

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica



Progetto esecutivo 2005 – 2008
Linea di ricerca n.8

MATERIALI INNOVATIVI PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ NELLE STRUTTURE ESISTENTI



Coordinatori:

Luigi Ascione - Università degli Studi di Salerno

Gaetano Manfredi – Università degli Studi di Napoli “Federico II”



MOTIVAZIONI

- L'[OPCM 3274](#) ha normato, per la prima volta in Italia, l'impiego dei materiali compositi fibrorinforzati nella mitigazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti di c.a.. Essa fa riferimento alle Istruzioni CNR-DT 200/2004, recentemente approvate, sui criteri da adottare per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico con FRP.
- Le [Istruzioni CNR-DT 200/2004](#) forniscono un quadro normativo organico per il progetto di elementi e di strutture, sia di c.a. che di muratura, rinforzate con FRP, seguendo un approccio alla sicurezza congruente con l'assetto normativo degli Eurocodici.
- Nelle Istruzioni CNR-DT 200/2004 alcuni aspetti connessi all'impiego degli FRP per il consolidamento delle strutture in zona sismica vanno ancora approfonditi. Essi riguardano, ad esempio, il danneggiamento dovuto ad azioni cicliche, l'influenza dell'effetto scala sulla validazione sperimentale ed, in generale, l'introduzione di nuove famiglie di matrici e fibre.



BASE DI PARTENZA SCIENTIFICA

- Negli ultimi due decenni i materiali compositi fibrorinforzati (FRP) sono stati impiegati con successo nel campo dell'Ingegneria Civile, principalmente per il **rinforzo di strutture di c.a.**; negli ultimi anni sono cresciute le applicazioni a **strutture murarie**, soprattutto con riguardo a quelle di interesse storico-artistico.
- Rimangono, tuttavia, da esaminare diversi aspetti del comportamento di tali materiali tra i quali la valutazione quantitativa del loro **comportamento a lungo termine**. Con riferimento a quest'ultimo aspetto è necessario studiare la risposta dei materiali FRP in particolari condizioni di esposizione ambientale, quali:
 - cicli di gelo-disgelo;
 - raggi UV;
 - umidità;
 - ambiente alcalino;
 - aggressione di agenti chimici.

- Molto importante è anche lo studio dell'interazione FRP-substrato e, quindi, la valutazione del legame di aderenza e dei potenziali problemi di distacco prematuro. L'analisi dei **problemi di delaminazione** è fondamentale per la calibrazione delle formule utilizzabili per i rinforzi cosiddetti per aderenza (flessione e taglio) sia di strutture di c.a. che di muratura.
- Nel caso del rinforzo a flessione è utile **validare le formule proposte dalle Istruzioni CNR DT 200/2004** e verificare la loro estensione al caso sismico (duttilità ed azioni cicliche). E', inoltre, necessario valutare l'affidabilità di tali formule nei casi di utilizzo di fibre diverse da quelle di carbonio o di vetro e di matrici cementizie.

- Per quanto riguarda il **rinforzo a taglio**, partendo dalle espressioni che forniscono la tensione di delaminazione, occorre approfondire l'influenza della configurazione geometrica del rinforzo (avvolgimento totale, ad U o su due lati) sull'entità del contributo da esso fornito alla resistenza a taglio degli elementi rinforzati. Attesa la presenza in molte strutture di pareti o setti, è importante capire se le formule predittive sviluppate per i rinforzi a taglio di elementi trave possano essere estese a elementi bidimensionali, con la previsione eventuale di opportuni coefficienti correttivi.
- Un'altra applicazione molto diffusa dei compositi FRP è rappresentata dal **confinamento di pilastri di c.a. e di colonne di muratura**. Nel caso di sezioni di c.a, ai fini delle verifiche in zona sismica è necessario:
 - validare delle espressioni semplificate che forniscano la deformazione ultima del calcestruzzo confinato in funzione delle proprietà meccaniche della fasciatura e del numero di strati;
 - mettere a punto un'espressione che fornisca la lunghezza della cerniera plastica che tenga conto del confinamento con FRP.

- E' necessario, inoltre, approfondire l'effetto del **confinamento con FRP di pilastri di muratura** con dissesti da schiacciamento connessi prevalentemente a compressioni. Tale effetto può essere indagato sperimentalmente al fine di determinare validi criteri di progetto e di verifica degli interventi.
- Va infine sottolineato che, indipendentemente dal tipo di substrato e delle caratteristiche dei materiali componenti, è necessario accoppiare allo sviluppo di formule di progetto e di criteri di verifica, degli strumenti di campo per il **controllo di qualità ed il monitoraggio a lungo termine degli interventi**.

