



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIS



Progetto DPC_ReLUIS 2022-2024
Esposizione delle attività svolte e prospettive

Roma, 7 novembre 2023

**WP 14 - Contributi normativi relativi a Materiali Innovativi per Interventi
su Costruzioni Esistenti**

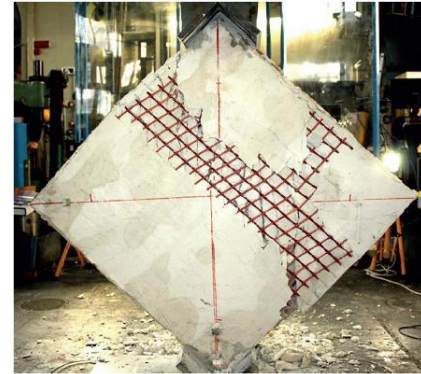
Prof.ssa Maria Antonietta AIELLO

OBIETTIVI DEL WP 14

1 - Validazione/implementazione di relazioni e raccomandazioni progettuali, necessarie al completamento di quanto già prodotto nel triennio 2019-2021, relativamente all'impiego dei materiali compositi a matrice inorganica a fibre lunghe, FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), a fibre corte HPFRC (High Performance Fiber Reinforced Concrete) ed ai sistemi CRM (Composite Reinforced Mortar) per interventi su costruzioni esistenti;

2 - Validazione/integrazione di relazioni e raccomandazioni progettuali relativamente all'impiego di armatura non metallica nelle strutture in c.a.;

3 - Redazione di uno STAR (Stato dell'arte), messa a fuoco delle criticità a livello normativo ed eventuali raccomandazioni progettuali in relazione all'impiego di calcestruzzi green, ovvero realizzati con materiali da riciclo e/o con leganti a basso impatto ambientale (leganti ad attivazione alcalina - geopolimerici, cementi solfoalluminosi), nonché di calcestruzzi ad elevata durabilità ottenuti con aggiunta di nanomateriali.



UNITA' DI RICERCA



N.	UNIVERSITA'	RESPONSABILE SCIENTIFICO	TASK 1	TASK 2	TASK 3
1	UNISALENTO	Aiello Maria Antonietta (Coordinatore)	X		X
2	UNICAL	Bencardino Francesco	X		X
3	UNINA	Bilotta Antonio	X	X	
4	UNIPG	Speranzini Emanuela	X		
5	UNIBO	Buratti Nicola	X		
6	UNIPARTHENOPE	Ceroni Francesca	X		
7	UNIROMA3	De Felice Gianmarco, De Santis Stefano	X	X	X
8	POLIMI	Di Prisco Marco	X		
9	UNIECAMPUS	Focacci Francesco	X	X	
10	UNIPA	Minafò Giovanni	X		
11	UNIBO	Mazzotti Claudio	X	X	X
12	UNICAL	Ombres Luciano	X		
13	UNIBS	Plizzari Giovanni	X		X
14	POLIMI	Poggi Carlo	X	X	
15	UNINA	Prota Andrea	X		
16	UNISA	Realfonzo Roberto	X	X	X
17	UNINA	Sacco Elio	X		X
18	UNIROMA2	Rinaldi Zila	X		X
19	UNISA	Feo Luciano	X		X
20	UNIROMA2	Vairo Giuseppe	X	X	
21	UNINA	Corbi Ileana	X		

TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI		
Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	
Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.		Francesco Focacci / Tommaso D'Antino
TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'		
Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI

Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	

Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.

Francesco Focacci /
Tommaso D'Antino

TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'

Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

UNITA' (18)	Task 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI
	Task 14.1.1
	Interventi mediante compositi di tipo FRCC
Aiello Maria Antonietta	Comportamento in ambiente alcalino (fibre di vetro e naturali)
Bencardino Francesco	Deformazione di distacco intermedio in funzione della tipologia di fibre
Bilotta Antonio	Completamento proposte integrazione per progettazione interventi con FRCC e qualificazione FRCC
Emanuela Speranzini	Aderenza muratura
Buratti Nicola	Durabilità dei sistemi FRCC in fibra di vetro e basalto
Ceroni Francesca	Aderenza con muratura/calcestruzzo, pannelli in muratura soggetti a taglio-compressione
De Felice Gianmarco, De Santis Stefano	Durabilità sistemi FRCC
Di Prisco Marco	Rinforzo di strutture in c.a., aderenza FRCC-calcestruzzo
Focacci Francesco	Giunti per sovrapposizione
Giovanni Minafò	Confinamento con rinforzo spigoli, aderenza
Mazzotti Claudio	Durabilità dell'aderenza in presenza di elevate temperature
Ombres Luciano	Effetti della temperatura sul rinforzo a flessione
Poggi Carlo	Sovrapposizioni e connessioni
Prota Andrea	Resistenza a taglio di pannelli murari
Realfonzo Roberto	Aderenza con calcestruzzo, confinamento muratura
Sacco Elio	Comportamento di pareti rinforzate con FRCC sollecitate a taglio
Vairo Giuseppe	Comportamento reti fibrose e ottimizzazione
Corbi Ileana	Strutture curve, aderenza

Responsabile di Task : **Antonio BILOTTA**

Prodotti: *Report, Pubblicazioni, Revisione/Integrazione Linee guida*

Proposte di aggiornamento delle

“Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica” (CNR-DT 215/2018)

Il documento include:

- Il testo originale delle Istruzioni e le proposte di modifica
- I riferimenti bibliografici corrispondenti alle proposte di modifica

PoliMI + UnieCampus + UniCal
D'Antino/Poggi+Focacci +
Bencardino

- Delaminazione** intermedia per travi in c.a.

Par 3.1 a pag. 20,21

considerare coefficienti differenti per tipologia di materiale
(proposta alternativa per valutazione mediante prove – **cap.9**)

UniPa
La Mendola

- Confinamento** di colonne in muratura con sistemi FRCC

Formula 4.11 a pag. 29

Considerare effetto di strisce longitudinali
(validazione sperimentale limitata per indicazione quantitativa – integrare/mantenere indicazione qualitativa)

UniBo
Mazzotti/Ferretti

- Capacità a taglio** di pareti rinforzate e sollecitate nel piano

Formula 4.1 a pag. 22

introdurre il contributo della matrice nel meccanismo resistente
validazione sperimentale limitata

UniNa
Prota/Lignola

- Capacità a taglio** di pareti rinforzate e sollecitate nel piano

Formula 4.1 a pag. 22

(formula di raccordo tra approccio semplificato e accurato)

UniSa
Realfonzo/Napoli

- Confinamento** di colonne in calcestruzzo con sistemi FRCC

Formula 5.10 a pag. 37

Differenziare per tipologia di materiale (5 tipologie o due gruppi)
Trascurare la presenza della matrice inorganica

UniSa
Realfonzo/Napoli

- Confinamento** di colonne in muratura con sistemi FRCC

Formula 4.8 a pag. 28

Aumentare affidabilità delle formule con più prove (best fitting)
Trascurare la presenza della matrice inorganica

UniSalento
Aiello/Micelli

- Confinamento** di colonne in muratura con sistemi FRCC
legame costitutivo

par 4.4 a pag. 27

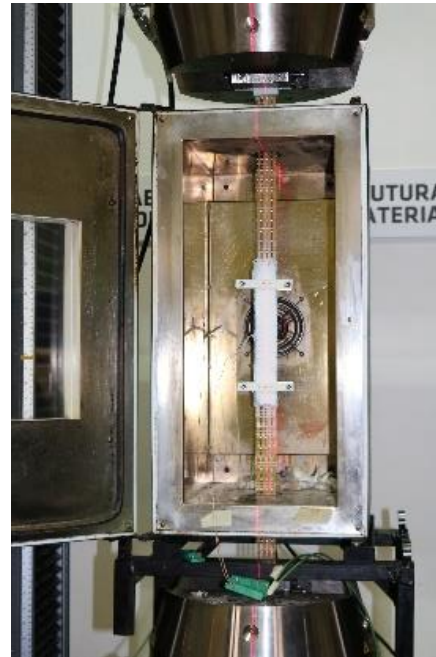
Problemi di durabilità

UNIBO, UNISalento, UNICal, UniRomatre

Contributi normativi



ambiente umido/alcalino
da 1000 a 9000 ore



fino a 140°C
(~T_g)

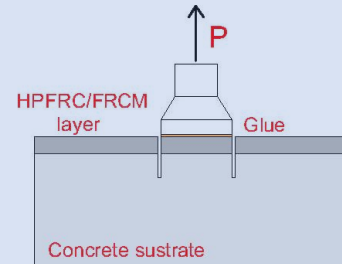
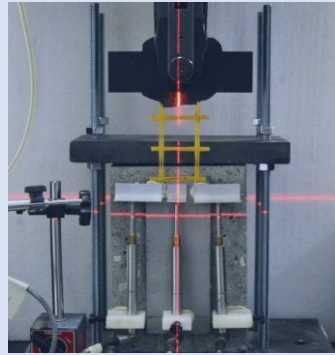
Affinamento dei **fattori di conversione ambientale** previsti dalle Linee Guida

Messa a punto di **metodi per prove di aderenza in temperatura**, attualmente non previste dalle Linee Guida

Modelli di bond/trazione per analisi accurate

UNIPA, UNIPG, POLIMI-Poggi, POLIMI-Di Prisco, UNIEcampus, TorVergata, UniParthenope

lavorazione superficiale dei substrati in cls



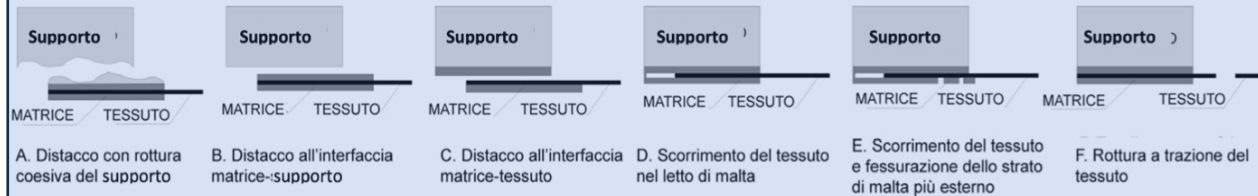
Contributi normativi

Indicazioni sull'effetto del trattamento superficiale

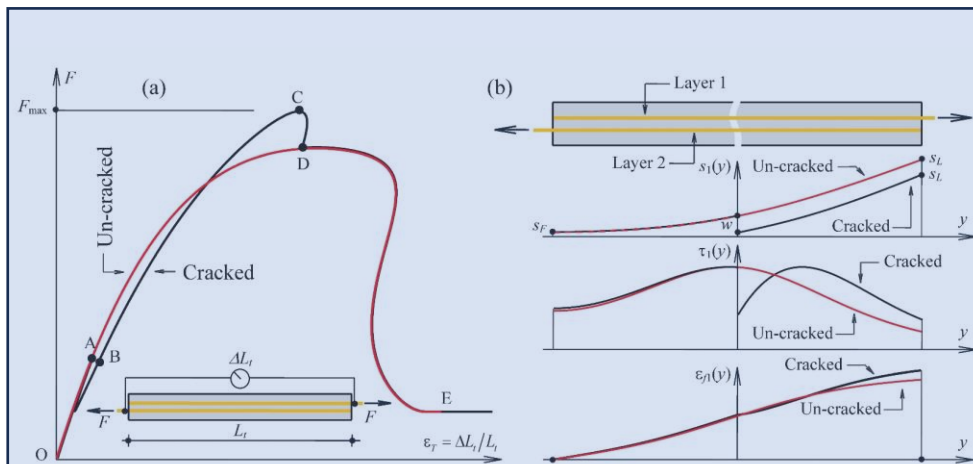
Analisi prove sperimentali di aderenza

935 prove su supporti in muratura, 430 su calcestruzzo

Modalità di crisi



Messa a punto di formule predittive (alta dispersione!)



