

**Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni
NTC 2018 : cosa è cambiato**

Presso La Foresteria del Borgo di Fossanova - Priverno (LT)
22 maggio, 2018

**Uso di materiali innovativi nelle
NTC 2018 per il consolidamento di
edifici esistenti**

Raimondo Luciano

**Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica
Università di Cassino e L.M.**



Argomenti

- NTC18: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018
Diap. 3-11
- CNR-DT 200 R1/2013
Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati
Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie
Diap. 12-40

NTC18: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI
Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018

**CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI SULLE
COSTRUZIONI ESISTENTI**

- **Interventi di riparazione o locali:** interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti.
- **Interventi di miglioramento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3 (intervento di adeguamento).
- **Interventi di adeguamento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3.

NTC18

RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

- Ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

NTC18

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto

$$z_E = A/A_n,$$

A: azione sismica massima sopportabile dalla struttura;

A_n : azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

L'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni.

NTC18

INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

- Dovrà essere esteso a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.
- Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di z_E può essere minore dell'unità.
- Costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV: $z_E \geq 0.6$;
- Rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II: $\Delta z_E \geq 0.1$, Δz_E è l'incremento di z_E a seguito di interventi di miglioramento;
- Per la verifica del sistema di isolamento: si deve avere almeno $z_E = 1$.

NTC18

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente;

NTC18

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere $z_E \geq 1,0$.
Nei casi c) ed e) si può assumere $z_E \geq 0,80$.

NTC18

PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE

La sicurezza della costruzione deve essere valutata nei confronti di **meccanismi di collasso** sia locali sia globali.

- ❖ Per l'analisi sismica dei **meccanismi locali** si può far ricorso ai metodi dell'**analisi limite**, tenendo conto
 - della resistenza a compressione della muratura,
 - della tessitura muraria,
 - della qualità della connessione tra pareti murarie,
 - della qualità della connessione tra pareti e orizzontamenti,
 - della presenza di catene e tiranti.
- ❖ Con tali metodi è possibile valutare la capacità sismica in termini sia di **resistenza** sia di **spostamento** (determinando l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo).

NTC18

PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE

- ❖ Per l'**analisi sismica globale**, si deve considerare il sistema strutturale reale, con particolare attenzione
 - alla rigidezza e resistenza degli orizzontamenti,
 - all'efficacia dei collegamenti degli elementi strutturali con gli orizzontamenti e tra loro.
- ❖ Nell'analisi sismica globale, la verifica di un'unità strutturale dotata di **orizzontamenti sufficientemente rigidi** nel proprio piano può essere svolta, anche per edifici con più di due orizzontamenti, mediante l'**analisi statica non lineare**, con verifica in termini sia di forze sia di spostamenti, analizzando e verificando separatamente ciascun interpiano dell'edificio.
- ❖ Qualora gli orizzontamenti dell'edificio **non siano sufficientemente rigidi** nel proprio piano si potrà procedere all'analisi delle singole pareti o dei sistemi di pareti complanari, essendo ciascuna parete soggetta ai carichi verticali di competenza ed alle corrispondenti azioni del sisma nella direzione parallela alla parete.

NTC18

CRITERI E TIPI D'INTERVENTO

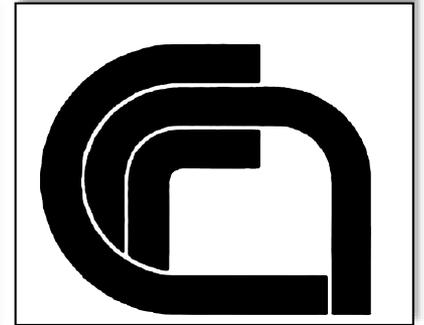
In aggiunta ai criteri ed interventi validi per le costruzioni in generale, per le strutture in muratura dovranno essere valutati e curati gli aspetti seguenti:

- miglioramento dei collegamenti tra orizzontamenti e pareti, tra copertura e pareti, tra pareti confluenti in martelli murari o angolate;
- riduzione ed eliminazione delle spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- rafforzamento delle pareti intorno alle aperture.

CNR-DT 200 R1/2013

**Guide for the Design and Construction
of Externally Bonded FRP Systems
for Strengthening Existing Structures**

Materials, RC and PC structures, masonry structures



INDICE

Cap.	Titolo
1	Premessa
2	Materiali
3	Concetti basilari del progetto di rinforzo
4	Rinforzo di strutture di c.a. e di c.a.p.
5	Rinforzo di strutture murarie
6	Controllo e monitoraggio
7-14	Appendici

Contenuti del capitolo 5 – Indice della presentazione

- 5.1 Introduction
- 5.2 Design assumptions
- 5.3 Evaluation of debonding strength
- 5.4 Strengthening of panels
- 5.5 Strengthening of structural members with single or double curvature
- 5.6 Confinement of masonry columns
- 5.7 Design for seismic applications
- 5.8 Installation and construction details
- 5.9 Numerical example

Contenuti del capitolo 5 – Indice della presentazione

- 5.1 Introduzione
- 5.2 Ipotesi di progetto
- 5.3 Valutazione della resistenza allo scollamento
- 5.4 Rinforzo di pannelli murari (azioni fuori o nel piano)
- 5.5 Rinforzo di elementi strutturali a singola o a doppia curvatura
- 5.6 Confinamento di colonne in muratura
- 5.7 Criteri di Progetto per azioni sismiche
- 5.8 Dettagli di installazione e costruzione
- 5.9 Esempio numerico

Aspetti tecnici generali

Obbiettivi

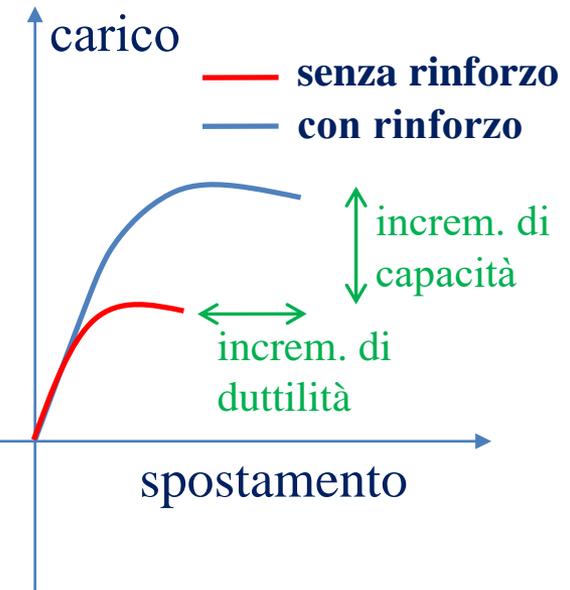
- Incrementare la **capacità portante** di strutture murarie.
- Aumentare lo **spostamento** della struttura all'atto del collasso.

Rinforzo di costruzioni storiche e monumentali

- Giustificato e accuratamente dettagliato.
- In accordo con la teoria del restauro.

Criteri di progetto del rinforzo con FRP

- Deve avvenire su muratura consolidata (in grado di resistere all'incremento di compressione indotto dall'attivazione dell'FRP).
- FRP in trazione.



Valutazione della sicurezza

Analisi strutturale

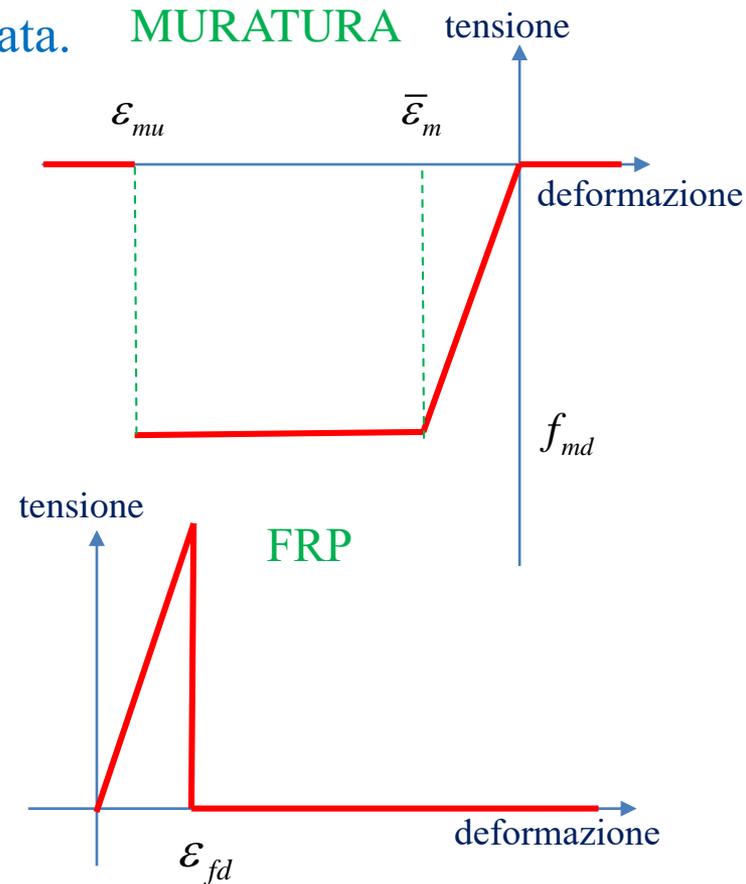
- Nonlineare (giustificata) / lineare / semplificata.

