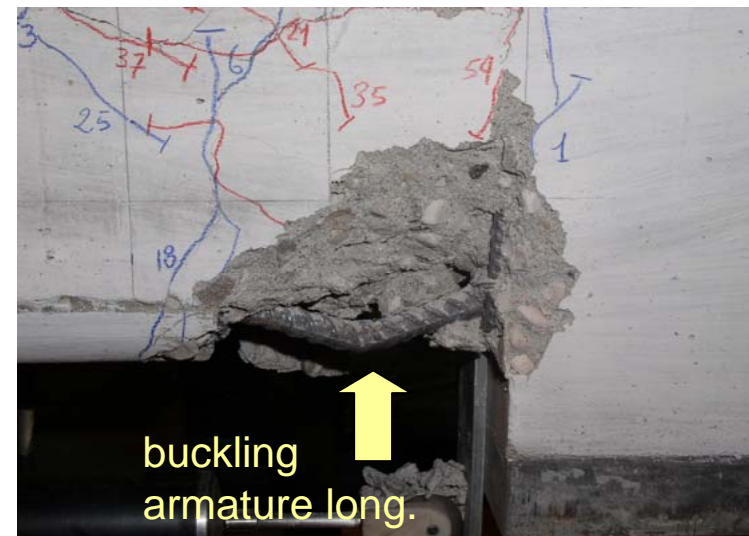
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campioni di confronto (cont.)



Campione REF50: particolare del quadro fessurativo nella regione centrale del campione.

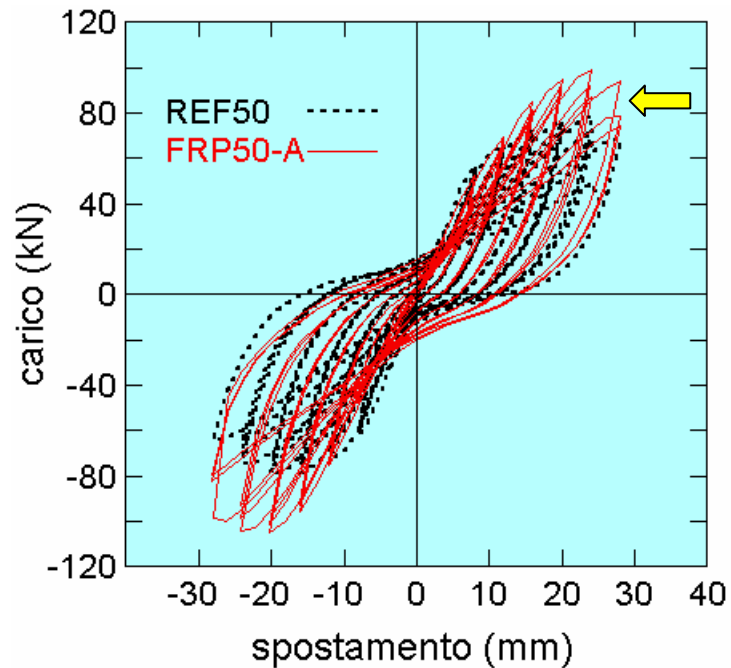


Campione REF100: instabilità delle barre longitudinali in una delle regione critiche.

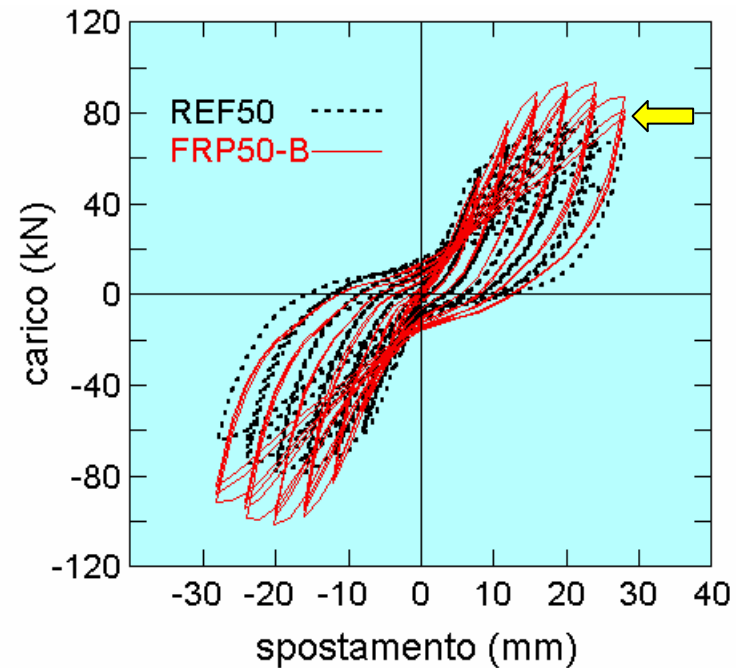
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campioni riparati (N=50 kN)