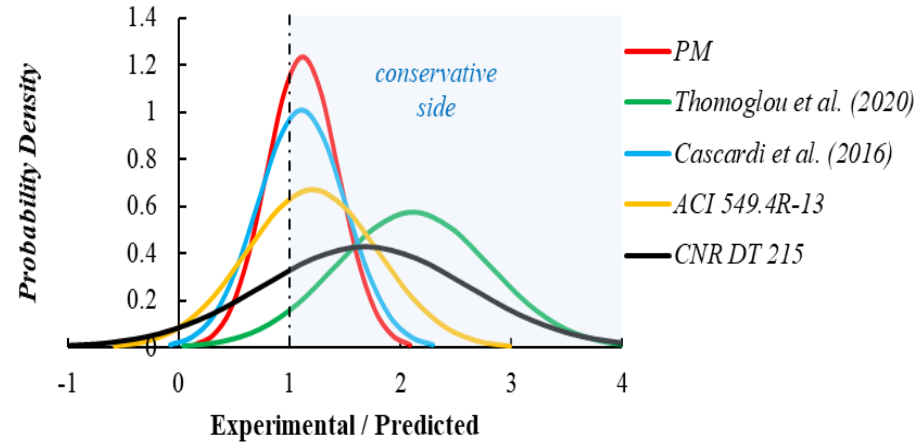
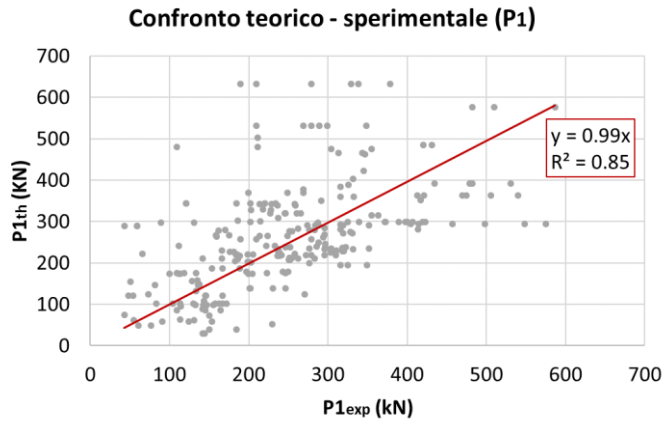
MODELLAZIONE ANALITICA Effetto della fessurazione

Proposta di un legame per modellazione numerica

Resistenza a taglio e fuori dal piano di pannelli in muratura

UNISALENTO, UNIBO, UNINA-Prota, UNINA-Sacco, UNIParthenope, UNIPA

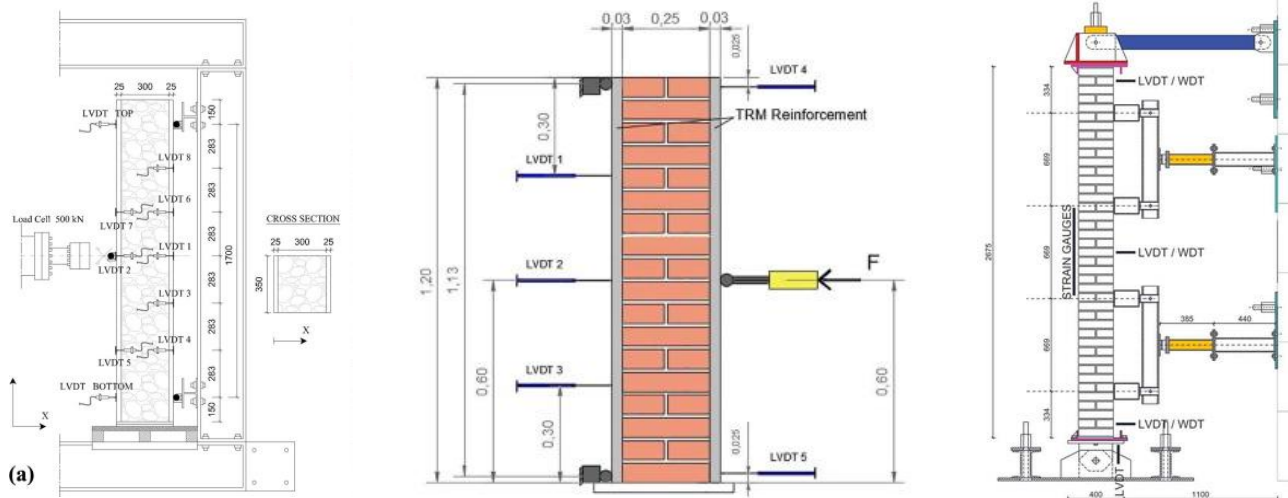
Contributi normativi



Validazione delle formule progettuali esistenti per pannelli in muratura rinforzati con materiali compositi FRCM

Proposta di un modello alternativo per la valutazione della resistenza a taglio nel piano

Analisi critica della letteratura relativamente a prove sperimentali fuori dal piano su pannelli in muratura rinforzati con materiali FRCM e FRM



TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI

Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	

Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.

Francesco Focacci /
Tommaso D'Antino

TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'

Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

ATTIVITA' E PRODOTTI

UNITA' (6)	Task 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI
	Task 14.1.2
	Interventi mediante sistemi CRM
Aiello Maria Antonietta	Comportamento in ambiente alcalino (fibre di vetro e naturali)
Bencardino Francesco	Deformazione di distacco intermedio in funzione della tipologia di fibre
Bilotta Antonio	Completamento proposte integrazione per progettazione interventi con FRCCM e qualificazione FRCCM
Emanuela Speranzini	Aderenza muratura
Buratti Nicola	Durabilità dei sistemi FRCCM in fibra di vetro e basalto
Ceroni Francesca	Aderenza con muratura/calcestruzzo, pannelli in muratura soggetti a taglio-compressione

Responsabile di Task : **Stefano DE SANTIS**

Prodotti: *Report, Pubblicazioni, Linee guida*

- Rete preformata in FRP
- Matrice di malta a base calce o cemento (3-5cm)
- Connettori in FRP o metallici



Contributo alla revisione delle Linee Guida di Qualificazione

- Proposte di integrazione nel capitolo di **descrizione del sistema CRM** e dei suoi elementi/materiali costituenti **in corso**
- Proposta di revisione del protocollo di **invecchiamento artificiale in ambiente alcalino** distinguendo due tipi di ambiente alcalino, in funzione del tipo di sistema CRM:
 - Malta di calce simulata mediante soluzione acquosa con $\text{pH} \geq 12.0$ a base di $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 - Malta cementizia simulata mediante soluzione acquosa con $\text{pH} \geq 12.0$ con $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}(\text{OH}) + \text{K}(\text{OH})$**completata**
- Proposta di revisione dei **criteri di accettazione**, con riferimento al modulo elastico, per il quale il valore medio dalle prove di accettazione si propone debba risultare non inferiore all'85% (e non al 100%) del corrispondente valore nominale **completata**

Contributo alla redazione di nuove Linee Guida per la progettazione

LG Progettazione - Capitoli	Salento	Milano / E-campus	Perugia	Palermo	Roma Tre	Avanzamento
Descrizione dei materiali e della tecnologia	●				●	In corso
Concetti basilari del rinforzo	●				●	In corso
Valori di progetto delle resistenze	●				●	In corso
Rinforzo delle pareti per azioni nel piano	●	●	●			Completato
Rinforzo delle pareti per azioni fuori dal piano		●				Completato
Cordoli sommitali					●	Completato
Rinforzo di strutture voltate				●		In corso
Confinamento di colonne	●					Completato
Dettagli costruttivi		●	●			In corso
Controllo, manutenzione, monitoraggio						Non programmato
Riferimenti bibliografici	●	●	●	●	●	In corso
Esempi numerici						Non programmato

TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI

Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	

Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.