Criteri di verifica

- Fessurazione per trazione; schiacciamento; taglio-scorrimento; rottura di FRP; debonding di FRP.

Verifiche di sicurezza

- $\bar{\varepsilon}_m$ deformazione di progetto
- ε_{mu} deformazione ultima (3.5 ‰)
- f_{md} resistenza di progetto
- $\varepsilon_{fd} = \max \text{deformazione di progetto di FRP}$
 $\max \{ \text{rottura, debonding} \}$



Stima della resistenza a debonding

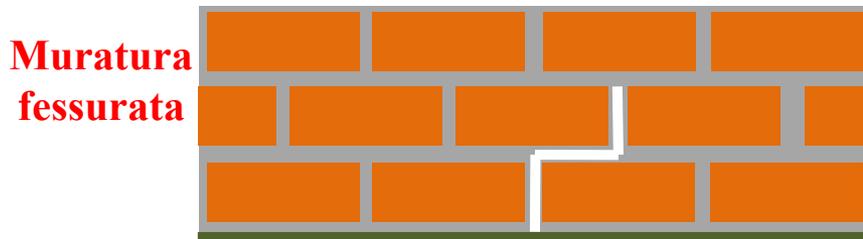
Warning: importanza del legame muratura-FRP

- Modalità di rottura fragile

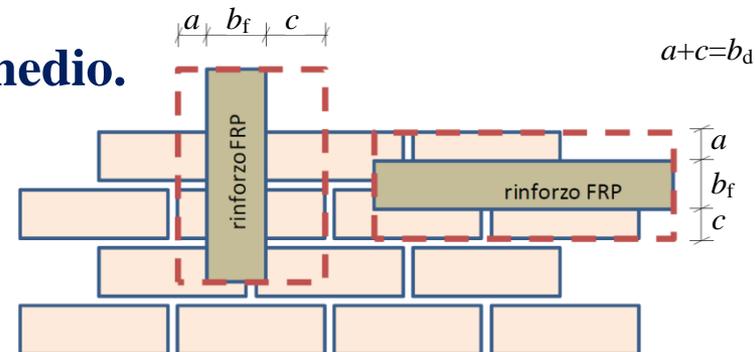
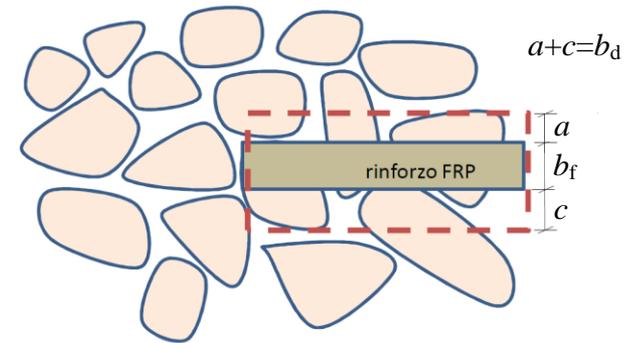
Considerazioni generali e modalità di rottura.

Resistenza di progetto per debonding all'estremità di lamine/fogli.

Resistenza di progetto per debonding intermedio.



Debonding intermedio

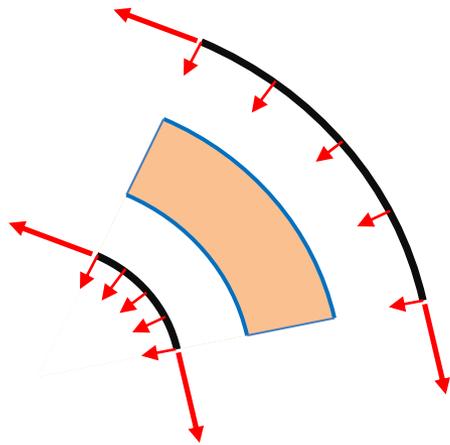


Stima della resistenza a debonding

Warning: importanza del legame muratura-FRP

- Modalità di rottura fragile

Resistenza di legame con tensioni perpendicolari alla superficie di legame.



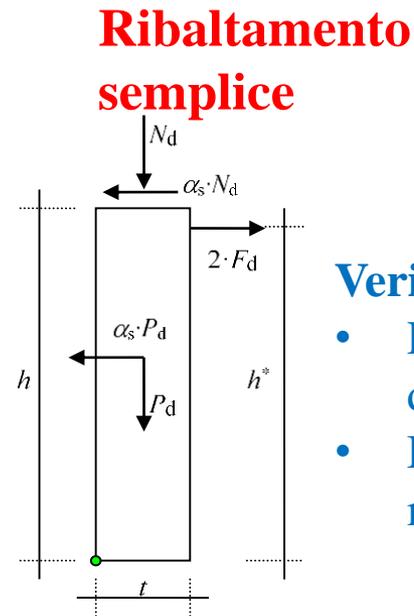
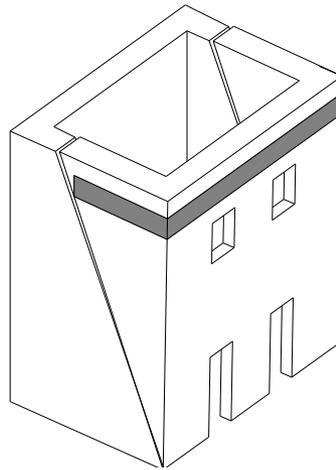
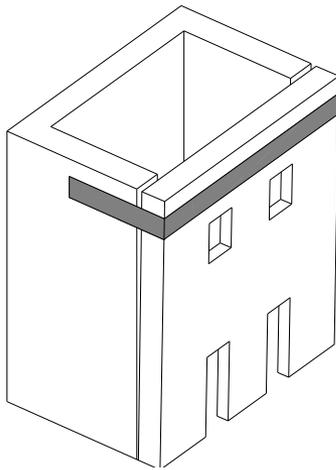
Dispositivi di ancoraggio meccanico



VERIFICHE DI ELEMENTI STRUTTURALI RICORRENTI

Rinforzo di pannelli murari

Rinforzo per carichi fuori-piano
(verifica per ribaltamento)



Verifiche:

- Resistenza a trazione di FRP.
- Distacco di FRP dai muri ortogonali.

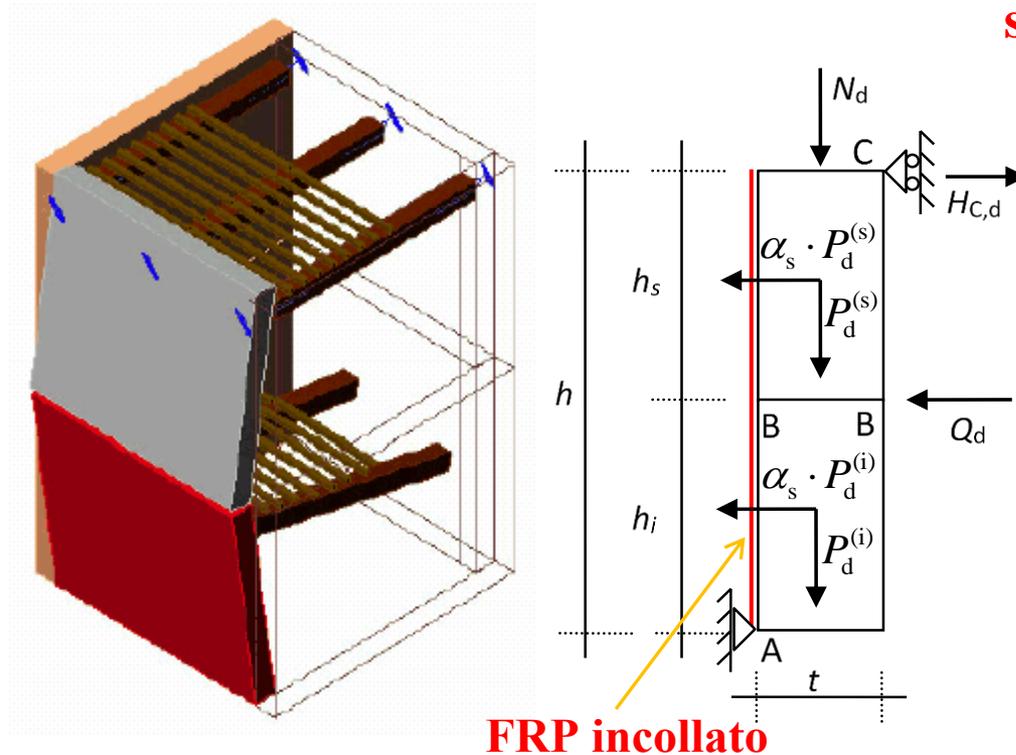
- P_d panel self-weight,
- N_d axial force acting at the top of the panel,
- α_s ratio between vertical and horizontal loads,
- F_d force exerted on the masonry panel by the FRP system.