FRP50-A: dann. severo

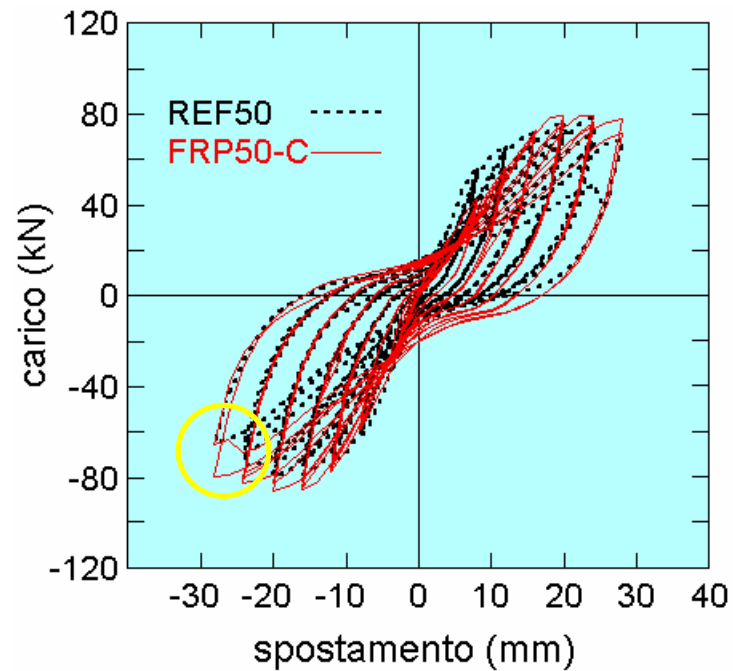


FRP50-B: dann. moderato

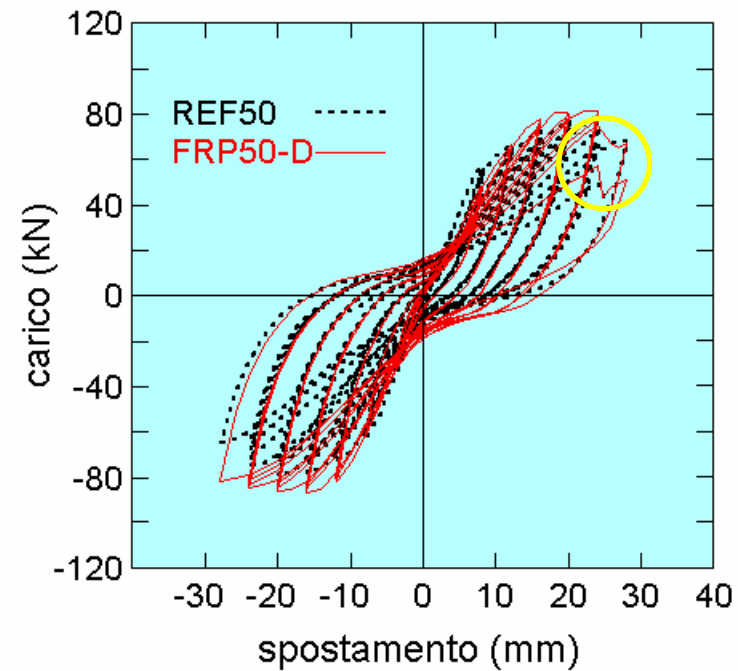
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campioni riparati (N=50 kN)