Francesco Focacci /
Tommaso D'Antino

TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'

Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

ATTIVITA' E PRODOTTI

UNITA' (4)	Task 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI
	Task 14.1.3
	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC
Plizzari Giovanni	Pannelli murari
Prota Andrea	Aderenza HPFRC-calcestruzzo
Rinaldi Zila	Jacketing con materiali HPFRC
Feo Luciano	Durabilità

UNITA' (4)	Task 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI
	Task 14.1.4
	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico
Aiello Maria Antonietta	Pannelli murari
Di Prisco Marco	Elementi innovativi di copertura
Plizzari Giovanni	Comportamento nel piano di edifici rinforzati, comportamento fuori dal piano di pannelli murari
Feo Luciano	Rinforzo sismo-energetico con malte fibrorinforzate con nanofibre

Responsabile di Task : **Luca FACCONI**

Prodotti: *Report, Pubblicazioni, Linee guida*

Task 14.1.4: INTERVENTI MEDIANTE COMPOSITI DI TIPO HPFRC)

Proposta di Linea Guida per la progettazione di interventi di rinforzo su edifici esistenti effettuati con calcestruzzi/malte fibrorinforzate (HPFRC/FRM)

SOMMARIO

1	CALCESTRUZZI/MALTE FIBRORINFORZATE PER IL RINFORZO STRUTTURALE.....	4
1.1	APPLICAZIONI SU STRUTTURE IN C.A.....	4
1.1.1	Rinforzo con camicia in HPFRC.....	4
1.2	APPLICAZIONI SU STRUTTURE IN MURATURA.....	30
1.2.1	Proprietà meccaniche del rinforzo.....	31
1.2.2	Rinforzo di pannelli murari nel piano.....	32
1.2.3	Rinforzo di pannelli murari fuori dal piano.....	41
2	APPENDICE A (SULLA VERIFICA DI ELEMENTI IN C.A. RINFORZATI MEDIANTE INCAMICIATURA IN HPFRC).....	57
2.1	RINFORZO A FLESSIONE DI TRAVI: ESEMPIO DI CALCOLO DEL MOMENTO E CRUVATURA ULTIMA.....	57
2.2	RINFORZO DI PILASTRI: ESEMPI ESPLICATIVI.....	58
2.2.1	Influenza del rinforzo con HPFRC.....	58
2.2.1	Influenza del degrado per corrosione.....	61
3	APPENDICE B (SUL CALCOLO DELLA RESISTENZA NEL PIANO E FUORI DAL PIANO DI PANNELLI MURARI RINFORZATI).....	64
3.1	RINFORZO A TAGLIO E A FLESSIONE DI PANNELLI MURARI SOLLECITATI NEL PROPRIO PIANO.....	64
3.1.1	Esempio 1: parete in mattoni forati rinforzata su entrambi i lati.....	64
3.1.2	Esempio 2: parete in mattoni pieni rinforzata su un singolo lato.....	67
3.2	PROGETTAZIONE DEL RINFORZO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI: ESEMPI APPLICATIVI.....	69
3.3	RINFORZO A FLESSIONE DI PANNELLI MURARI SOLLECITATI FUORI DAL PROPRIO PIANO.....	78
3.3.1	Esempio 1: muratura in blocchi forati.....	79
3.3.2	Esempio 2: muratura in mattoni di tufo.....	83
4	BIBLIOGRAFIA.....	87

- Proposta di un modello analitico per la verifica di pareti in muratura rinforzate con intonaci fibrorinforzati (FRM – Fiber Reinforced Mortar) e soggette ad azioni nel piano
- Proposta di un modello analitico per la verifica di pareti in muratura rinforzate con intonaci fibrorinforzati (FRM – Fiber Reinforced Mortar) e soggette ad azioni fuori dal piano

- Esempi di calcolo applicativi inerenti il rinforzo nel piano e fuori piano di paramenti murari rinforzati con intonaci FRM
- Esempio di calcolo progettuale: verifica di un edificio in muratura esistente rinforzato con intonaco FRM




DPC-ReLUIs 2019-2021

WP14: Contributi normativi relativi a Materiali Innovativi per Interventi su Costruzioni Esistenti

Coordinatori: Maria Antonietta Aiello, Luciano Feo

Task 3: CALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI (HPFRC)

	Task 3.1 - Interventi su strutture in calcestruzzo armato Responsabile: Zila Rinaldi
	Task 3.2 - Utilizzo di sistemi HPFRC su strutture in muratura Responsabile: Giovanni Plizzari

Attività svolta dall'UR13 nell'ambito del progetto DPC ReLuis 2022-2024

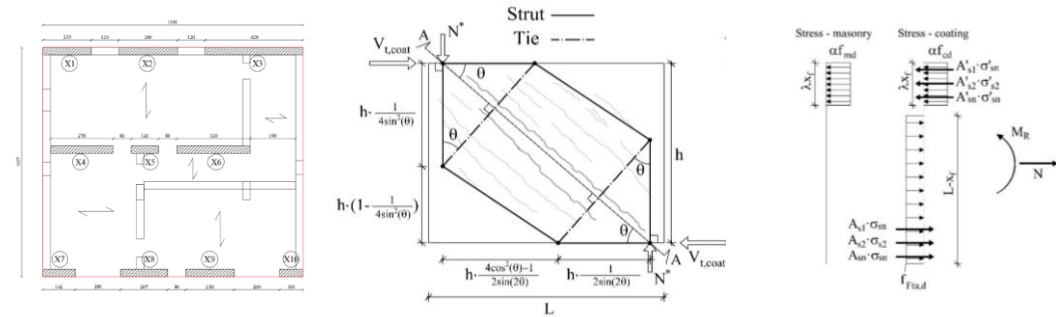
L'attività svolta dall'UR13 ha come obiettivo principale quello di proseguire nell'attività di sviluppo, miglioramento e validazione dei modelli analitici proposti nell'ambito del DPC Reluis 2019-21. Tale obiettivo verrà perseguito anche attraverso lo svolgimento di simulazioni numeriche applicate a casi studio reali, inerenti la progettazione di interventi di rinforzo realizzati con intonaci FRM.

PRINCIPALI CONTRIBUTI FORNITI A COMPLEMENTO DELLE LINEE GUIDA PROGETTUALI PROPOSTE NELL'AMBITO DEL DPC-RELUIS 2019/21

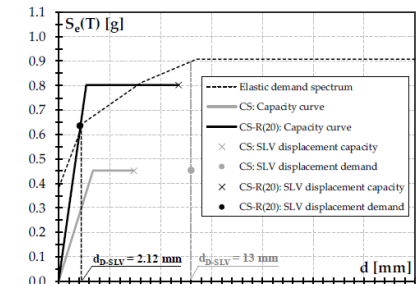
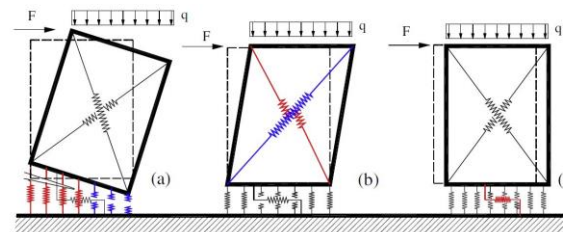
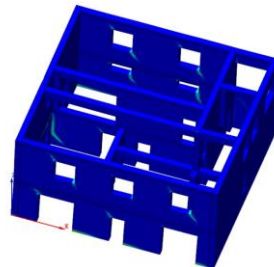
- ANALISI DI CASI STUDIO REALI

L'obiettivo dell'attività è quello di fornire alcuni esempi progettuali, applicati ad edifici in muratura reali, che possano fungere da guida progettuale per interventi di rinforzo sismici realizzati con intonaci FRM. L'analisi e la verifica degli interventi verrà effettuata utilizzando diversi approcci tradizionalmente impiegati nella pratica progettuale:

Analisi lineare con fattore "q"
- Verifiche condotte utilizzando il modello analitico proposto



Analisi non-lineare (pushover) condotte sia con modelli FEM continui che con modellazioni semplificate (es. Telaio equivalente e macroelementi)



Proposta di Linea Guida per la progettazione di interventi di rinforzo su edifici esistenti effettuati con calcestruzzi/malte fibrorinforzate (HPFRC/FRM)

SOMMARIO

1	CALCESTRUZZI/MALTE FIBRORINFORZATE PER IL RINFORZO STRUTTURALE.....	4
1.1	APPLICAZIONI SU STRUTTURE IN C.A.	4
1.1.1	Rinforzo con camicia in HPFRC	4
1.2	APPLICAZIONI SU STRUTTURE IN MURATURA.....	30
1.2.1	Proprietà meccaniche del rinforzo	31
1.2.2	Rinforzo di pannelli murari nel piano.....	32
1.2.3	Rinforzo di pannelli murari fuori dal piano	41
2	APPENDICE A (SULLA VERIFICA DI ELEMENTI IN C.A. RINFORZATI MEDIANTE INCAMICIATURA IN HPFRC)	57
2.1	RINFORZO A FLESSIONE DI TRAVI: ESEMPIO DI CALCOLO DEL MOMENTO E CRUVATURA ULTIMA.....	57
2.2	RINFORZO DI PILASTRI: ESEMPI ESPLICATIVI	58
2.2.1	Influenza del rinforzo con HPFRC.....	58
2.2.1	Influenza del degrado per corrosione	61
3	APPENDICE B (SUL CALCOLO DELLA RESISTENZA NEL PIANO E FUORI DAL PIANO DI PANNELLI MURARI RINFORZATI).....	64
3.1	RINFORZO A TAGLIO E A FLESSIONE DI PANNELLI MURARI SOLLECITATI NEL PROPRIO PIANO	64
3.1.1	Esempio 1: parete in mattoni forati rinforzata su entrambi i lati	64
3.1.2	Esempio 2: parete in mattoni pieni rinforzata su un singolo lato	67
3.2	PROGETTAZIONE DEL RINFORZO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI: ESEMPI APPLICATIVI	69
3.3	RINFORZO A FLESSIONE DI PANNELLI MURARI SOLLECITATI FUORI DAL PROPRIO PIANO	78
3.3.1	Esempio 1: muratura in blocchi forati	79
3.3.2	Esempio 2: muratura in mattoni di tufo	83
4	BIBLIOGRAFIA	87

- Proposta di modelli analitici per la verifica di travi e pilastri rinforzati con incamiciatura in HPFRC
 - Introduzione di modelli per considerare il degrado dovuto alla corrosione delle armature nella verifica degli interventi di rinforzo effettuati con incamiciatura in HPFRC

Rinforzo con incamiciatura in HPFRC: esempi di calcolo applicativi




DPC-ReLUIs 2019-2021

WP14: Contributi normativi relativi a Materiali Innovativi per Interventi su Costruzioni Esistenti

Coordinatori: Maria Antonietta Aiello, Luciano Feo

Task 3: CALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI (HPFRC)