Requisiti di sicurezza

Rinforzo di pannelli murari

Rinforzo per carichi fuori-piano

Verifica per flessione della striscia muraria verticale



Verifica: $M_{Sd} \leq M_{Rd}$
dipende da:

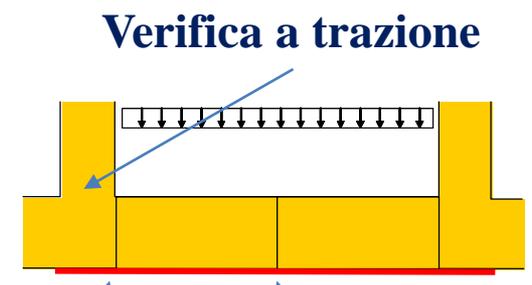
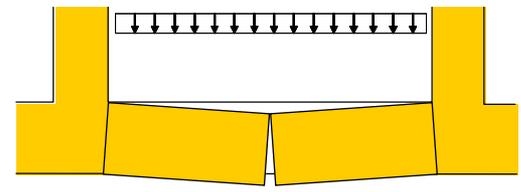
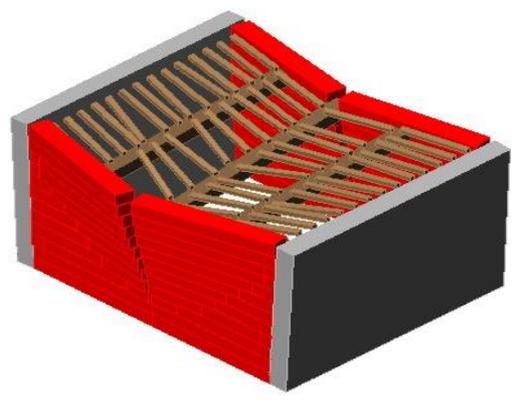
- proprietà meccaniche di muratura ed FRP;
- spessore dei pannelli murari;
- valore della forza assiale applicata;
- coefficiente parziale del modello resistente uguale ad uno.

Requisiti di sicurezza

Rinforzo di pannelli murari

Rinforzo per carichi fuori-piano

Verifica della fascia orizzontale



Verifica a trazione

Verifica a taglio

FRP incollato

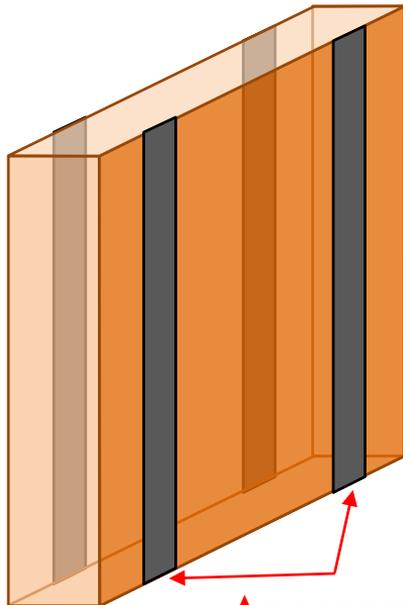
Verifica a flessione

Requisiti di sicurezza

Rinforzo di pannelli murari

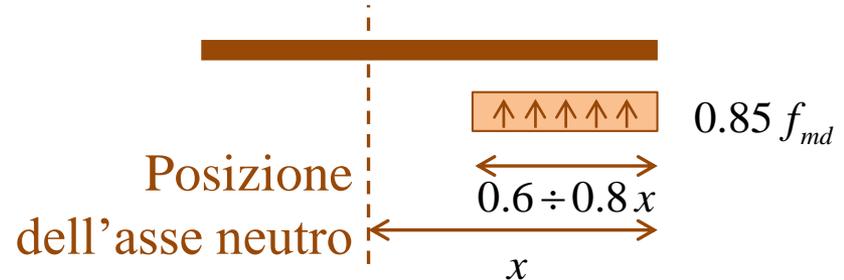
Rinforzo per carichi nel piano

Sollecitazione combinata di momento flettente e sforzo normale



**Ancoraggi
meccanici**

- FRP verticale incollato simmetricamente ad entrambi ai lati della parete.
- Procedura semplificata per valutare la resistenza a sforzo normale eccentrico.



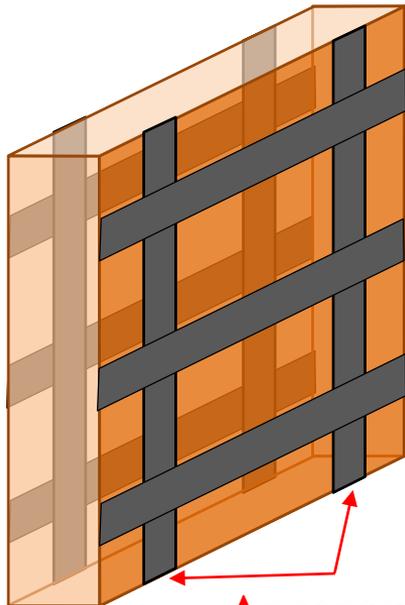
- Il contributo dell'FRP è trascurato se i dispositivi di ancoraggio meccanico sono assenti o inefficaci.

Requisiti di sicurezza

Rinforzo di pannelli murari

Rinforzo per carichi nel piano

Resistenza a taglio



**Ancoraggi
meccanici**

- FRP applicato su entrambe le facce del pannello con fibre di FRP parallele alla direzione del taglio.
- Formazione di sforzi resistenti a traliccio.
- Resistenza (a taglio) di progetto:

$$V_{Rd} = \min \left\{ V_{Rd,m} + V_{Rd,f} ; V_{Rd,max} \right\}$$

Muratura FRP

Rottura (a compressione)
del puntone del traliccio

Requisiti di sicurezza

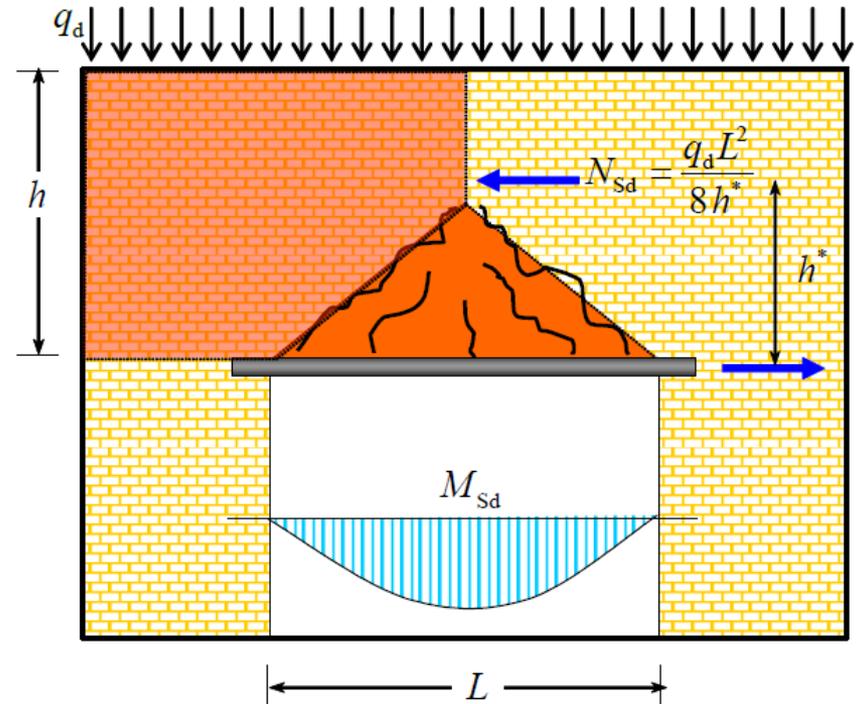
Rinforzo di pannelli murari

Architrave e fasce di piano

- Vincolano i muri che uniscono ad assumere una configurazione deformata compatibile con le forze orizzontali applicate.
- Supportano la muratura sopra l'apertura.