FRP50-C: dann. severo

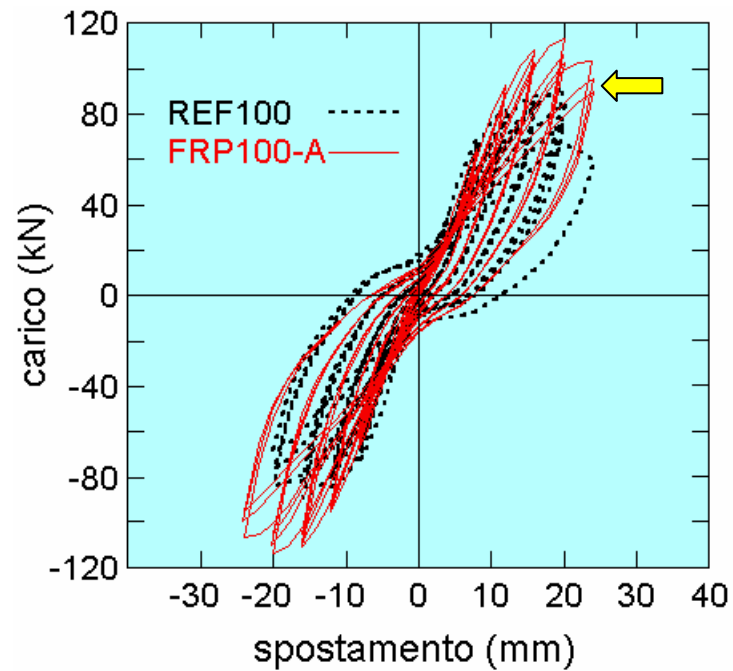


FRP50-D: dann. moderato

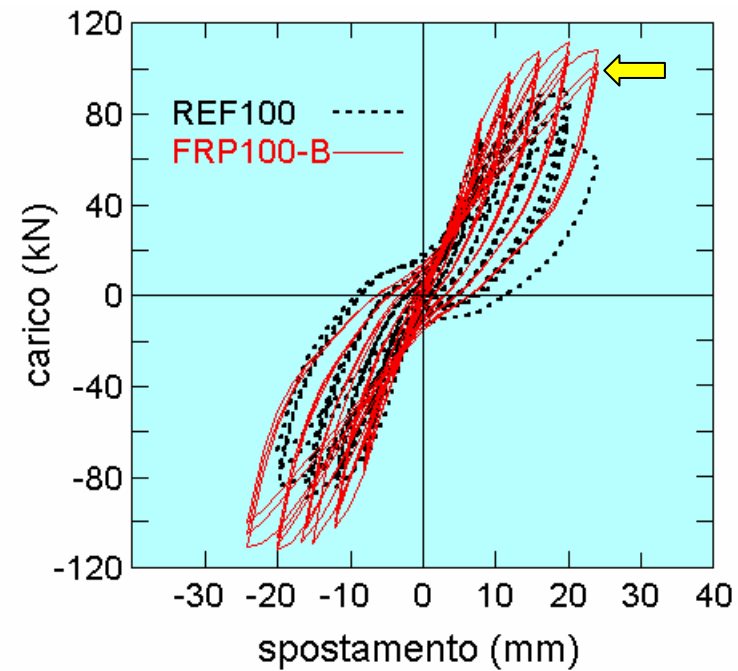
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campioni riparati (N=100 kN)