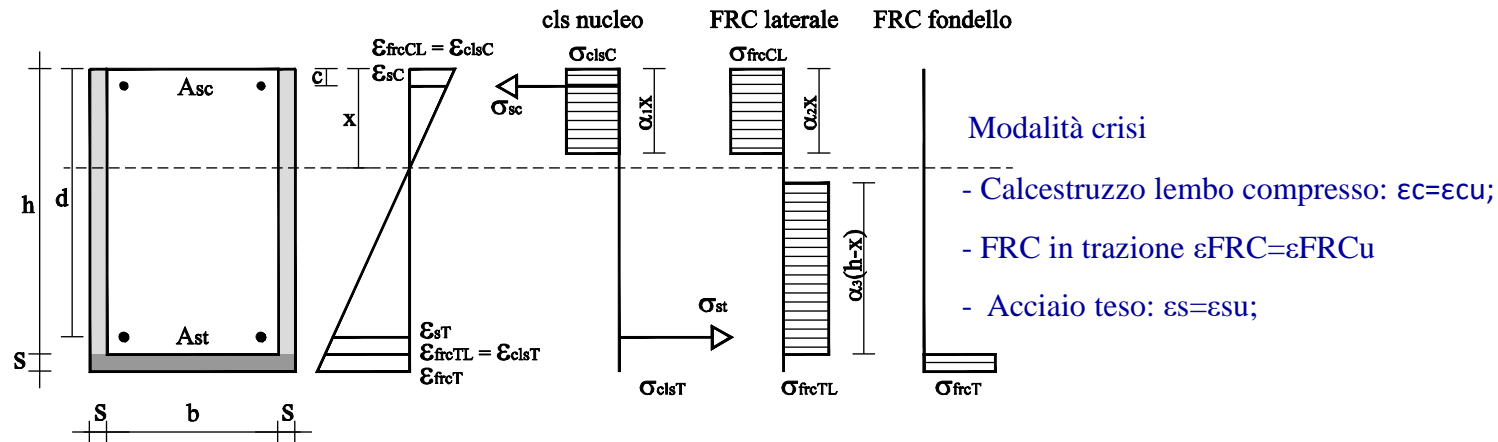
	Task 3.1 - Interventi su strutture in calcestruzzo armato Responsabile: <u>Zila Rinaldi</u>
	Task 3.2 - Utilizzo di sistemi HPFRC su strutture in muratura Responsabile: <u>Giovanni Pizzari</u>

Attività svolta dall'UR18 nell'ambito del progetto DPC ReLuis 2022-2024

Obiettivo:

Possibile estensione delle Linee guide (aggiornate) del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per l'accettazione e l'utilizzo del calcestruzzo fibrorinforzato per strutture di nuova realizzazione a interventi di rinforzo con **camicie in HPFRC**

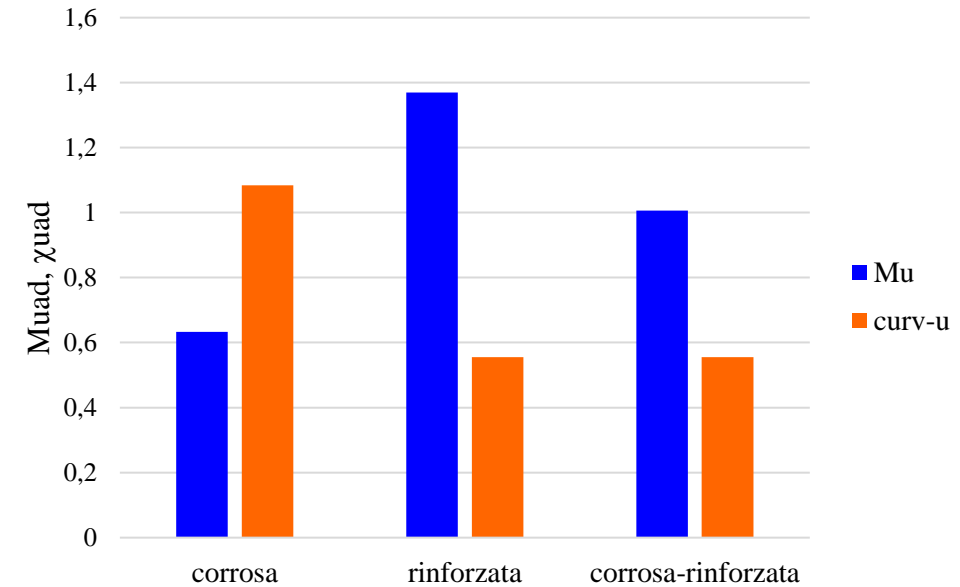
Esempi progettuali elementi inflessi rinforzati con camicie in HPFRC, anche in presenza di corrosione



$$N = f_{cd} \cdot b \cdot \alpha_{cc} \cdot x + A_{s1} \sigma_{s1} - A_{s2} \sigma_{s2} + f_{Fcd} \cdot (2 \cdot s \cdot \alpha_{Fc} \cdot x) - f_{Ftd} \cdot [s \cdot b + 2 \cdot s \cdot (h - x + s)]$$

$$M = f_{cd} \cdot b \cdot \alpha_{cc} \cdot x \left[\frac{h}{2} - \frac{\alpha_{cc}}{2} \cdot x \right] + A_{s1} \sigma_{s1} \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{s2} \sigma_{s2} \left(\frac{h}{2} - d_2 \right) + 2 \cdot f_{Fcd} \cdot \alpha_{Fc} \cdot x \cdot s \cdot \left[\left(\frac{h}{2} \right) - \frac{\alpha_{Fc}}{2} (x) \right] + f_{Ftd} \cdot s \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{s}{2} \right) + 2 \cdot f_{Ftd} \cdot s \cdot (h - x + s) \left(\frac{x - s}{2} \right)$$

esempi progettuali

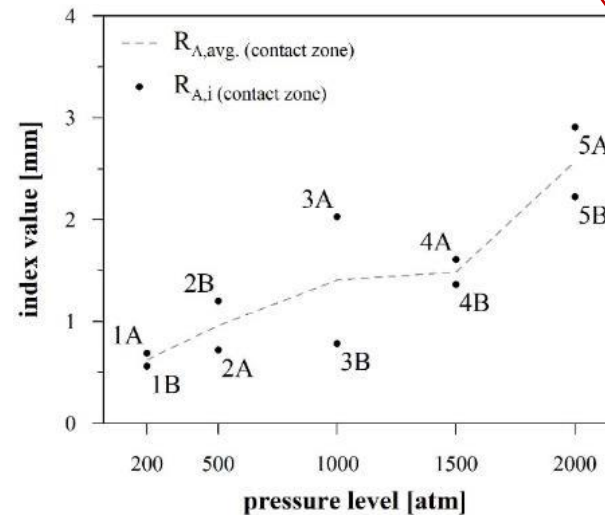
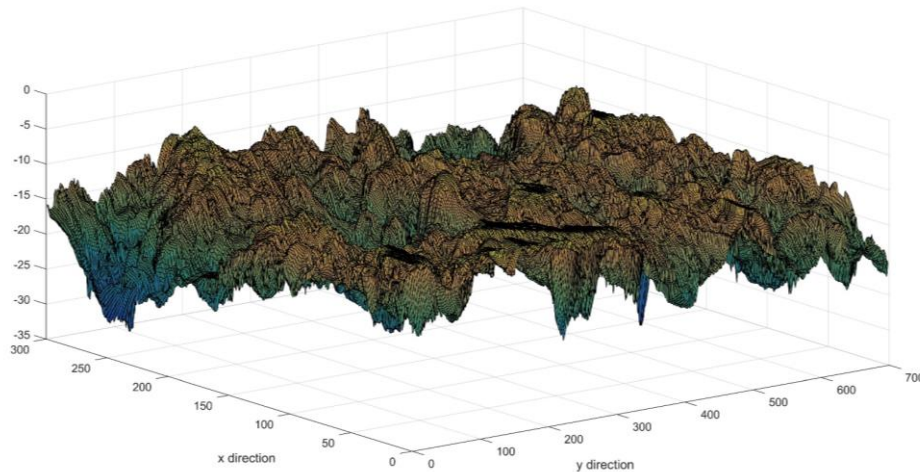