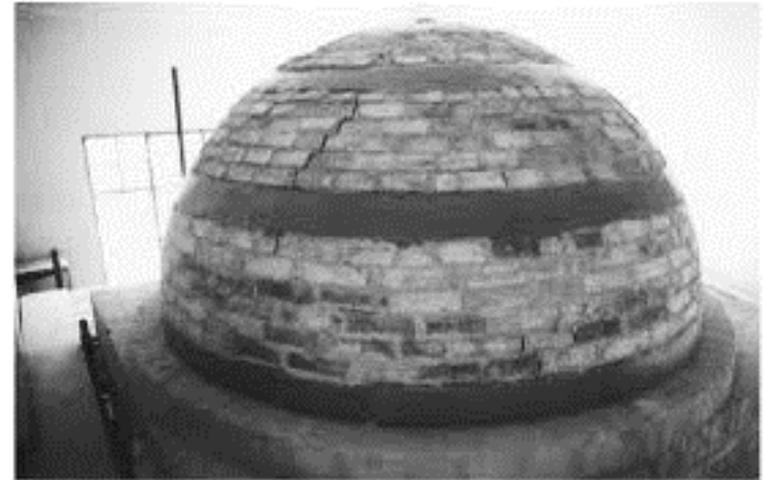
Architrave: formazione di muratura rinforzata sopra l'apertura, dove gli sforzi di trazione sono assorbiti dal sistema di rinforzo FRP.

Fasce di piano: fasce di piano con FRP devono essere verificate a momento flettente, taglio e sforzo normale agenti sulla connessione tra pannelli verticali.



Rinforzo di elementi strutturali con singola e doppia curvatura

- Formazione di cerniere a causa della scarsa resistenza a trazione della muratura.
- FRP utilizzato come rinforzo esterno per prevenire la formazione di meccanismi con cerniere ed anche altri tipi di rottura.
- Il rinforzo con FRP non è consigliato quando il collasso è dominato da rottura a taglio e schiacciamento della muratura.
- Il rinforzo con FRP può anche migliorare la capacità portante e la stabilità di volte non strutturali.



Cupola rinforzata



Volta a botte rinforzata

Rinforzo di elementi strutturali con singola e doppia curvatura

Archi

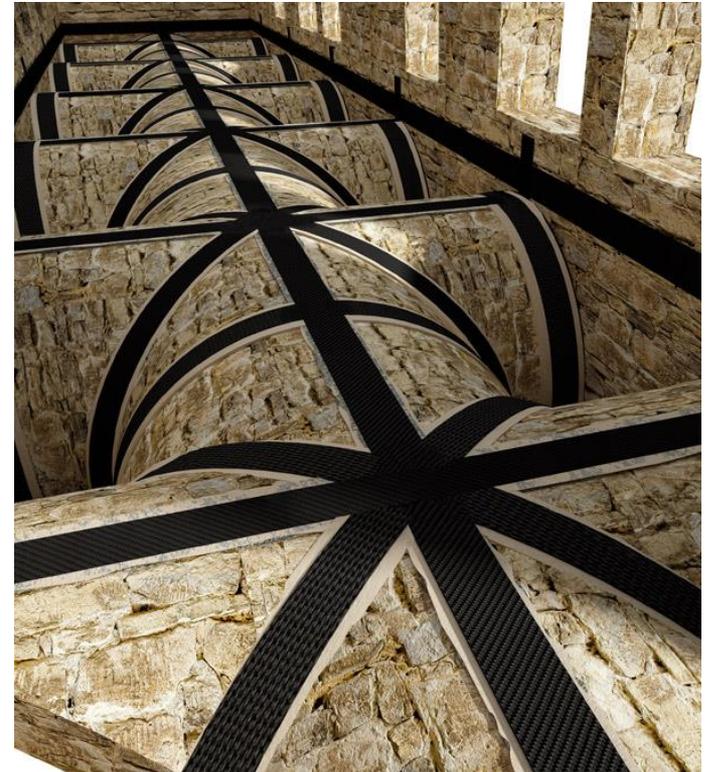
- Schema con solo arco.
- Schema con archi e colonne.

Volte con singola curvatura:

- Volta a botte

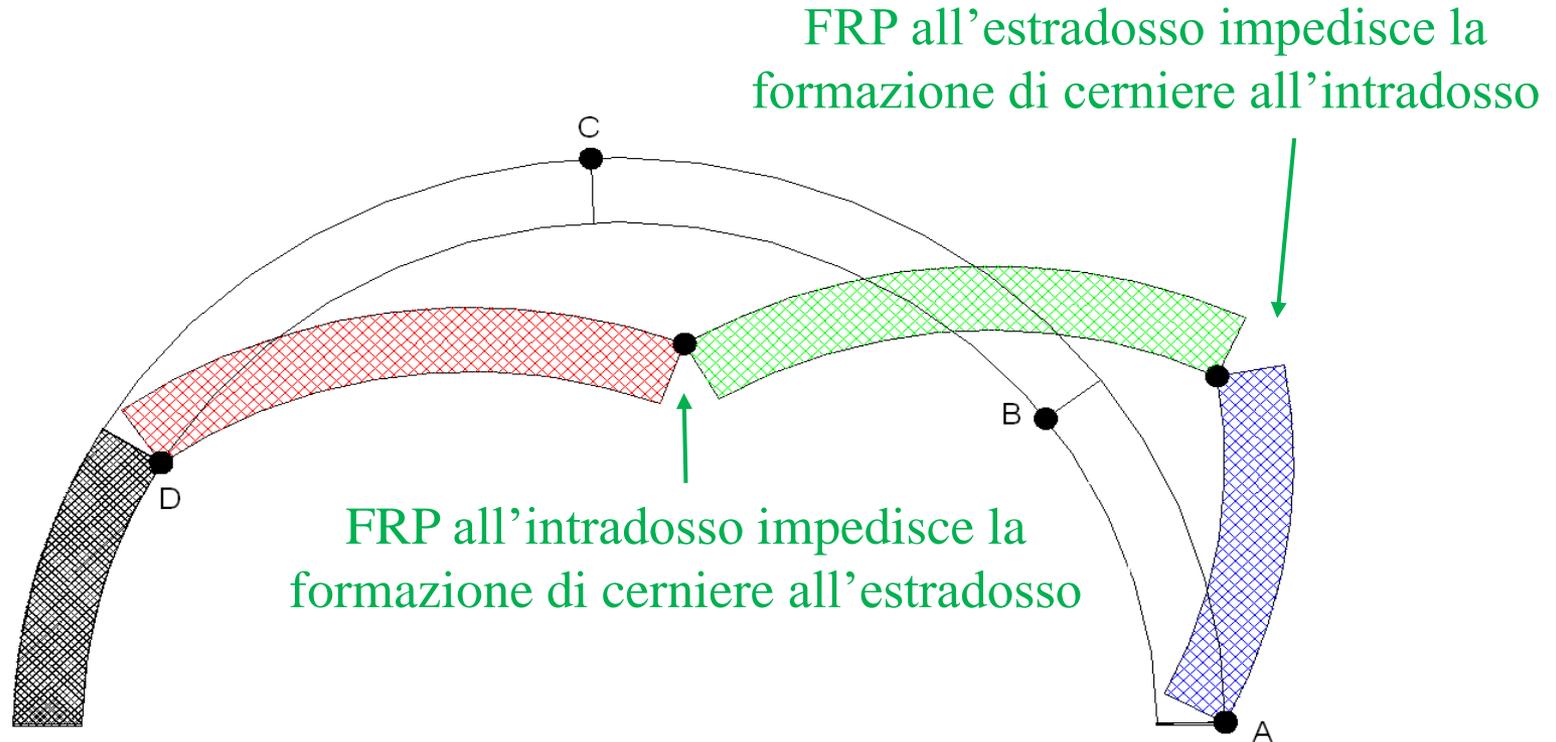
Volte con doppia curvatura:

- Volte a crociera, a padiglione, cupole sferiche, etc.
- Regime membranale degli sforzi.
- Regime flessionale degli sforzi.

