



## Tecniche di rinforzo strutturale di edifici esistenti con materiali compositi

### CONVEGNO TECNICO

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari

Centro Congressi Parco dei Principi  
Prolungamento Viale Europa, 6  
Bari, Aeroporto (BA)

26 Ottobre 2016  
ore 14:30



Rinforzi strutturali con sistemi in F.R.P.:  
BETONTEX - Tecnica del placcaggio fibrorinforzato

Sistema LIFE+ - Messa in sicurezza dei solai

Realizzazione di strutture in G.F.R.P. e rinforzi localizzati  
attraverso l'utilizzo di profili pultrusi leggeri.

ing. A. DUDINE



## CONTENUTI

### A. NOTE INTRODUTTIVE

1. Materiali
2. Tipologie di rinforzo

### B. CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI RINFORZO

1. Sistemi di connessione

### C. DIFFERENZIAZIONE DI DESTINAZIONE

#### D'INTERVENTO

1. Strutture in muratura
2. Strutture in calcestruzzo armato
3. Strutture in C.A.P.

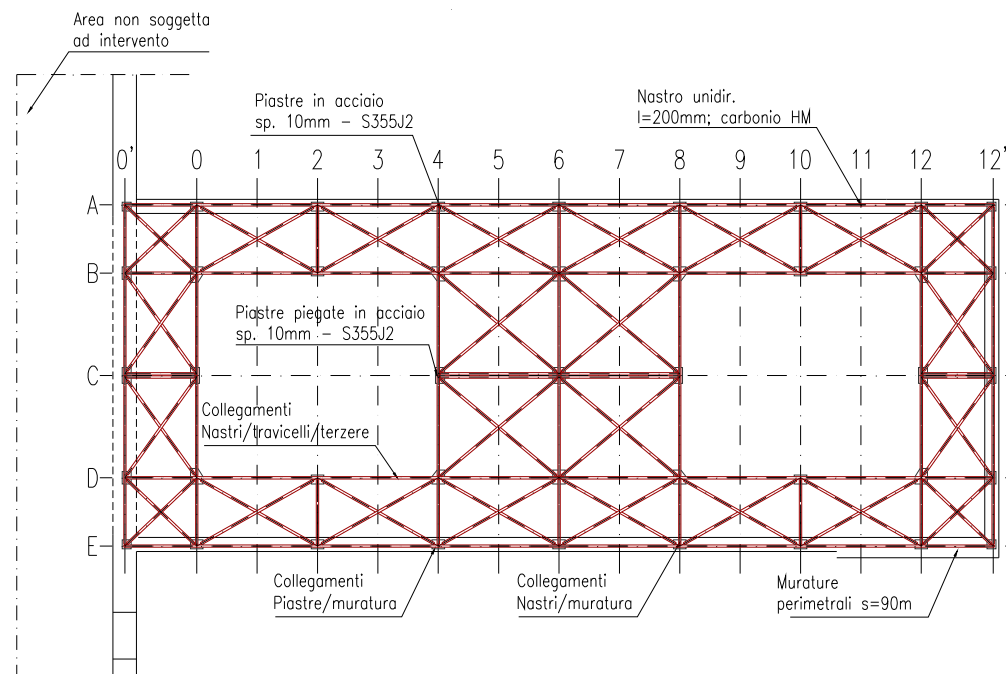
### D. TIPOLOGIA DI INTERVENTO DI RINFORZO

### E. FASI ESECUTIVE DEL RINFORZO (c)

### F. SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO (c)

### G. REGOLE PER LA PROGETTAZIONE

### H. NORMATIVA DI RIFERIMENTO





# CONTENUTI

## I. INTRODUZIONE ALL'UTILIZZO DEI PULTRUSI

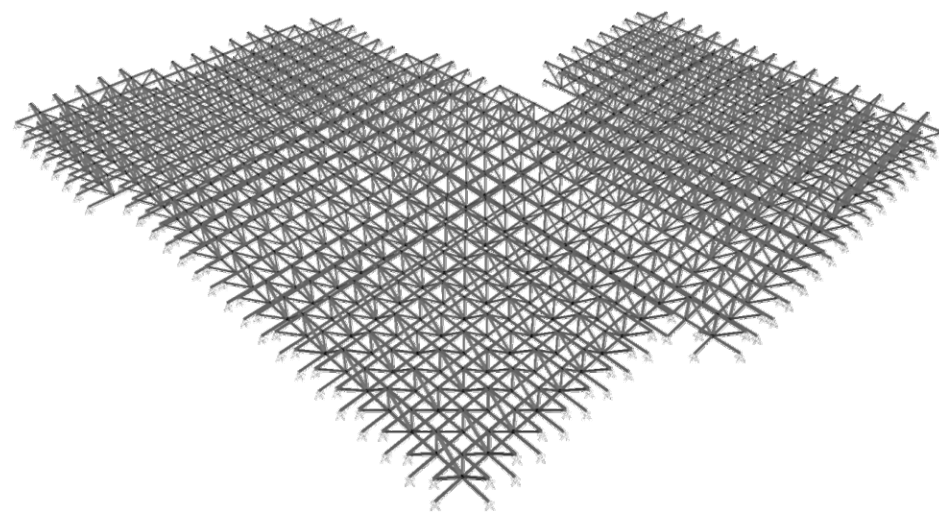
1. Caratteristiche fisiche dei profili
2. Prove di laboratorio
3. Regole di progettazione ai sensi della normativa vigente, un'analisi critica
4. Tecniche di intervento su edifici attraverso:
  - a. Realizzazione di intere strutture intelaiate
  - b. Uso puntuale di rinforzo ad elementi esistenti

## L. DIMENSIONAMENTO DEI RINFORZI

1. Modalità applicative
2. Verifica di strutture realizzate mediante profili pultrusi
3. Posa in opera
4. Verifiche di corretta posa in opera

## M. CASE HISTORY

## N. CONCLUSIONI



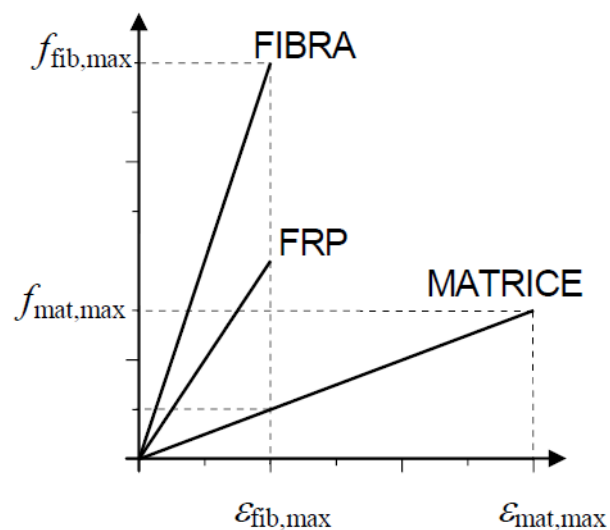


## MATERIALI E TIPOLOGIE DI RINFORZO

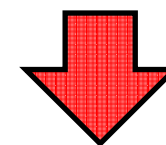
I materiali compositi sono ottenuti utilizzando fibre lunghe continue con altissime proprietà meccaniche impregnate in una resina polimerica (chiamata anche matrice);

**Fibre** hanno funzione di fornire al materiale composito **resistenza e rigidità**

**Matrice** funge da **mezzo di trasferimento degli sforzi** tra fibra e fibra.



### FIBRA + MATRICE



Associazione: non garantisce la realizzazione di un prodotto finale caratterizzato dalla somma delle proprietà dei singoli materiali

Aggregato: Materiale eterogeneo, anisotropo, elasto-fragile





## MATERIALI E TIPOLOGIE DI RINFORZO

### Fibre di Carbonio - CFRP

Sono caratterizzate da un'elevata resistenza alle alte temperature (oltre i 1000°C), non bruciano, sono resistenti agli agenti chimici e non subiscono fenomeni di invecchiamento; si possono distinguere in **fibre ad alta tenacità** e **fibre ad alto modulo**.

### Fibre di Vetro - GFRP

Sono più economiche e sono caratterizzate da una resistenza a rottura inferiore rispetto alle fibre di carbonio ed aramidiche, ma presentano una buona deformabilità ed una buona resistenza alla compressione.

### Fibre Aramidiche - AFRP

Presentano delle ottime caratteristiche di resistenza a rottura sono in grado di fornire un'elevata deformabilità a fronte di un alto modulo elastico; in presenza di carichi costanti presentano fenomeni di Creep. Risultano essere sensibili alla luce e all'umidità; perciò è consigliato l'utilizzo in miscele con fibre di carbonio o fibre di vetro per la produzione di compositi ibridi.

Tipo di fibra	Carbonio ad alta tenacità	Carbonio ad alto modulo	Vetro	Aramidica
Tensione di rottura a trazione [MPa]	4800	4200	2000	2930
Modulo elastico a trazione [MPa]	240000	390000	73000	102000
Allungamento a rottura [%]	2,0	1,1	3,5	2,9
Densità [g/m <sup>2</sup> ]	1,78	1,80	2,50	1,44



## CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI DI RINFORZO

### Sistemi preformati (precured systems)

Rientrano in questa famiglia tutti quei componenti preparati in stabilimento mediante pultrusione o laminazione, che vengono applicati all'elemento strutturale da rinforzare mediante adesivi. Da ricordare in questo caso le lamine, le barre e i nastri;

### Sistemi impregnati in situ (wet lay-up systems)

Sono costituiti da fogli di fibre unidirezionali o multidirezionali o da tessuti che vengono impregnati con una resina che funge anche da adesivo con il substrato interessato (calcestruzzo, murature, acciaio, legno);

### Sistemi preimpregnati (pre-preg systems)

Sono costituiti da fogli di fibre unidirezionali o multidirezionali o da tessuti preimpregnati con resina parzialmente polimerizzata. Possono essere incollati al substrato da rinforzare con (o senza) l'uso di resine aggiuntive;

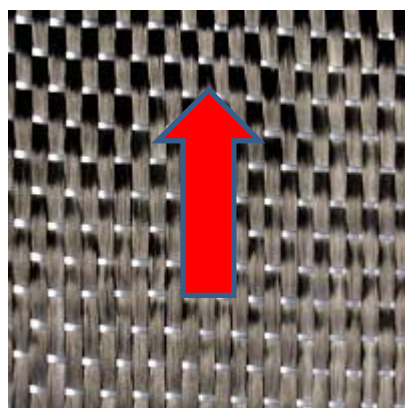
### Sistemi di connessione meccanici

Dove non è possibile garantire un'adeguata diffusione delle tensioni di aderenza tra il sistema di rinforzo in materiale composito e il supporto (calcestruzzo, murature, ecc...) è necessario disporre dei sistemi di ancoraggio di tipo meccanico come barre, corde e fiocchi.

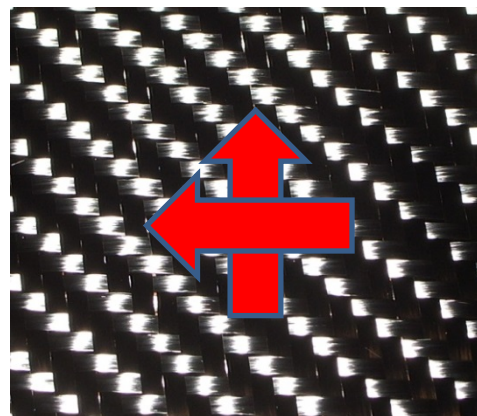


## TESSUTI IN FIBRA DI...

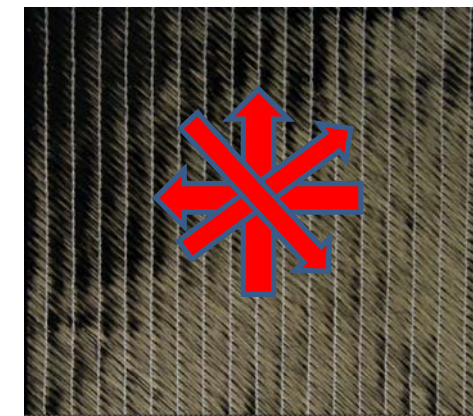
UNIDIREZIONALI



BIASSIALI



QUADRIASSIALI



**RESISTENZA SOLO NELLA DIREZIONE DELLA FIBRA  
SI DIFFERENZIANO IN BASE ALLA GRAMMATURA**

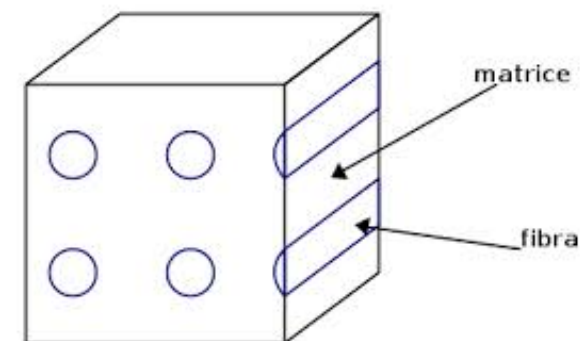
GRAMMATURE TIPICHE: 300, 400, 600 g/m<sup>2</sup>



## RESINE EPOSSIDICHE BICOMPONENTI:

### Ha queste funzioni:

- **PROTEGGE** le fibre da usura e impatto
- **TRASFERISCE** il carico tra le fibre



- **Rapporti di miscelazione:** A (resina) + B (indurente)
- **Viscosità:** più o meno fluide
- **Resina tissotropica:** quando si miscela è fluida, quando è applicata non cola
- **Tempo di gelo:** dopo NON più utilizzabile
- **Tempo di indurimento:** per reazione completa





## RESINE PER CARBONIO:

- **PRIMER:**

Resina liquida per preparazione superfici

- **IMPREGNANTE:**

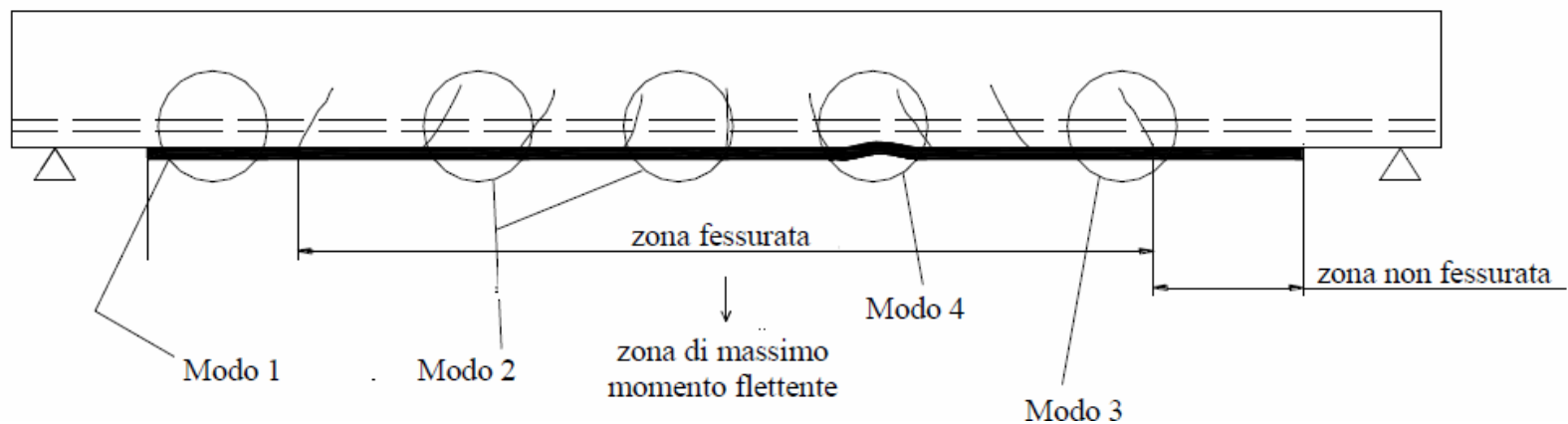
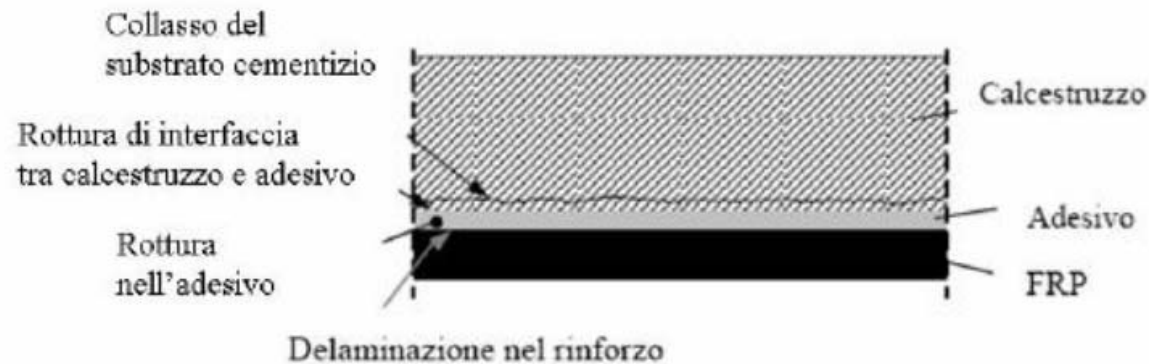
Resina tissotropica per applicazione di tessuti o nastri

- **ADESIVO:**

Per incollare barre e/o lamine al supporto

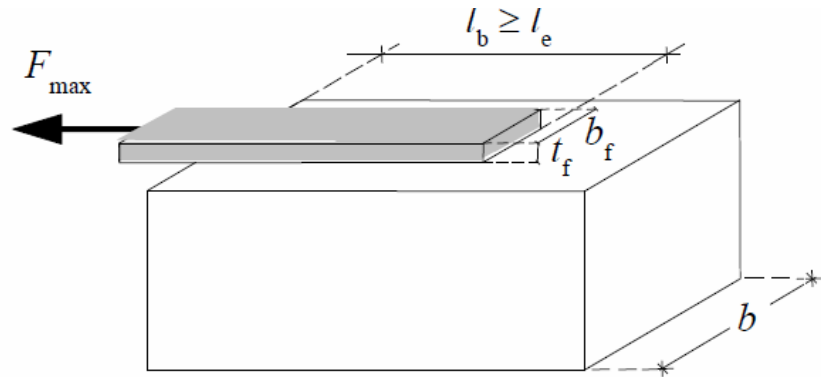


# VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DEL DISTACCO





# VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DEL DISTACCO



$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_G}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}}$$

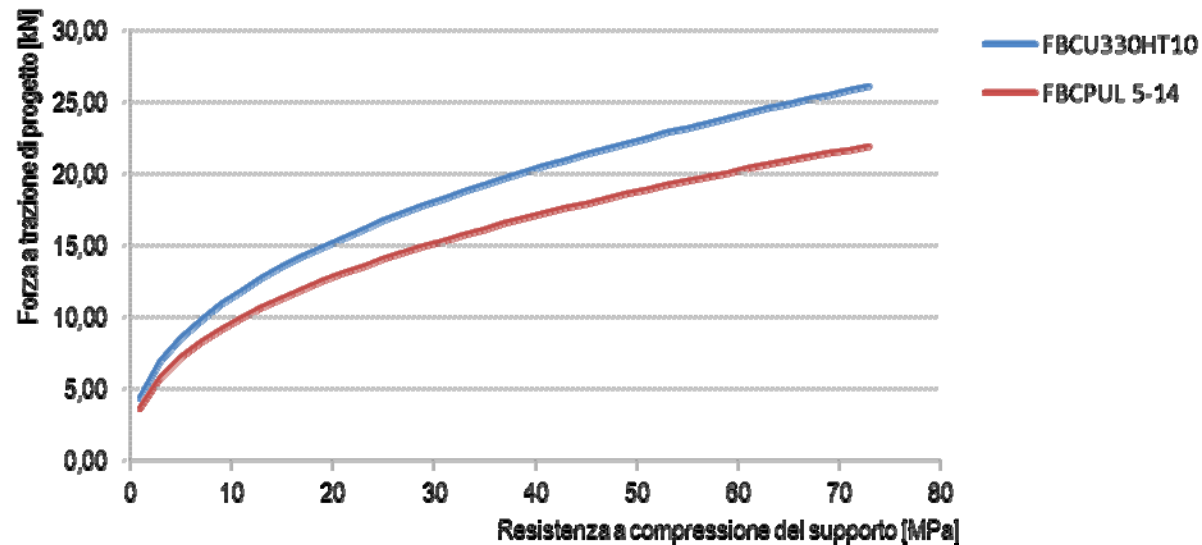
$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fd}}{t_f}}$$

$$l_{ed} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{Rd} \cdot f_{bd}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_f \cdot t_f \cdot \Gamma_{Fd}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\}$$



# VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DEL DISTACCO

Confronto tra tessuto FBCU330HT10 e lamina FBCPUL 5-14

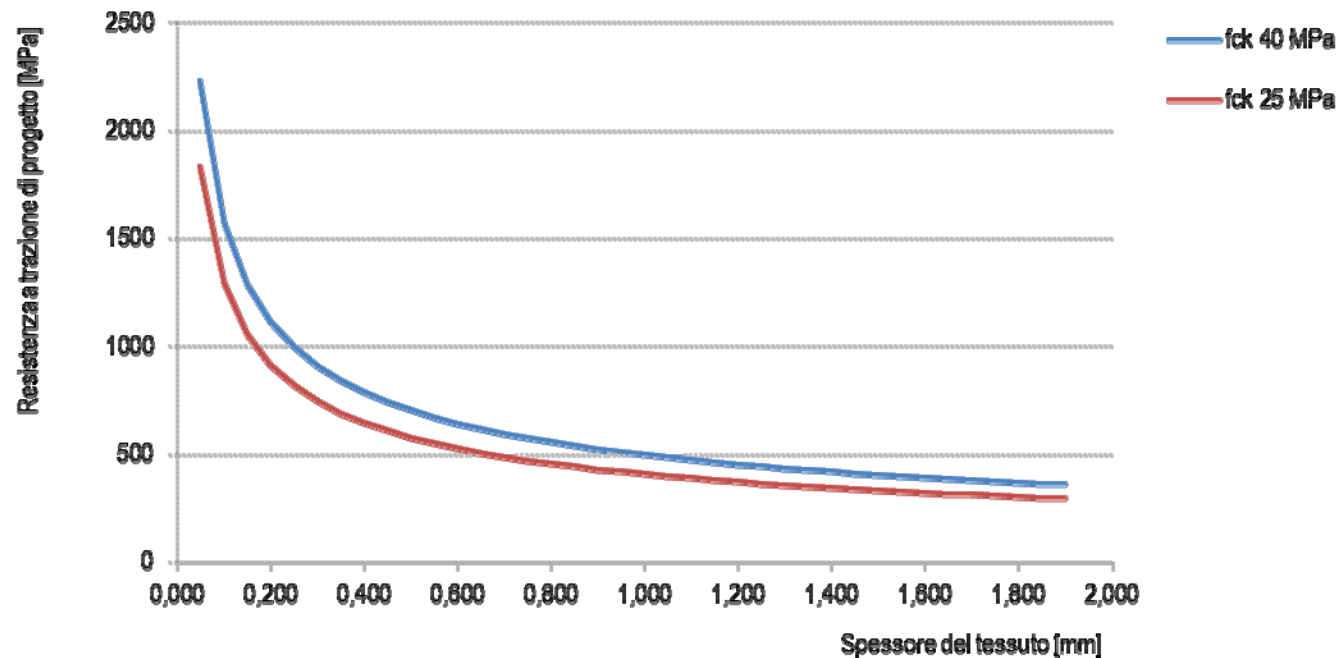






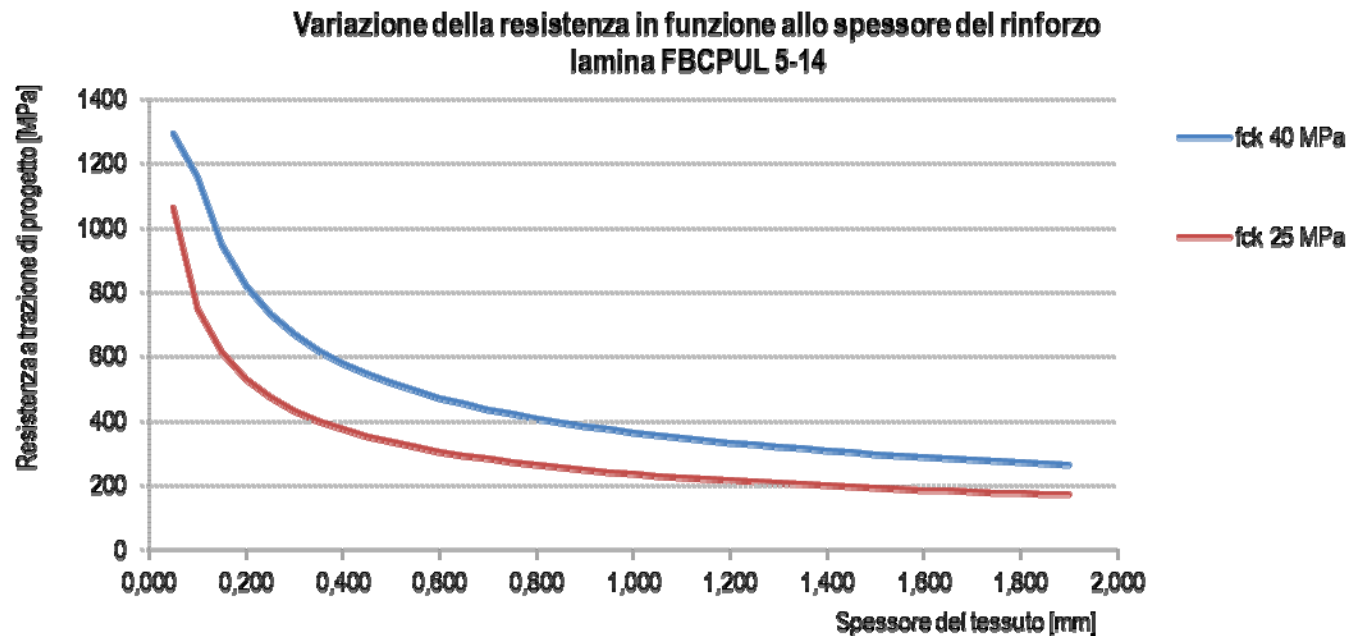
# VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DEL DISTACCO

Variation of resistance in function of the thickness of the reinforcement fabric FBCU330HT20





# VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA NEI CONFRONTI DEL DISTACCO





## Strutture in Muratura

Le murature storiche non possiedono la capacità di resistenza a trazione e sotto sollecitazioni esterne possono verificarsi fessurazioni, schiacciamenti o taglio-scorrimenti della stessa.