Attività svolta dall'UR8 nell'ambito del progetto DPC ReLuis 2022-2024

Idroscarifica (diversi livelli di pressione) e analisi rugosità superficiale

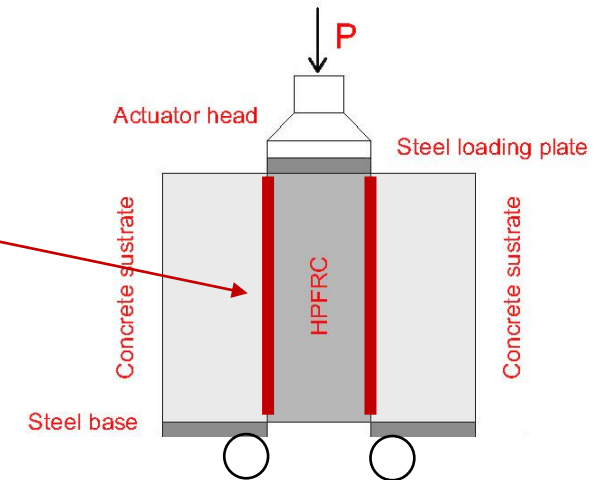


Determinazione indici di rugosità ed effetto della pressione di idroscarifica

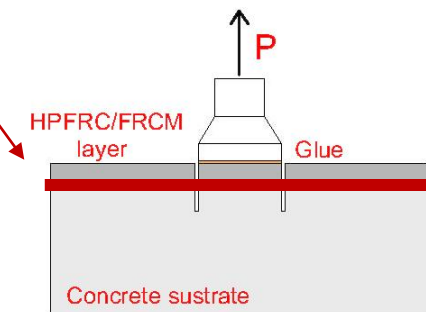


Prove di caratterizzazione di interfaccia

Triple block shear test

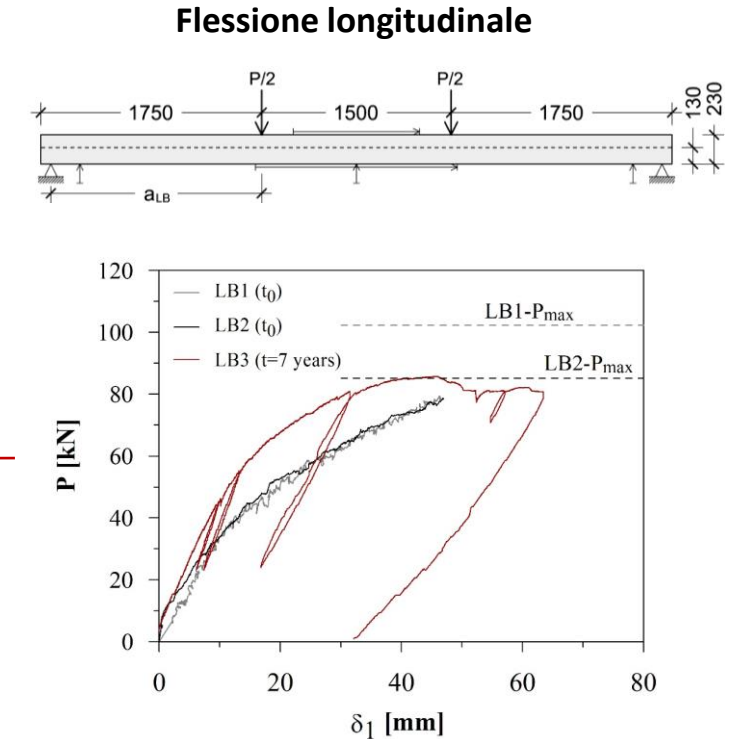
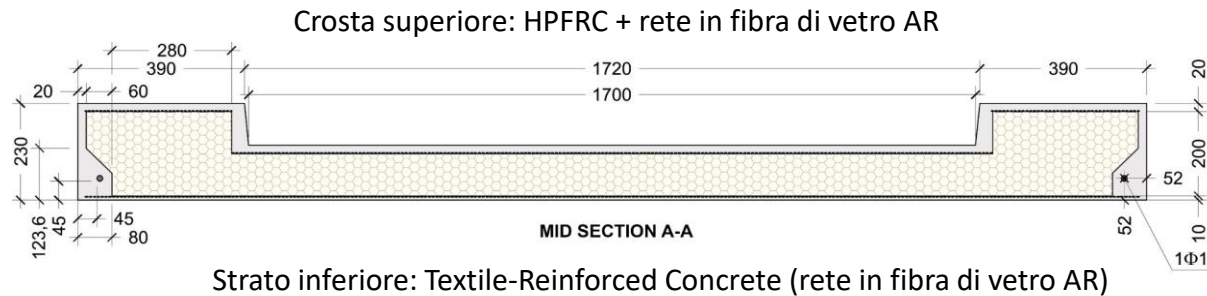
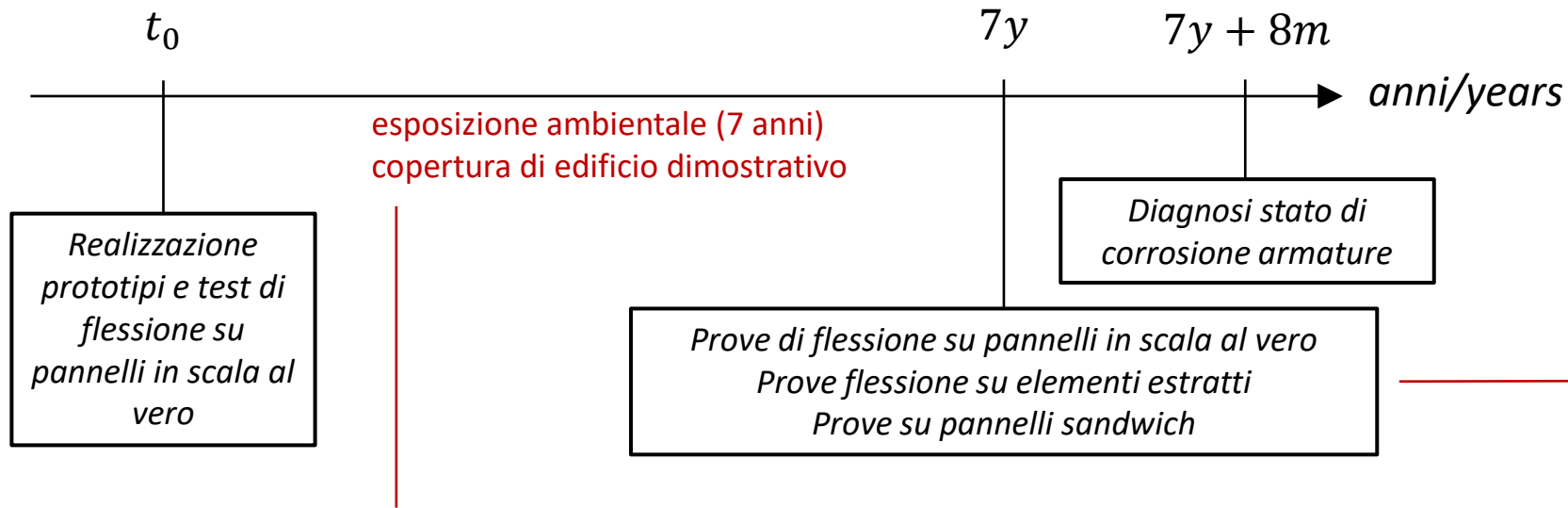


Pull-off test



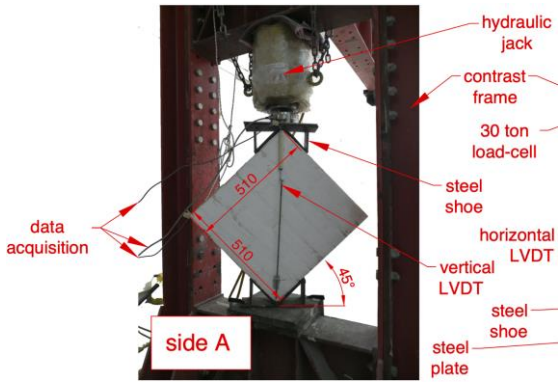
Task 14.1.4: INTERVENTI MEDIANTE COMPOSITI A MATRICE INORGANICA (FRCM, CRM, HPFRC) PER IL RINFORZO STRUTTURALE E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

Valutazione degli effetti dell'esposizione ambientale su pannelli di copertura per l'efficientamento energetico realizzati in materiali compositi cementizi innovativi (HPFRC e TRC)

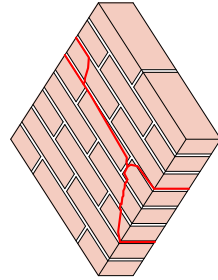
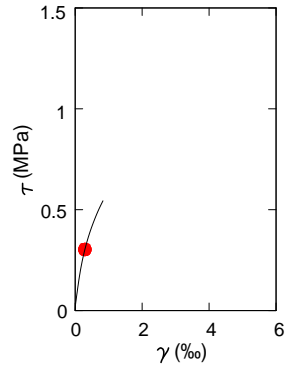


Test meccanico

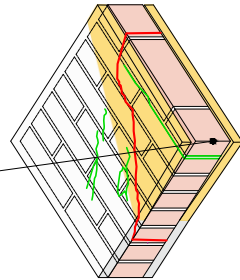
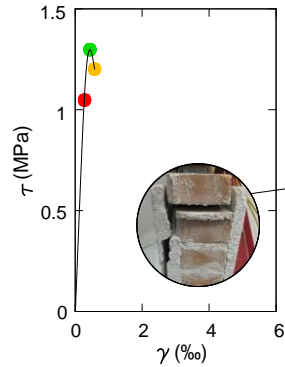
Test setup



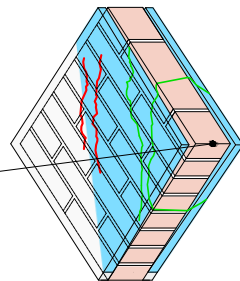
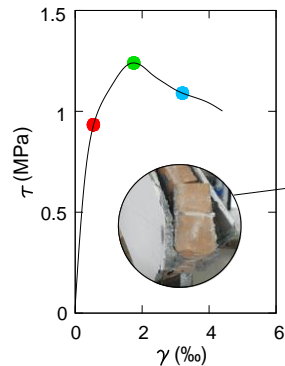
- First cracks
- Second cracks
- Adhesive detachment
- Cohesive detachment



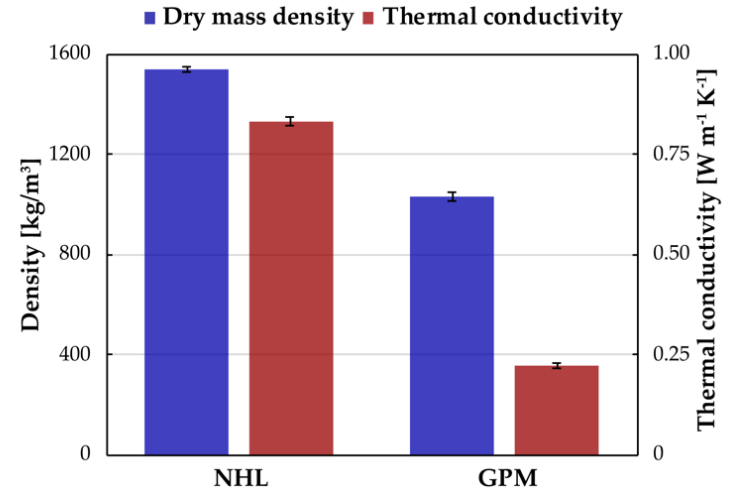
URM



CRM
(malta NHL)



CRM
(geopolimero
GPM)



Label	Dry mass density (ρ)			Thermal conductivity (λ)		
	Mean kg/m ³	CoV ¹ %	ρ_{GPM}/ρ_{NHL} %	Mean W m ⁻¹ K ⁻¹	CoV ¹ %	$\lambda_{GPM}/\lambda_{NHL}$ %
NHL	1540	0.5		0.830	1.5	
GPM	1031	1.8	66.95	0.222	2.7	26.75

¹ Coefficient of Variation.

TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI		
Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	

Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.	Francesco Focacci / Tommaso D'Antino
--	---

TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'		
Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

ATTIVITA' E PRODOTTI

UNITA' (7)	Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.
Bilotta Antonio	Revisione documento CNR 203/2006: SLE, verifiche in condizioni di incendio
De Felice Gianmarco, De Santis Stefano	Aderenza
Focacci Francesco	Aderenza, lunghezza di ancoraggio, lunghezza di trasferimento
Mazzotti Claudio	Comportamento strutturale in presenza di azioni cicliche
Poggi Carlo	progettazione elementi strutturali, aderenza, comportamento a fatica delle barre
Realfonzo Roberto	Aderenza
Vairo Giuseppe	Legame di aderenza in elementi FRP-calcestruzzo soggetti ad ambiente aggressivo

Responsabile di Task : **Francesco FOCACCI/Tommaso D'ANTINO**

Prodotti: *Report, Pubblicazioni, Revisione/ Integrazione Linee guida*

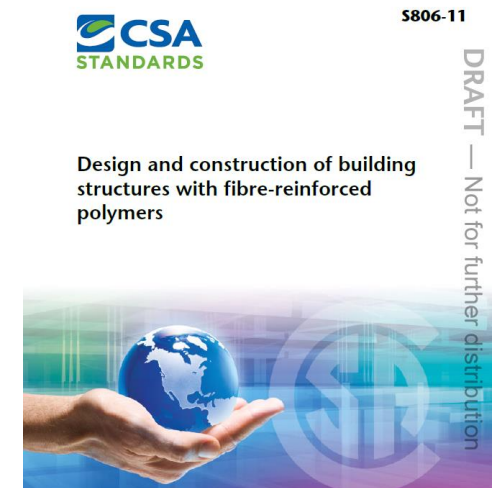
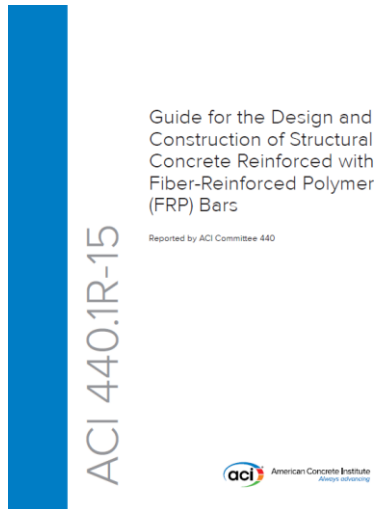
Proposte revisione/integrazione del documento:

CNR DT203/2006

«Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato»

→ A partire dall'esame delle normative più recenti in ambito internazionale per la progettazione delle armature in FRP di strutture in cemento armato.