FRP100-A: dann. severo

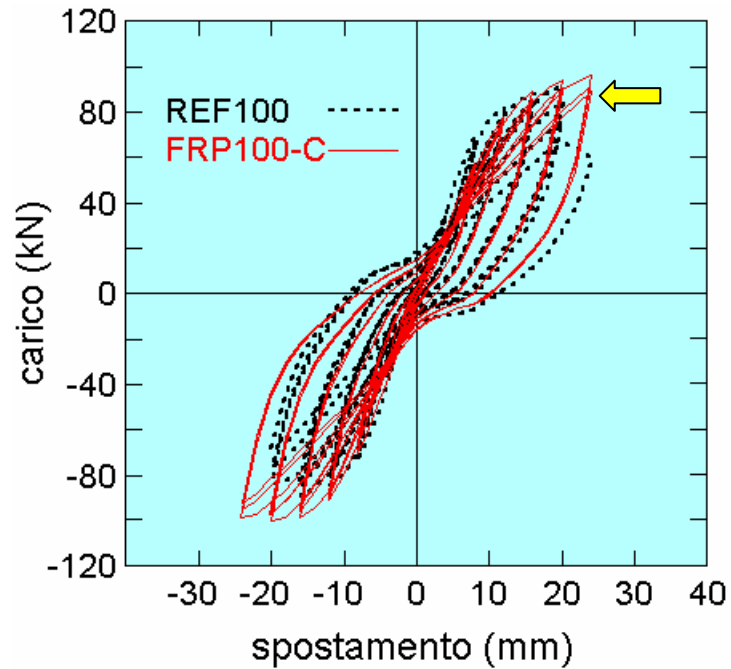


FRP100-B: dann. moderato

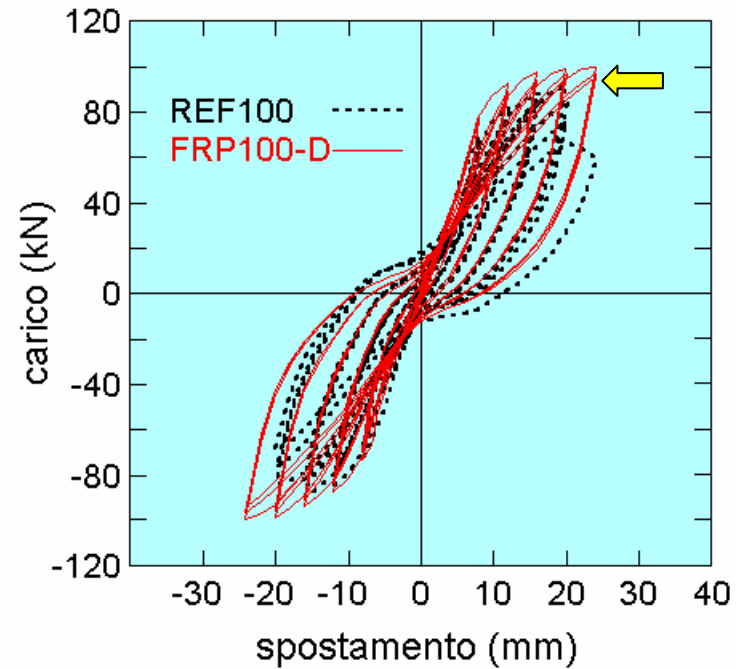
Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campioni riparati (N=100 kN)