L'utilizzo di materiali compositi per il rinforzo strutturale consente alla muratura di raggiungere valori delle caratteristiche di resistenza tali da sopportare le azioni di progetto (sismiche, del vento, ecc.).



L'applicazione di fasce fibrorinforzate, debitamente dimensionate, negli interventi di cerchiatura e confinamento degli edifici in muratura, permette di ripristinare il corretto funzionamento scatolare del fabbricato.

In presenza di muratura danneggiata, disomogenea o che presenta particolari vizi di forma risulta opportuno procedere al consolidamento della muratura prima della posa del rinforzo in materiale composito. In presenza di murature irregolari, allo scopo di realizzare un piano di posa adeguato per il rinforzo si procede all'applicazione di uno strato di malta di regolarizzazione.

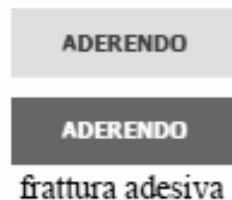
I rinforzi in FRP possono essere applicati anche per contrastare lo sviluppo di specifici meccanismi di collasso locale come il ribaltamento semplice, la flessione verticale e la flessione orizzontale.



## Strutture in Muratura - cenno ai tipi di rottura

Le modalità di crisi dei materiali costituenti la struttura muraria rinforzata con FRP sono:

- fessurazione per trazione della muratura;
- schiacciamento della muratura;
- taglio-scorrimento della muratura;
- rottura del composito fibrorinforzato;
- delaminazione (o decoesione) del rinforzo di FRP dalla muratura.







## Strutture in Muratura - Interventi di rinforzo

### CERCHIATURA DEI PILASTRI

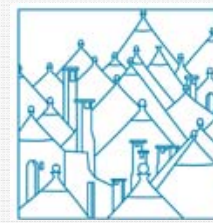
Un adeguato confinamento con tessuti in FRP disposti lungo il perimetro di un pilastro in muratura in modo tale da costituire una fasciatura esterna, determina un miglioramento delle prestazioni dell'elemento strutturale sia in termini di resistenza che di duttilità



### VOLTE ED ARCHI

La volta è un elemento strutturale di copertura, che può essere schematizzata, in generale, come una serie di archi affiancati. Grazie alla loro versatilità i tessuti in materiale composito si adattano per la realizzazione di interventi di rinforzo che interessano archi e volte. Il rinforzo può essere applicato all'estradosso o all'intradosso e lungo la direttrice.

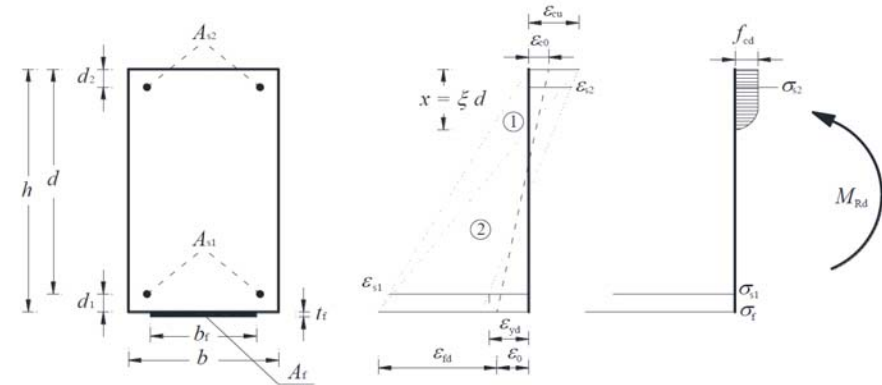




## Strutture in C.A. e C.A.P. - Interventi di rinforzo

### FLESSIONE

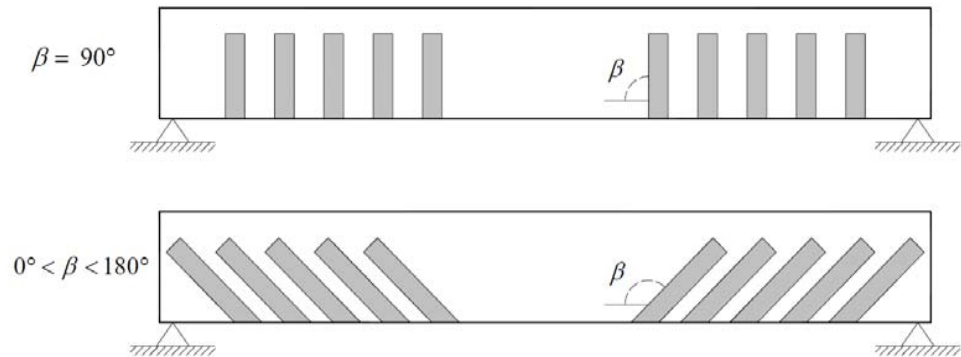
effettuato mediante l'ausilio di un'armatura esterna formata da lamine o tessuti impregnati in situ e deve essere progettato per l'incremento di momento resistente necessario al rispetto dei coefficienti di sicurezza previsti dalla normativa vigente



### TAGLIO

necessario nel caso di elementi strutturali per i quali il taglio di calcolo sia superiore alla corrispondente resistenza di calcolo.

utilizzo di staffe (disposte anche ad inclinazione variabile) formate dalla sovrapposizione di diversi strati di tessuti oppure mediante fasce orizzontali poste ai lati della trave e staffature a "U" in corrispondenza dell'appoggio.





## Strutture in C.A. e C.A.P. - Interventi di rinforzo

### NODO TRAVE-PILASTRO

Zona dove il pilastro s'incrocia con le travi ad esso concorrenti è chiamata nodo; tale zona deve garantire la ripartizione delle forze tra le travi e i pilastri, ad esso confluenti, e la sua rottura deve sopraggiungere soltanto dopo la formazione delle cerniere plastiche prima nella trave e poi nei pilastri.

I nodi vengono distinti in nodi confinati e nodi non confinati; un nodo è definito confinato quando in ognuna delle facce verticali del pilastro confluiscono delle travi, viceversa si dicono non confinati.

- Sotto **azioni sismiche e di tamponature robuste**, collegate rigidamente alla struttura, quest'ultime possono collaborare anche positivamente alla resistenza sismica della struttura, tuttavia esse generano delle azioni di spinta in sommità al pilastro che possono causare il collasso prematuro del nodo;
- A causa di **effetti torsionali globali delle struttura** ai nodi d'angolo sono richieste maggiori risorse di duttilità.

Le maggiori criticità si evidenziano su nodi non confinati, tipicamente posti lungo il perimetro delle strutture, o sull'angolo (nodo d'angolo) o in facciata (nodo intermedio). Si deve garantire: buon comportamento d'insieme del sistema nodo-trave-pilastro e un aumento della duttilità.







## Strutture in C.A. e C.A.P. - Interventi di rinforzo

### CERCHIATURA DEI PILASTRI

tessuti o lamine in FRP possono essere disposti lungo il perimetro del elemento in c.a. in modo tale da costituire una fasciatura esterna. Un adeguato confinamento di una trave o un pilastro determina un miglioramento delle prestazioni dell'elemento strutturale sia in termini di resistenza che di duttilità.

l'effetto della cerchiatura, in particolar modo nei pilastri, risulta estremamente efficace nel caso di una sezione circolare, poiché, data la sua conformazione, ben si presta ad essere cerchiata.

nel caso di sezioni quadrate o rettangolari, invece, nella valutazione dell'effetto cerchiante, non bisogna trascurare che il nucleo resistente è individuato dalle parabole tangenti alle diagonali.



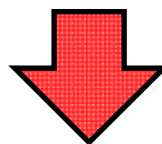


## Strutture in Muratura, C.A. e C.A.P. - Fasi operative d'esecuzione

### PROCEDURA D'INSTALLAZIONE COMPLESSA (richiede personale specializzato)

#### DALLA CORRETTA POSA IN OPERA DIPENDE L'EFFICACIA DEL RINFORZO

Al fine di consentire l'applicazione ottimale ed omogenea delle fibre è necessario che la superficie sia perfettamente liscia e planare.



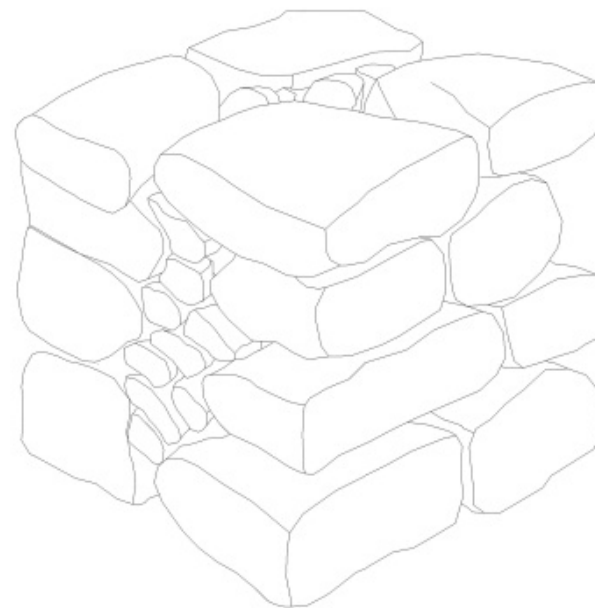
Prima dell'applicazione del rinforzo si deve procedere con la preparazione del substrato mediante la rimozione delle parti incoerenti, la ricostruzione delle parti mancanti dove necessario e la pulizia delle superfici dalla polvere .





## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione dell'intonaco e della malta. Applicazione strato di malta di adeguate caratteristiche meccaniche;
3. Stesa del primer;
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

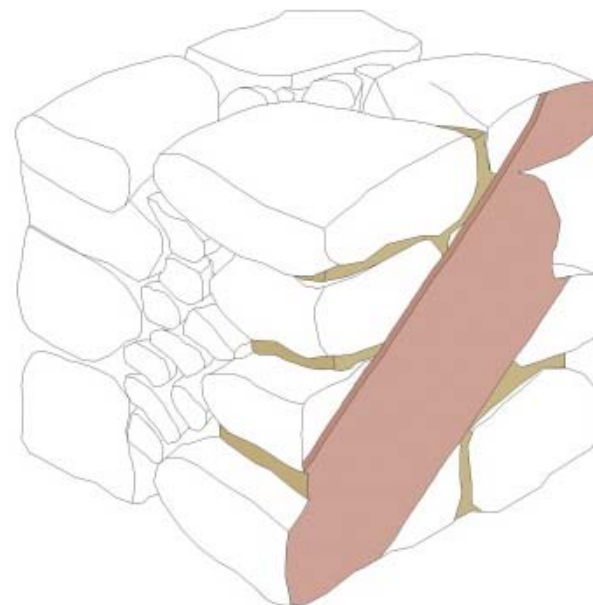


Studio della muratura (spessore e analisi dei materiali) finalizzato al posizionamento delle fasce di materiale composito FRP da realizzare



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione dell'intonaco e della malta. Applicazione strato di malta di adeguate caratteristiche meccaniche;
3. Stesa del primer;
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

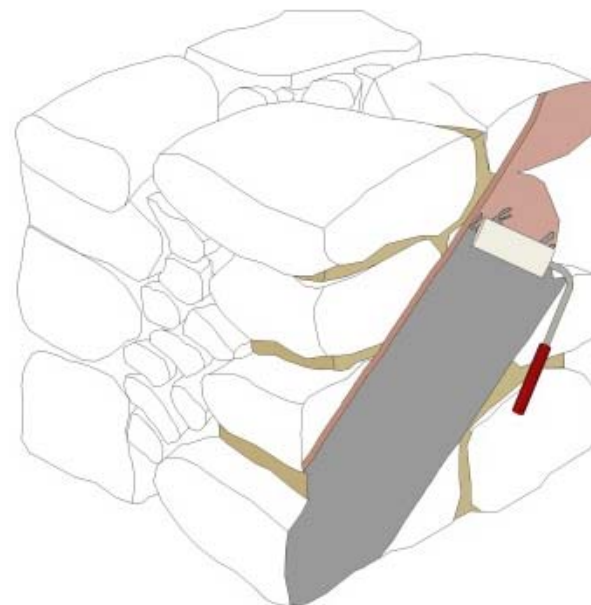


**Profondità di scarifica pari a 10-15 mm.**  
Malta di nuova stesa ad elevate caratteristiche meccaniche  
(importante per il trasferimento delle azioni dalla muratura al  
rinforzo - attenzione al dimensionamento)



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione dell'intonaco e della malta. Applicazione strato di malta di adeguate caratteristiche meccaniche;
3. **Stesa del primer;**
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

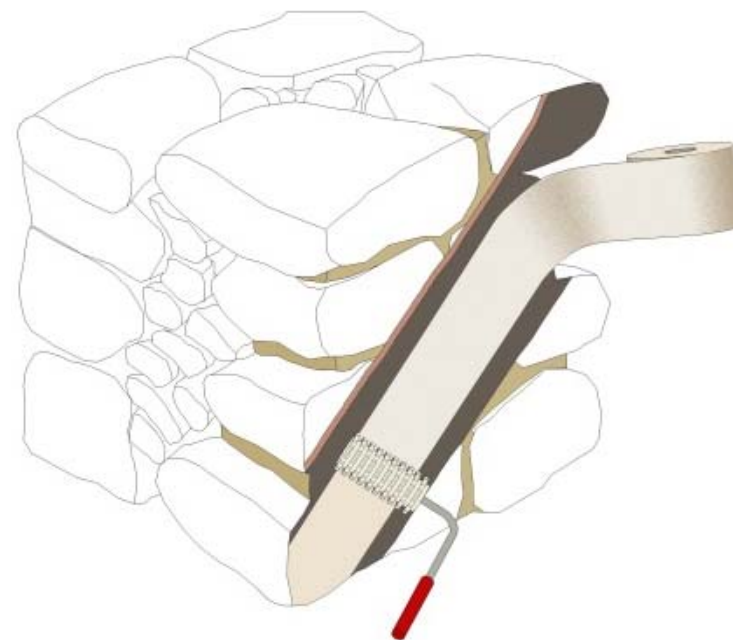


Consumo STD di materiale pari a 300 g/m<sup>2</sup>.  
Superficie preparata mediante rullo,  
tempo di maturazione da 1÷3 ore (non oltrepassare tale limite)



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione dell'intonaco e della malta. Applicazione strato di malta di adeguate caratteristiche meccaniche;
3. Stesa del primer;
4. **Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;**
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

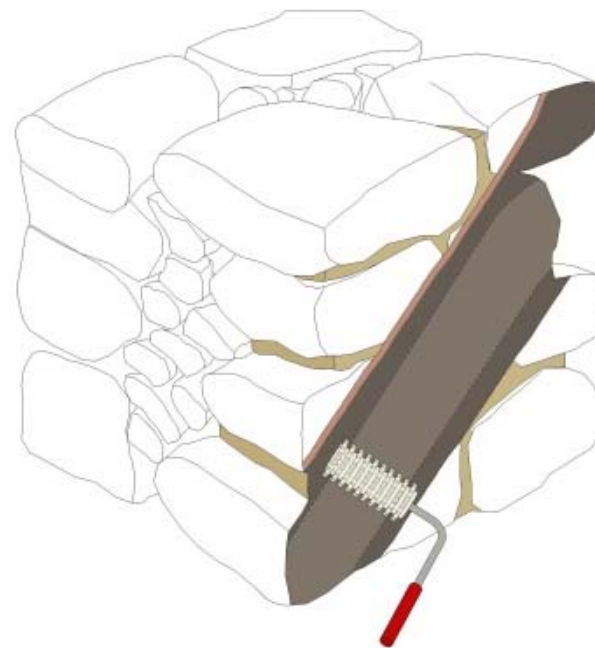


Consumo STD di materiale pari a 300 g/m<sup>2</sup>.  
Stesa del tessuto secondo indicazioni di progetto mediante rulli di impregnazione antibolle.



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione dell'intonaco e della malta. Applicazione strato di malta di adeguate caratteristiche meccaniche;
3. Stesa del primer;
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. **Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;**
6. Applicazione di sabbia quarzifera.



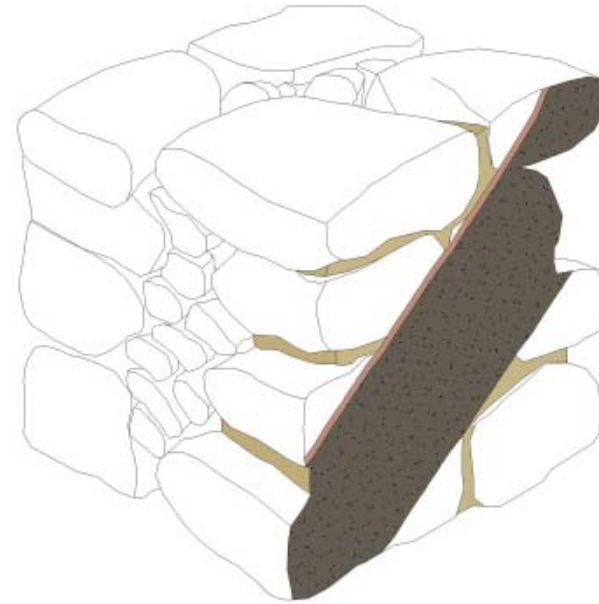
Consumo STD di materiale pari a  $300 \text{ g/m}^2$ .  
Stesa dello strato mediante rulli di impregnazione antibolle.





## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione dell'intonaco e della malta. Applicazione strato di malta di adeguate caratteristiche meccaniche;
3. Stesa del primer;
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. **Applicazione di sabbia quarzifera.**

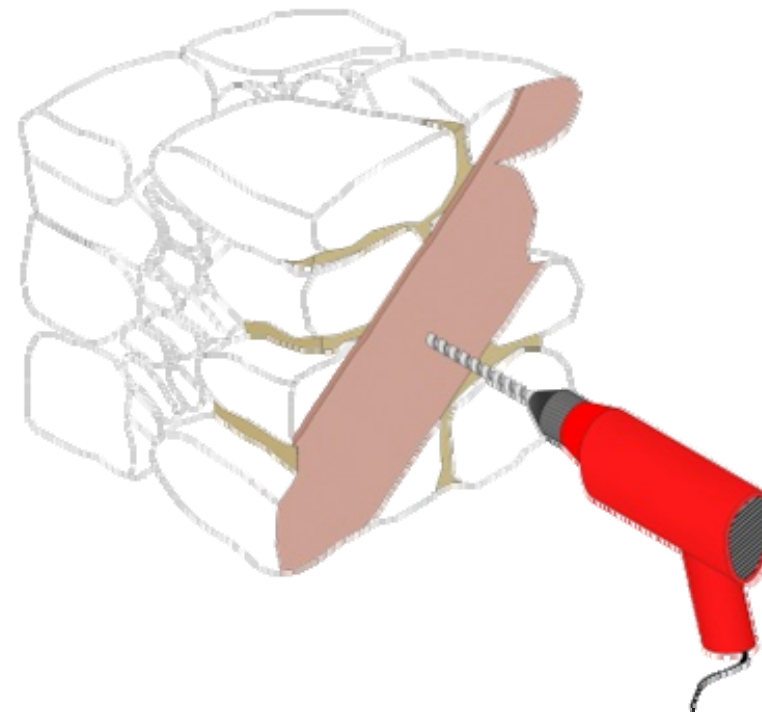


**Applicazione sulla superficie del composito appena steso.**  
Tale operazione viene effettuata a resina fresca al fine di consentire l'aggrappo dell'intonaco di finitura.



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Fiocchi)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{\text{fiocco}}$
- 4-5. Inserimento del fiocco, precedentemente impregnato;
- 4-5. Spostare la calzetta contenitiva del fiocco, stesa a ventaglio delle fibre;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

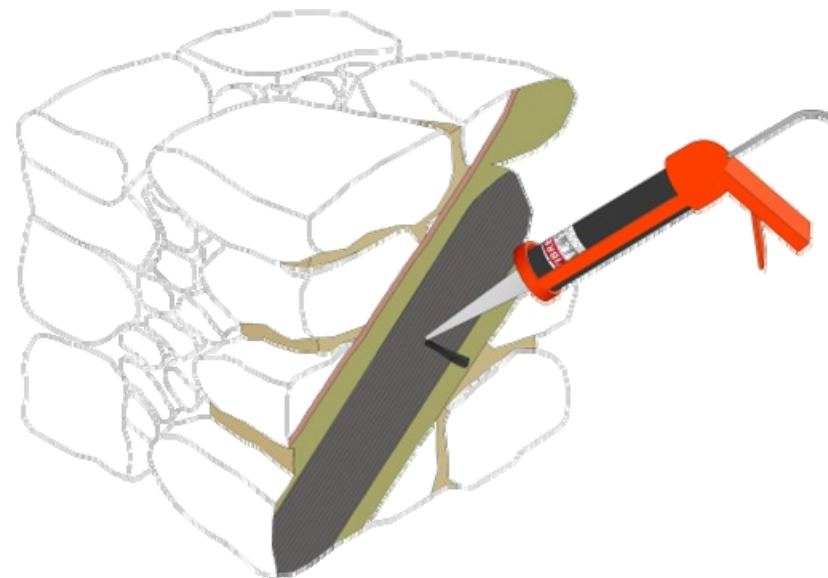


Eliminazione della polvere e del materiale incoerente



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Fiocchi)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{\text{fiocco}}$
- 4-5. Inserimento del fiocco, precedentemente impregnato;
- 4-5. Spostare la calzetta contenitiva del fiocco, stesa a ventaglio delle fibre;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

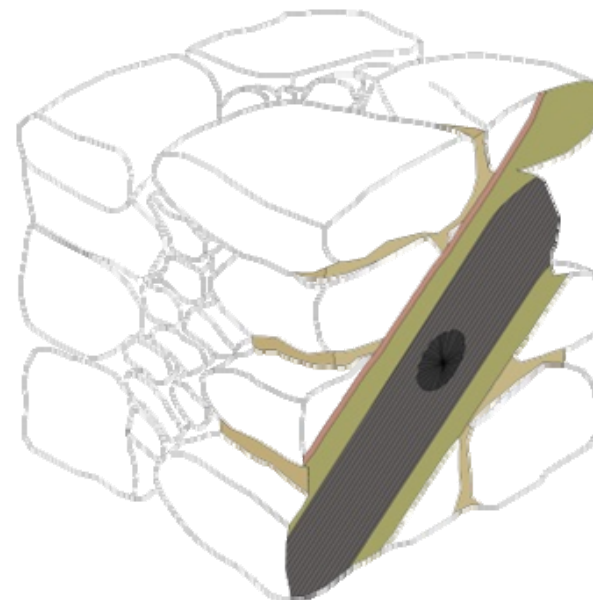


Riempimento con resina epossidica, evitando di creare vuoti d'aria



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Fiocchi)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{\text{fiocco}}$
- 4-5. Inserimento del fiocco, precedentemente impregnato;
- 4-5. Spostare la calzetta contenitiva del fiocco, stesa a ventaglio delle fibre;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

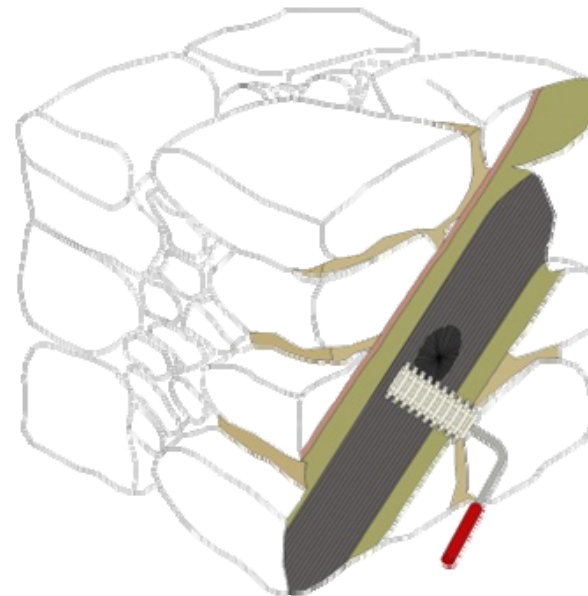


Al fine di creare un'efficace connessione tra muratura, fiocco e tessuto



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Fiocchi)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{\text{fiocco}}$
- 4-5. Inserimento del fiocco, precedentemente impregnato;
- 4-5. Spostare la calzetta contenitiva del fiocco, stesa a ventaglio delle fibre;
5. **Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;**
6. Applicazione di sabbia quarzifera.



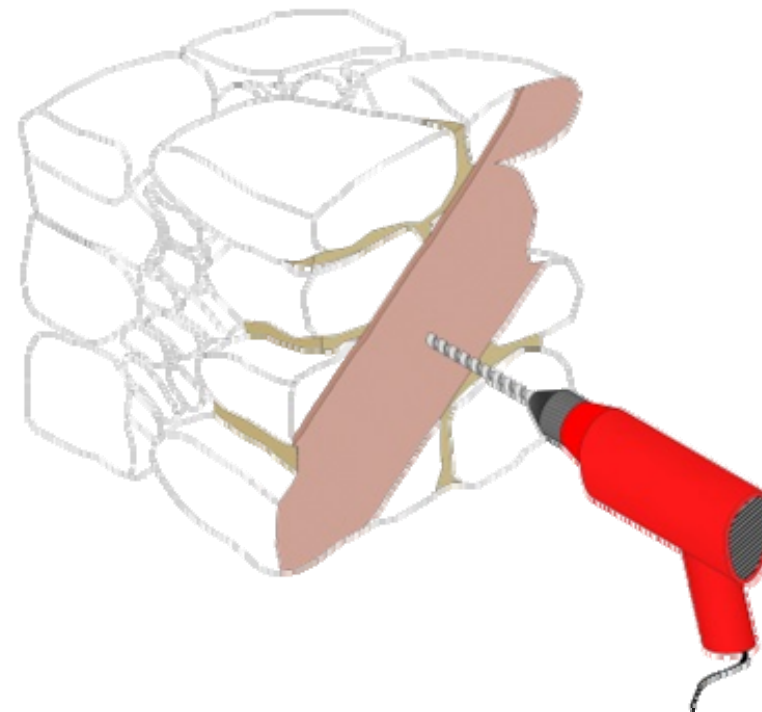
Consumo STD di materiale pari a  $300 \text{ g/m}^2$ .  
Stesa dello strato mediante rulli di impregnazione antibolle.





## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Barra Pultrusa)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{barra}$
- 4-5. Preparazione di due strisce di nastro in CFRP (larghezza pari a 50 mm), disposti a croce;
- 4-5. Inserimento del tondino in materiale composito trattato con resina epossidica;
- 4-5. Saturazione del foro con resina epossidica;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

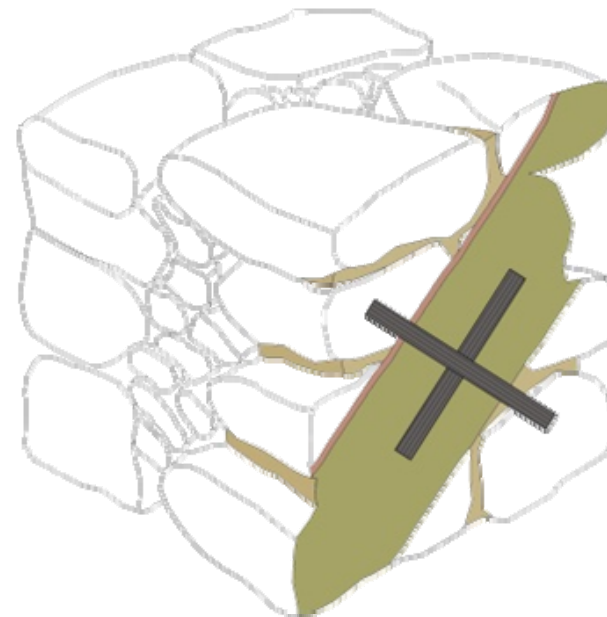


Eliminazione della polvere e del materiale incoerente



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Barra Pultrusa)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{barra}$
- 4-5. Preparazione di due strisce di nastro in CFRP (larghezza pari a 50 mm), disposti a croce;
- 4-5. Inserimento del tondino in materiale composito trattato con resina epossidica;
- 4-5. Saturazione del foro con resina epossidica;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

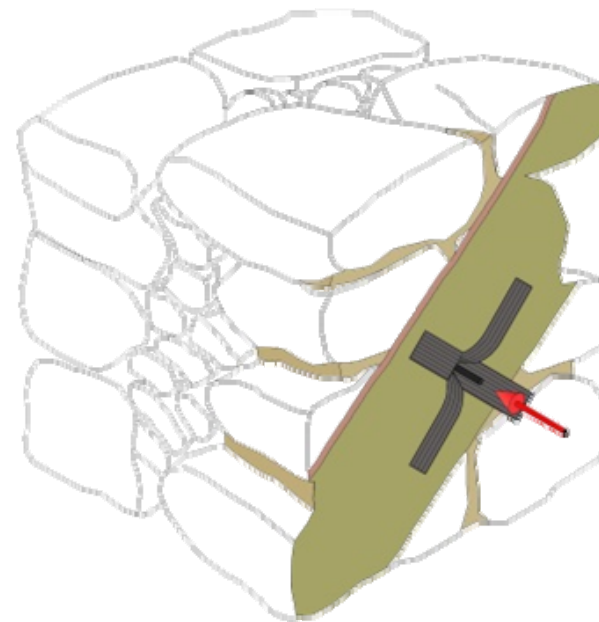


Gli elementi in CFRP devono essere preventivamente impregnati



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Barra Pultrusa)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{barra}$
- 4-5. Preparazione di due strisce di nastro in CFRP (larghezza pari a 50 mm), disposti a croce;
- 4-5. Inserimento del tondino in materiale composito trattato con resina epossidica;
- 4-5. Saturazione del foro con resina epossidica;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

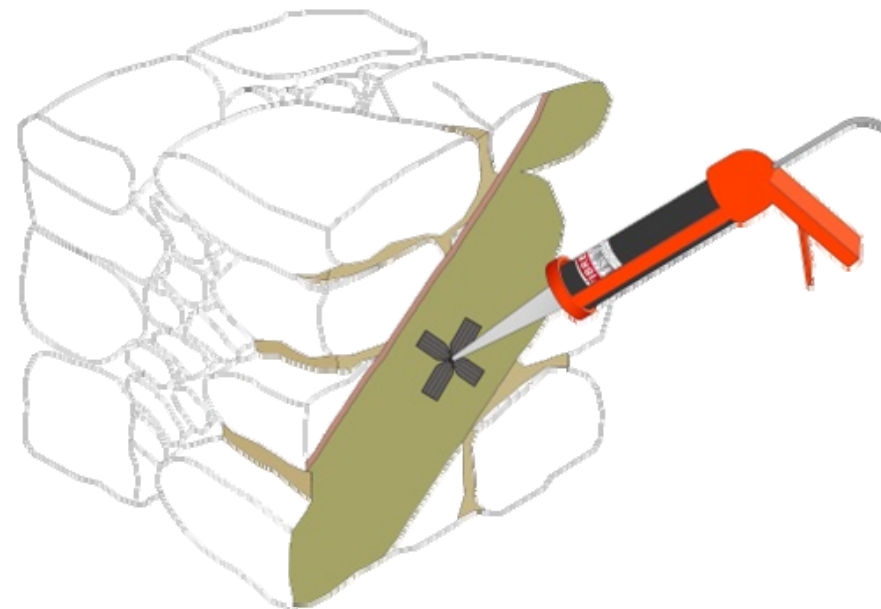


Inserendo il tondino nel foro, si portano all'interno dello stesso anche i due nastri di tessuto



## Strutture in Muratura - Fasi operative d'esecuzione (Barra Pultrusa)

- 2-3. Esecuzione del foro nella zona scelta, di dimensione pari a  $1.5\varnothing_{barra}$
- 4-5. Preparazione di due strisce di nastro in CFRP (larghezza pari a 50 mm), disposti a croce;
- 4-5. Inserimento del tondino in materiale composito trattato con resina epossidica;
- 4-5. Saturazione del foro con resina epossidica;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. Applicazione di sabbia quarzifera.

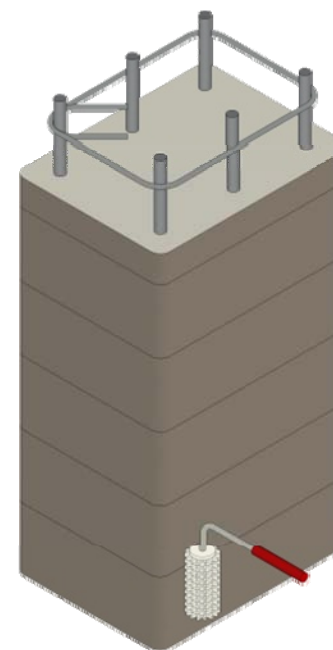


Inserendo il tondino nel foro, si portano all'interno dello stesso anche i due nastri di tessuto



## Strutture in C.A. e C.A.P. - Fasi operative d'esecuzione

1. Situazione iniziale;
2. Rimozione delle parti ammalorate e di boiacche di superficie;
3. Stesa del primer;
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. **Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;**
6. Applicazione di sabbia quarzifera.



Consumo STD di materiale pari a  $300 \text{ g/m}^2$ .  
Stesa dello strato mediante rulli di impregnazione antibolle.





## Strutture in C.A. e C.A.P. - Fasi operative d'esecuzione

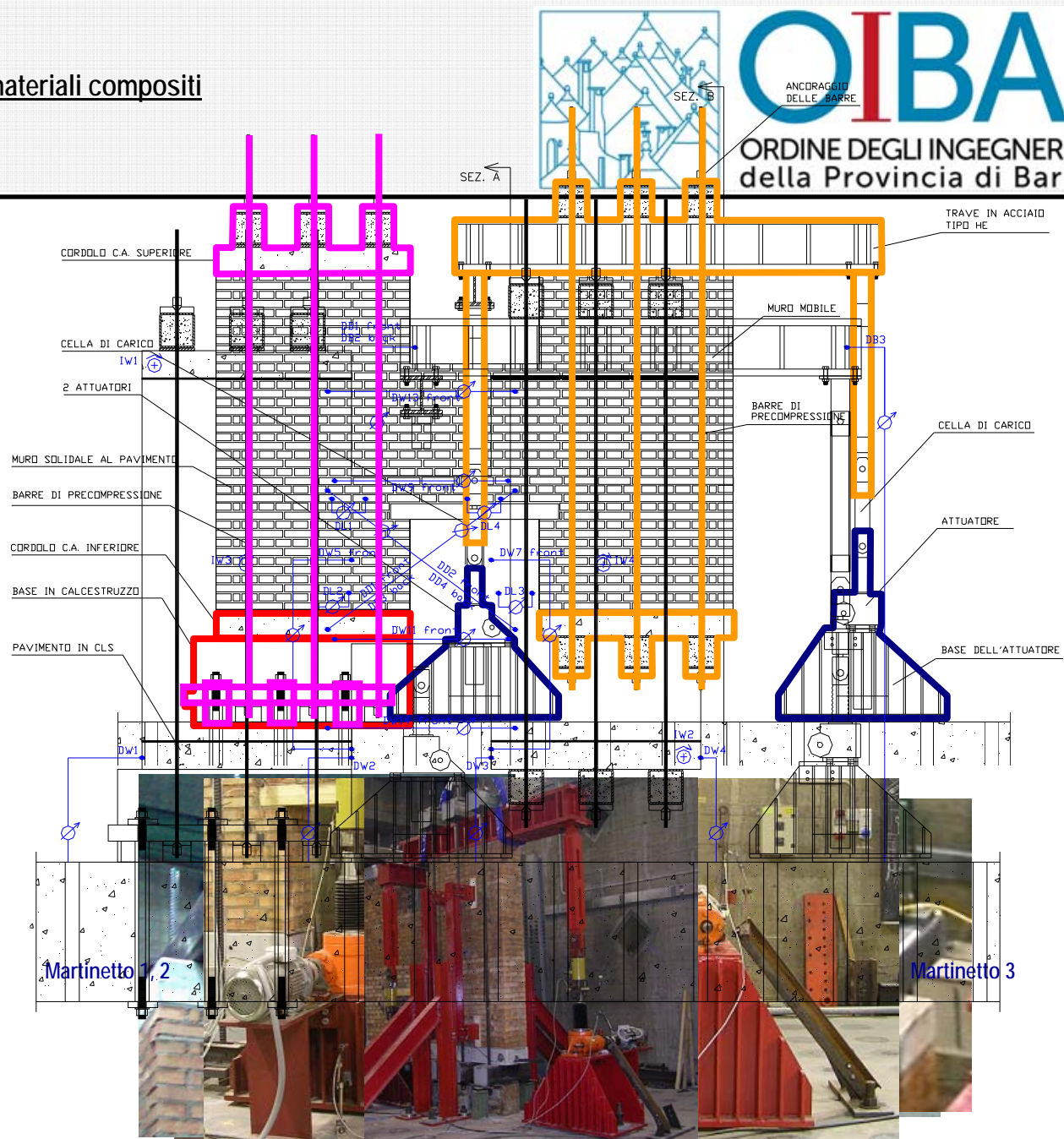
1. Situazione iniziale;
2. Rimozione delle parti ammalorate e di boiacche di superficie;
3. Stesa del primer;
4. Applicazione di un primo strato di resina adesiva e impregnante. Stesa del tessuto;
5. Applicazione di un secondo strato di resina adesiva e impregnante;
6. **Applicazione di sabbia quarzifera.**



Applicazione sulla superficie del composito appena steso.  
Tale operazione viene effettuata a resina fresca al fine di consentire l'aggrappo dell'intonaco di finitura.

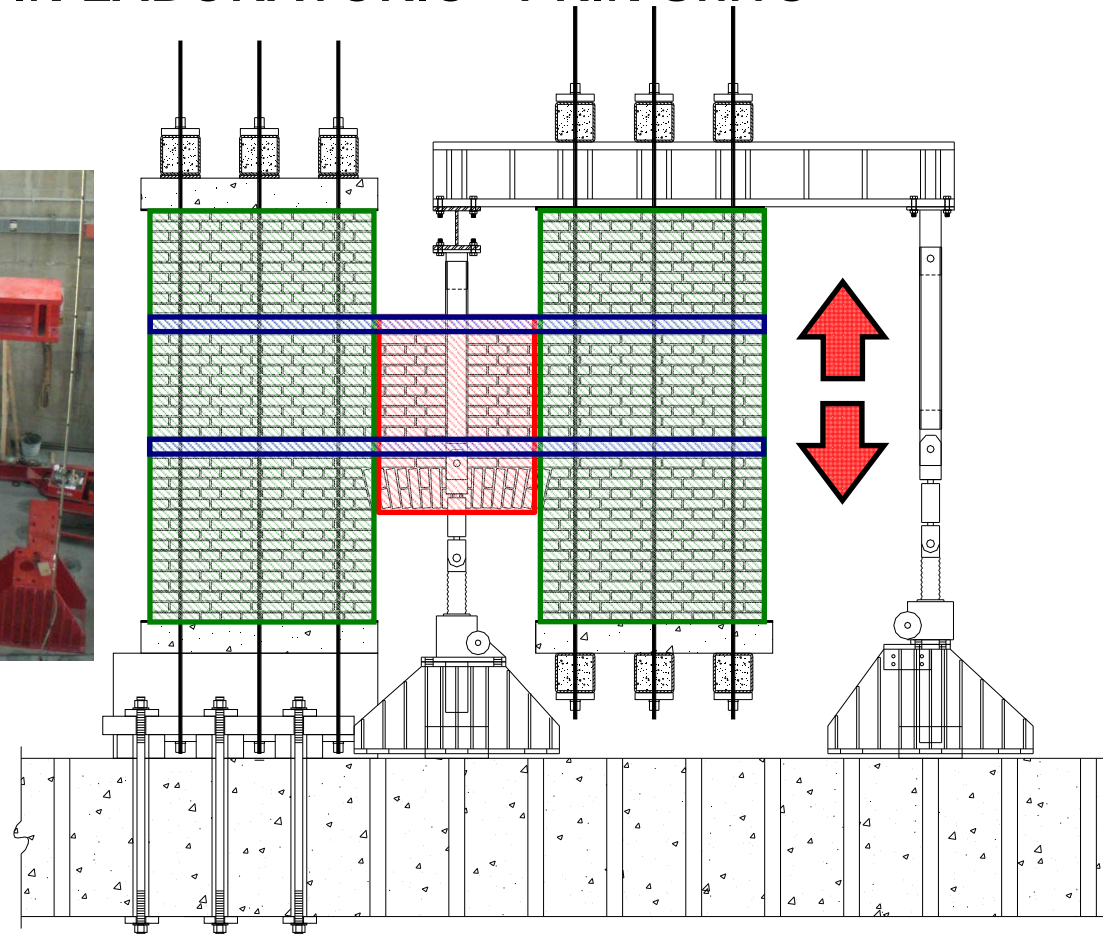
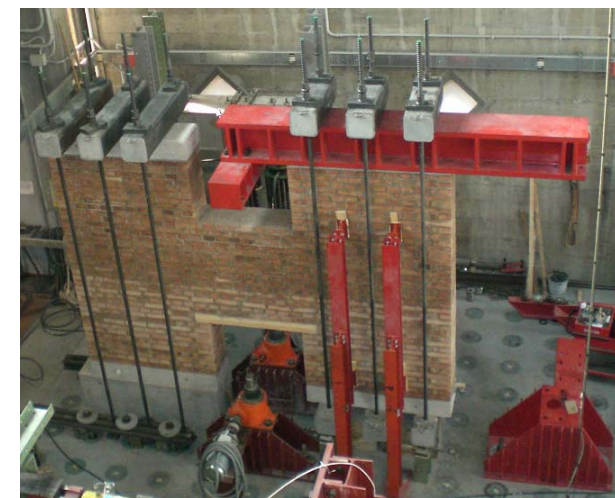
## SPERIMENTAZIONE

- Apparecchiatura fissa: posizionata per la creazione del piano di posa del provino e del sistema di precompressione verticale, e per la applicazione del carico (martinetti a vite o attuatori) necessario allo spostamento dello stesso;
- Apparecchiatura mobile: trasferisce il carico applicato dai martinetti a vite al campione in muratura;
- Strumentazione sul provino: misura, ogni secondo della prova, lo spostamento in vari punti della fascia di piano dovuto all'applicazione del carico dei tre attuatori.





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN Units



Fascia di piano;

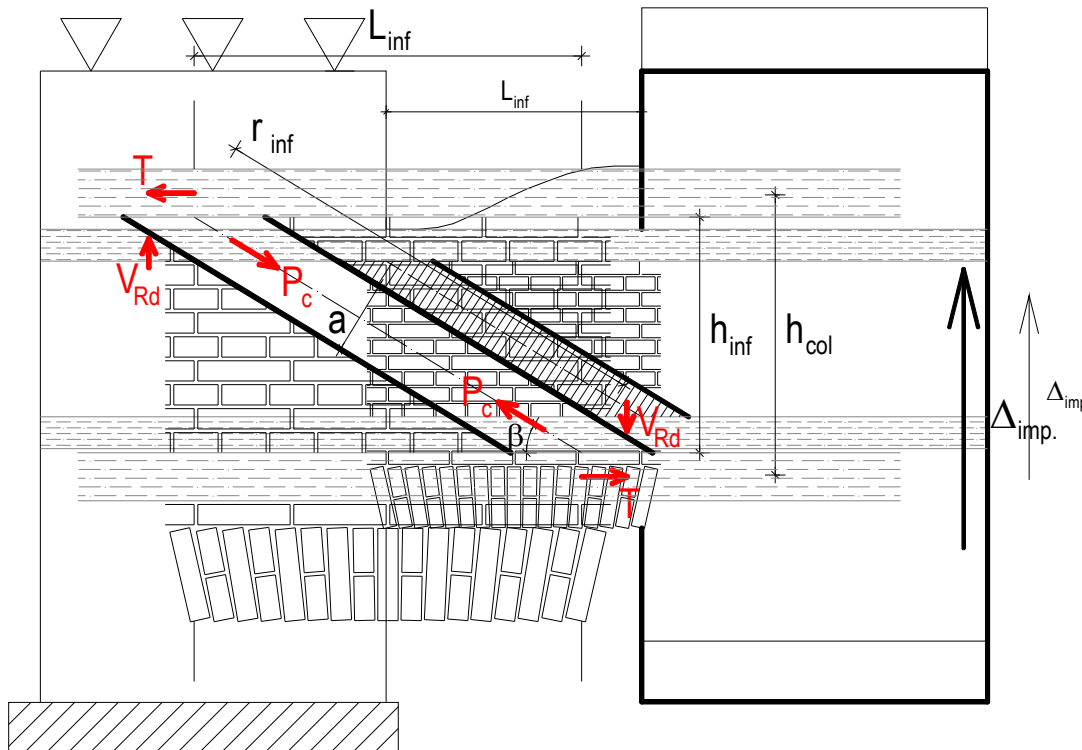
Setti murari;

Fasce in carbonio





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS



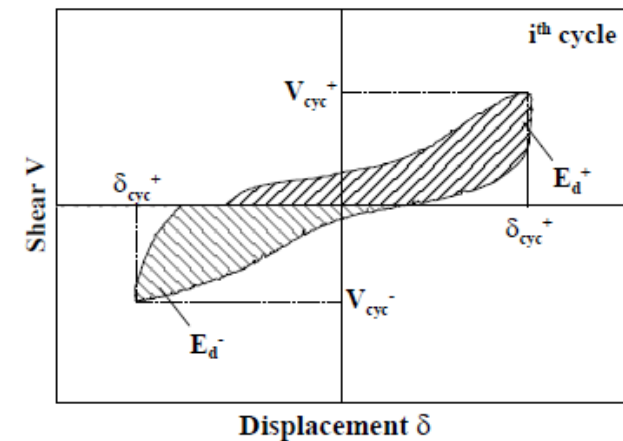
$$a_{TOM} = 0,13 \div 0,20 \cdot r_{inf}$$

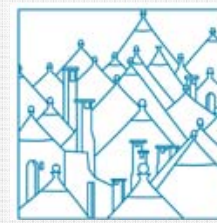
$$a_{FEMA} = 0,175 \cdot (\lambda_1 \cdot h_{col})^{-0,4} \cdot r_{inf}$$

$$\lambda_1 = \left[ \frac{E_{me} \cdot t_{inf} \cdot \sin 2\beta}{4 \cdot E_{fe} \cdot I_{col} \cdot h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$P_c = a \cdot t_{inf} \cdot f_{hd,f}$$

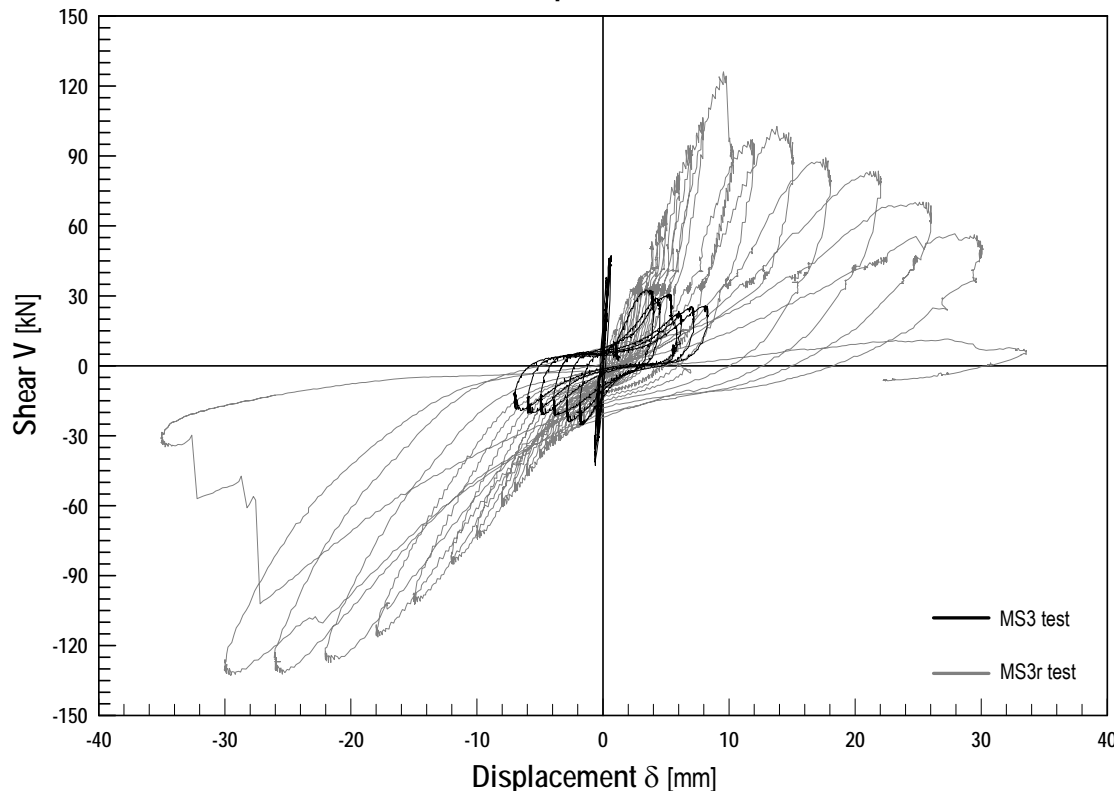
$$V_{Rd} = P_c \cdot \sin \beta$$





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Beam displacement



1. Rigidezza elastica iniziale molto più elevata nella prova MS3;
2. Aumento della capacità resistente tagliante (circa 3 volte) nella prova MS3r rispetto a quella MS3;
3. Maggior capacità dissipativa della traversa rinforzata MS3r;
4. Spostamento a rottura del campione rinforzato MS3r  $\approx 4$  volte superiore a quello del campione integro MS3;
5. Comportamento sostanzialmente simmetrico nelle due direzioni di carico per la prova MS3 mentre ciò non si verifica nella prova MS3r.





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

## Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

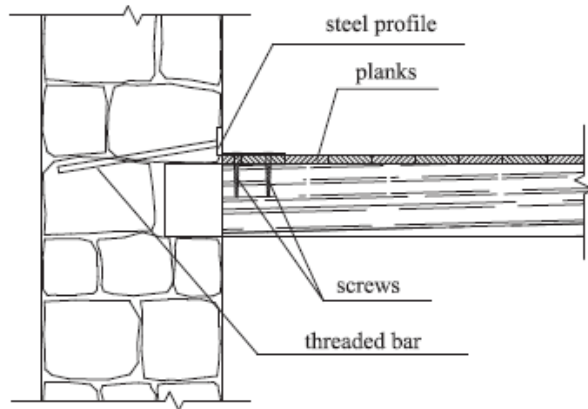


Fig. 3. Detail of the connection between floor and masonry wall.

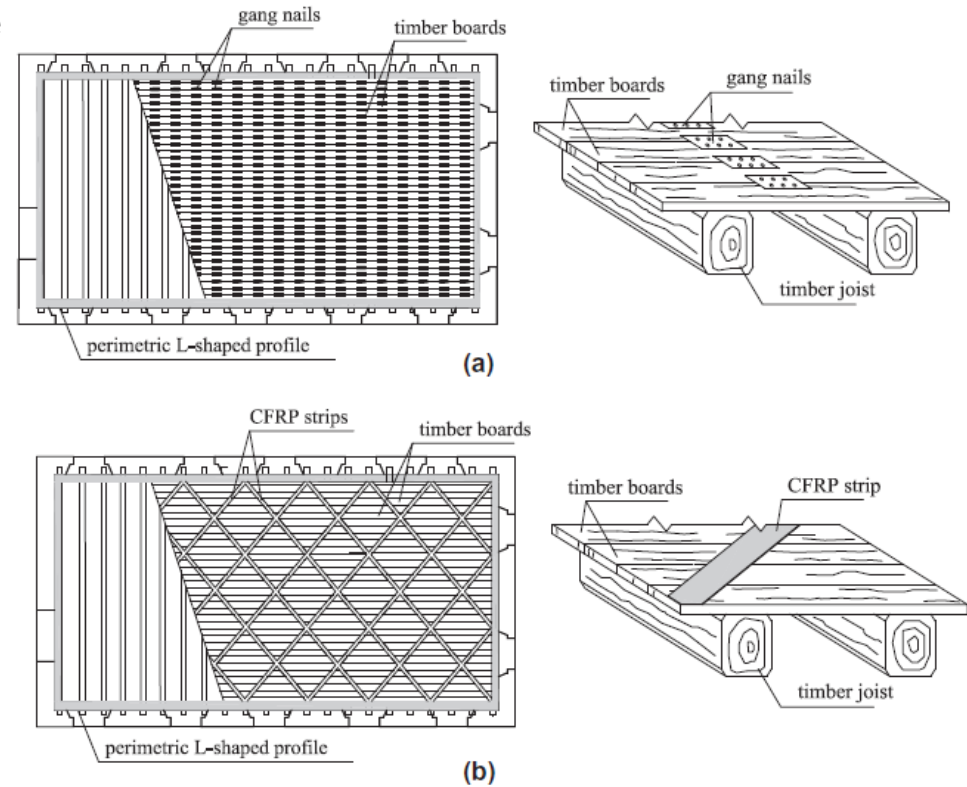


Fig. 2. Wooden floor stiffened using nail plates (a) and CFRP strips (b).



# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

## Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

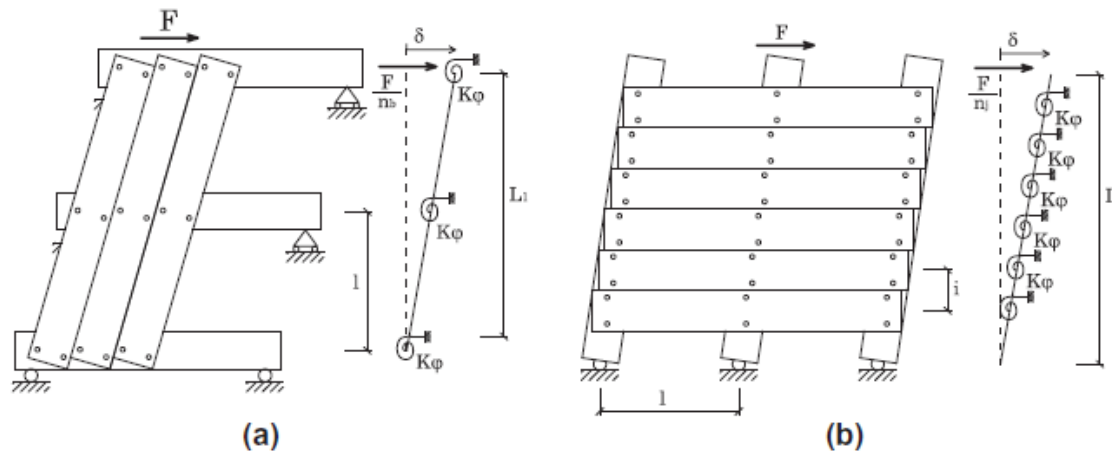


Fig. 4. Mechanical model for unstrengthened timber floor with shear force parallel to joists (a) or to boards (b).

# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

## Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

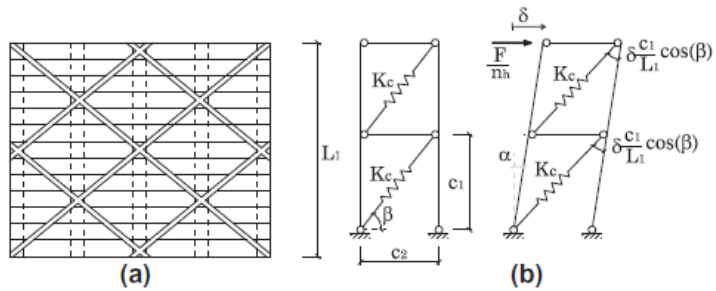


Fig. 6. Timber floor strengthened with diagonal CFRP strips (a) strips arrangement on the floor top surface and (b) simplified mechanical model for a single cell.

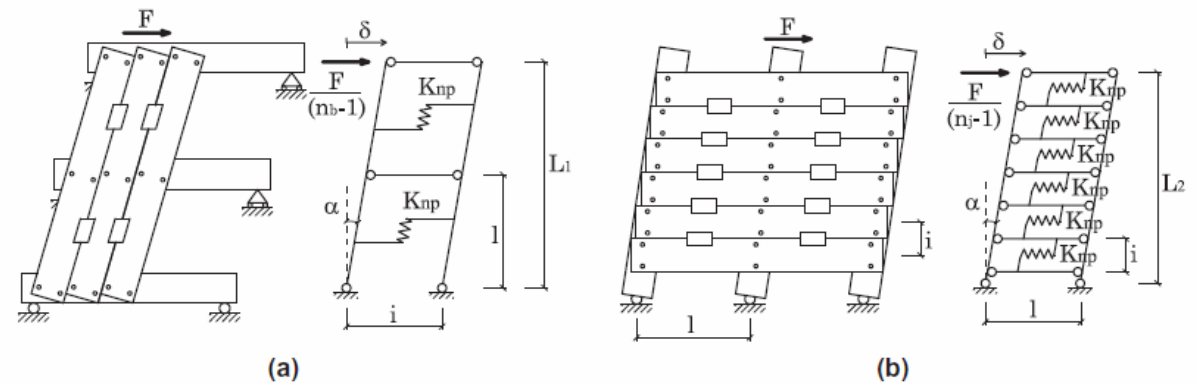
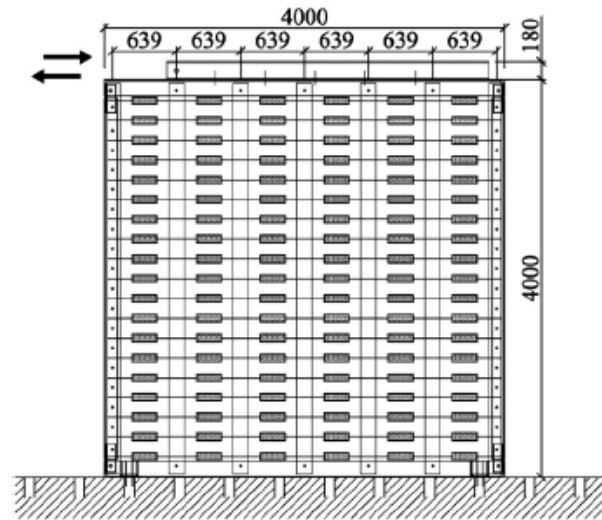


Fig. 5. Mechanical model for timber floor strengthened with nail plates considering shear force parallel to joists (a) or to boards (b).

# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative



(a)



(b)

Fig. 7. F1(F2) sample (a) dimensions and (b) general view.

# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

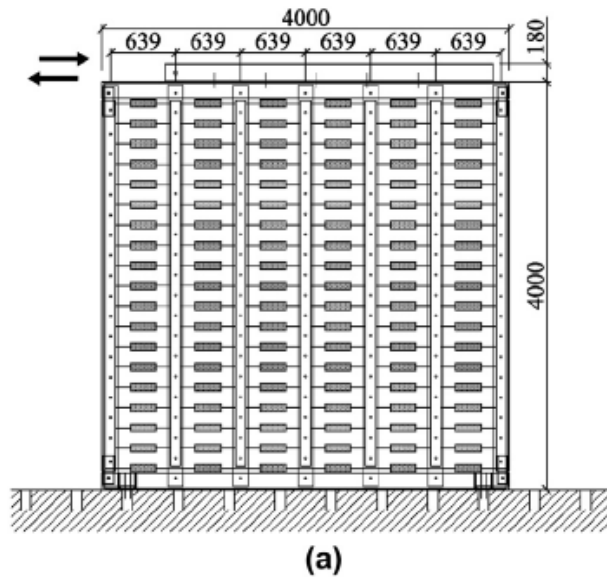


Fig. 8. F3 sample (a) dimensions and (b) general view.





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

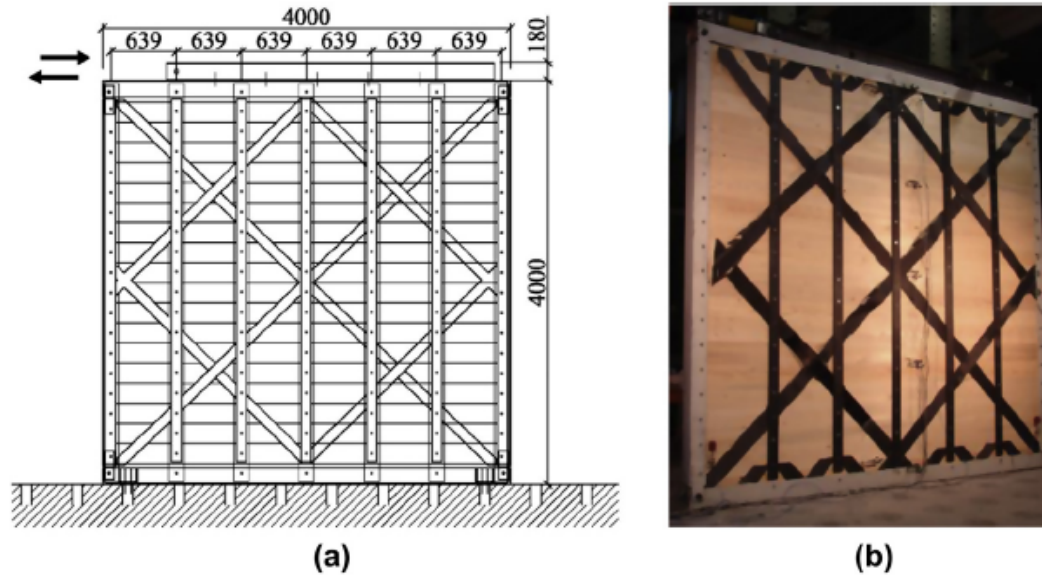


Fig. 9. F4 sample (a) dimensions and (b) general view.

# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

## Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

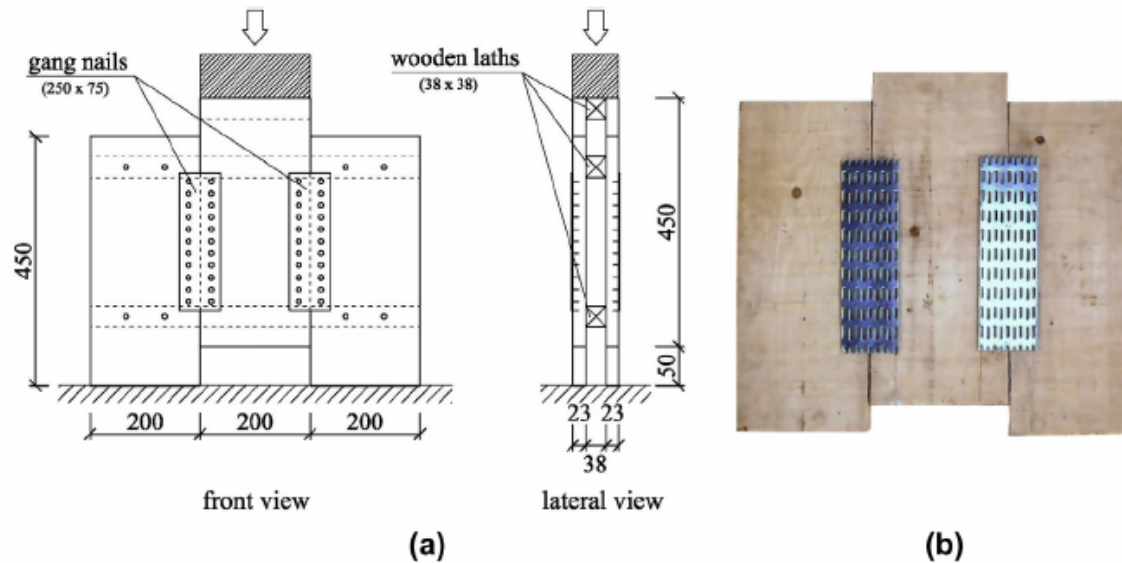


Fig. 10. Sample for shear test on nail plate connectors (a) sketch and (b) view.



# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

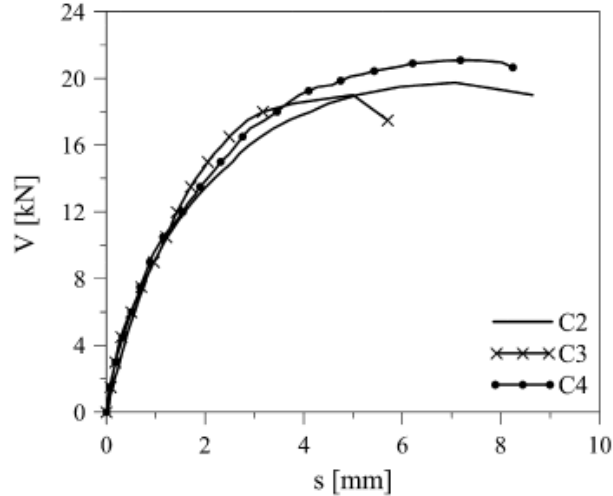


Fig. 11. Load-slip curves for a single nail plate.

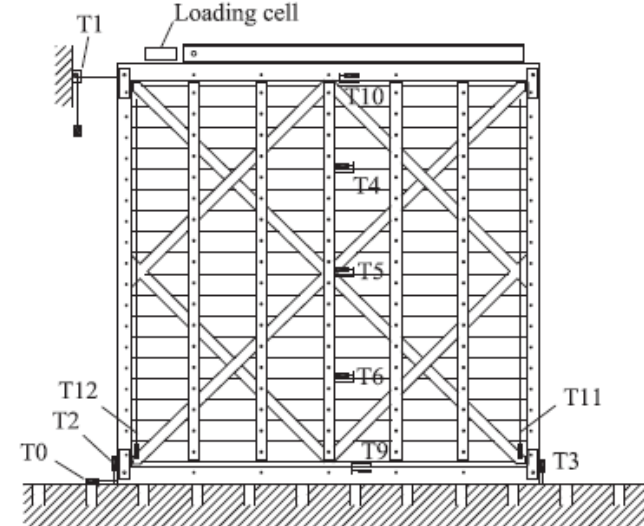


Fig. 13. Gage arrangement.



# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

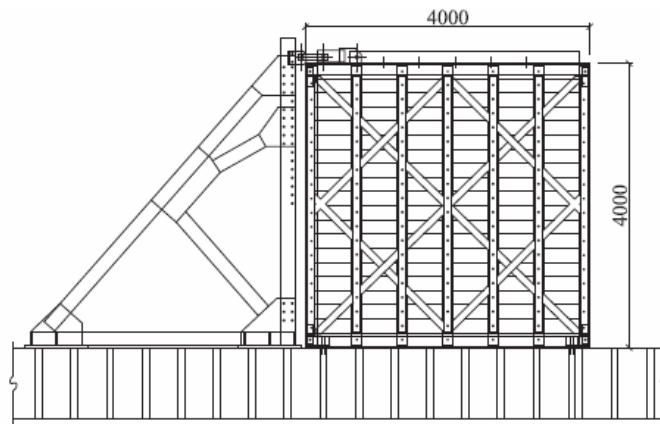


Fig. 12. Sample F4 with the contrast steel frame.

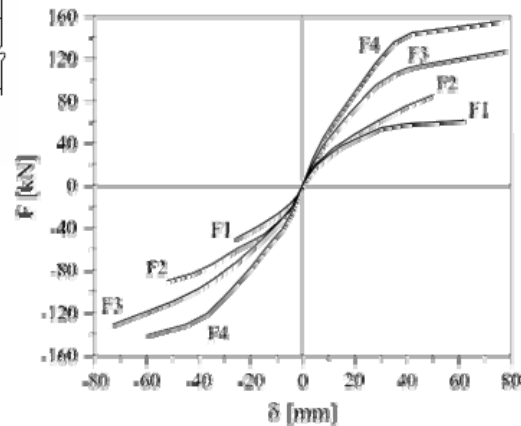


Fig. 15. Monotonic envelopes of the experimental cyclic curves.



Fig. 18. Failure mechanism of specimen F4 with CFRP strips detachment.





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

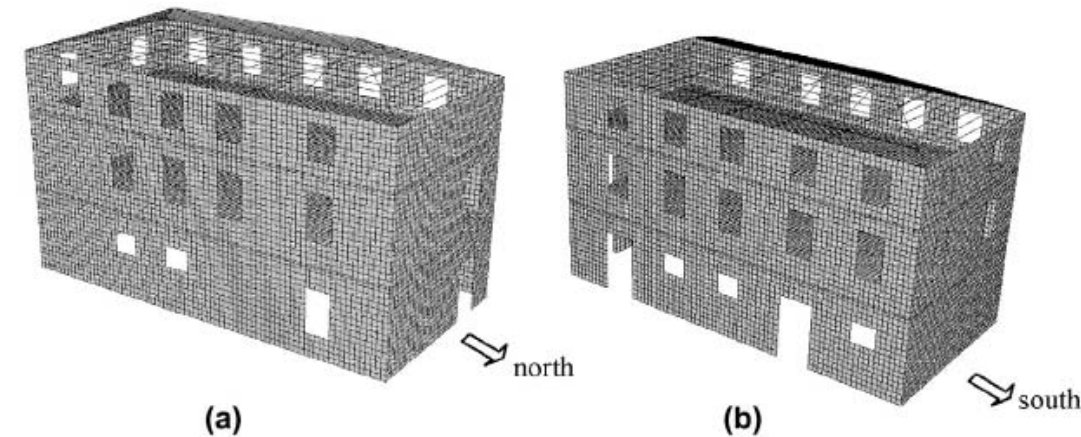


Fig. 19. FE model for the whole building: north-east (a) and south-west view (b).

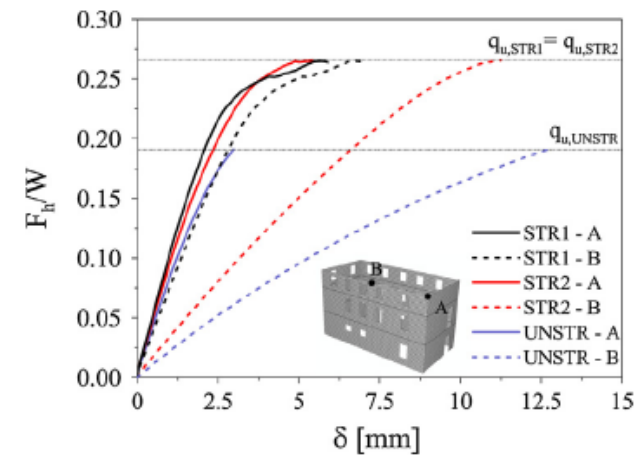


Fig. 21. Load-top displacements curves for the model with unreinforced floors (UNSTR), with floors strengthened by nail plates (STR1) and with floors strengthened by using a thin concrete slab (STR2).





# SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO - PRIN UniTS

Irrigidimento di solai mediante tecniche innovative

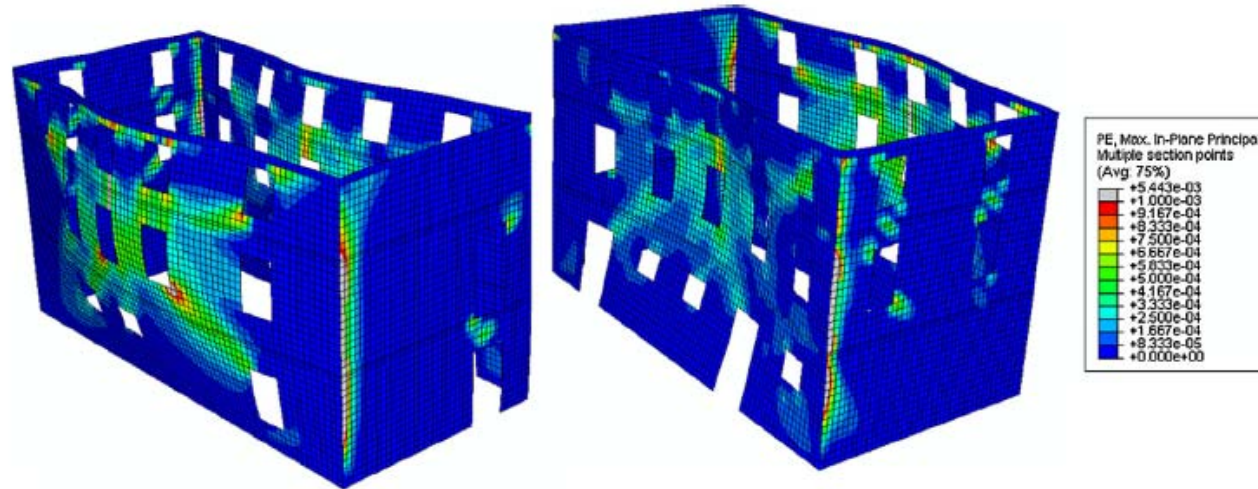


Fig. 22. Deformed shape and contours of maximum plastic deformations for model UNSTR at collapse.



# REGOLE PER LA PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP

## Elementi in Muratura

### Rinforzo a Taglio di un pannello in muratura

Il rinforzo a taglio di un pannello murario si realizza solitamente con elementi di materiale composito disposti nella direzione dello sforzo di taglio oppure lungo le diagonali del pannello; in tal modo, al meccanismo di resistenza a taglio della muratura per attrito viene affiancato quello dovuto alla formazione di un traliccio isostatico in grado di trasmettere taglio per equilibrio interno. In questo caso la resistenza di progetto a taglio della muratura rinforzata,  $V_{Rd}$  è ottenuta come il minimo tra la somma del contributo dovuto all'attrito della muratura,  $V_{Rd,m}$ , e quello del rinforzo in FRP,  $V_{Rd,f}$ , e la resistenza di progetto delle bielle compresse del traliccio,  $V_{Rd,max}$ :

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

### Rinforzo a Taglio di una fascia di piano

Per la verifica del funzionamento ad architrave è necessario garantire la formazione di una trave di muratura "armata" situata al di sopra dell'apertura, nella quale le trazioni vengono assorbite da rinforzi di FRP e le compressioni dalla resistenza a compressione della muratura  $f_{hmd}$  nella direzione parallela ai giunti di malta. Al fine di determinare il momento resistente dell'architrave rinforzata si può considerare un'altezza utile della sezione  $h^*$  pari al minimo tra la luce dell'architrave e l'altezza della fascia di piano.

I rinforzi in FRP devono essere disposti in modo simmetrico sia sulle pareti esterne che su quelle interne.



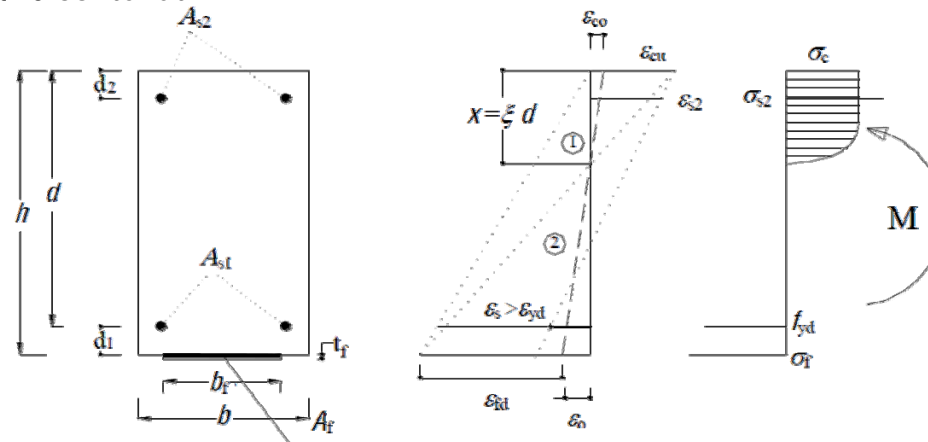
# REGOLE PER LA PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP

## Elementi in C.A. e C.A.P.

### Rinforzo a flessione

Infine, per garantire un corretto comportamento dell'elemento strutturale in condizioni di esercizio, è obbligatorio verificare che:

- Le tensioni nei materiali siano opportunamente limitate al fine di evitare lo snervamento nell'acciaio e mitigare i fenomeni di viscosità nel calcestruzzo;
- I valori di deformazione siano tali da non inficiare il normale uso della struttura e di non produrre danni agli elementi strutturali non portanti (tramezzature);
- I fenomeni fessurativi risultino contenuti.





# REGOLE PER LA PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP

## Elementi in C.A. e C.A.P.

### Rinforzo a taglio

Sulla base delle raccomandazioni indicate nel CNR-DT 200R1/2013, la resistenza di progetto a taglio di una sezione in cemento armato rinforzata è determinata applicando la seguente relazione:

$$V_{Rd} = \min \left\{ V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,c} \right\}$$

Dove:

$V_{Rd}$ : resistenza di progetto della sezione rinforzata a taglio;

$V_{Rd,s}$ : contributo a taglio dell'armatura trasversale di acciaio, calcolato secondo norme vigenti;

$V_{Rd,f}$ : contributo a taglio del rinforzo in FRP calcolato secondo le indicazioni riportate nelle linee guida precedentemente citate e nel seguito riassunte;

$V_{Rd,c}$ : contributo a taglio delle bielle di calcestruzzo calcolato secondo norme vigenti.

Il contributo alla resistenza a taglio dato dal rinforzo in FRP dipende dalla forma della sezione.



# PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte prog. preliminari

## Basilica di San Domenico di Siena

### Obiettivo

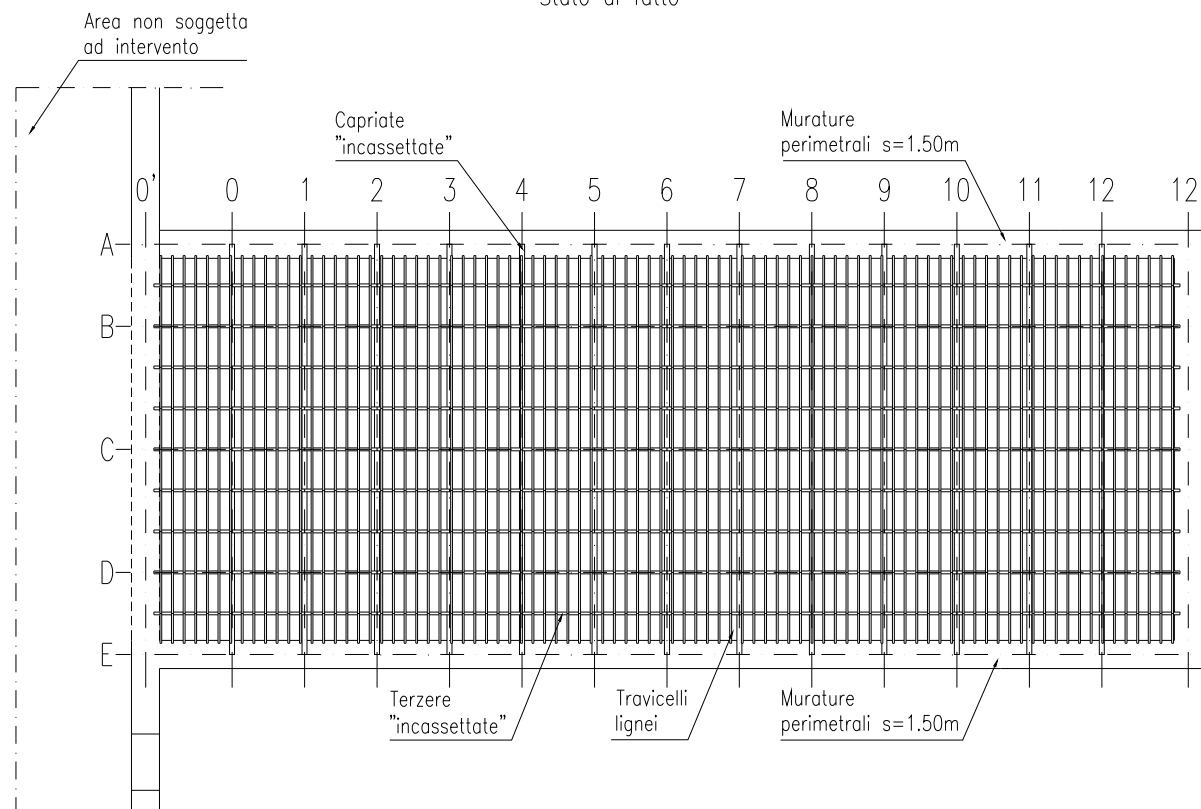
Creazione di due diaframmi rigidi di falda al fine di trasmettere in maniera sufficientemente uniforme le azioni di taglio derivanti da sisma alle murature perimetrali della navata. Tale **condizione non soddisfatta dalla struttura esistente** di copertura.