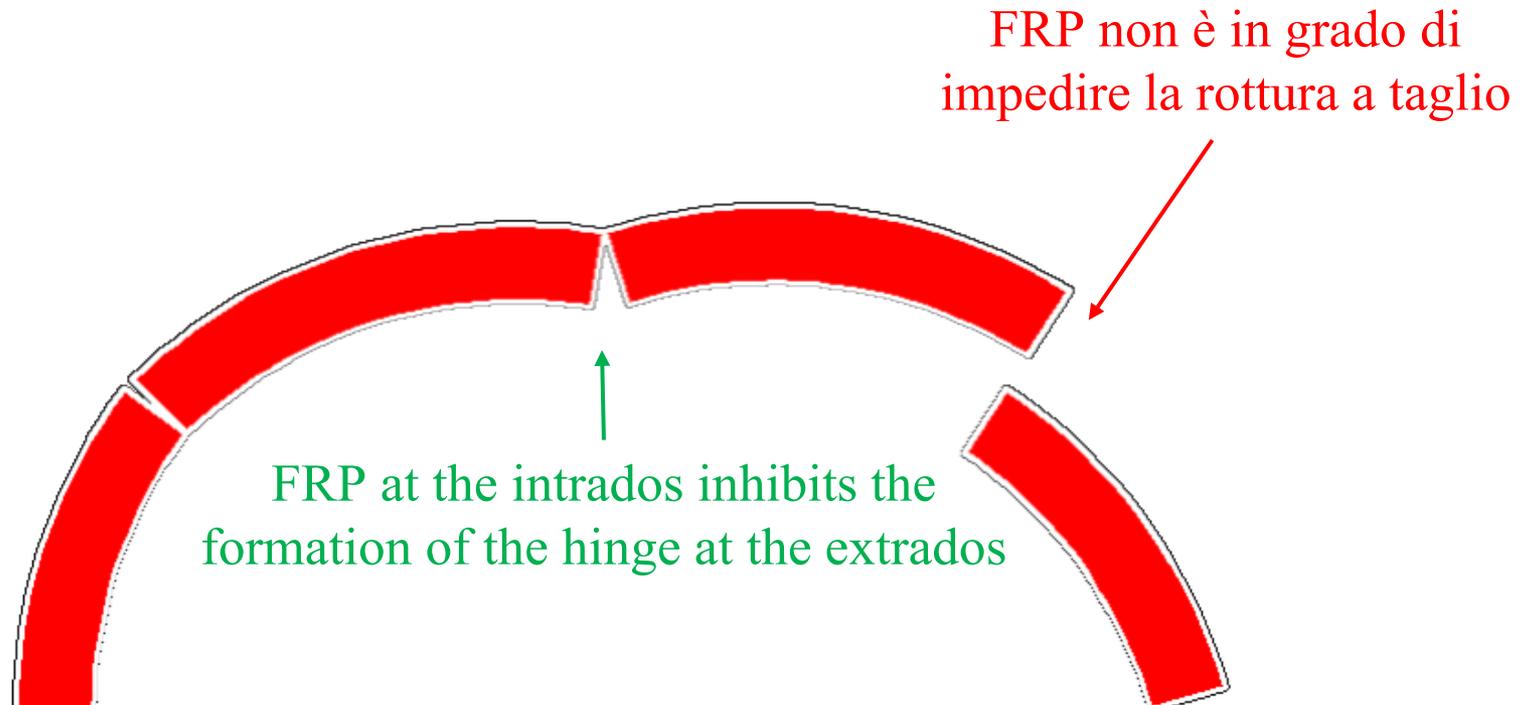


Volte a crociera rinforzate

Rinforzo di elementi strutturali con singola e doppia curvatura

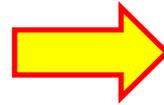


Rinforzo di elementi strutturali con singola e doppia curvatura



Confinamento di colonne murarie

- **Fogli di FRP** avvolti sulla colonna tramite incollaggio.
- **Barre di FRP** inserite orizzontalmente in fori trivellati nella colonna.



Effetti benefici sulle dilatazioni trasversali della colonna provvedendo ad un **confinamento triassiale**.

Progetto di membrane caricate assialmente e confinate

Sforzo normale sollecitante di progetto minore dello sforzo normale resistente

$$N_{Sd} \leq N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_m \cdot f_{mcd} \geq A_m \cdot f_{md}$$

Resistenza a compressione di progetto

$$f_{mcd} = f_{md} \cdot \left[1 + k' \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{md}} \right)^{\alpha_1} \right] \quad k' = \alpha_2 \cdot \left(\frac{g_m}{1000} \right)^{\alpha_3},$$

g_m densità di massa della muratura

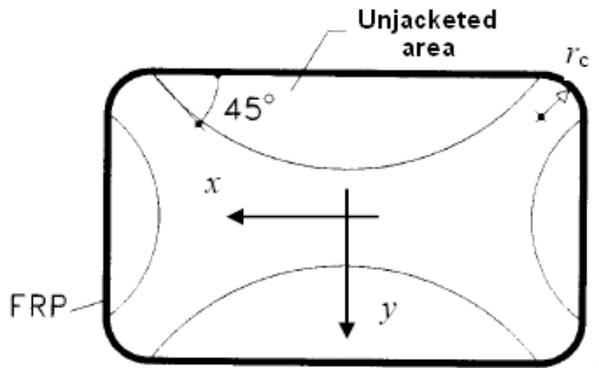
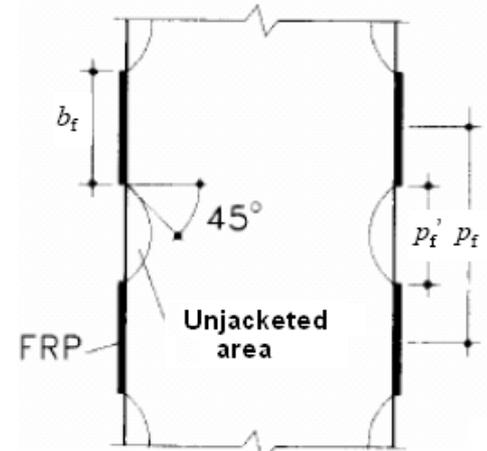


Confinamento di colonne murarie

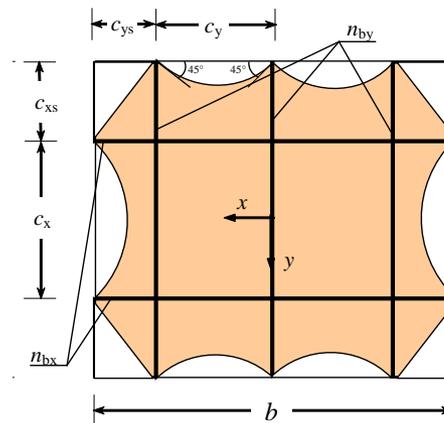
Confinamento di colonne circolari

Confinamento di colonne prismatiche

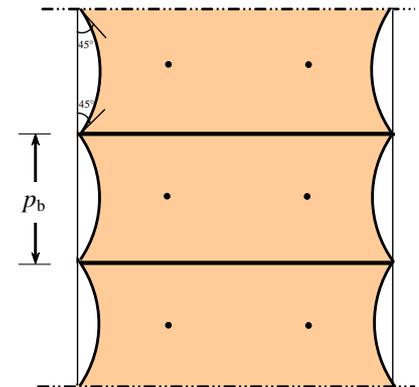
- Pressione di confinamento
- Riduzione del volume confinato



Effetto ad arco per sezioni rettangolari avvolte esternamente da FRP.



Effetto delle barre di FRP su sezioni rettangolari.



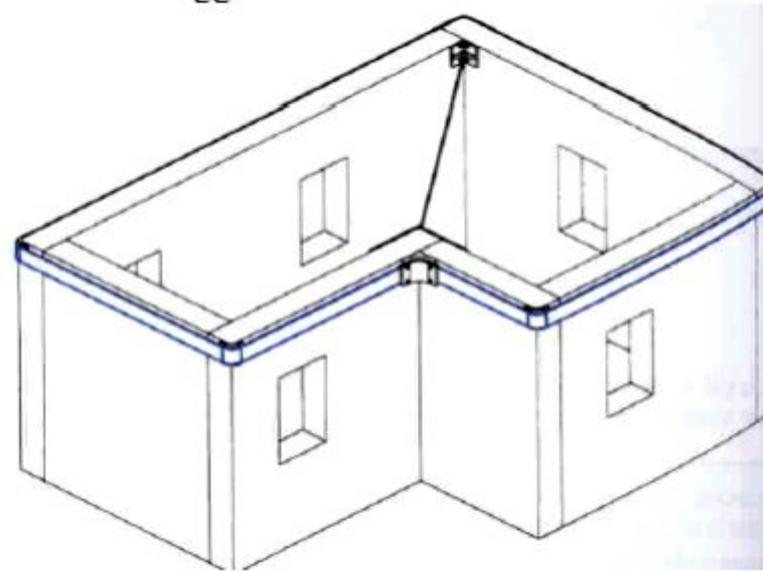
Progettazione per azioni sismiche

Obiettivi

- Stima della sicurezza sismica (verifiche agli SLU).
- Metodo di analisi globale.
- Criteri di verifica locale (membrature duttili e fragili).

Principi generali di intervento

- Pannelli murari connessi tra loro.
- Connessione tra solai/coperture ed elementi verticali.
- Forze orizzontali generate da coperture, archi e volte.
- Piani rigidi.
- Membrature rinforzate con FRP che incrementa la duttilità locale.
- FRP non deve ridurre la duttilità globale.