- ✓ CSA S806-11
- ✓ ACI 440.1R-15



Coerenza con norme attuali: taglio; stato limite di fessurazione

docs.google.com/spreadsheets/d/1fKW_P8xvhBXAtY7Y9LzryAZdbxUD2e0l/edit#gid=450320434

WP14.2 UR e argomenti .XLSX

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Dati Strumenti Guida

200% | € % .0. .00 123 | Prede... | - 10 + | B I A |

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		UniNA UR3 Bilotta	UniRoma3 UR7 De Felice	UnieCampus UR9 Focacci	UniBO UR11 Mazzotti	PoliMI UR14 Poggi	UniSA UR16 Realfonzo	UniRoma2 UR20 Vairo
4	DT203/2006: coerenza con norme attuali (taglio, stato limite di fessurazione)							
5	Redazione di esempi per DT203/2003	X			X			
6	Proprietà meccaniche di calcolo				X			
7	Fatica statica							
8	Alte temperature							
9	Durabilità		X					X
10	Diversi livelli di armatura				o X			
11	Elementi pressoinflessi							
12	Valutazione delle deformazioni	X			X			
13	Calacità di spostamento, duttilità				o			
14	Caratterizzazione aderenza e problmi connessi			o X		X	X	X
15								
16	X: aggiornamento normativo (CNR)							
17	o: tema di ricerca							

Impiego di barre in FRP in strutture portuali

Raccolta di materiale bibliografico per redazione di uno stato dell'arte



Materiali

- Barre FRP nell'ingegneria costiera
 - Materiali più utilizzati per le fibre (CFRP, GFRP, BFRP, AFRP)
 - Materiali più utilizzati per le resine (Resina epossidica, vinilestere, poliestere)

- Calcestruzzi combinati con rinforzo in barre in FRP
 - Sea-sand concrete, Sea-water concrete, Sea-sand and Sea-water concrete (SSC)
 - Coral aggregates concrete

- Durabilità di barre in FRP in ambiente marino



Impiego di barre in FRP in strutture portuali

Raccolta di materiale bibliografico per redazione di uno stato dell'arte



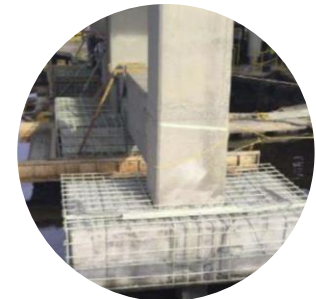
Applicazioni – stato dell'arte scientifico

- Casi studio (e.g. *iDock Miami,...*) – WIP
(T0+24)



Applicazioni – stato dell'arte industriale

- Progetti e applicazioni - WIP
(T0+24)



TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI		
Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	
Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.		Francesco Focacci / Tommaso D'Antino
TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'		
Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

ATTIVITA' E PRODOTTI

UNITA' (3)	Task 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'
	Task 14.3.1
	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.
Aiello Maria Antonietta	Contributo stato dell'arte
Bencardino Francesco	Analisi ed Elaborazione Database: fibre ed inerti da riciclo
Plizzari Giovanni	Contributo stato dell'arte

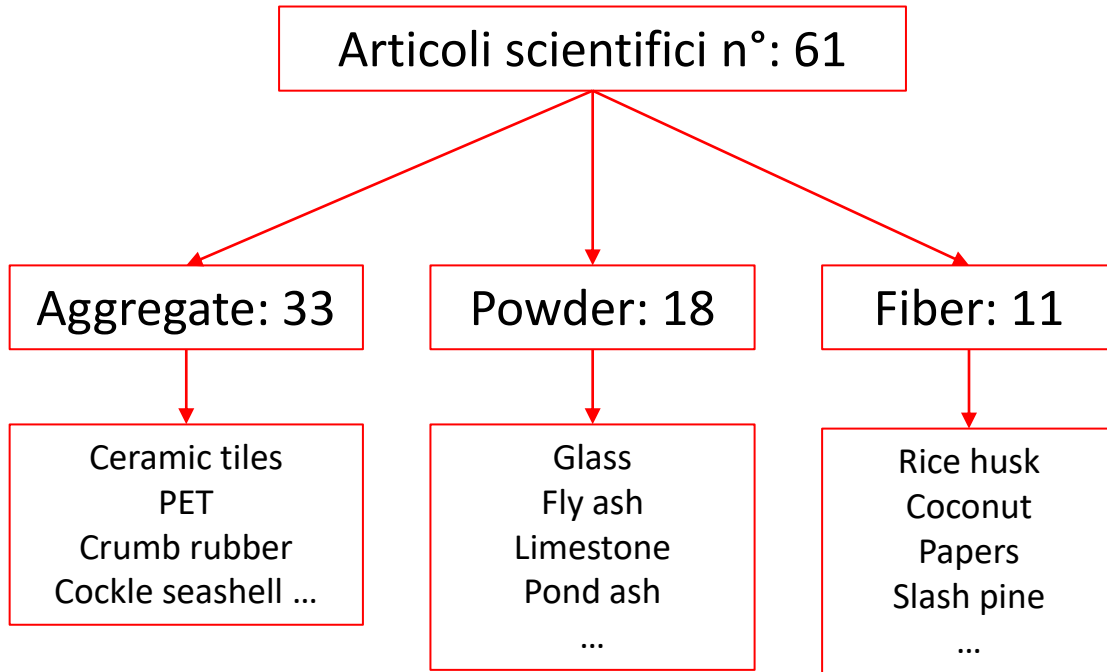
UNITA' (4)	Task 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'
	Task 14.3.2
	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale
Aiello Maria Antonietta	Proprietà meccaniche, aderenza anche con barre non metalliche
Mazzotti Claudio	Comportamento a lungo termine di calcestruzzi geopolimerici
Realfonzo Roberto	Aderenza anche con armature non metalliche
Rinaldi Zila	Prime indicazioni progettuali per l'utilizzo di calcestruzzi con cementi solfoalluminosi