### Proposta di intervento

Consolidamento delle strutture lignee mediante inserimento, all'estradosso del tavolato di copertura, di una struttura ausiliaria di controvento realizzata con nastri unidirezionali a base di fibre di carbonio tipo HM (Alto Modulo), piastre metalliche e connessioni in acciaio, in fiocchi di carbonio e combinate acciaio-carbonio.

Pianta Copertura – Disposizione ordito strutturale

Stato di fatto





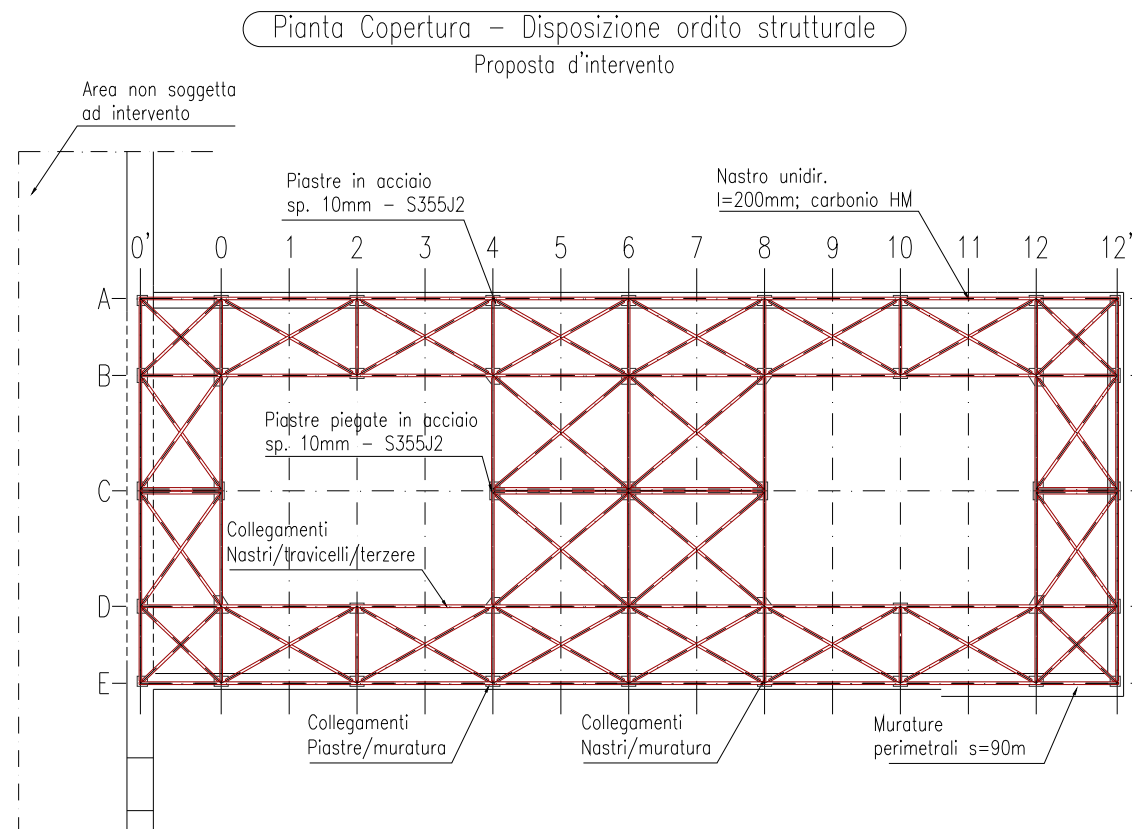


# PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte prog. preliminari

## Basilica di San Domenico di Siena

### Considerazioni preliminari

La struttura esistente costituita da capriate "incassate" alla lombarda, presenta elementi secondari (terzere), anch'esse "incassate" ed elementi terziari (travicelli) lignei. A chiudere questi elementi monodimensionali, vi è un tavolato di spessore pari a  $sp. = 3 \text{ cm}$ .





# PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte prog. preliminari

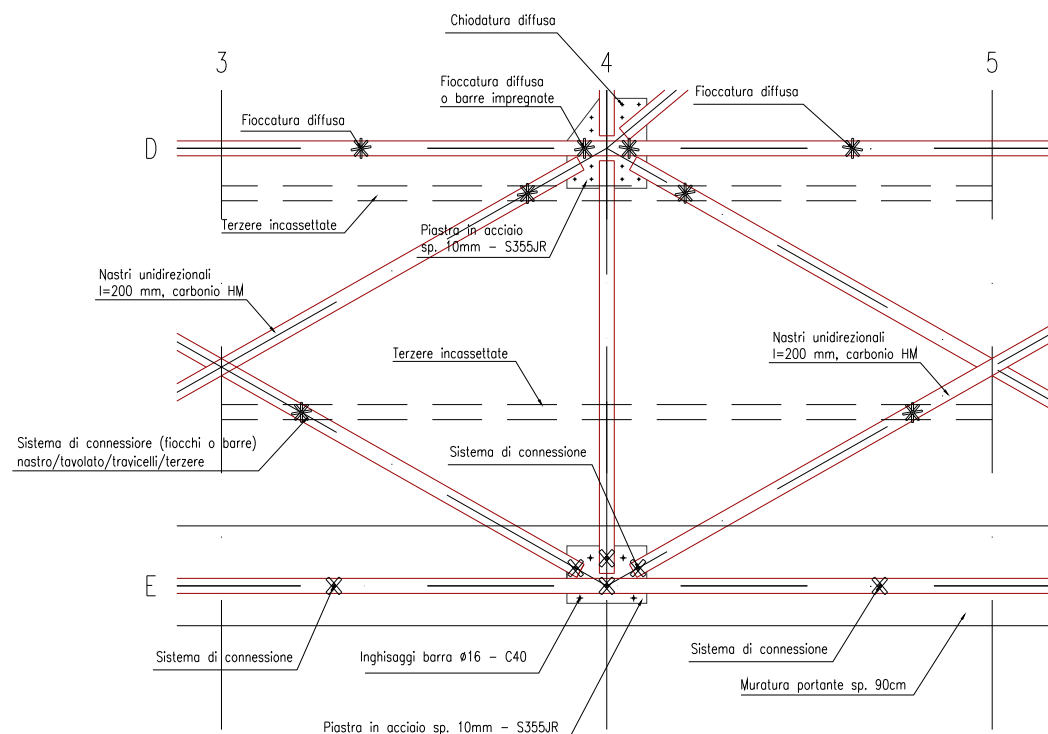
## Basilica di San Domenico di Siena

### Step di consolidamento

A rimozione del pacchetto non strutturale di copertura completata si possono predisporre le piastre in acciaio S355J2 (sp. 10 mm), come da proposta d'intervento riportata alla pagina successiva (part. 1).

Il tavolato e la muratura sottostante vengono perforati al fine di garantire, mediante inghisaggio chimico con barre filettate C40 (o similare) Ø16 (lunghezza d'inghisaggio da definire in sede di progetto esecutivo), un adeguato collegamento tra le piastre metalliche e la muratura portante. Tale collegamento con le strutture murarie è ulteriormente reso efficace prolungando alcune delle barre filettate fino ad innestarsi al cordolo in C.A. esistente (part. 2).

PARTICOLARE N.1  
Irrigidimento post-intervento  
Scala 1:20



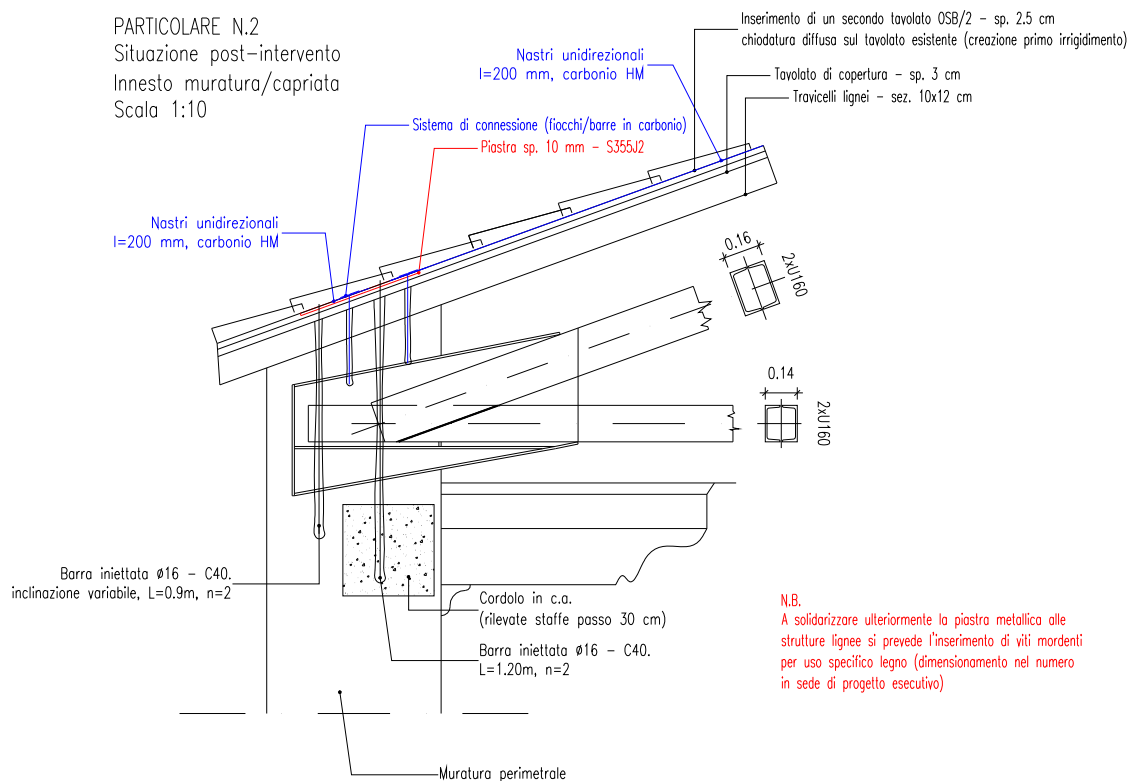
# PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte prog. preliminari

## Basilica di San Domenico di Siena

### Step di consolidamento

A rimozione del pacchetto non strutturale di copertura completata si possono predisporre le piastre in acciaio S355J2 (sp. 10 mm), come da proposta d'intervento riportata alla pagina successiva (part. 1).

Il tavolato e la muratura sottostante vengono perforati al fine di garantire, mediante inghisaggio chimico con barre filettate C40 (o similare) Ø16 (lunghezza d'inghisaggio da definire in sede di progetto esecutivo), un adeguato collegamento tra le piastre metalliche e la muratura portante. Tale collegamento con le strutture murarie è ulteriormente reso efficace prolungando alcune delle barre filettate fino ad innestarsi al cordolo in C.A. esistente (part. 2).





## PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte prog. preliminari

### Basilica di San Domenico di Siena

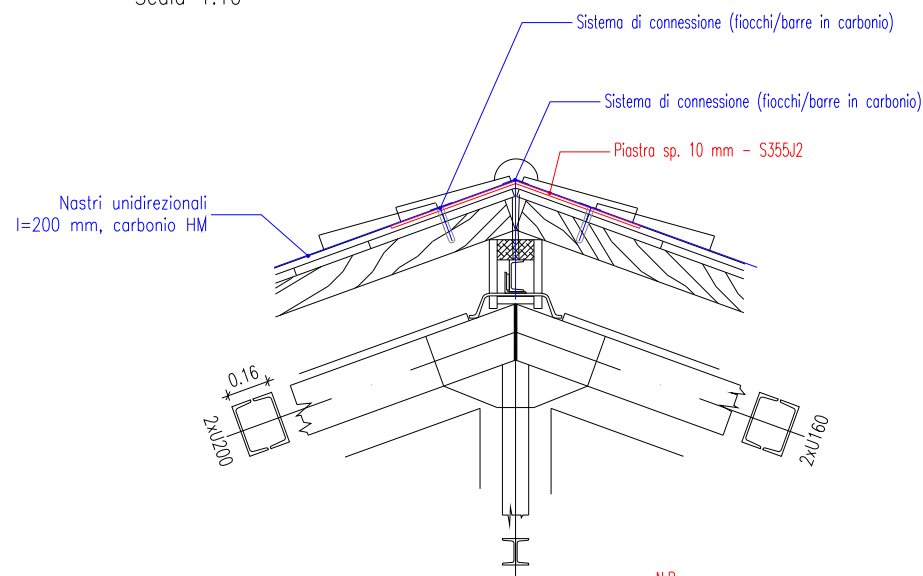
#### Step di consolidamento

Dove non è possibile ancorarsi sulle murature perimetrali, la proposta d'intervento prevede un ancoraggio che collega i sistemi piastra metallica di ripartizione dei controventi/tavolati/travicelli/terzere metalliche e tavolati/travicelli/terzere metalliche (part. 3 e part. 4 rispettivamente).

Inserendo delle barre in carbonio (FBCBAR10) del diametro  $\varnothing 10$  mm nel foro appositamente preparato, in modo tale da creare un collegamento rigido con le terzere metalliche.

In alternativa ai nastri impregnati di larghezza 50 mm è possibile utilizzare un adesivo (FBEPOX-30) ovvero una resina epossidica tissotropica unita ad un induritore, atto all'inghisaggio specifico di barre in carbonio.

PARTICOLARE N.3  
Situazione post-intervento  
Sommità delle falde di copertura  
Scala 1:10



N.B.

A solidarizzare ulteriormente la piastra metallica alle strutture lignee si prevede l'inserimento di viti mordenti per uso specifico legno (dimensionamento nel numero in sede di progetto esecutivo)



## PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte prog. preliminari

### Basilica di San Domenico di Siena

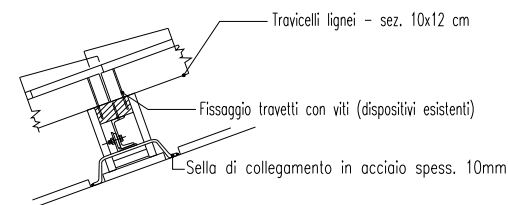
#### Step di consolidamento

Dove non è possibile ancorarsi sulle murature perimetrali, la proposta d'intervento prevede un ancoraggio che collega i sistemi piastra metallica di ripartizione dei controventi/tavolati/travicelli/terzere metalliche e tavolati/travicelli/terzere metalliche (part. 3 e part. 4 rispettivamente).

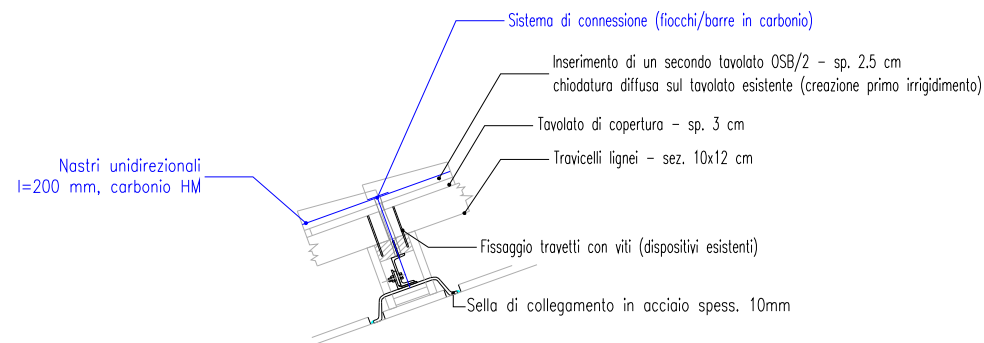
Inserendo delle barre in carbonio (FBCBAR10) del diametro  $\varnothing 10$  mm nel foro appositamente preparato, in modo tale da creare un collegamento rigido con le terzere metalliche.

In alternativa ai nastri impregnati di larghezza 50 mm è possibile utilizzare un adesivo (FBEPOX-30) ovvero una resina epossidica tissotropica unita ad un induritore, atto all'inghisaggio specifico di barre in carbonio.

PARTICOLARE N.4  
Situazione pre-intervento  
Innesto tessuti/travicelli/terzere  
Scala 1:10



PARTICOLARE N.4  
Situazione post-intervento  
Innesto tessuti/travicelli/terzere  
Scala 1:10





# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO

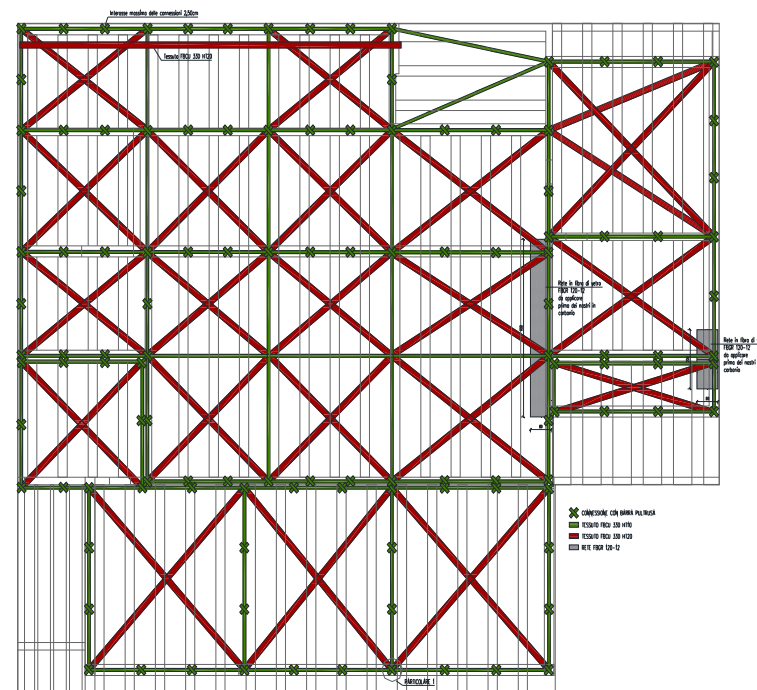
## Scopo dell'intervento:

L'obiettivo dell'intervento è di garantire un funzionamento della copertura come diaframma di piano rigido.

Il solaio esistente in laterocemento con soletta in calcestruzzo da 20 mm circa non armata all'estradosso.

Il progettista ha previsto la sostituzione del solaio di copertura con uno nuovo progettato sulla base delle NTC 2008

Come azienda abbiamo proposto di applicare dei tessuti in carbonio incollati al supporto utilizzando delle resine. Si precisa che al fine di migliorare la resistenza al distacco è prevista la connessione del composito mediante un sistema combinato di nastri unidirezionali in carbonio e barra pultrusa in GFRP diametro  $\phi 12$  mm (si consiglia una connessione ogni 2,50 m).





# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO

## Scopo dell'intervento:

Il calcolo è condotto considerando la zona centrale della copertura, ossia la porzione maggiormente impegnata con sollecitazioni membranali per la ripartizione delle azioni orizzontali fra gli elementi di controvento (pareti di taglio). In tale zona, infatti, si individua la maggiore distanza tra le pareti verticali (circa 15,50 m).

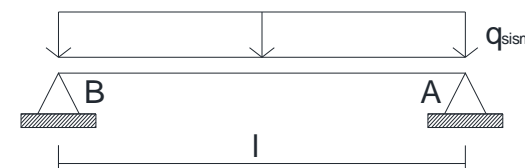
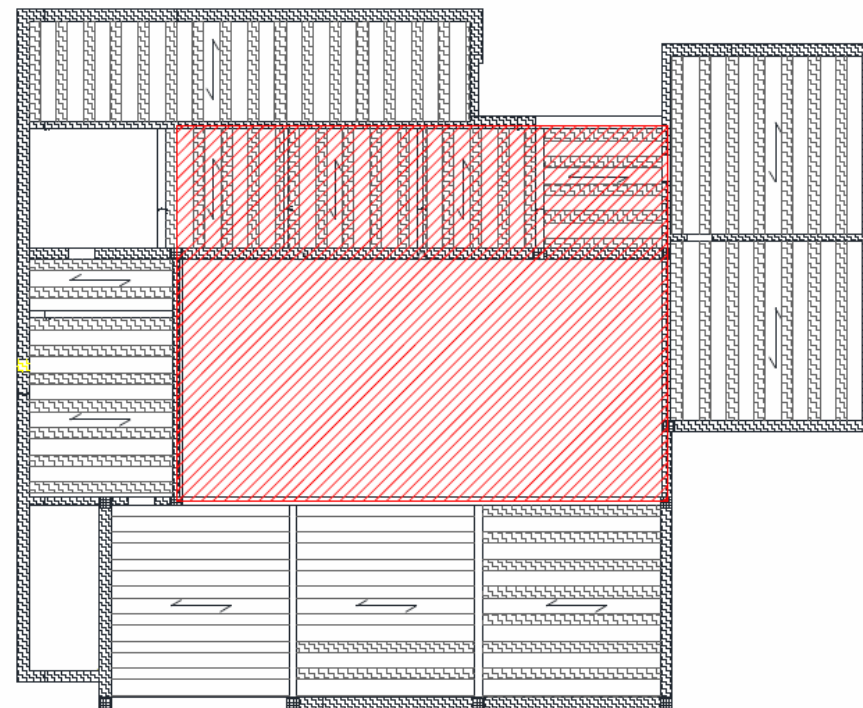
L'entità della forza sismica uniformemente distribuita che compete alla zona di solaio considerata per l'analisi è pari a 40,72 kN/m.

Risolvendo lo schema di trave in semplice appoggio con luce tra gli appoggi di 15,50 m si ottiene:

Reazione agli appoggi:  $R_A = R_B = q_{sism} \times l / 2 = 315,58 \text{ kN};$

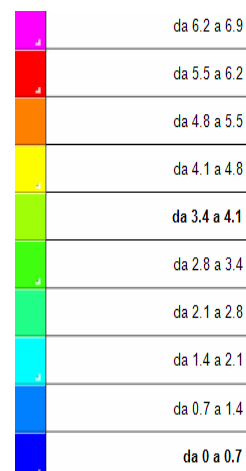
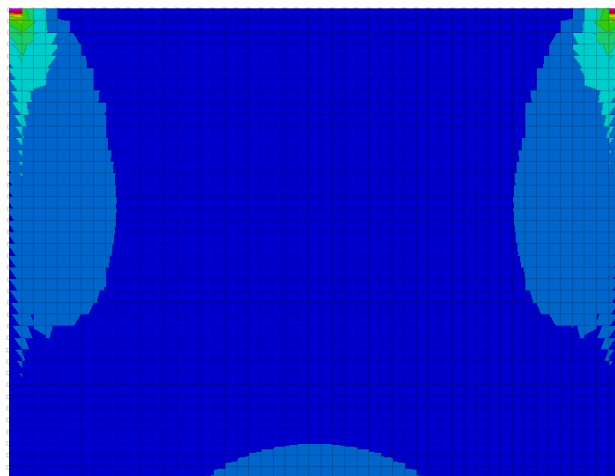
Momento sollecitante:  $M_{Ed} = q_{sism} \times l^2 / 8 = 1222,87 \text{ kNm};$

Taglio sollecitante:  $V_{Ed} = 2 = 315,58 \text{ kN}.$

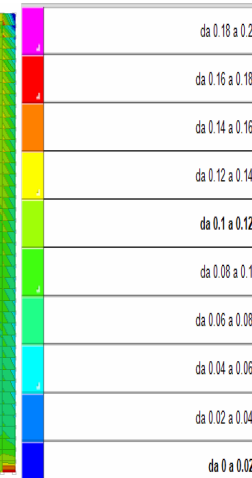
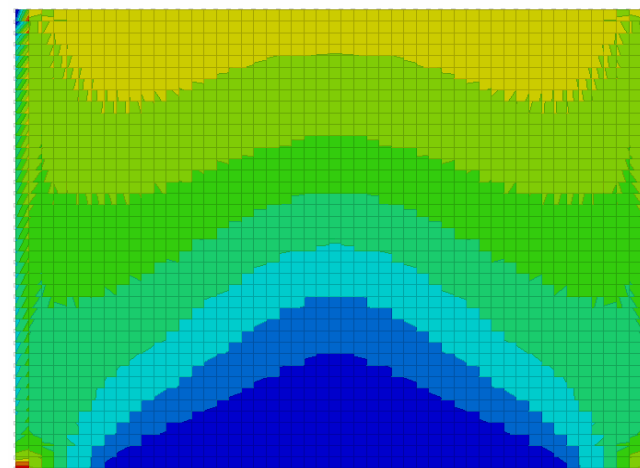




# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO



Tensioni di trazione nella soletta

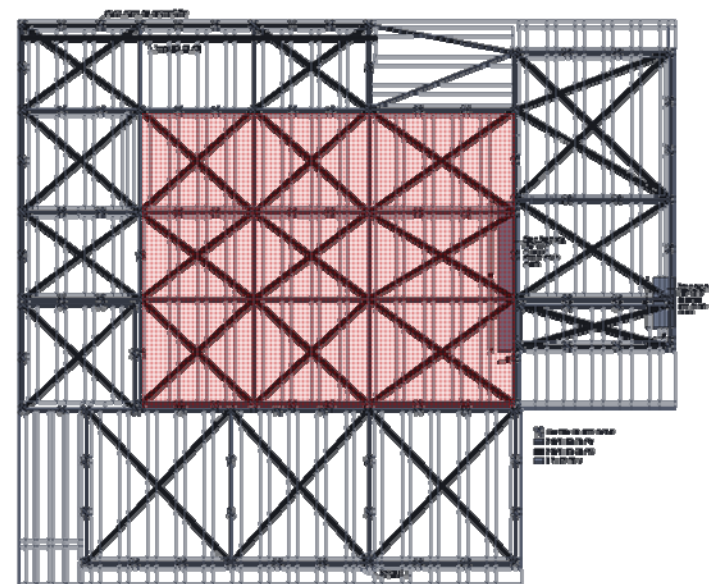
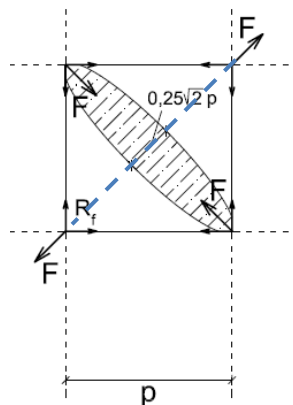


Tensioni di compressione nella soletta



# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO

Applicando i tessuti di carbonio all'interno di ogni maglia che compone la trave reticolare di piano, si innesca un meccanismo a tirante - puntone per il quale, in fase di verifica, è necessario controllare non solo che la resistenza a trazione del tessuto sia inferiore alla sollecitazione di progetto, ma anche che la resistenza a compressione che si genera all'interno nel puntone sia sufficiente a sopportare la sollecitazione di progetto. La larghezza del puntone di calcestruzzo considerata è pari a  $d = 0,25 \times (2)^{0,5} \times p$ , dove  $p$  ha il significato riportato nell'immagine sottostante:







# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO

Resistenza a trazione del tessuto in carbonio (paragrafo 4.1.2 della CNR DT 200R1/2013)

Valore di progetto dell'energia specifica di frattura:

$$\Gamma_{Fd} = \frac{k_b \cdot k_g}{FC} \cdot \sqrt{f_{cm} \cdot f_{ctm}} = 0,296 \text{ Nmm}$$

dove:

$\Gamma_{Fd}$ : energia specifica di frattura;

$k_b$ : coefficiente correttivo di tipo geometrico che per il caso in esame può essere assunto pari a 1,18;

$k_g$ : coefficiente correttivo di tipo sperimentale pari a 0,037 mm;

FC: fattore di confidenza 1,35;

$f_{cm}$ : resistenza media a compressione del calcestruzzo 32,9 N/mm<sup>2</sup>;

$f_{ctm}$ : resistenza media a trazione del calcestruzzo 2,56 N/mm<sup>2</sup>.