- In generale, per svariate applicazioni dei compositi relative al rinforzo sismico di strutture murarie, le Istruzioni CNR-DT 200/2004 rappresentano le uniche linee guida ad oggi disponibili. E' pertanto avvertita l'esigenza di un'ampia sperimentazione che possa ulteriormente validare l'insieme di principi e regole costituenti le suddette Istruzioni.
- A tal riguardo, una tecnologia emergente è rappresentata dall'impiego di **sistemi di monitoraggio con fibre ottiche** il cui utilizzo, validato primariamente in laboratorio, andrebbe verificato ed implementato mediante attività dimostrative di campo.



OBIETTIVI

- L'obiettivo principale del progetto di ricerca è la validazione sperimentale, mediante prove in scala reale su elementi e/o sistemi strutturali completi, delle regole progettuali introdotte nelle due OPCM, 3274 e 3431, e nelle istruzioni CNR DT200/2004 per il rinforzo di strutture di calcestruzzo armato e di muratura con materiali compositi fibrorinforzati.
- Le esperienze di laboratorio consentiranno di **verificare possibili innovazioni** sia del tipo di fibra (tessuti metallici, fibre naturali, griglie di composito, etc) che di matrici (organiche ed inorganiche).

• I principali aspetti che verranno sviluppati nell'ambito del progetto di ricerca sono i seguenti:

1. comportamento ciclico di elementi di c.a. soggetti a flessione e taglio;
2. tecniche di ancoraggio sia meccaniche che chimiche per la limitazione dei problemi di delaminazione;
3. effetti del confinamento su colonne e pile di grandi dimensioni;
4. duttilità di colonne presso-inflesse rinforzate con compositi;
5. rinforzo di nodi trave-colonna;
6. rinforzi di elementi murari;
7. rinforzo di strutture di interesse storico-artistico.



METODI

- Il progetto di ricerca è suddiviso in **10 *task***, ciascuno con un **Coordinatore Responsabile** del raggiungimento degli obiettivi prefissati.
- A ciascun *task* partecipano **ricercatori afferenti** a 16 Unità di Ricerca (UR): UniSannio, UniBo, UniCas, UniCal, UniFi, UniLe, UniNa, UniPd, UniPg, PoliMi, UniRoma1, UniSa, UniCh, UniGe, UniRoma2, UniPv.
- Per rendere più snella la gestione economica del progetto, alcune delle succitate UR (12 UR) sono state individuate quali Sedi Amministrative Decentrate: UniSannio, UniBo, UniCas, UniCal, UniFi, UniLe, UniNa, UniPd, UniPg, PoliMi, UniRoma1, UniSa). Ognuna di esse ha un **Responsabile amministrativo** e gestisce economicamente il finanziamento destinato alle UR afferenti (nella stessa sede o in sedi consociate).



**ELENCO DEI TASK
E
DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'**

Task 8.1

Titolo della Ricerca: *“ Caratterizzazione di materiali compositi sotto azioni cicliche ed in ambiente condizionato (analisi di durabilità) per la calibrazione dei coefficienti di conversione”.*

Coordinatore Responsabile: Poggi.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: PoliMi e UniNa.

Ricercatori Afferenti: Poggi e Frassine (PoliMi), Nicolais (UniNa).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.1* riguarderà:

- a) la caratterizzazione di materiali compositi fibrorinforzati sottoposti ad azioni cicliche ed in ambiente condizionato (analisi di durabilità) per la calibrazione dei coefficienti di conversione.
- b) l'analisi del comportamento meccanico di nuovi compositi fibrorinforzati e di barre di FRP nonché la durabilità di materiali fibrorinforzati (FRP) utilizzati per il ripristino ed il rinforzo di strutture civili, in particolare per le zone sismiche.

Task 8.2

Titolo della Ricerca: “ *Delaminazione sotto azioni cicliche per strutture in c.a. ed in muratura, valutazione della lunghezza di ancoraggio, sviluppo di sistemi meccanici di ancoraggio*”.

Coordinatore Responsabile: Savoia.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniBo, UniFi, UniNa, UniSa ed UniSannio.

Ricercatori Afferenti: Savoia (UniBo), Briccoli Bati (UniFi), Nigro (UniNa), Ascione e Feo (UniSa), Ceroni e Pecce (UniSannio).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.2* riguarderà:

- a) lo studio del problema dell'aderenza in presenza di carichi ciclici mediante indagini sperimentali su provini di piccole dimensioni per la formulazione di modelli matematici interpretativi e per la valutazione della resistenza di progetto allo S.L.U. di delaminazione.
- b) la calibrazione di modelli di previsione attraverso la progettazione e l'esecuzione di prove pilota su elementi strutturali rinforzati.
- c) lo studio del miglioramento dell'aderenza, con l'utilizzo eventuale di particolari dispositivi di ancoraggio, mediante prove di laboratorio per la formulazione di modelli di comportamento e di espressioni semplificate.