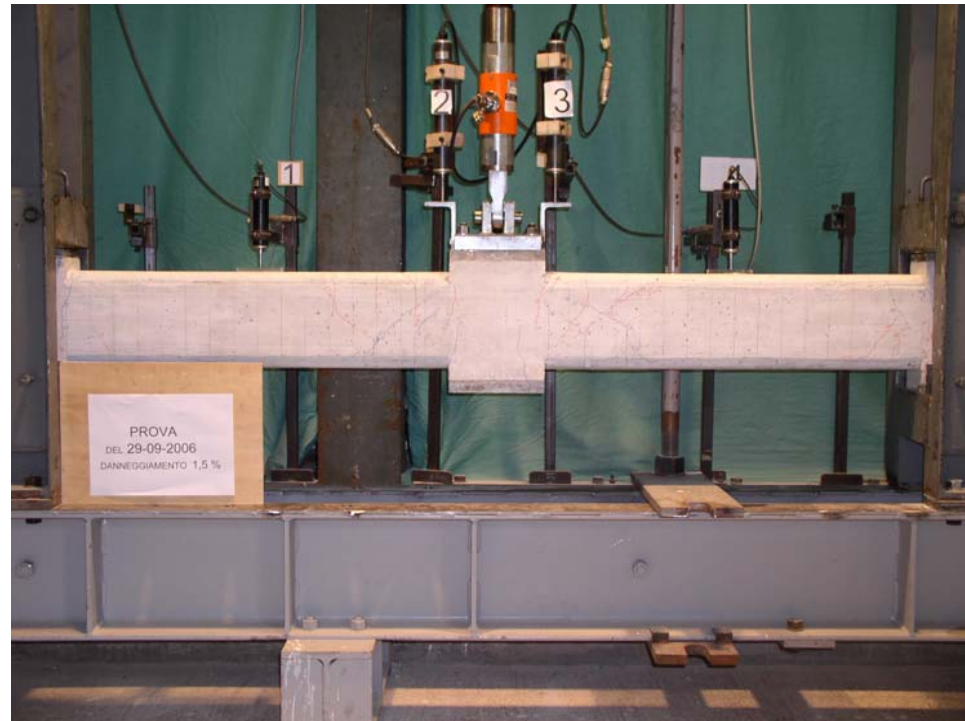


FRP100-C: dann. severo



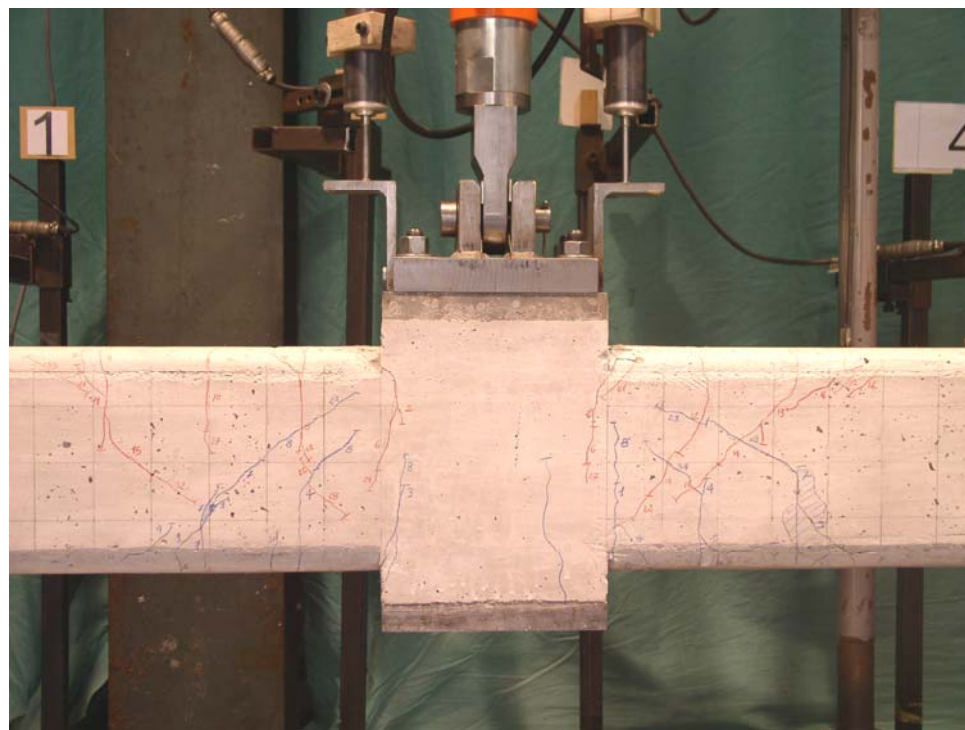
FRP100-D: dann. moderato

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campione FRP100-A dopo il danneggiamento

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



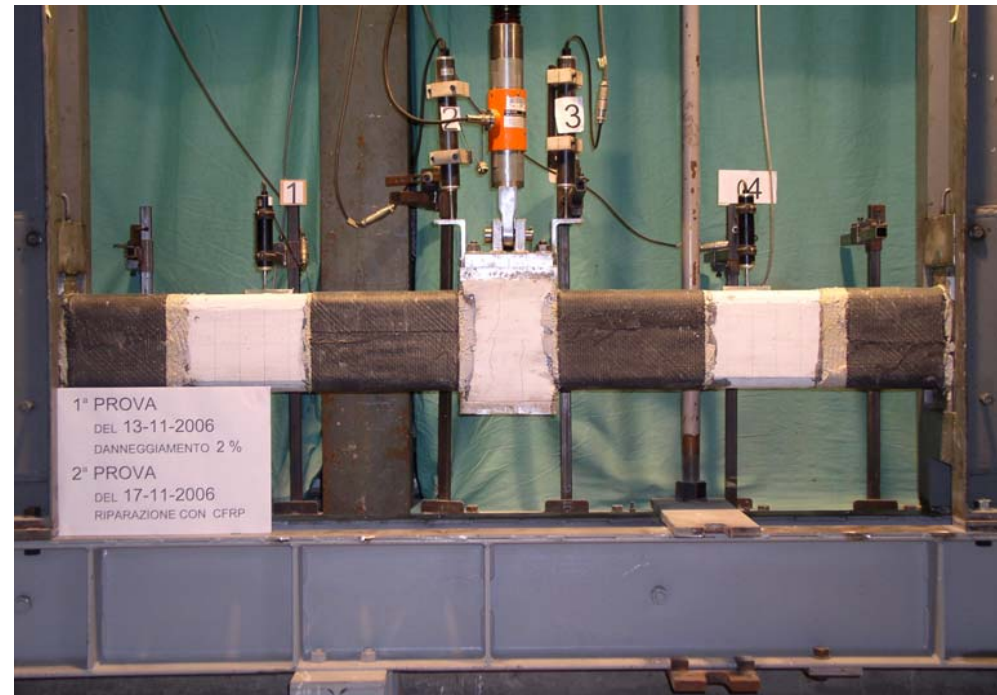
Campione FRP100-A dopo il danneggiamento