Resistenza di progetto del tessuto :

$$f_{td} = \frac{1}{\gamma_{td}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_t \cdot \Gamma_{Fd}}{t_t}} = 773,29 \text{ N/mm}^2$$

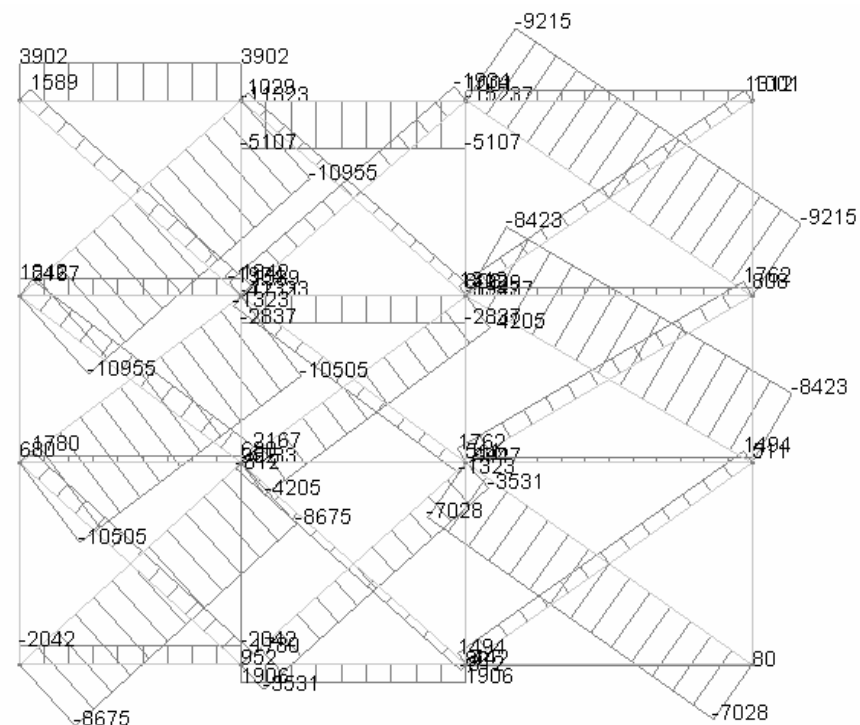
dove:

$f_{td}$ : resistenza di progetto del composito;

$\gamma_{td}$ : coefficiente di sicurezza pari a 1,20;

$E_t$ : modulo elastico a trazione del rinforzo 240000 N/mm<sup>2</sup>;

$t_t$ : spessore del rinforzo pari a 0,165 mm.



Sforzo assiale lungo le diagonali.





# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO

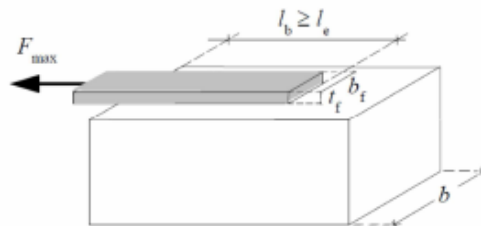
Forza a trazione di progetto sviluppabile dal composito di larghezza pari a 100 mm:

$$F_{\text{frd}} = A \times f_{\text{frd}} = 17 \text{ mm}^2 \times 773,29 = 13146 \text{ N} = 13,15 \text{ kN.}$$

Forza a trazione di progetto sviluppabile dal composito di larghezza pari a 200 mm:

$$F_{\text{frd}} = A \times f_{\text{frd}} = 34 \text{ mm}^2 \times 773,29 = 26292 \text{ N} = 26,29 \text{ kN.}$$

La lunghezza di ancoraggio minima di progetto  $l_{\text{ed}}$ , per garantire lo sviluppo della forza determinata è pari a 200 mm. Tale valore è stato ottenuto applicando la seguente espressione



$$l_{\text{ed}} = \max \left\{ \frac{1}{\gamma_{\text{Rd}} \cdot f_{\text{bd}}} \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_{\text{f}} \cdot t_{\text{f}} \cdot F_{\text{frd}}}{2}}, 200 \text{ mm} \right\} \quad l_{\text{ed}} = \max [72,06 \text{ mm}; 200 \text{ mm}] = 200 \text{ mm}$$

dove:

$f_{\text{bd}}$ :  $2 \times \Gamma_{\text{FRd}} / s_u = 2 \times 0,334 / 0,25 = 2,67 \text{ N/mm}^2$ ,  $s_u$  rappresenta il valore ultimo dello scorrimento tra FRP e supporto

$\gamma_{\text{Rd}}$ : coefficiente correttivo pari a 1,25.



# INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO







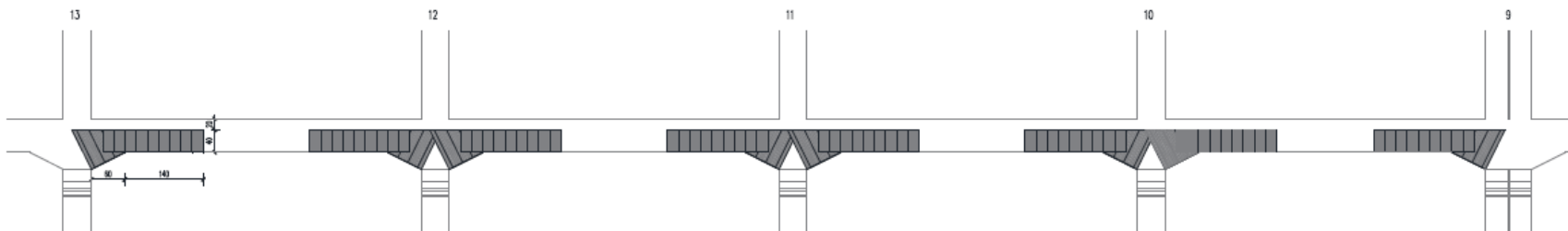
## INTERVENTO DI RINFORZO SU UNA COPERTURA IN LATEROCEMENTO





# PROGETTAZIONE DEI RINFORZI IN FRP - Proposte esecutive

Rinforzo della trave di supporto del nuovo carroponete MC1 - Cartiera di Tolmezzo Burgo Group S.p.A.



*Fig. 1. – Disposizione dei tessuti in lungo lo sviluppo della trave*

## 1.2.2. Tessuto in fibra di carbonio FBCU 330 HT20

Aspetto:	Tessuto unidirezionale;
Larghezza del nastro:	200 mm;
Area del rinforzo:	34 mm <sup>2</sup> ;
Peso di fibra nel nastro:	320 g/m <sup>2</sup> ;
Tipo di fibra:	alta tenacità;
Densità della fibra:	1,78 g/cm <sup>3</sup> ;
Tensione di rottura a trazione nastro:	$f_{tu} \geq 3500 \text{ N/mm}^2$ ;
Modulo elastico a trazione del nastro:	$E_r = 240000 \text{ N/mm}^2$ ;
Tensione di rottura a trazione fibra:	4800 N/mm <sup>2</sup> ;
Modulo elastico a trazione della fibra:	240000 N/mm <sup>2</sup> ;
Allungamento a rottura della fibra:	$\geq 1,50 \%$ .





## RINFORZO A TAGLIO TRAVE IN C.A.







## NORMATIVE DI RIFERIMENTO

“Linea Guida per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a, c.a.p. e murarie mediante FRP” rilasciato dal C.S.LL.PP il 24 luglio 2009;

DT 200 R1/2012 “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Intervento di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a., c.a.p. e murarie” rilasciato dal CNR il 8 marzo 2012;

DT 201/2005 “Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni relative a Interventi di consolidamento Statico di Strutture lignee mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati” rilasciato dal CNR il 21 luglio 2005;

DT 202/2005 “Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni per interventi di Consolidamento Statico di Strutture Metalliche mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati” rilasciato dal CNR il 20 ottobre 2005;

DT 203/2006 “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo di strutture in calcestruzzo armato con barre di materiale composito fibrorinforzato” rilasciato dal CNR il 18 giugno 2006;

DT 205/2007 “Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione ed il controllo di strutture realizzate con profili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP)” rilasciato dal CNR il 9 ottobre 2008.



## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. 14.01.2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;

Circolare n. 617 del C.S.LL.PP. del 02.02.2009;

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”, Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 10 ottobre 2013;

“Linee guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni”, Dipartimento della Protezione Civile, ReLUIS, Bozza agosto 2009;

Circolare n.65/AA.GG. del 10 Aprile 1997, “Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”.

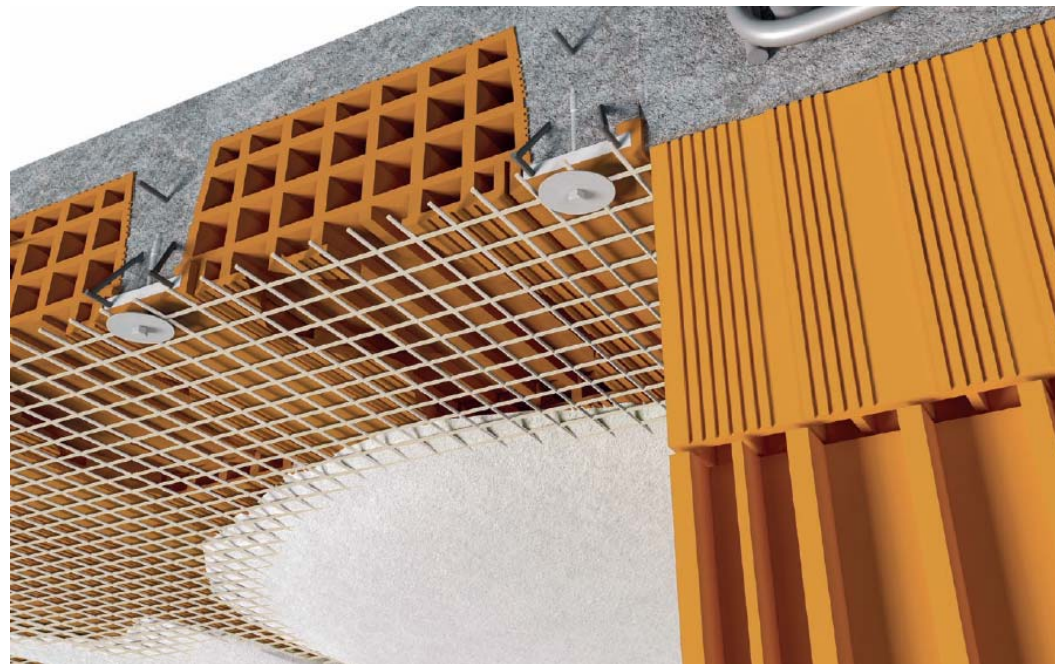


Sistema per la messa in sicurezza dei solai:

***CARATTERISTICHE PRINCIPALI:***

- Reti in GFRP;
- Connettori in acciaio galvanizzato e inox.

**SISTEMA LIFE+**





# Diversi fattori:

Errori di progettazione

Errori di esecuzione

Scelta dei materiali

Modifica delle condizioni statiche del solaio nel corso della sua vita utile

Condizioni ambientali

Mancata manutenzione

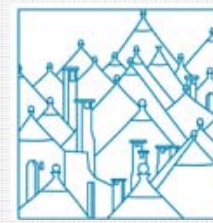


# CONVEGNO TECNICO

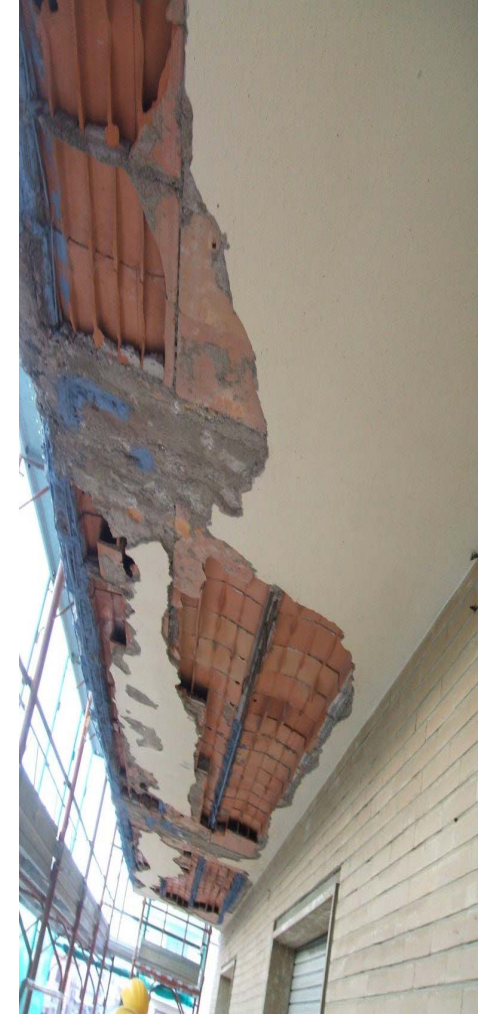
## Tecniche di rinforzo strutturale di edifici con materiali compositi

Trani (BT), martedì 25 ottobre 2016

Ore 14:30



**OIBA**  
ORDINE DEGLI INGEGNERI  
della Provincia di Bari





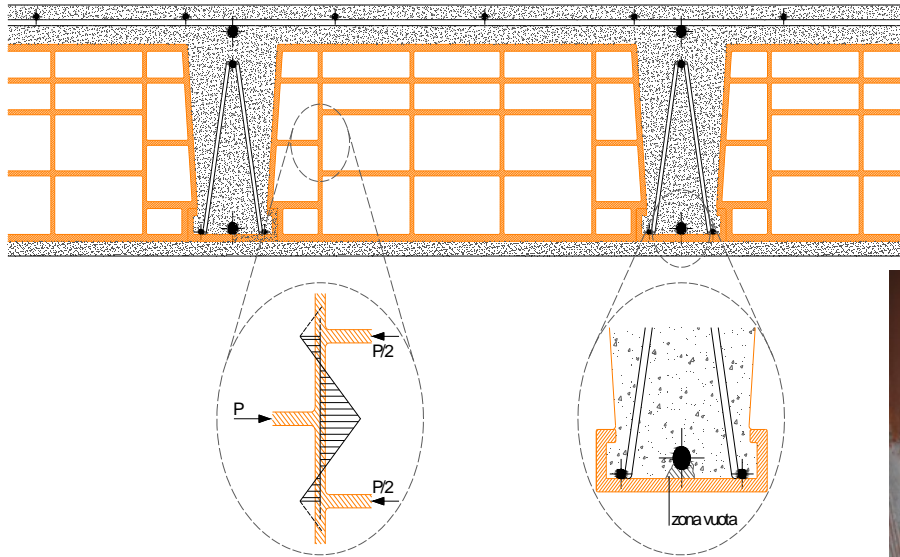


## Distacco del fondello per problemi di umidità ed eccessivo gradiente termico





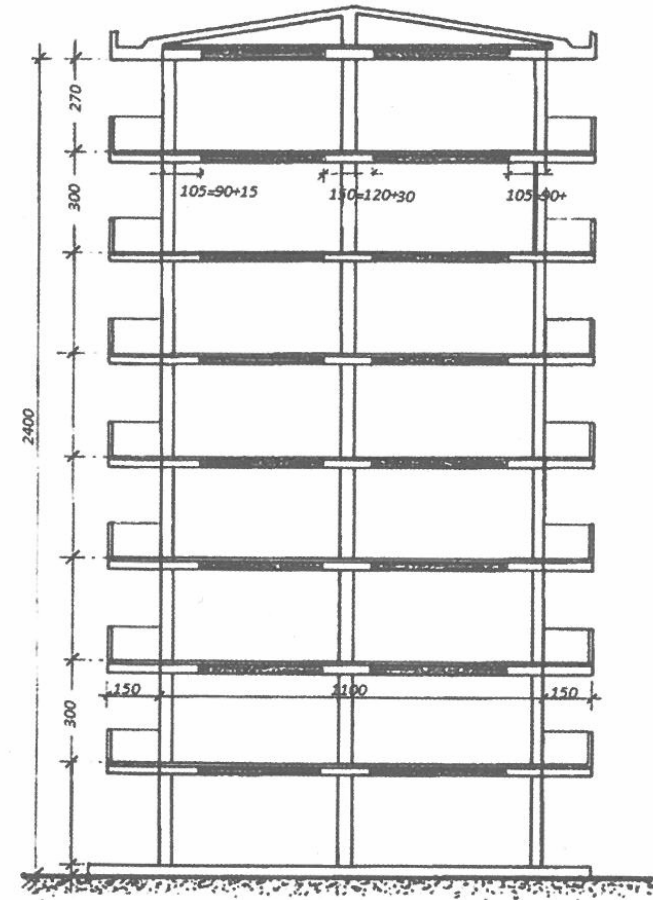
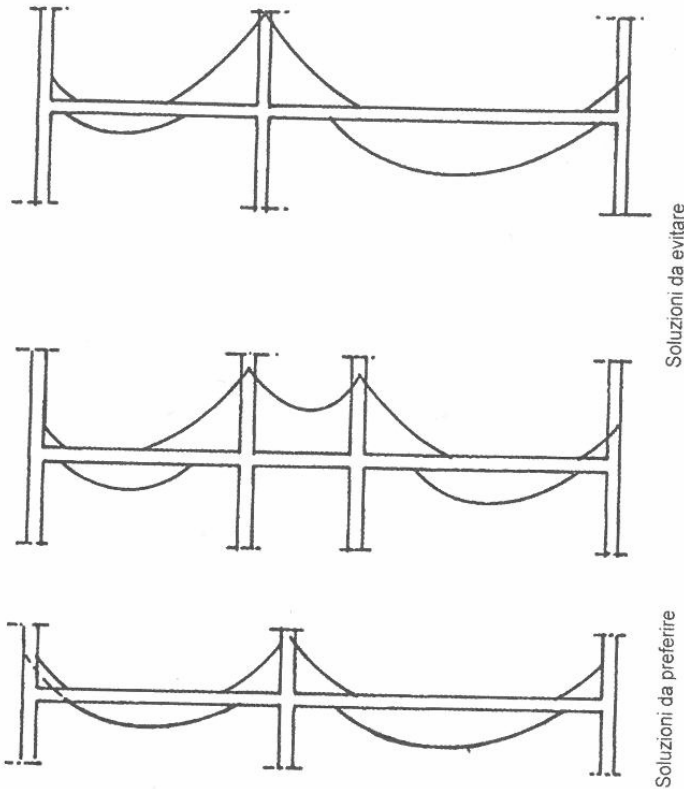
## Distacco del fondello causato dall'assenza di copriferro





Sollecitazioni elevate sul solaio:

rapporto luce/altezza >25/30







### Analisi dei carichi per un solaio in laterocemento $h=(24+4)$ cm con interasse 60cm

Peso di una pignatta da 24x50x25 cm: 0,556 kN/m<sup>2</sup>;

Peso dell'intonaco esistente da 20 mm: 0,40 kN/m<sup>2</sup>;

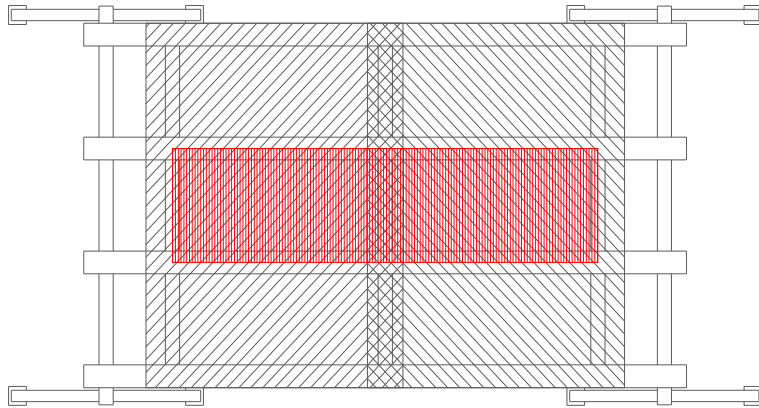
Peso totale - applicazione del sistema "a vista": 0,956 kN/m<sup>2</sup>;

---

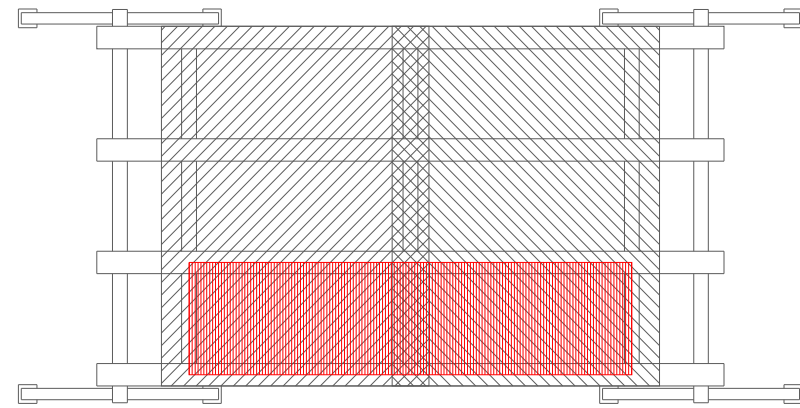
Peso di un eventuale intonaco nuovo 20 mm: 0,40 kN/m<sup>2</sup>;

---

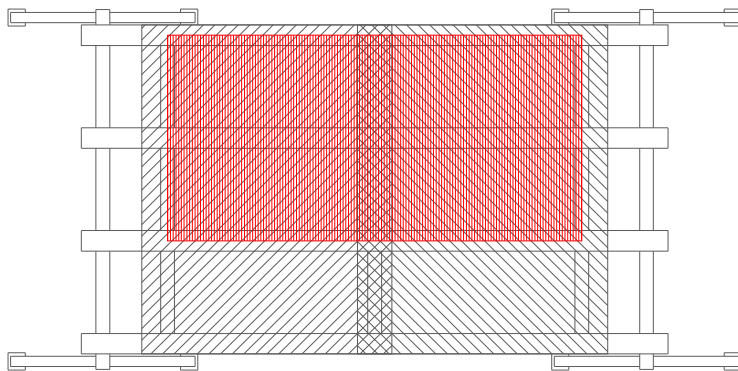
Peso totale - applicazione del sistema "con intonaco": 1,356 kN/m<sup>2</sup>;