Installazione e particolari costruttivi

Controllo di qualità e preparazione del substrato

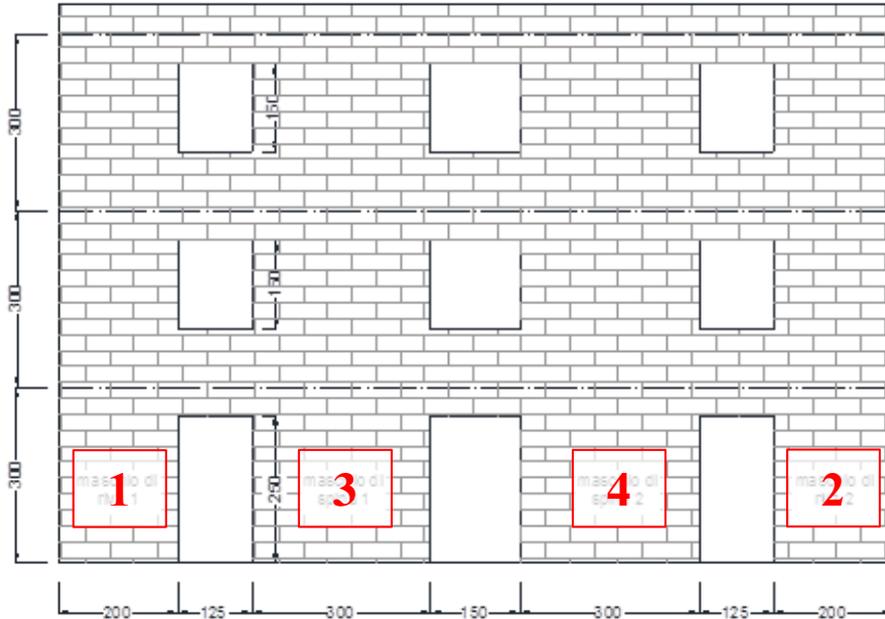
- Valutazione del deterioramento del substrato.
- Rimozione del substrato murario difettoso e ricostruzione del substrato adatto.
- Preparazione del substrato.

Raccomandazioni per l'installazione

- Condizioni di temperatura ed umidità dell'ambiente e del substrato.
- Dettagli costruttivi.
- Protezione del sistema FRP.

Esempi numerici (Appendice H)

Table 14-1 – Masonry data.



Young modulus of elasticity	E [N/mm ²]	4000
Shear modulus	G [N/mm ²]	1000
Specific weight	γ [kN/m ³]	18.0
Factor of confidence	FC	1.0
Partial factor	γ_M	2
Compressive strength of masonry in the horizontal direction		
Characteristic strength	f_{mk} [N/mm ²]	8.0
Design strength	f_{md} [N/mm ²]	4.0
Shear capacity		
Characteristic strength without any axial load	f_{vk0} [N/mm ²]	0.8
Masonry block strength		
Mean value of compressive strength	f_{bm} [N/mm ²]	38
Mean value of tensile strength	f_{btm} [N/mm ²]	3.8

Table 14-2–FRP geometry and mechanical properties.

Thickness	t_f [mm]	0.165
Width	b_f [mm]	100
Young modulus of elasticity in the fiber direction	E_f [GPa]	230
Ultimate strain	ε_{fk}	0.0175
Spacing	p_f [mm]	500

Table 14-3–Partial factors and design values of the FRP.

Partial factor for debonding	$\gamma_{f,d}$ (Section 3.4.1)	1.2
Partial factor for ULS	γ_f (Section 3.4.1)	1.1
Conversion factor for environment	η_a (Section 3.5.1)	0.95
Ultimate tensile strain	$\eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f$ (Section 5.2.3)	0.0151
Width of the bond strength distribution area	b_d [mm] (Section 5.3.2)	250
Geometrical corrective factor	k_b (Section 5.3.2)	1.363
Interface slip at full debonding	s_u [mm] (Section 5.3.2)	0.4
Corrective factor	k_G [mm] (Section 5.3.2)	0.031
Specific fracture energy	I_{Fd} [N/mm] (Section 5.3.2)	0.5077

Esempi numerici (Appendice H)

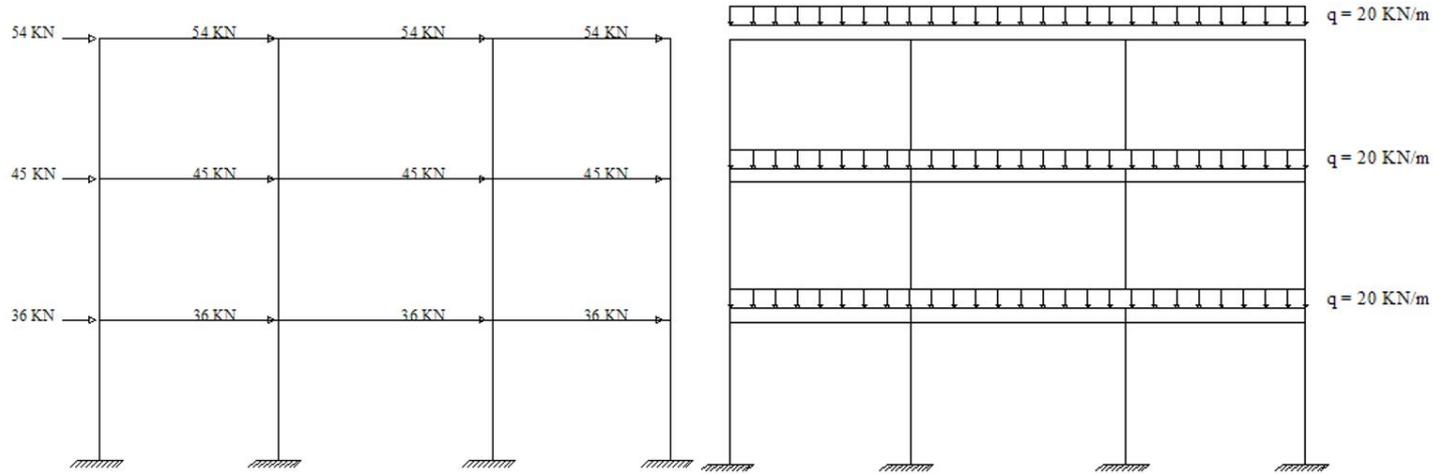


Figure 14-2 – Frame model and loads.

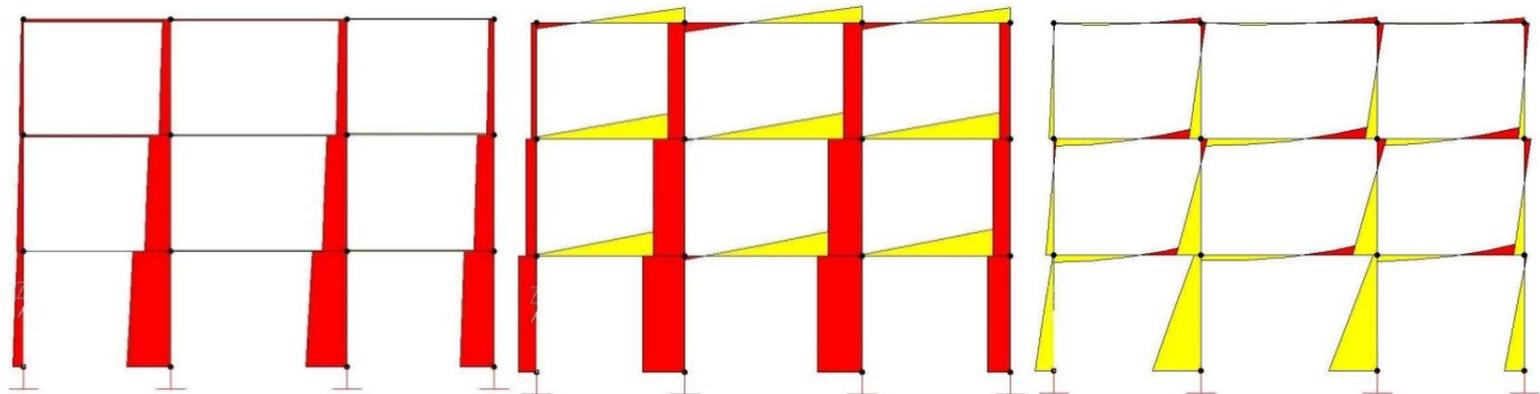


Figure 14-3 – Axial, shear and moment diagrams.