Task 8.3

Titolo della Ricerca: *“ Valutazione della capacità di colonne a sezione piena o cava in c.a. confinate con materiali compositi e soggette a pressoflessione o flessione deviata, studio di sezioni allungate, influenza delle sovrapposizioni delle barre e fenomeni di instabilità, aspetti legati all’effetto scala, valutazione della capacità di colonne in muratura confinate con materiali compositi al variare della tessitura e accoppiate con cuciture”.*

Coordinatore Responsabile: Nanni.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniLe, UniNa, UniRoma1, UniSa.

Ricercatori Afferenti: Aiello (UniLe), Manfredi, Nanni e Prota (UniNa), Monti (UniRoma1), Faella, Martinelli e Realfonzo (UniSa).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.3* riguarderà:

- a) l'analisi del comportamento di colonne di c.a. e di muratura confinate con fasciatura esterna di FRP, mediante l'esecuzione di prove sperimentali. Queste ultime saranno eseguite su colonne con la stessa geometria della sezione retta, variandone le dimensioni per la valutazione dell'influenza dell'effetto scala;
- b) lo sviluppo di tecniche efficaci per il rinforzo;
- c) l'analisi dell'influenza di un eventuale carico preesistente o di uno stato iniziale di fessurazione sull'efficacia del confinamento.

Task 8.4

Titolo della Ricerca: *“Rinforzo a flessione e a taglio di elementi in c.a., impiego di tessuti e matrici innovative, soluzioni con barre NSM o con accoppiamento di barre metalliche e tessuti diversi, effetto configurazione del rinforzo taglio, rinforzo di pareti e nuclei in c.a., aspetti sismici”.*

Coordinatore Responsabile: Monti.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniCal, UniCas, UniLe, UniNa, UniRoma1, UniSa, UniCh.

Ricercatori Afferenti: Spadea e Zinno (UniCal), Imbimbo (UniCas), De Lorenzis (UniLe), Manfredi e Nanni (UniNa), Monti (UniRoma1), Mancusi (UniSa), Spacone (UniCh).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.4* riguarderà:

- a) la rassegna bibliografica e la selezione dei materiali di rinforzo da utilizzare nella ricerca;
- b) l'esecuzione di elaborazioni numeriche preliminari, mediante programmi di analisi non lineare agli elementi finiti, per la valutazione della messa in opera di nuovi schemi di rinforzo;
- c) l'esecuzione di prove su campioni ridotti di materiali selezionati per verificarne e modellarne le caratteristiche di resistenza e aderenza al substrato, in condizioni sia monotone sia cicliche.

Task 8.5

Titolo della Ricerca: *“ Rinforzo di nodi trave-colonna e colonna-fondazione, influenza della posizione del nodo in pianta ed elevazione, rinforzo a taglio del pannello, rinforzo continuo sulle colonne per il ripristino della gerarchia delle resistenze”.*

Coordinatore Responsabile: Manfredi.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniNa ed UniPv.

Ricercatori Afferenti: Manfredi e Prota (UniNa), Magenes (UniPv).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.5* riguarderà:

- a) lo sviluppo di formule di progetto che mettano in relazione la geometria e le proprietà meccaniche del rinforzo con l'incremento di tensione principale di trazione limite del nodo;
- b) la comparazione della fattibilità in cantiere e la cantierabilità di diverse soluzioni di rinforzo;
- c) l'analisi di soluzioni innovative di ancoraggio dei rinforzi dei nodi, particolarmente necessarie quando il rinforzo del nodo non debba interagire con quello delle colonne adiacenti.

Task 8.6

Titolo della Ricerca: *“Criteri di progetto per l’adeguamento sismico di strutture in c.a., strutture miste con tamponature efficaci e strutture miste c.a.- muratura”.*

Coordinatore Responsabile: Ascione.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniNa, UniRoma1, UniSa.
UniCh.

Ricercatori Afferenti: Manfredi (UniNa), Monti (UniRoma1),
Ascione e Berardi (UniSa), Spacone (UniCh).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.6* riguarderà:

- a) la raccolta dei primi risultati ottenuti dall'attività dei task 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 e 8.5 relativi agli interventi con FRP su singoli elementi strutturali di c.a.;
- b) lo studio teorico-numericò di strutture intelaiate di c.a. interessate da interventi di rinforzo realizzati esclusivamente con tecnologie tradizionali, con l'uso di materiali innovativi oppure con tecniche di tipo misto. I risultati numerici ottenuti costituiranno una valida base di dati per la valutazione dell'efficacia dei rinforzi strutturali mediante materiali compositi, nonché per la formulazione di criteri ed indicazioni progettuali.