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Campione FRP100-A dopo la riparazione

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007

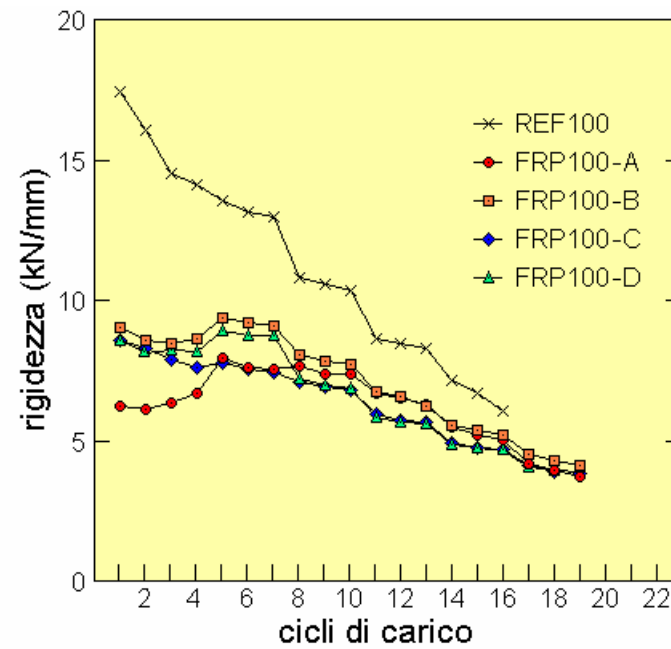
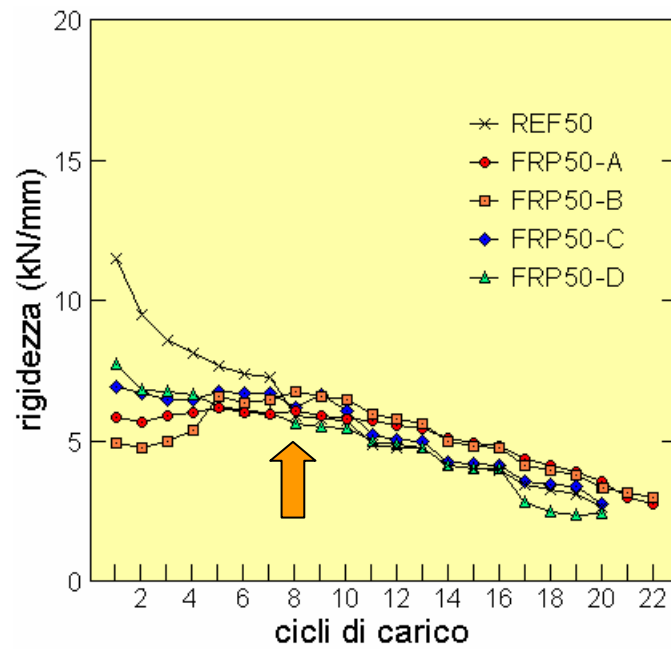