Responsabile di Task : **Claudio MAZZOTTI**

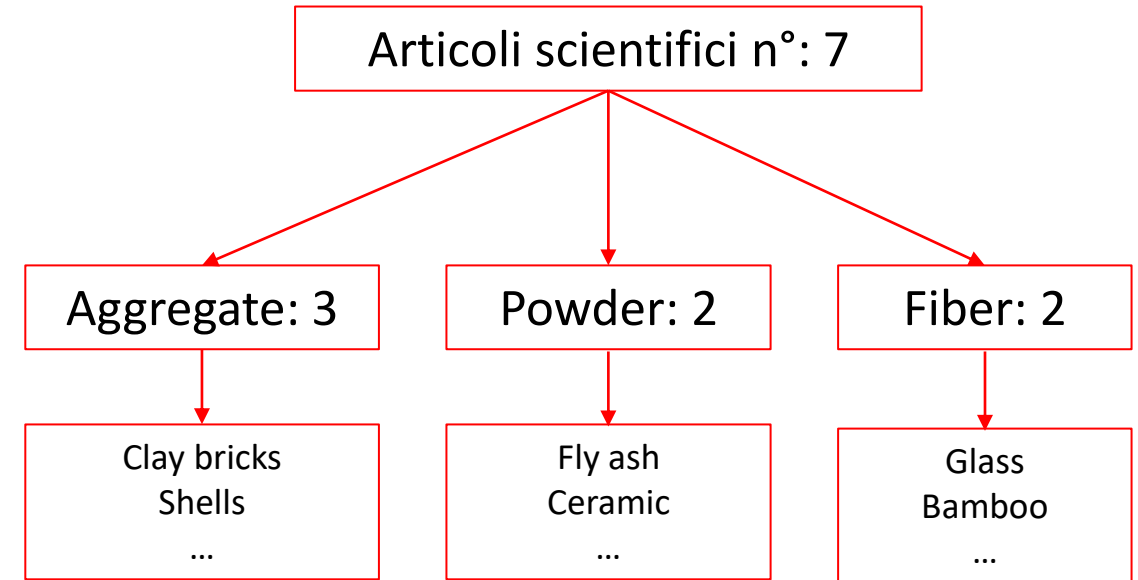
Prodotti: *Report, Pubblicazioni, STAR*

DATABASE – CALCESTRUZZI E MALTE GREEN

CALCESTRUZZI GREEN

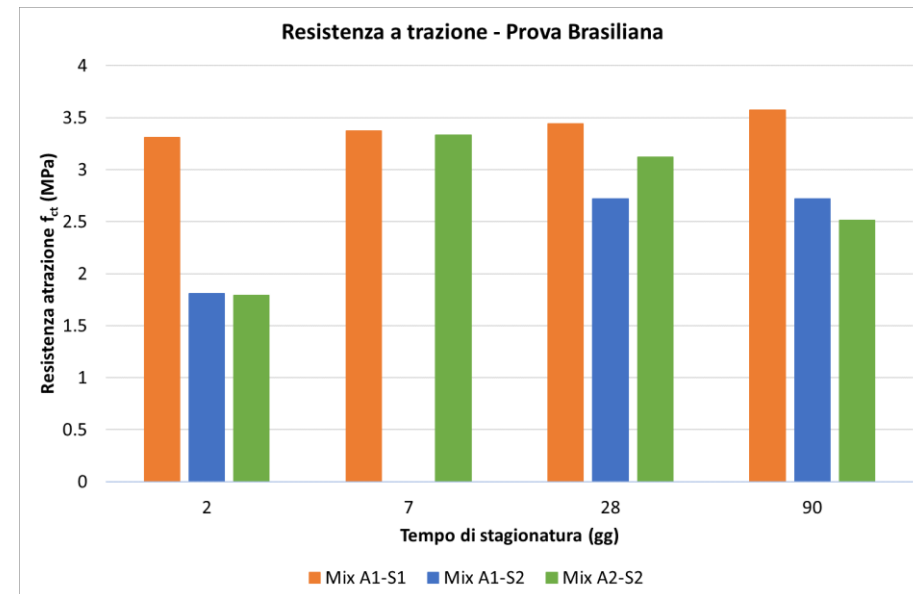
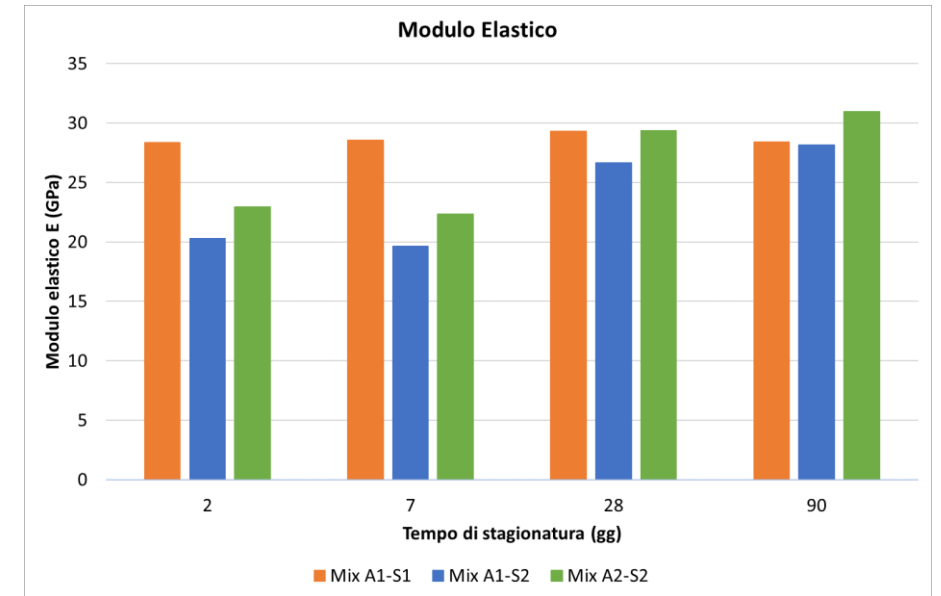
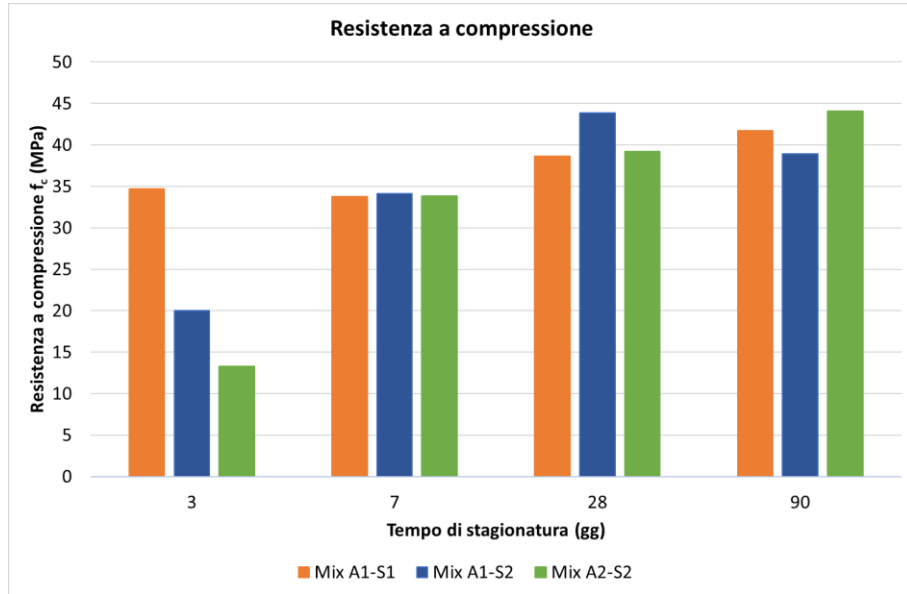


MALTE GREEN



- Difficoltà nell'effettuare operazioni di confronto tra risultati "non omogenei/troppo eterogenei";
- Necessità di individuare alcuni parametri comuni ed elaborare i dati raccolti al fine di definire possibili indicazioni utili per la redazione di linee-guida.

CONFRONTO MIX- CALCESTRUZZO GEOPOLIMERICICO CON SCORIE D'ALTOFORNO



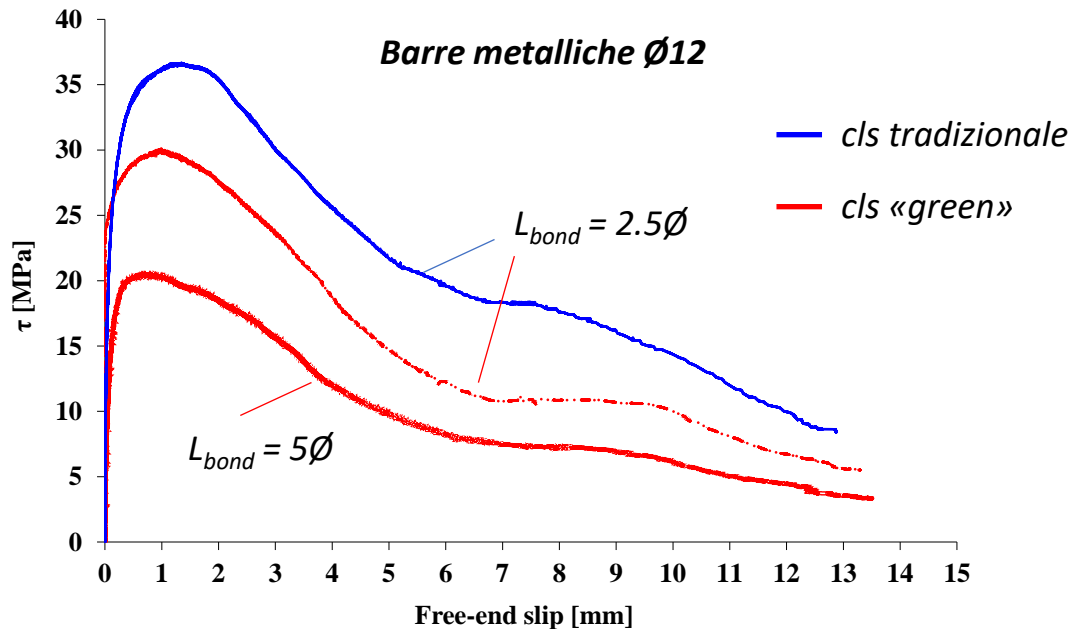
PROPRIETA'
MECCANICHE

ADERENZA CLS «GREEN» - ARMATURE

- Ad oggi i dati disponibili sul bond sono limitati
- L'attuale stato dell'arte non include lo studio di tutti i parametri che influenzano il meccanismo di trasferimento delle tensioni all'interfaccia cls - barre di rinforzo, quali diametro della barra, lunghezza di aderenza e finitura superficiale della barra

OBIETTIVI

- Identificazione del legame di aderenza cls «green» e barre in acciaio/*materiale composito*
- Confronto con il comportamento in termini di aderenza derivante dall'impiego di cls «tradizionale»

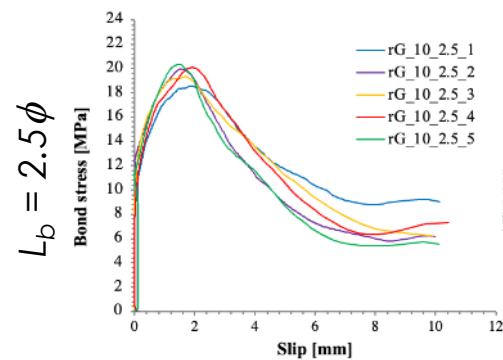
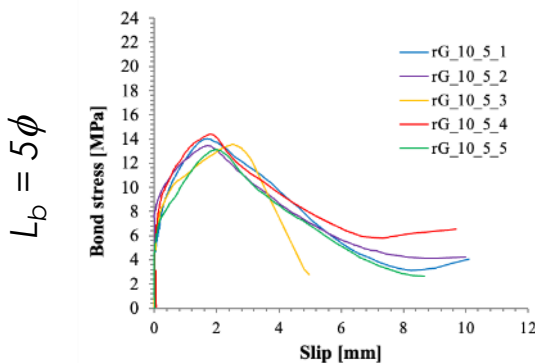
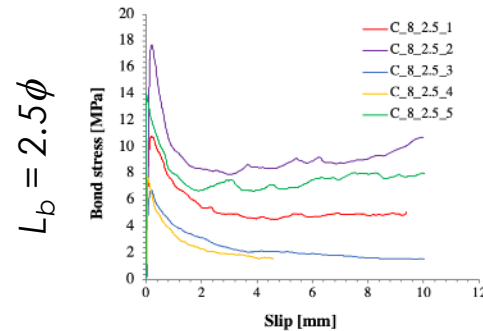
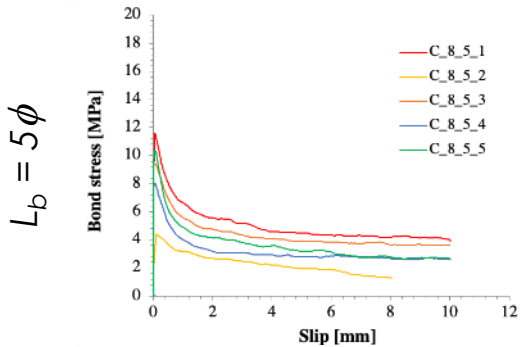
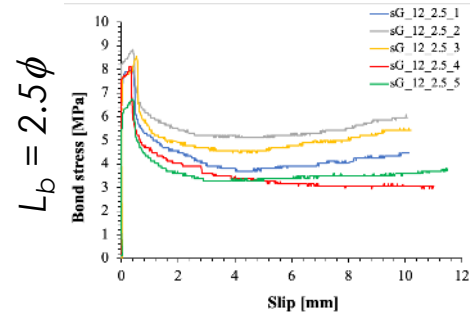
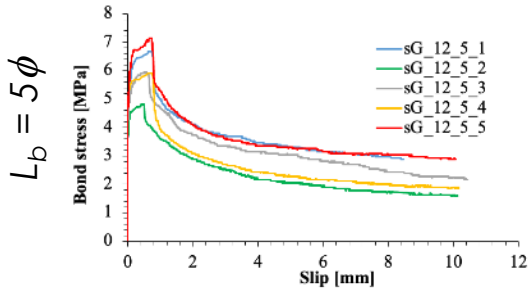


Sviluppo di formulazioni ad hoc per la stima della tensione di aderenza massima in funzione della resistenza del cls



Test di aderenza su barre GFRP e CFRP

RISULTATI TEST DI ADERENZA CON BARRE IN FRP



CALIBRAZIONE NUOVE RELAZIONI DI NORMATIVA

fib MODEL CODE 2010

$$\tau_{b,max} = 2.5\sqrt{f_c}$$

- f_c : resistenza cilindrica media a compressione del calcestruzzo
- $\tau_{b,max}$: tensione di aderenza massima cls-armatura

L'elaborazione e l'analisi delle prove di pull-out permetterà di **calibrare una relazione** che legghi la **tensione di aderenza massima** alla **resistenza a compressione** di questi nuovi calcestruzzi.