Task 8.7

Titolo della Ricerca: “ *Criteri di progetto per l’adeguamento sismico di strutture in muratura, interventi su beni culturali, strutture alte (torri e campanili)*”.

Coordinatore Responsabile: Benedetti.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniBo, UniCas, UniGe, UniNa, UniPg, UniPv.

Ricercatori Afferenti: Benedetti (UniBo), Sacco (UniCas), Augenti, Baratta, Corbi e Rosati (UniNa), Borri (UniPg), Lagomarsino (UniGe), Magenes (UniPv).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.7* riguarderà:

- a) il confronto tra soluzioni progettuali e metodi di calcolo per il miglioramento e l'adeguamento sismico di organismi murari complessi quali edifici storici e monumentali, attraverso la messa a punto di tecniche di modellazione in grado di approssimare le risposte sperimentali ottenute dai task 8.2, 8.3, 8.8 e 8.9;
- b) la definizione di progetti di adeguamento innovativi basati sull'impiego di materiali compositi fibrorinforzati;
- c) la valutazione dell'efficacia di vari schemi di rinforzo su vari materiali nel conseguire il livello di protezione assegnato.

Task 8.8

Titolo della Ricerca: *“Analisi del comportamento di edifici in muratura rinforzati con materiali compositi, crisi delle pareti e dei pannelli, collegamenti, catene e cuciture, comportamento dei pannelli fuori del piano e nel piano”.*

Coordinatore Responsabile: Sacco.

Unità di Ricerca in sedi decentrate: UniCas, UniNa, UniPd, UniPg.

Ricercatori afferenti: Luciano e Sacco (UniCas), Manfredi (UniNa), Modena (UniPd), Borri (UniPg).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.8* riguarderà:

- a) lo studio e la definizione di modelli di calcolo e procedure di verifica per elementi strutturali piani rinforzati con FRP, attraverso il confronto tra differenti soluzioni di intervento. Tali verifiche saranno effettuate sviluppando modelli meccanici semplificati e implementando modelli e tecniche numeriche che tengano conto sia del progressivo degrado a trazione ed a compressione della muratura, sia la possibilità di decoesione del rinforzo FRP dal paramento murario;
- b) il confronto tra i risultati numerici ottenuti per il tramite dei suddetti modelli semplificati e quelli derivati da analisi numeriche con modelli complessi nonché da sperimentali disponibili in letteratura e da prove di laboratorio che si svolgeranno nell'ambito del programma di ricerca.

Task 8.9

Titolo della Ricerca: *“Comportamento di strutture curve (archi e volte) rinforzate con materiali compositi”.*

Coordinatore Responsabile: Grimaldi.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniBo, UniRoma2, UniSa.

Ricercatori Afferenti: Benedetti (UniBo), Grimaldi e Rinaldi (UniRoma2), Fraternali (UniSa).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.9* riguarderà:

- a) l'applicazione di semplici schematizzazioni e modellazioni sia analitiche che numeriche, sviluppate in modo coordinato presso le sedi di Roma Tor Vergata e di Bologna;
- b) l'esecuzione di prove sperimentali a rottura su modelli di volte murarie presso l'Università di Salerno.

Task 8.10

Titolo della Ricerca: *“Controllo di qualità di rinforzi in materiale composito, criteri di collaudo e tecniche di monitoraggio”.*

Coordinatore Responsabile: Olivito.

Unità di Ricerca in Sedi Decentrate: UniCal, UniNa.

Ricercatori Afferenti: Olivito (UniCal), Nanni e Prota (UniNa).

Descrizione delle Attività

L'attività di ricerca svolta dal *task 8.10* riguarderà:

- a) la realizzazione di modelli e prototipi in scala reale di elementi strutturali di c.a. e di muratura rinforzati con tecniche differenti;
- b) l'esecuzione di prove di strappo come prescritte dalle Istruzioni CNR-DT 200/2004, sia immediatamente dopo l'applicazione del rinforzo che dopo aver sottoposto gli elementi rinforzati a condizioni di carico statiche e/o cicliche in modo da simulare le condizioni di esercizio degli elementi stessi;
- c) lo studio dei parametri che influenzano l'applicazione del rinforzo (condizioni fisico-meccaniche del substrato, condizioni di umidità e di temperatura nonché interazioni chimico-fisiche) e la messa a punto di un sistema di monitoraggio che possa essere gestito a distanza .