Prima prova: Verifica a flessione della rete

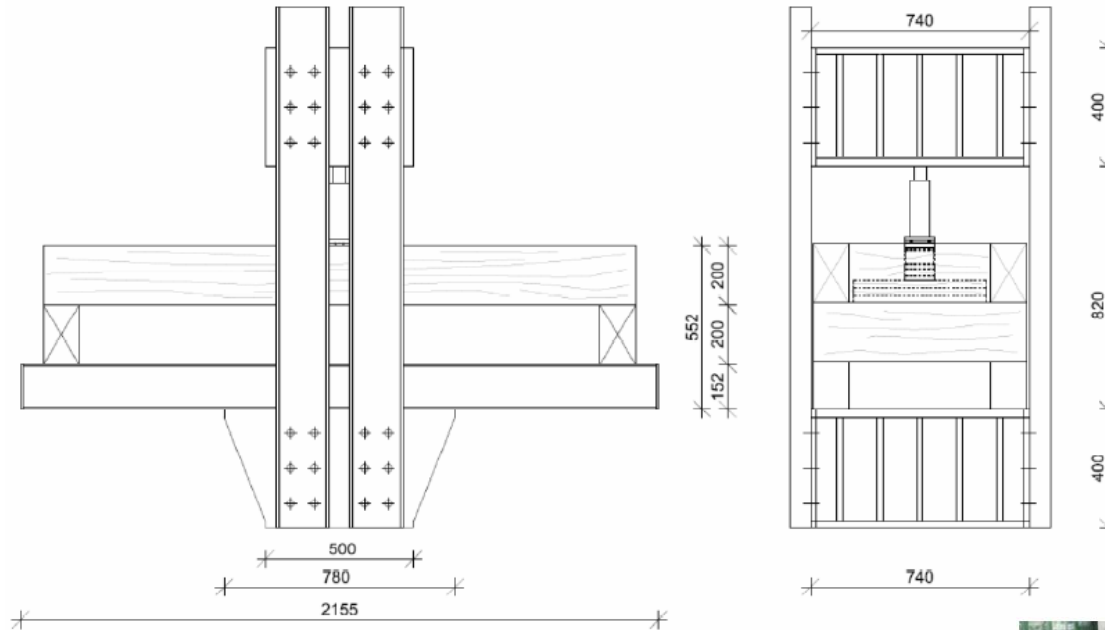


Seconda prova: Verifica della connessione d'angolo

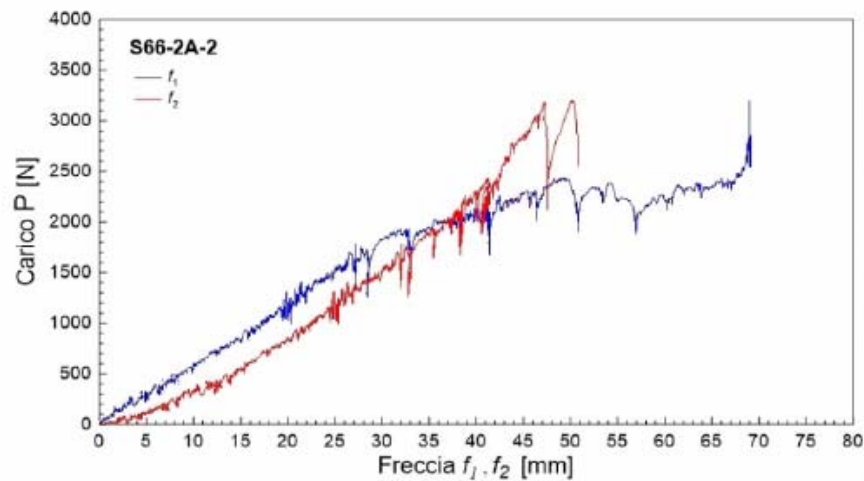
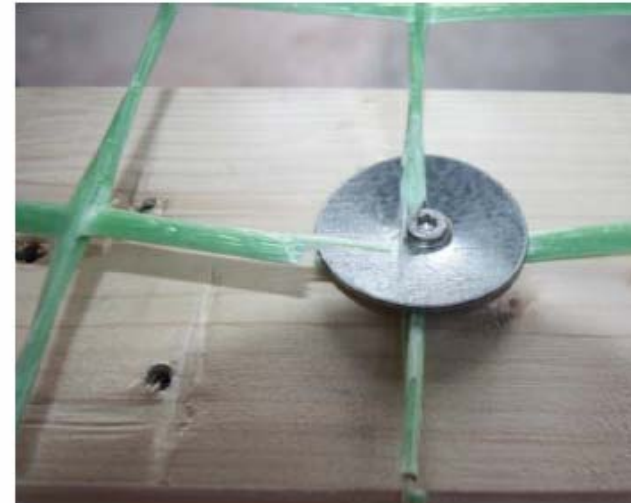
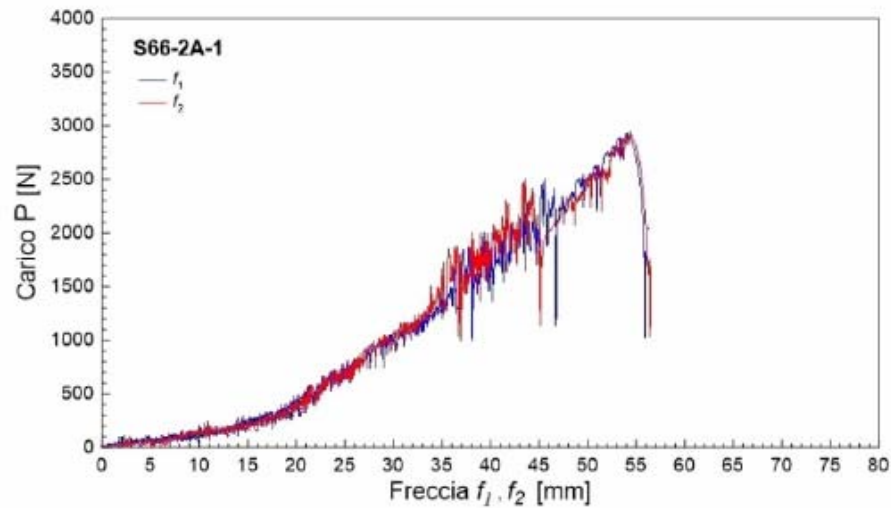


Terza prova: Verifica della connessione centrale





# LA SPERIMENTAZIONE





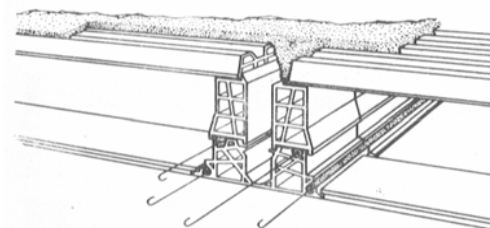
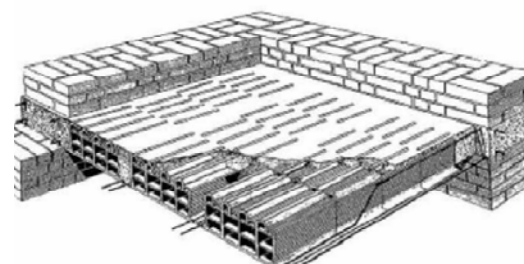
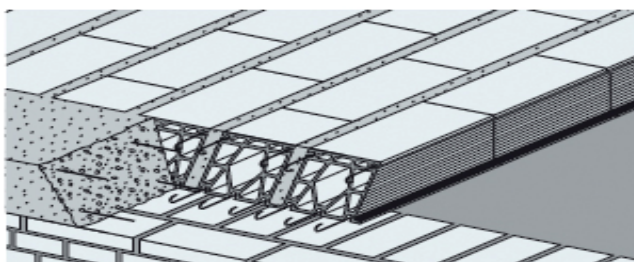
<b>ID</b>	<b>Carico massimo [N]</b>	<b>Area d'applicazione [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Capacità portante [N/m<sup>2</sup>]</b>
S66-2A-1	2937	0.8x0.6	6118
S66-2A-2	3197	0.8x0.6	6660
S66-1A-1	2880	0.8x0.6	6001
S66-1A-2	2953	0.8x0.6	6152
S99-1A-1	3840	0.8x0.6	7999
S99-1A-2	3539	0.8x0.6	7373
S66-2C-1	4720	0.8x0.6	9833
S66-2C-2	5082	0.8x0.6	10587
S66-1C-1	5681	0.8x0.6	11836
S66-1C-2	4029	0.8x0.6	8394
S99-1C-1	4182	0.8x0.6	8713
S99-1C-2	4806	0.8x0.6	10012



Dalla seconda metà dello scorso secolo sono state prodotte e commercializzate **molte** le **tipologie di solaio**.

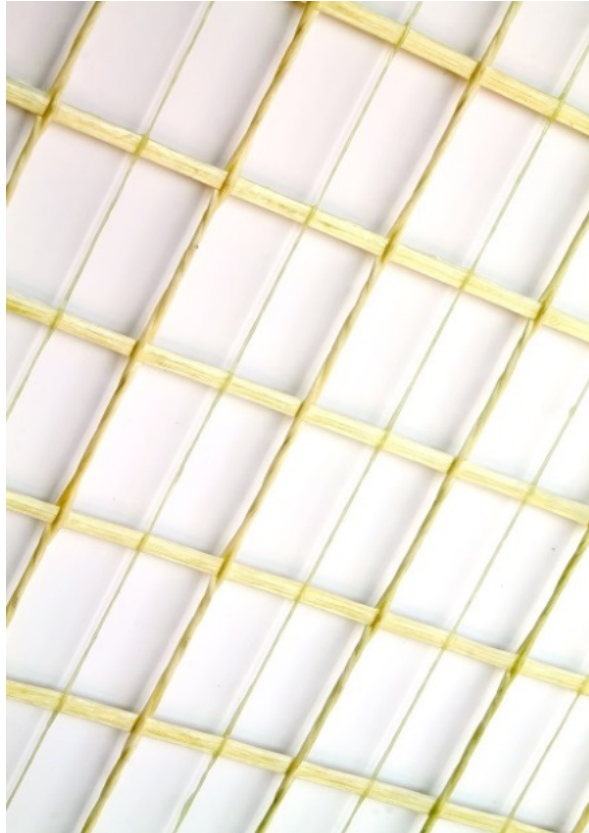
Le tipologie dei solai dipendono:

- Dall'area geografica e dal periodo storico;
- Caratteristiche geometriche dei travetti.



E' fondamentale **conoscere** le varie tipologie di solaio in modo **per** consigliare la **corretta scelta dell'ancoraggio**.





**FB MESH 66x66/33T96**



**FB MESH 99x99/33T96**





### Caratteristiche geometriche del solaio:

Altezza del solaio: 24 cm;

Altezza della soletta: 2 cm;

Altezza della pignatta: 22 cm;

Interasse dei travetti: 50 cm;

Larghezza del travetto: 12 cm;

Presenza di un intonaco: Sì;





### Valutazione del carico da sfondellamento:

Considerando un peso di volume delle pignatte in laterizio di  $520 \text{ kg/m}^3$ , la presenza all'intradosso di un intonaco da 2 cm e l'eventualità di uno secondo strato di un nuovo intonaco di finitura da 2 cm il carico da sfondellamento alla SLU può essere stimato come:

$$S_{E1,d} = \gamma_G \times S_{E1,k} = 253 \text{ kg/m}^2.$$

$$= 1,3 \times [(520 \text{ kg/m}^3 \times 0,22 \text{ m}) + (2000 \text{ kg/m}^3 \times 0,02) \times 2] =$$

Al carico viene aggiunto il peso della rete, supponendo di utilizzare la rete **FB MESH 6x66/33T96**, il carico totale è:

$$S_{Ed} = \gamma_G \times P_{Retek} + S_{E1,d} = 254 \text{ kg/m}^2.$$





### Verifica della rete:

Sulla base di quanto indicato all'interno del Rapporto di Prova n. 140220 del 29/10/2014 "Prove di carico su reti preformate in GFRP" redatto dal laboratorio prove dell'Università di Trieste, la rete individuata per il cantiere in oggetto fissata ai travetti utilizzando almeno a connessioni al mq è in grado di sopportare un carico medio di 3690 N che equivale ad un carico uniformemente distribuito minimo di 600 kg/m<sup>2</sup>.







### Verifica della del connettore:

Adottando un numero di connessioni pari a 4 al mq del tipo **FB KIT M8x90** il carico di progetto sul singolo connettore è pari a  $254/4 = 63,5\text{kg}$ .



Il connettore scelto, secondo la ETAG 001 «Guide line for european technical approvale of Metal Anchors for use in concrete» – Allegato C «Design methods for anchorages» riesce ad offrire una resistenza a trazione su cacestruzzo fessurato/degradato C20/25 di 400 kg.







Verifica della del connettore:

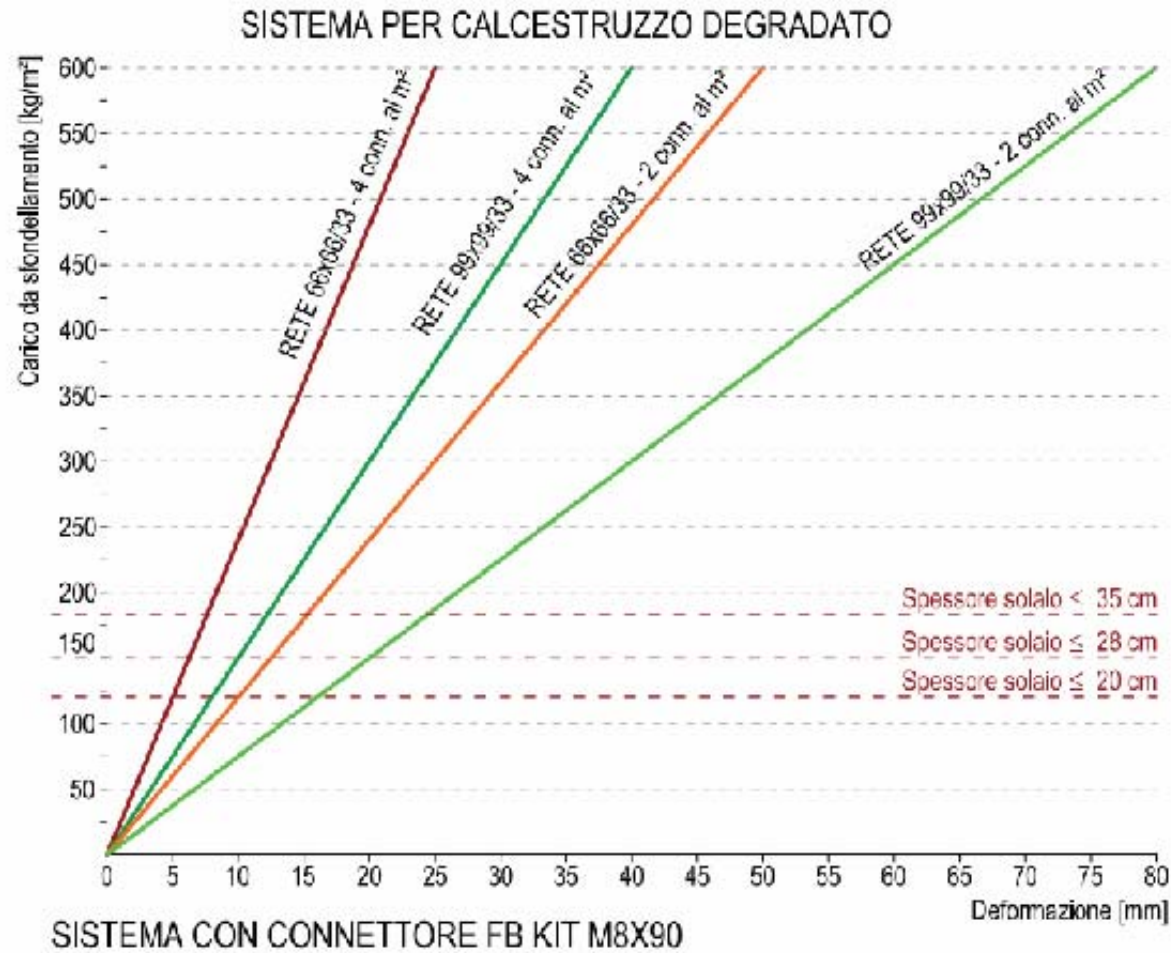
La resistenza di progetto del connettore si ottiene dividendo il valore sopra riportato per il fattore di confidenza adottato:

Supposto un livello di conoscenza LC1...

$$F_{Rd} = 400/1,35 = 296 \text{ kg} > F_{Ed} = 63,4 \text{ kg}$$

Le verifiche sono soddisfatte.







Modalità applicativa	Stato di degrado del calcestruzzo	Limitazione altezza solaio *	Tipo di connettore	Caratteristiche ambientali			Num. connettori al mq	Tipo di rete
				INTERNO	ESTERNO	AGGRESSIVO		
				Tipo acciaio	Tipo acciaio	Tipo acciaio		
Con controsoffitto o a vista	Poco degradato	< 28 cm 30 - 35 cm	Tassello in Nylon e vite TPS <b>FBKIT-8x100</b>	Galvanizzato	Galvanizzato o Inox	Inox	2 3	FBMESH 66x66/33T96N 99x99/33T96N
	Molto degradato	Nessuna limitazione	Connettore in acciaio <b>FBKIT-M8x90</b>	Galvanizzato	Galvanizzato o Inox	Inox	min. 2	FBMESH 66x66/33T96N 99x99/33T96N
Sotto intonaco	Poco degradato	Nessuna limitazione	Tassello in Nylon e vite TPS <b>FBKIT-8x100</b>	Galvanizzato o Inox	Galvanizzato o Inox	Inox	min. 3	FBMESH 66x66/33T96N 99x99/33T96N
	Molto degradato	Nessuna limitazione	Connettore in acciaio <b>FBKIT-M8x90</b>	Galvanizzato o Inox	Galvanizzato o Inox	Inox	min. 3	FBMESH 66x66/33T96N 99x99/33T96N

\* I valori indicati fanno riferimento a: solaio misto latero-cemento, altezza della soletta pari a 5 cm, assenza di intonaco all'intradosso, CS minimo pari a 2.





1 di 4

### Messa in sicurezza dei solai in laterocemento

#### Sistema FIBREBUILD LIFE+ LATEROCEMENTO

##### Il problema

Con il termine sfondellamento dei solai s'intende il distacco e al successiva caduta della cartella inferiore dei blocchi di alleggerimento (chiamate fondelli) adoperati per la realizzazione dei solai in latero-cemento. Benché dal punto di vista teorico i blocchi di alleggerimento non collaborano con il travetto in cemento armato o in cemento armato precompresso, in realtà non sono indipendenti dal comportamento del sistema strutturale in quanto, per la congruenza agli spostamenti, parte delle azioni strutturali vengono assorbite da quest'ultimi, questa collaborazione tra l'elemento in calcestruzzo e quello in laterizio contribuisce in parte all'incremento della rigidezza del solaio.

Il distacco di tali elementi dal soffitto rappresenta un pericolo per l'incolumità delle persone presenti nei locali sottostanti. Per rendersi conto della pericolosità dello sfondellamento è sufficiente ricordare che il crollo improvviso di una porzione di soffitto comporta il distacco di circa 40 - 90 kg/m<sup>2</sup> di materiale.



Figura 1. Solaio sfondellato

Il sistema **FIBREBUILD LIFE+** consente di mettere in sicurezza in modo veloce i solai in laterocemento; per la posa in opera si procede srotolando il rotolo di rete in G.F.R.P. della Fibre Net all'intradosso del solaio lungo la direzione ortogonale all'orientamento del solaio e fissandolo in corrispondenza dei travetti in c.a. mediante dei connettori di tipo meccanico. Si consiglia prima di procedere alla posa del sistema di verificare la posizione delle armature longitudinali.



Figura 2. Sistema FIBREBUILD LIFE+ - ANTISFONDELLAMENTO

[www.fibrenet.it](http://www.fibrenet.it)

FIBRE NET S.R.L. a Socio Unico

Sede Legale: Via dei Lini, 1 - 33030 Moruzzo (Ud)

Sede Operativa: Via Jacopo Stellini, 3 - 33050 Z.U. Pavia di Udine (Ud)

Tel.: +39 0432 600918 - Fax: +39 0432 526199 - email: info@fibrenet.info - web: www.fibrenet.it

C.F. e P.IVA 02212620302 - Capitale Sociale Euro 15.000 I.v. - Iscritt. Reg. Imp. Udine n. 02212620302

Azienda certificata  
ISO 9001 : 2008



2 di 4

### Dimensionamento del sistema di rinforzo

La presente relazione si riferisce al dimensionamento e alla verifica del sistema di messa in sicurezza dei solai **FIBREBUILD LIFE+ LATEROCEMENTO**.

Per l'intervento in oggetto si prescrive l'utilizzo della rete FB MESH 66x66/33T96 fissata ai travetti del solaio mediante 4 connettori FBKIT M8x90 completi di rondelle (diametro esterno 48mm, spessore 1,5mm) in acciaio zincato.

Per la valutazione delle caratteristiche di resistenza si considera un livello di conoscenza LC1

Il sistema **FIBREBUILD LIFE+** verrà coperto da uno strato di intonaco

#### Caratteristiche geometriche del solaio

Altezza del solaio:	24	cm
Presenza di un soletta:	SI	Altezza della soletta: 2 cm
Altezza della pignatta:	22	cm
Interasse travetti:	50	cm
Larghezza del travetto:	12	cm
Presenza di un intonaco:	SI	

#### Carico da sfondellamento

Considerando un peso di volume medio della pignatta in laterizio di 520 kg/mc, la presenza all'intradosso di un intonaco da 2 cm (peso di volume dell'intonaco 2000 kg/mc) e un'ulteriore strato di intonaco da 2 cm, il carico massimo da sfondellamento può essere stimato come:

Carico da sfondellamento al mq:	194,4	kg/m <sup>2</sup>
Peso della rete:	0,50	kg/m <sup>2</sup>
Carico totale:	194,90	kg/m <sup>2</sup>

Carico allo SLU ( $\gamma_{G1}=1,30$ ): **253,37 kg/m<sup>2</sup>**

Carico allo SLU connettore  $F_{Ed}$ : **63 kg/connettore**

Verifica della rete in GERB FB MESH 66x66/33T96

Sulla base di quanto indicato all'interno del Rapporto di Prova n. 140220 del 29/10/2014 "Prove di carico su reti preformate in GFRP" redatto dal laboratorio prove dell'Università di Trieste, la rete individuata per il cantiere in oggetto fissata ai travetti utilizzando almeno a connessioni al mq è in grado di sopportare un carico medio di 3690 N che equivale ad un carico uniformemente distribuito minimo di 600 kg/m<sup>2</sup>.

$$\text{Verifica: } F_{Rd} = 600 \text{ kg/m}^2 > F_{Ed} = 253,4 \text{ kg/m}^2$$

La verifica è soddisfatta

#### Verifica del connettore

Il connettore individuato per il cantiere in oggetto, secondo ETAG 001 "Guide line for european technical approval of Metal Anchors for use in concrete" - Allegato C "Design methods for anchorages" è in grado di offrire una resistenza a trazione su calcestruzzo fessurato C20/25 considerando una profondità minima di ancoraggio di 48 mm  $\geq 400$  kg

Resistenza di progetto del connettore  $F_{Rd}$ : 296 kg

$$\text{Verifica: } F_{Rd} = 296 \text{ kg} > F_{Ed} = 63 \text{ kg}$$

La verifica è soddisfatta

#### Nota

Le informazioni fornite in questo documento non sono vincolanti e rappresentano solamente un valido suggerimento al progettista, che mantiene proprie le responsabilità del suo ruolo.

Pavia di Udine, 02/02/2016

Fibre Net S.r.l.

[www.fibrenet.it](http://www.fibrenet.it)

FIBRE NET S.R.L. a Socio Unico

Sede Legale: Via dei Lini, 1 - 33030 Moruzzo (Ud)

Sede Operativa: Via Jacopo Stellini, 3 - 33050 Z.U. Pavia di Udine (Ud)

Tel.: +39 0432 600918 - Fax: +39 0432 526199 - email: info@fibrenet.info - web: www.fibrenet.it

C.F. e P.IVA 02212620302 - Capitale Sociale Euro 15.000 I.v. - Iscritt. Reg. Imp. Udine n. 02212620302

Azienda certificata  
ISO 9001 : 2008







## Scuola Materna Carlo Collodi - Pino Torinese (TO)





## Edificio scolastico polivalente - Sestriere (TO)







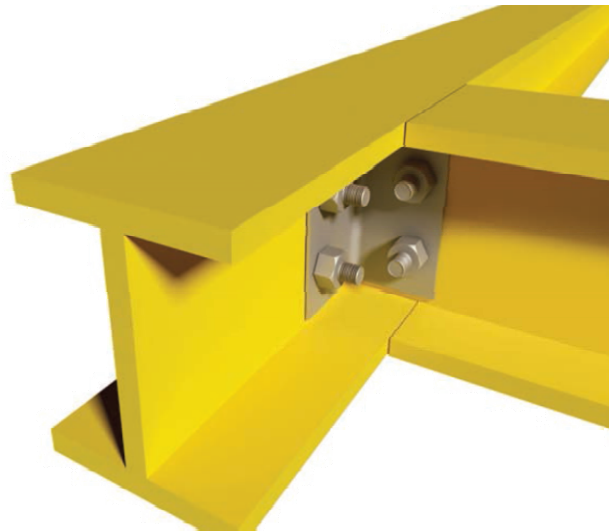
## Scuola Elementare Rodari - Arcisate (VA)





# I PROFILI PULTRUSI IN GFRP NELLE COSTRUZIONI

- sistemi intelaiati, rinforzi, consolidamento dell'esistente -







## IL PROCESSO DI PULTRUSIONE

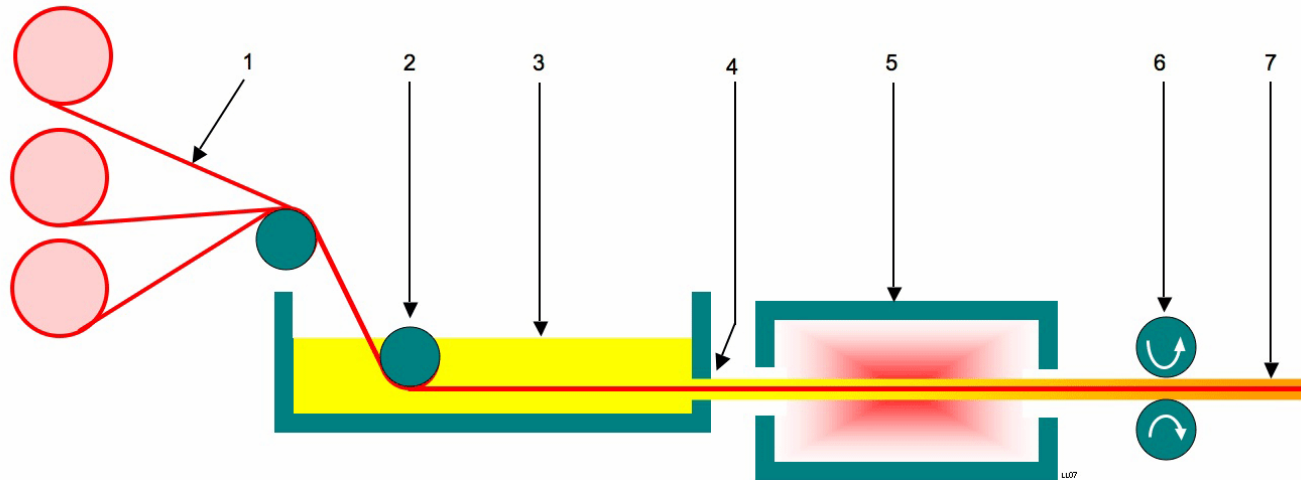
*pull + extrusion*

*estrusione per trazione*

Processo continuo utilizzato per produrre profilati polimerici rinforzati



## IL PROCESSO DI PULTRUSIONE



- Fibre (fase dispersa)
- Rullo
- Impregnazione della fibra
- Uscita della vasca di impregnazione
- Cura
- Tiraggio
- Materiale composito  
(a matrice polimerica rinforzato)



# COMPORTAMENTO MECCANICO DEI PULTRUSI

Materiali a confronto:

	PULTRUSO	ACCIAIO	ALLUMINIO
Densità [g/cm <sup>3</sup> ]	1,80	7,85	2,80
Resistenza a trazione [MPa]	350 - 400	370 - 500	200 - 400
Resistenza a flessione [MPa]	400 - 450	330 - 500	200 - 400
Modulo elastico [GPa]	25 - 30	210	70
Modulo a flessione [GPa]	15 - 20	210	70
Allungamento a trazione [%]	1.5 – 2.0	13 - 35	5 - 35
Conducibilità termica [W/m°C]	0.25 – 0.35	100 - 230	100 - 230

La quantità e la direzione longitudinale dei fili di rinforzo conferiscono una resistenza pari a quella dell'acciaio e un peso specifico inferiore a quello dell'alluminio.