Esempi numerici (Appendice H)

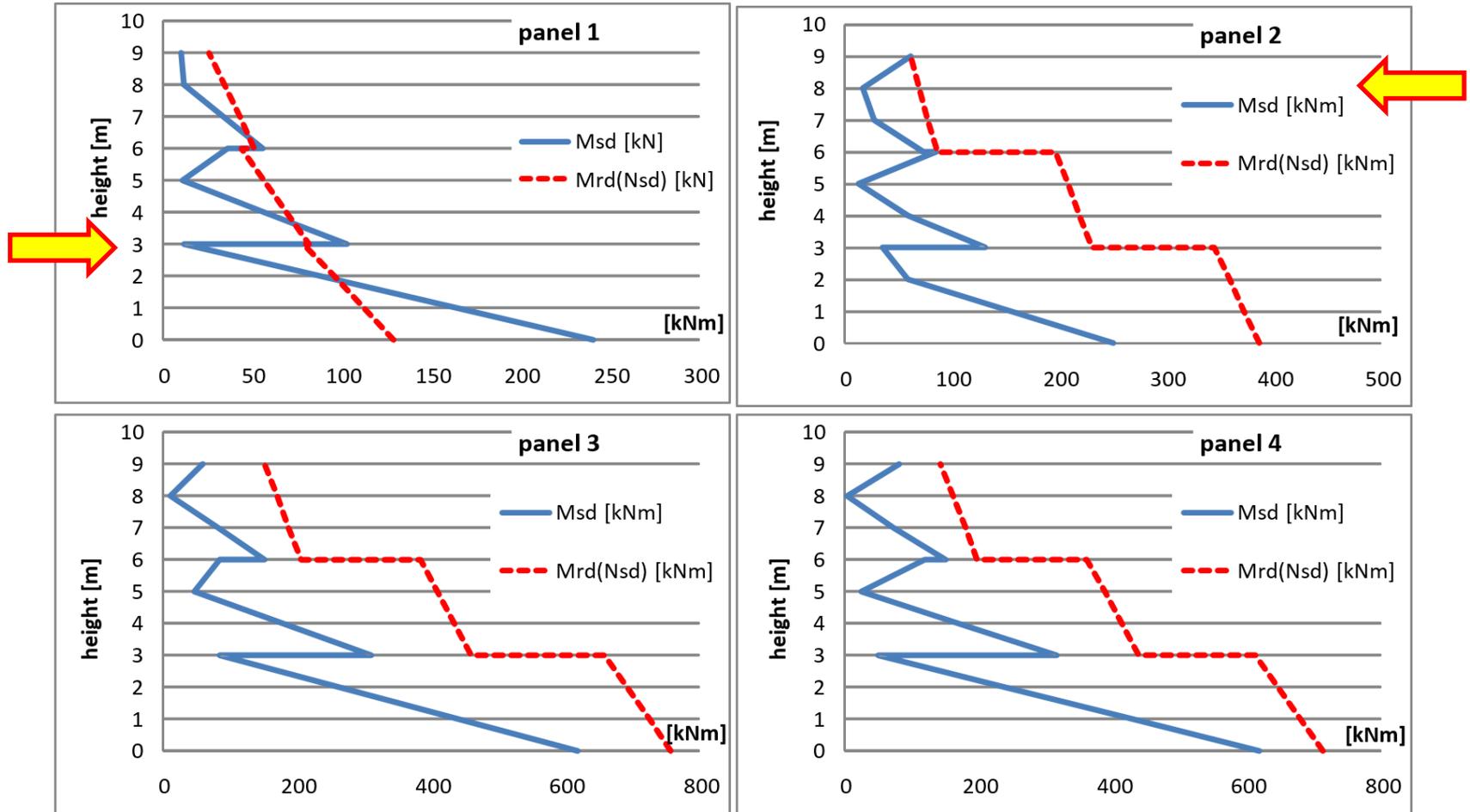


Figure 14-4– Flexural capacity and factored moment.

Esempi numerici (Appendice H)

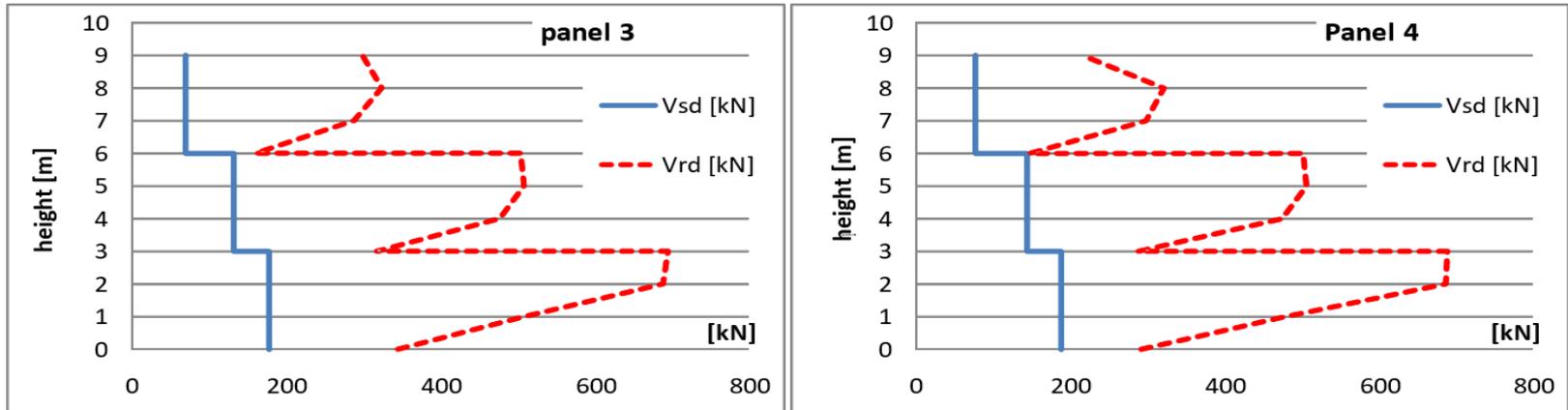


Figure 14-5 – Shear capacity and factored shear diagrams of panels 3 and 4.

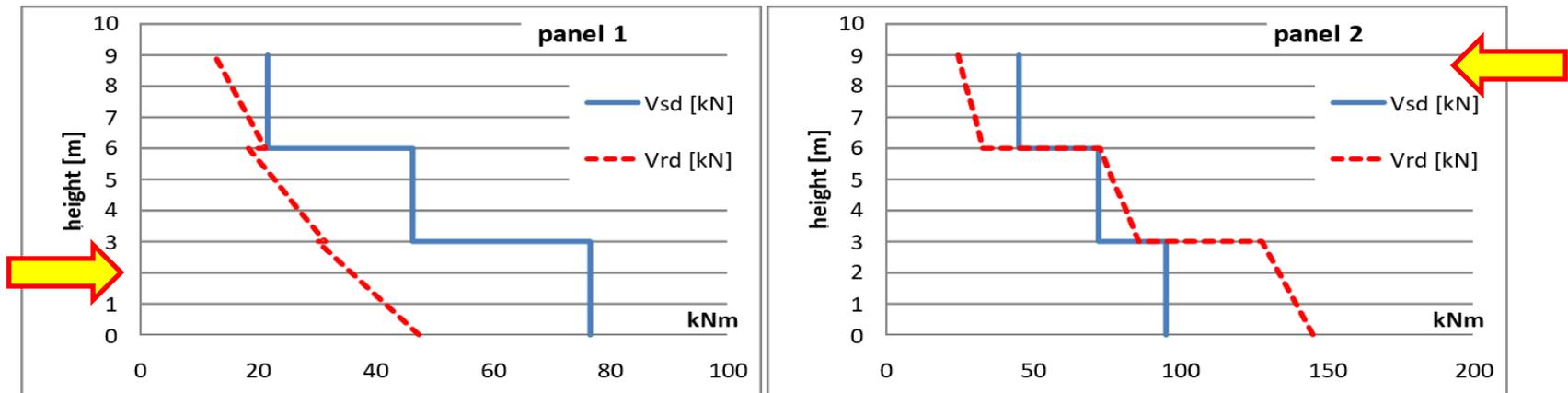


Figure 14-6 – Shear capacity and factored shear diagrams of panels 1 and 2.