Obiettivo:

Task 14.3.4 – Obiettivo della ricerca: stato dell’arte e definizione di prime indicazioni progettuali per l’utilizzo di calcestruzzi con **cementi solfoalluminosi**:

- ✓ Potenzialità e i vantaggi soprattutto dal punto di vista della sostenibilità ambientale.
- ✓ Verifica degli aspetti legati alla durabilità:
- ✓ Compatibilità con armature di tipo metallico, in composito o rinforzi fibrosi

Calcestruzzo con cemento solfoalluminoso: 1 fase: studio miscele

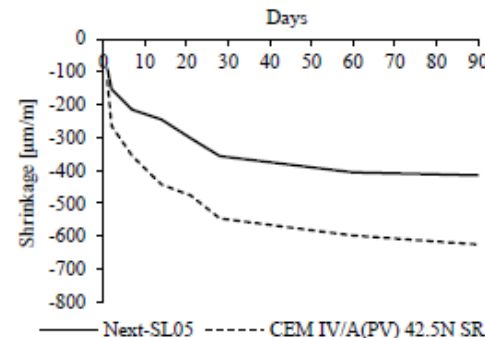
Table 1. Properties of the mix design at different temperatures

Mix design	Unit	20°C	30°C	Ref.
Binder (Next-SL05)*	kg/m ³	380	380	380
Sand	kg/m ³	892	892	892
Rubble	kg/m ³	445	445	445
Gravel	kg/m ³	503	503	503
Additive CC39/P22	%	0.7	0.7	0.7
Water	l/m ³	160	160	160
Volumetric data				
Yield	%	99.8	100.6	101
Actual water	l/m ³	162	159	161
Air content	%	2	1.9	2.0
Density	kg/m ³	2384	2382	2395
Workability loss **				
t ₀	mm	195	200	200
t ₃₀	mm	190	160	200
t ₆₀	mm	180	-	190
Compressive strength (f_{cm,cube})				
3 h	MPa	3.7	10.0	-
4 h	MPa	10.0	16.1	-
5 h	MPa	15.4	18.0	-
6 h	MPa	18.2	20.3	-
24 h	MPa	39.9	44.2	-
7 days	MPa	54.6	51.9	41.9
28 days	MPa	66.7	64.4	52.6

* Replaces CEM IV/A(PV) 42.5N SR pozzolanic cement, normally adopted to cast tunnel segments;

** t₀ refers to time zero; t₃₀ refers to 30 minutes after casting; and t₆₀ refers to 60 minutes after casting.

Ritiro



Problematiche da approfondire

- Miglior rapporto di sostituzione OPC/CSA in termini lavorabilità/prestazioni/sostenibilità;
- Proprietà meccaniche e pH a lungo termine;
- Influenza della carbonatazione e dell’attacco da cloruri sulla durabilità e sul comportamento strutturale di elementi in C.A.;
- Stabilizzazione dello sviluppo di ettringite secondaria a lungo termine;
- Compatibilità con armature tradizionali, fibrorinforzate e rinforzi fibrosi.

TASKS E REFERENTI

TASK 14.1: MATERIALI COMPOSITI A MATRICE INORGANICA PER INTERVENTI SU COSTRUZIONI ESISTENTI		
Task 14.1.1	Interventi mediante compositi di tipo FRCCM	Antonio Bilotta
Task 14.1.2	Interventi mediante sistemi CRM	Stefano De Santis
Task 14.1.3	Interventi mediante compositi di tipo HPFRC	Luca Facconi
Task 14.1.4	Interventi mediante compositi a matrice inorganica (FRCCM, CRM, HPFRC) per il rinforzo strutturale e l'efficientamento energetico	
Task 14.2: IMPIEGO DI ARMATURE NON METALLICHE NELLE STRUTTURE IN C.A.		Francesco Focacci / Tommaso D'Antino
TASK 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'		
Task 14.3.1	Impiego di materiali da riciclo nelle strutture in c.a.	Claudio Mazzotti
Task 14.3.2	Calcestruzzi realizzati con leganti a basso impatto ambientale	
Task 14.3.3	Calcestruzzi durevoli ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali	Luciano Feo

ATTIVITA' E PRODOTTI

UNITA' (3)	Task 14.3: CALCESTRUZZI GREEN E AD ELEVATA DURABILITA'
	Task 14.3.3
	Calcestruzzi durezza ottenuti mediante l'aggiunta di nanomateriali
Sacco Elio	Analisi micromeccanica ed ottimizzazione di calcestruzzi con nanomateriali
Feo Luciano	Durabilità, realizzazione di materiali self-sensing e self-healing

Responsabile di Task : **Luciano FEO**

Prodotti: *Report, Pubblicazioni*

TASK 14.3.3 CALCESTRUZZI DUREVOLI OTTENUTI MEDIANTE L'AGGIUNTA DI NANOMATERIALI

Dal punto di vista sperimentale, l'UR ha svolto in ambito ReLUIIS una campagna di prove preliminari presso il Laboratorio Strutture (STRENGTH) del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno finalizzata a valutare in primo luogo l'effetto del quantitativo di nanofiller (nel caso in esame nanotubi di carbonio – CNTs) sul comportamento meccanico ed elettrico di nanocompositi.

- **Matrice:** HPC (GeoLite Magma - Kerakol);
- **Nanofillers:** Multi-Walled Carbon Nanotubes (0,0 wt.% - 0,1wt.% - 0,2 wt.% - 0,3 wt.%);
- **Processo di dispersione:** Fisico (Uso di tensioattivo + sonicazione);
- **Tensioattivo:** Sodio Dodecil Solfato (0,2 wt.%).

Dai risultati sperimentali ottenuti si evince che, in alcuni casi, nessun miglioramento, in termini di resistenza a compressione, può essere ottenuto. Infatti, l'aumento del dosaggio di nanotubi in carbonio (CNT) può provocare la loro indesiderata aggregazione e, di conseguenza, i prodotti di idratazione del cemento possono difficilmente formarsi all'interno delle reti di CNT; ciò comporta un aumento dei pori e, conseguentemente, una riduzione della resistenza a compressione.

TASK 14.3.3 CALCESTRUZZI DUREVOLI OTTENUTI MEDIANTE L'AGGIUNTA DI NANOMATERIALI

Sono in corso altre prove sperimentali che prevedono:

- **Impiego di Matrici:** HPC (GeoLite Magma - Kerakol) – Cemento Portland ordinario;
- **Impiego di Nanofillers:** Multi-Walled Carbon Nanotubes (0,0 wt.% - 0,025 wt.% - 0,05 wt.% - 0,075wt.% - 0,1 wt.%);
- **Processo di dispersione:** Fisico (Uso di tensioattivo + sonicazione);
- **Tensioattivo:** Sodio Dodecil Solfato – SDS – (0,2 wt.%) – Polivinilpirrolidone – PVP – (0,2 wt.%).

PROPOSTA NORMATIVA

Nonostante la grande produzione di articoli scientifici riguardanti i calcestruzzi autodiagnosticanti, non c'è ancora una normativa o una linea guida che ne regoli l'utilizzo.

Lo studio sperimentale in corso relativo all'impiego di nanocompositi come additivi del calcestruzzo può fornire utili suggerimenti per indirizzare lo sviluppo di documenti pre-normativi relativi a “tipi strutturali” non ancora contemplati nelle norme attuali, definendo chiaramente l'influenza che i diversi fattori in gioco, e in particolare il contenuto di nanofiller, ha sulle caratteristiche fisico-meccaniche di questi nanocompositi.

SVILUPPI FUTURI : TASK 1

Materiali Compositi per Interventi su Costruzioni Esistenti : Principali Tematiche Aperte

FRCM: Comportamento a lungo termine, impiego di fibre naturali, controllo e monitoraggio

CRM: Comportamento a lungo termine, impiego di resine green, impiego per strutture in calcestruzzo, controllo e monitoraggio

HPFRC: Comportamento all'interfaccia, comportamento a lungo termine

Sistemi FRCM/CRM con finalità di rinforzo strutturale ed energetico: possibili indicazioni progettuali

SVILUPPI FUTURI : TASK 2

Materiali Compositi per la realizzazione di nuove costruzioni : Principali Tematiche Aperte

Armature ibride, impiego di armature in FRP per strutture portuali, armature in FRP realizzate con resine termoplastiche e/o green

Calcestruzzi Green e ad Elevata Durabilità

- **Calcestruzzi realizzati con materiali da riciclo (inerti, fibre)**
- **Calcestruzzi realizzati con cementi solfoalluminosi o leganti ad attivazione alcalina (es. geopolimeri)**
- **Calcestruzzi ottenuti con l'aggiunta di nanomateriali: durevoli, self-sensing, self-healing**



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIS



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Progetto DPC/ReLUIS 2022-2024
Esposizione delle attività svolte e prospettive
Roma, novembre 2023

Thank you

WP 14 - Contributi normativi relativi a Materiali Innovativi per Interventi
su Costruzioni Esistenti

Prof.ssa Maria Antonietta AIELLO