Campione FRP50-C dopo la riparazione

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



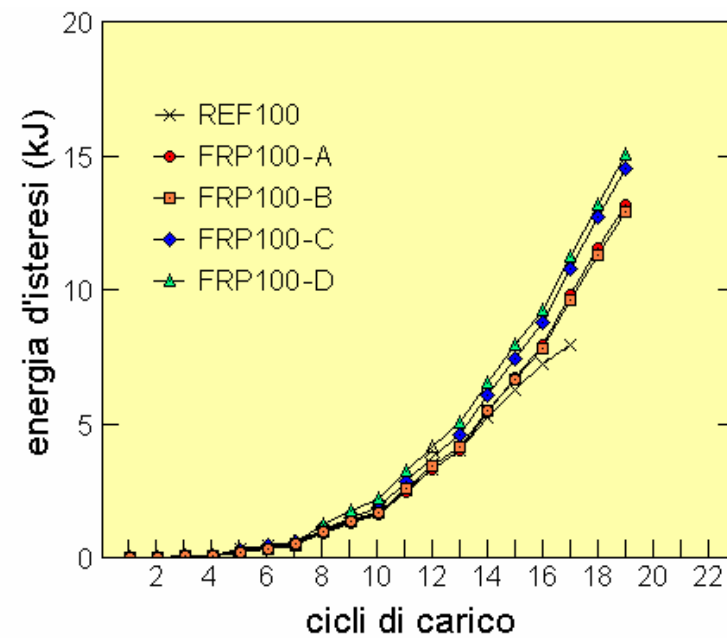
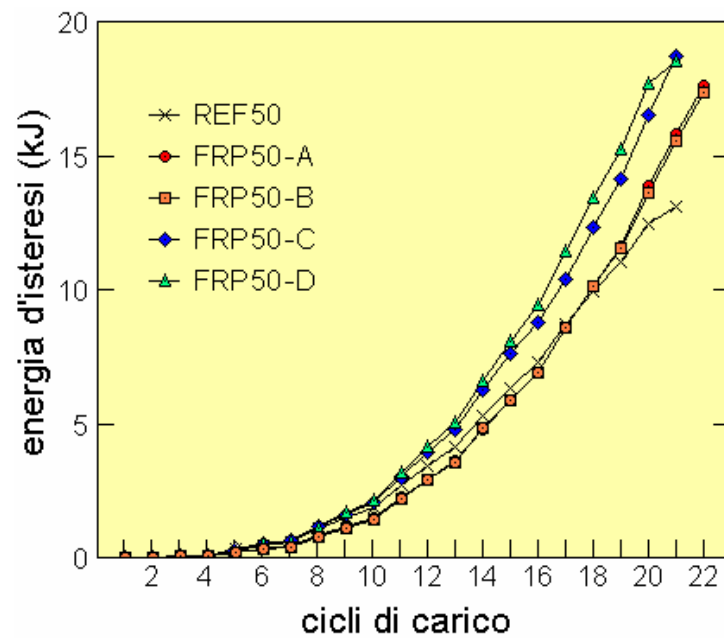
Degrado di rigidezza



Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Energia d'isteresi



Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007



Distacco del rinforzo



Rinforzo in fibre quadriassiali



Rinforzo in fibre monodirezionali

*Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona
Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007*



CONCLUSIONI

I risultati delle prove effettuate hanno in generale evidenziato, da parte dei campioni riparati con CFRP, **risposte cicliche più efficaci** rispetto a quelle dei corrispondenti campioni di confronto. In particolare è stato rilevato quanto di seguito indicato.

- I campioni riparati hanno esibito buone capacità di recupero delle proprietà meccaniche, soprattutto in termini di **capacità deformativa**.
- I sistemi di rinforzo di tipo **A** e **B** hanno conferito maggiore **resistenza**; i sistemi di tipo **C** e **D** hanno determinato maggiore **capacità dissipativa**.

*Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona
Sismica e la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture
WORKSHOP – Salerno 12-13 Febbraio 2007*



CONCLUSIONI (cont.)

- Gli effetti benefici connessi all'intervento di riparazione sono risultati più evidenti nel caso dei campioni sottoposti allo **sforzo normale più elevato** ($n \cong 20\%$).
- Non sono stati rilevati effetti evidenti connessi all'**asimmetria del rinforzo** applicato al singolo elemento pilastro.
- Particolare attenzione merita la valutazione della **rigidezza** degli elementi riparati.