Numerical example (Appendix H)

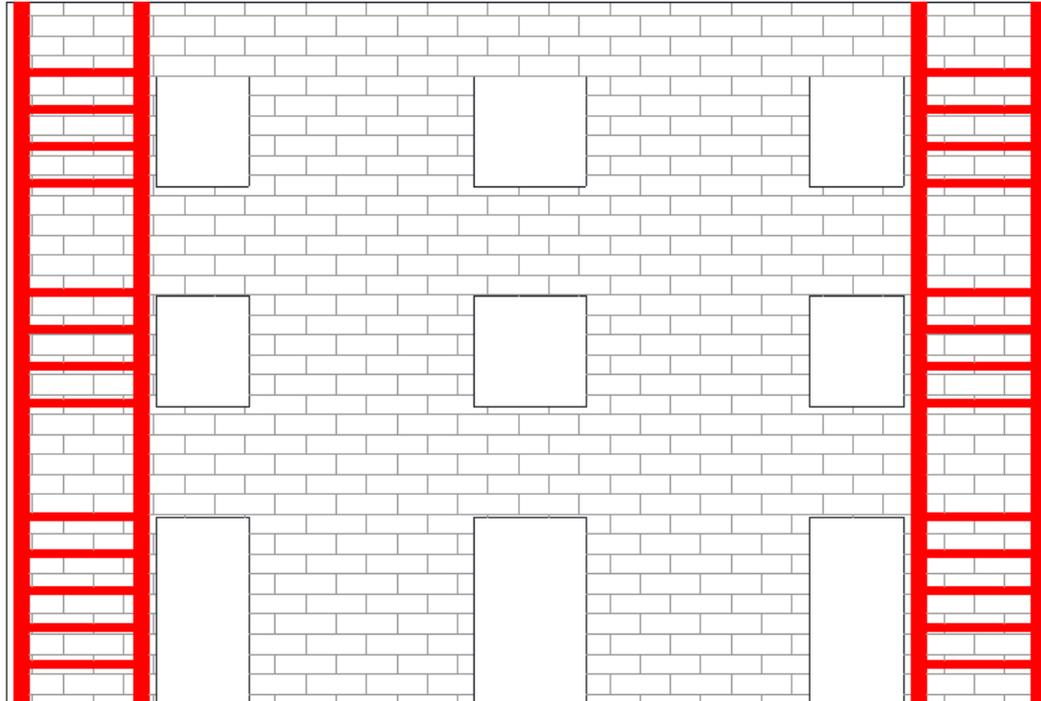


Figure 14-7 – Layout of the FRP installation.

Esempi numerici (Appendice H)

Table 14-12 – Combined axial and bending capacity of the FRP strengthened panel 1

Level [m]	FRP failure	ε_{fd}	$M_{Rd}(N_{Sd})$ [kN m]	$M_{Rd}(N_{Sd}) \geq$ M_{Sd}
0	FRP failure	0.0151	335.8	verified
1	intermediate debonding	0.0086	231.6	verified
2	intermediate debonding	0.0086	215.4	verified
3	intermediate debonding	0.0086	199.1	verified
3	intermediate debonding	0.0086	200.6	verified
4	intermediate debonding	0.0086	188.6	verified
5	intermediate debonding	0.0086	176.6	verified
6	intermediate debonding	0.0086	164.3	verified
6	intermediate debonding	0.0086	169.8	verified
7	intermediate debonding	0.0086	162.0	verified
8	intermediate debonding	0.0086	154.0	verified
9	end debonding	0.0043	86.5	verified

Esempi numerici (Appendice H)

Table 14-13 – Combined axial and bending capacity of the FRP strengthened panel 2.

Level [m]	FRP failure	ε_{fd}	$M_{Rd}(N_{Sd})$ [kN m]	$M_{Rd}(N_{Sd}) \geq$ M_{Sd}
0	FRP failure	0.0151	577.0	verified
1	intermediate debonding	0.0086	482.9	verified
2	intermediate debonding	0.0086	469.4	verified
3	intermediate debonding	0.0086	455.8	verified
3	intermediate debonding	0.0086	342.7	verified
4	intermediate debonding	0.0086	332.2	verified
5	intermediate debonding	0.0086	321.6	verified
6	intermediate debonding	0.0086	310.9	verified
6	intermediate debonding	0.0086	202.4	verified
7	intermediate debonding	0.0086	194.9	verified
8	intermediate debonding	0.0086	187.3	verified
9	end debonding	0.0043	121.3	verified

Esempi numerici (Appendice H)

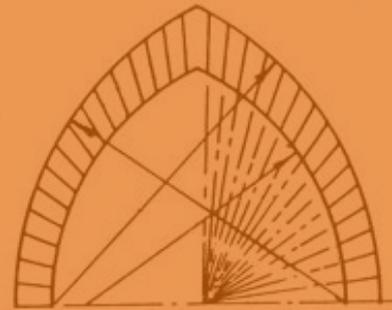
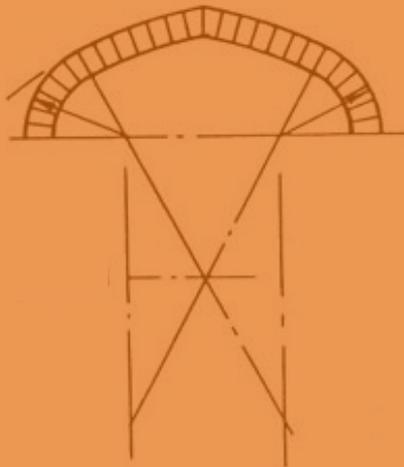
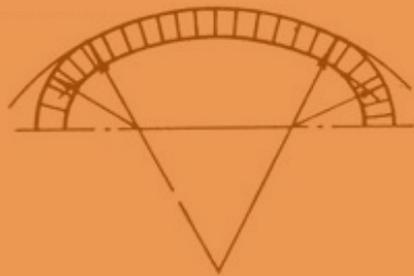
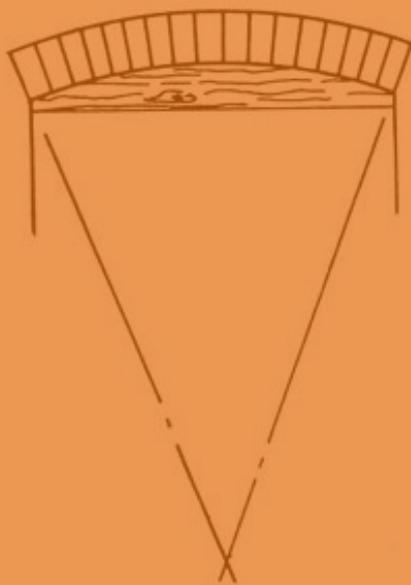
Table 14-18– Shear capacity of panel 1.

Level	Factored shear	Masonry contribution	FRP contribution	$V_{Rd,max}$ [kN]	Shear capacity	$V_{Rd} \geq V_{Sd}$	Failure
[m]	V_{Sd} [kN]	$V_{Rd,m}$ [kN]	$V_{Rd,f}$ [kN]		V_{Rd} [kN]		
0	76.58	57.7	124.02	1140	181.7	satisfied	FRP failure
1	76.58	45.8	124.02	1140	169.8	satisfied	FRP failure
2	76.58	40.0	124.02	1140	164.1	satisfied	FRP failure
3	76.58	34.3	124.02	1140	158.3	satisfied	FRP failure
3	46.48	35.5	124.02	855	159.5	satisfied	FRP failure
4	46.48	31.2	124.02	855	155.2	satisfied	FRP failure
5	46.48	26.9	124.02	855	150.9	satisfied	FRP failure
6	46.48	22.6	124.02	855	146.6	satisfied	FRP failure
6	21.85	25.3	124.02	570	149.3	satisfied	FRP failure
7	21.85	22.4	124.02	570	146.4	satisfied	FRP failure
8	21.85	19.6	124.02	570	143.6	satisfied	FRP failure
9	21.85	12.6	124.02	570	136.6	satisfied	FRP failure

Esempi numerici (Appendice H)

Table 14-19 – Shear capacity of panel 2.

Level	Factored shear	Masonry contribution	FRP contribution		Shear capacity		Failure
[m]	V_{Sd} [kN]	$V_{Rd,m}$ [kN]	$V_{Rd,f}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]	V_{Rd} [kN]	$V_{Rd} \geq V_{Sd}$	
0	95.43	155.61	124.02	1140.0	279.6	satisfied	FRP failure
1	95.43	143.70	124.02	1140.0	267.7	satisfied	FRP failure
2	95.43	137.96	124.02	1140.0	262.0	satisfied	FRP failure
3	95.43	132.22	124.02	1140.0	256.2	satisfied	FRP failure
3	72.51	90.17	124.02	855.0	214.2	satisfied	FRP failure
4	72.51	85.86	124.02	855.0	209.9	satisfied	FRP failure
5	72.51	81.56	124.02	855.0	205.6	satisfied	FRP failure
6	72.51	77.25	124.02	855.0	201.3	satisfied	FRP failure
6	45.1	37.57	124.02	570.0	161.6	satisfied	FRP failure
7	45.1	34.70	124.02	570.0	158.7	satisfied	FRP failure
8	45.1	31.83	124.02	570.0	155.9	satisfied	FRP failure
9	45.1	24.88	124.02	570.0	148.9	satisfied	FRP failure



6 AN ITALIAN POINTED ARCH

Thanks for your attention

Raimondo Luciano

DICeM - University of Cassino & SL

luciano@unicas.it