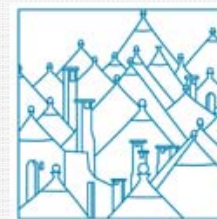
## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Crescente richiesta di soluzioni strutturali ha portato al recepimento, in Italia, delle normative europee:

- EN 13706-1
  - Certificate of Conformity of the material grade E23 for Fiberline Construction Profiles made of Pultruded Glass-Fibre-Reinforced Polymers
- EN 13706-2
- EN 13706-3

Tali norme definiscono i requisiti minimi necessari a classificare i profili pultrusi come “strutturali”





## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Al fine di disciplinare l'uso dei materiali compositi in ambito prettamente strutturale, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) ha pubblicato una serie di documenti tecnici

- DT 200R1/2013
  - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Intervento di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a., c.a.p. e murarie
- DT 205/2007
  - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture realizzate con Profili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP)



## SCHEDE TECNICHE

### FIBREBUILD

SISTEMI PER IL RINFORZO STRUTTURALE

**SCHEMA TECNICA**

**FBPROFILE C150 X 45 X 8**

doc. FB TEC 1933 - rev. 1.0 - 03/2014

### PROFILO PULTRUSO IN GFRP

FBPROFILE C150 X 45 X 8

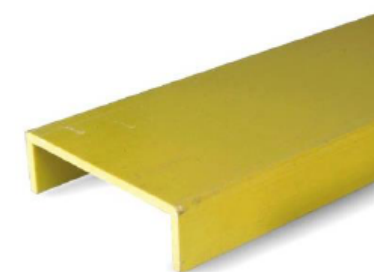
*adatto per la realizzazione di strutture intelaiate leggere e per opere di rinforzo di strutture esistenti*

**FBPROFILE C150x45x8** è un profilo pultruso in materiale composito GFRP preformato, composto da fibre di vetro chimicamente resistenti e resine poliesteri termoindurenti, con sezione a C di dimensioni 150x45x8 mm.

#### VOCE DI CAPITOLATO

Profilo pultruso in materiale composito G.F.R.P. (Glass Fiber Reinforced Polymer) FBPROFILE C150x45x8 di Fibre Net, o equivalente, composto da fibre di vetro chimicamente resistenti e resine poliesteri termoindurenti, sezione a C di dimensioni 150x45x8 mm, resistenza caratteristica a trazione in direzione longitudinale 395 MPa, modulo elastico medio a trazione in direzione longitudinale 32600 MPa. Lunghezza 6 m. Colore standard RAL 1016.

Caratteristiche geometriche	Normativa	Valore
Altezza	---	150 mm
Larghezza	---	45 mm
Spessore ali e anima	---	8 mm
Area	---	1794 mm <sup>2</sup>
Momento di inerzia I <sub>x</sub>	---	5237429 mm <sup>4</sup>
Peso	---	3,2 kg/m





## SCHEDE TECNICHE

Caratteristiche meccaniche	Normativa	Valore
Resistenza a trazione in dir. longitudinale	EN ISO 527-4:1997	395 MPa
Modulo elastico a trazione - longitudinale	EN ISO 527-4:1997	32600 MPa
Resistenza a trazione in dir. trasversale	EN ISO 527-4:1997	19 MPa
Modulo elastico a trazione - trasversale	EN ISO 527-4:1997	3800 MPa
Resistenza a compressione in dir. long.	EN ISO 14126:1999	360 MPa
Resistenza a compressione in dir. trasv.	EN ISO 14126:1999	74 MPa
Resistenza a flessione in dir. longitudinale	EN ISO 14125:1998	415 MPa
Modulo elastico a flessione - longitudinale	EN ISO 14125:1998	19700 MPa
Resistenza a flessione in dir. trasversale	EN ISO 14125:1998	65 MPa
Modulo elastico a flessione - trasversale	EN ISO 14125:1998	7200 MPa
Resistenza apparente al taglio - dir. long.	EN ISO 14130:1997	25 MPa
Resistenza apparente al taglio - dir. trasv.	EN ISO 14130:1997	5 MPa
Resistenza a rifollamento - dir. long.	EN 13706-2:2002	154 MPa
Resistenza a rifollamento - dir. trasversale	EN 13706-2:2002	70 MPa



**CONFORME  
ALLA NORMA EUROPEA  
UNI EN 13706:2003  
E ALLA LINEA GUIDA  
CNR DT 205/2007**



## SCHEDE TECNICHE

Caratteristiche chimico-fisiche	Normativa	Valore
Fibra di vetro	ASTM C1666M-07	tipo E
Resina termoindurente	---	poliestere
Assorbimento d'acqua	ISO 62	0,2 %
Rigidità dielettrica	ASTM D149	5 kV/mm
Resistività dielettrica	ASTM D257	$10^{12} \Omega$
Coefficiente di dilatazione termica	ASTM D696	$4 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}^\circ\text{C}$
Conduttività termica	ASTM C177	0,35 W/mK
Rapporto in peso fibra/resina	interno	65/35 %
Comportamento a esposizione a raggi UV	ASTM G154-2006	nessun difetto (scala grigi 5)
Comportamento a calore, freddo, umidità	ISO 9142:04	nessun difetto (n. cicli 21)
Colore	RAL	1016

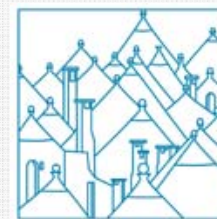
### VANTAGGI

- ottime caratteristiche meccaniche
- durabilità
- riciclabilità
- resistenza agli agenti atmosferici
- leggerezza e maneggevolezza
- rapidità e facilità di applicazione
- reversibilità

### CARATTERISTICHE

- FRP preimpregnato
- non conduce correnti elettriche
- amagneticità
- radiotrasparenza
- inossidabilità





## VANTAGGI NELL'UTILIZZO DEI PROFILI

Impiego nel rinforzo e per la conservazione del patrimonio storico, architettonico e ambientale:

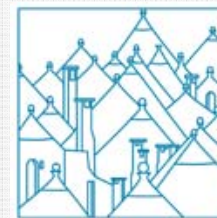
caratteristiche meccaniche e prestazionali del materiale bene si conciliano con la problematica in quanto trattasi di materiale molto leggero e reversibile;

irrigidimento degli orizzontamenti senza l'incremento notevole di peso proprio;

l'impiego con funzione di architrave per la risoluzione di problematiche puntuali;

l'irrigidimento di paramenti storici soprattutto ai piani più elevati.

Nel caso del recupero di elementi snelli in muratura storica quali torri e campanili è plausibile l'attuazione di un rinforzo alle quote più elevate assicurando elevate resistenze a fronte di ridotti carichi aggiunti.



## VANTAGGI NELL'UTILIZZO DEI PROFILI

Per quanto riguarda la conservazione dei beni ambientali la durabilità degli elementi in fibrorinforzato a matrice polimerica garantiscono, nel tempo e alle normali condizioni di servizio, il mantenimento delle prestazioni meccanico-strutturali.

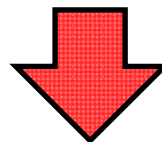
Gli aspetti caratterizzanti il materiale composito come la versatilità, dovuta alla possibilità di controllare e calibrare la risposta prestazionale a monte, la durabilità rispetto agli agenti aggressivi esterni insieme al beneficio offerto dal ridotto peso proprio suggeriscono interessanti possibilità di impiego degli elementi FRP come rinforzo strutturale, adeguamento funzionale e anti-sismico.



# SVANTAGGI NELL'UTILIZZO DEI PROFILI

## DEFORMABILITA'

L'elevata deformabilità longitudinale e trasversale dei profili pultrusi induce, nel primo caso, **valori elevati della freccia massima** quando tali elementi vengono utilizzati in presenza di **luci considerevoli**, mentre nel secondo caso, fenomeni di **instabilità locale** che condizionano la risposta strutturale globale; a tal proposito, in fase di dimensionamento, è necessario utilizzare gli algoritmi che tengono conto della deformabilità a taglio.



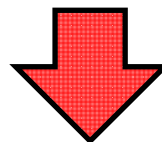
Tali problemi, legati alle caratteristiche intrinseche del materiale, sono facilmente risolvibili adottando soluzioni quali l'inserimento di travi reticolari ed il rinforzo mediante ingrossamento della sezione resistente.



## SVANTAGGI NELL'UTILIZZO DEI PROFILI

### RESISTENZA AL FUOCO

I materiali compositi FRP risultano essere molto sensibili all'esposizione ad **alte temperature**. Particolare attenzione deve essere posta quando la temperatura del composito supera quella di **transizione vetrosa della resina ( $T_g$ )**. In questa particolare situazione la **resistenza e la rigidità dell'elemento diminuiscono drasticamente**.



In condizione di esposizione al fuoco però, le proprietà meccaniche del composito possono essere salvaguardate proteggendo efficacemente l'elemento strutturale con un rivestimento di spessore adeguato, o ricorrendo ad elementi pultrusi prodotti con resine speciali, ovvero inserendo sistemi di protezione passiva. Utilizzo di rivestimenti o resine che riducono la propagazione delle fiamme e la produzione di fumi.





## DIMENSIONAMENTO E VERIFICA - CNR-DT205/2007

### PRINCIPI GENERALI:

Le **verifiche** degli elementi e dei collegamenti devono essere condotte sia nei riguardi degli stati limiti ultimi (SLU), sia degli stati limite di esercizio (SLE):

SLU: verifiche di resistenza, di stabilità e dei collegamenti;

SLE: verifiche tensionali e di deformazione.

Per ogni situazione di progetto deve essere sempre soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$E_d \leq R_d$$

Le **azioni agenti** sono prescritte dalla normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare 2 febbraio 2009, n.617, C.S.LL.PP.), con riferimento alla **vita utile** e alla **destinazione d'uso** della struttura



# DIMENSIONAMENTO E VERIFICA - CNR-DT205/2007

## VERIFICA DEI COLLEGAMENTI

I collegamenti possono essere realizzati in tre tipi:

- BULLONATI;
- INCOLLATI;
- MISTI



## DIMENSIONAMENTO E VERIFICA - CNR-DT205/2007

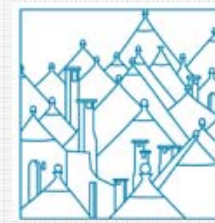
La **verifica di resistenza** del collegamento deve essere valutata considerando tutte le **modalità di crisi**:

### Collegamenti a taglio:

- Rottura per strappo del piatto;
- Rottura a taglio del piatto per strappo del bullone;
- Rifollamento del foro;
- Rottura per taglio del bullone.

### Collegamento a trazione:

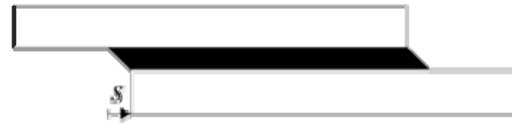
- Punzonamento del piatto;
- Rottura del bullone per trazione.



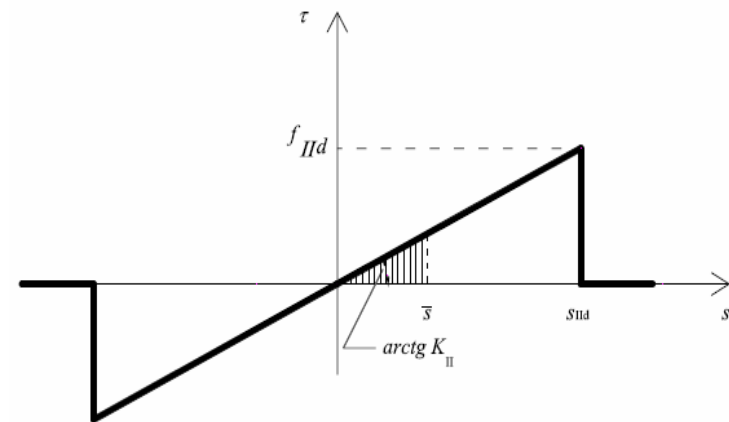
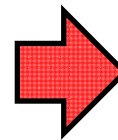
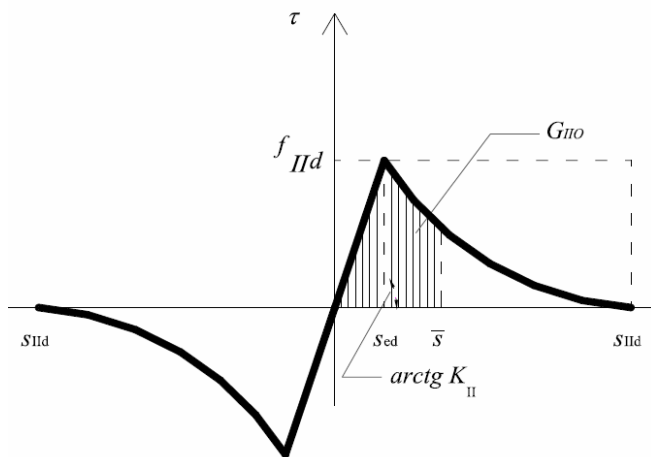
# DIMENSIONAMENTO E VERIFICA - CNR-DT205/2007

## COLLEGAMENTI INCOLLATI

L'adesivo ha la funzione di contrastare gli spostamenti tra gli elementi collegati.



Noto il legame costitutivo d'interfaccia è possibile dimensionare il collegamento.







## DIMENSIONAMENTO E VERIFICA - CNR-DT205/2007

Al fine di tener conto del comportamento viscoso, la valutazione degli spostamenti per la condizione di carico quasi-permanente deve essere eseguita assumendo valori ridotti per i moduli di elasticità ad un tempo  $t$  pari alla vita utile della struttura

$$E_L(t) = \frac{E_L}{1 + \phi_E(t)}$$

$$G_{LT}(t) = \frac{G_{LT}}{1 + \phi_G(t)}$$

$t$ (tempo da inizio caricamento)	$\phi_E(t)$	$\phi_G(t)$
1 anno	0,26	0,57
5 anni	0,42	0,98
10 anni	0,50	1,23
30 anni	0,60	1,76
50 anni	0,66	2,09



## CAMPI DI APPLICAZIONE

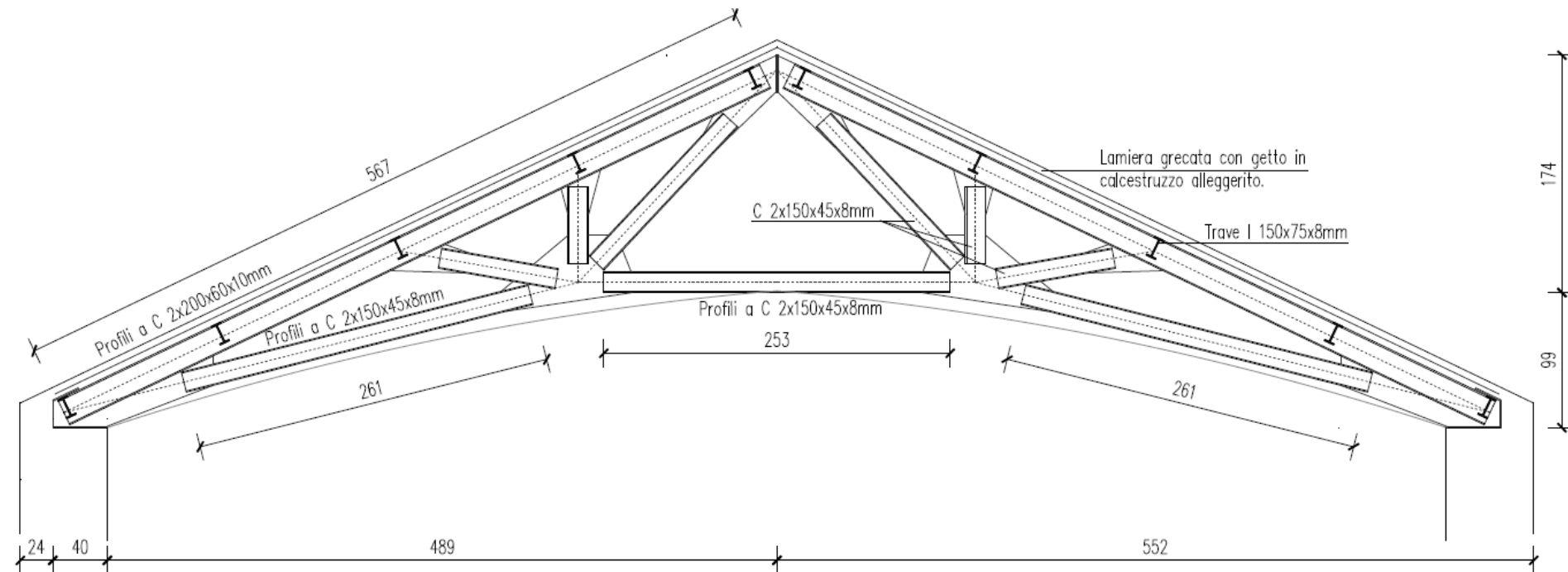
**Strutture reticolari:** Progetto preliminare, Siena (SI)





# CAMPI DI APPLICAZIONE

Strutture reticolari: Progetto preliminare, Siena (SI)

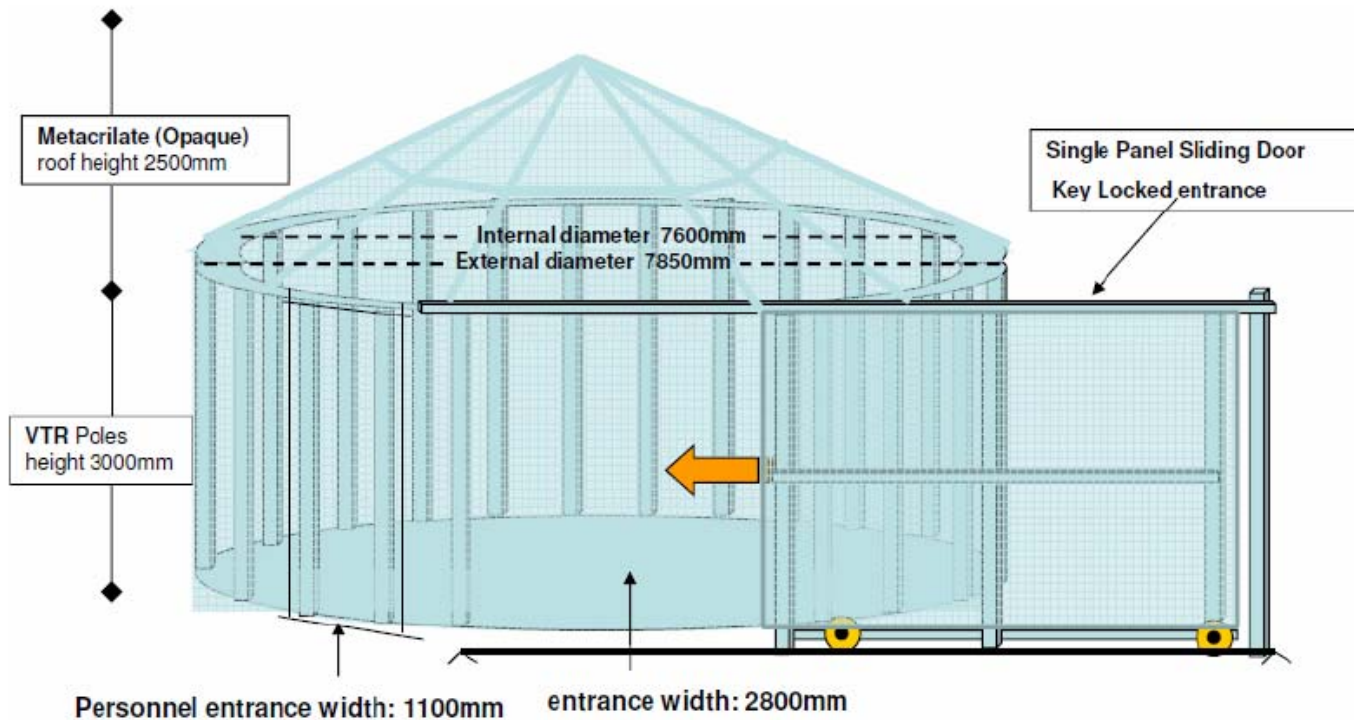


Sezione tipica della capriata



# CAMPI DI APPLICAZIONE

Struttura a forma non convenzionale: Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)

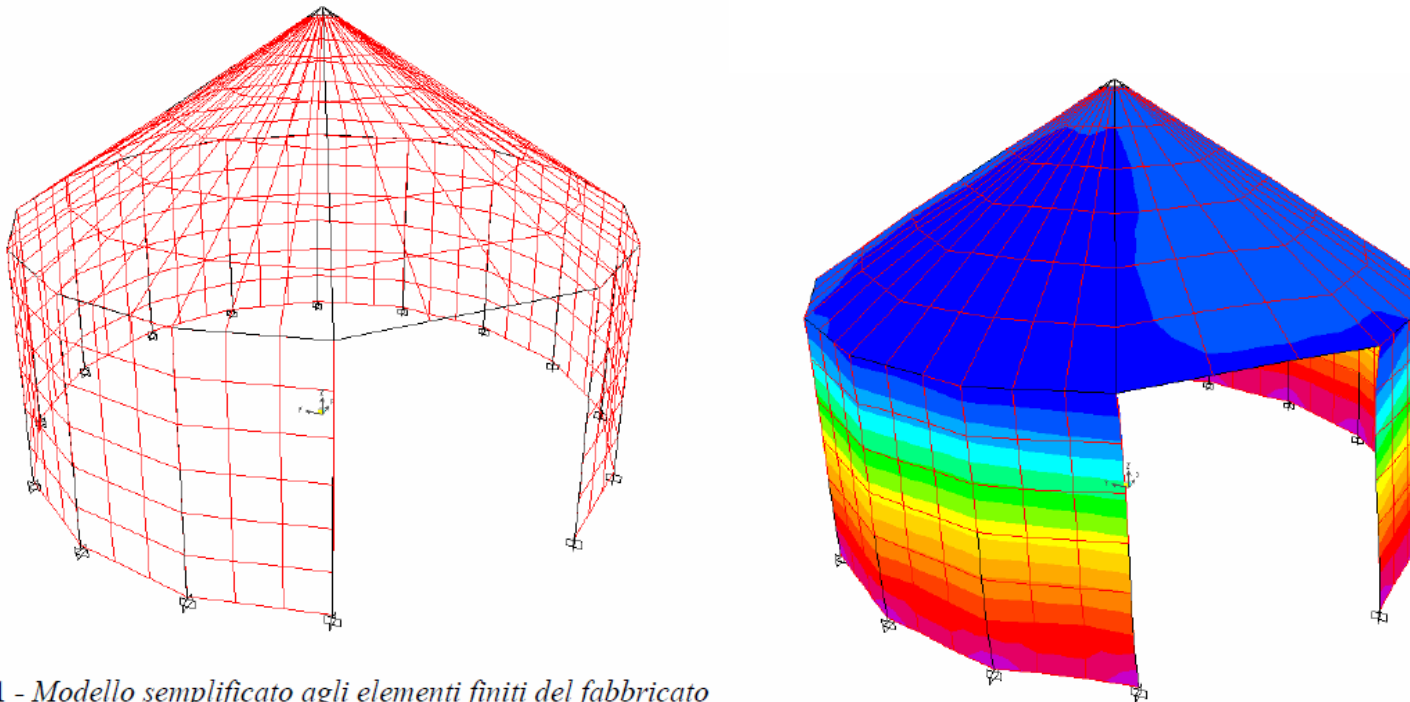






# CAMPI DI APPLICAZIONE

**Struttura a forma non convenzionale:** Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)



*Fig. 1 - Modello semplificato agli elementi finiti del fabbricato*





## CAMPI DI APPLICAZIONE

**Struttura a forma non convenzionale:** Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)

### **Verifiche ai sensi della norma CNR 205/2007**

Il dimensionamento viene effettuato in condizioni elastiche, quindi si fa riferimento alle sollecitazioni derivanti da un'analisi statica lineare (o più finemente da una dinamica modale), ottenute considerando lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Le sollecitazioni massime sui profili I200, le cui caratteristiche dimensionali sono riportate prima dei valori resistenti del profilo, derivanti dalle analisi di cui sopra, sono:

$$N_{c,Sd} = 28.61 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 3.80 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 1.62 \text{ kN}$$



# CAMPI DI APPLICAZIONE

Struttura a forma non convenzionale: Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)

h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	b <sub>f</sub>	b <sub>w</sub>	A	p	U	A <sub>w</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[mm <sup>2</sup> ]
200	100	10	10	3	100	190	3582	0.06	0.77	1582

J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	J <sub>o</sub>	i <sub>o</sub>	J <sub>T</sub>	J <sub>ω</sub>
[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm]	[mm <sup>4</sup> ]	[mm <sup>4</sup> ]
2.30E+07	2.30E+05	80.12	1.68E+06	3.36E+04	21.67	2.47E+07	83	1.29E+05	1.52E+10

N <sub>t,Rd</sub>	N <sub>c,Rd</sub>	N <sub>loc,Rd</sub>	N <sub>eul</sub>	λ	Φ	χ
[kN]	[kN]	[kN]	[kN]			
993.5	40.3	372.7	42.0	2.98	4.93	0.11

M <sub>Rd,1</sub>	M <sub>Rd,2</sub>	M <sub>loc,Rd</sub>	M <sub>FT</sub>	λ <sub>FT</sub>	Φ <sub>FT</sub>	χ <sub>FT</sub>
[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]			
57.9	5.5	30.4	5.8	2.29	3.11	0.18

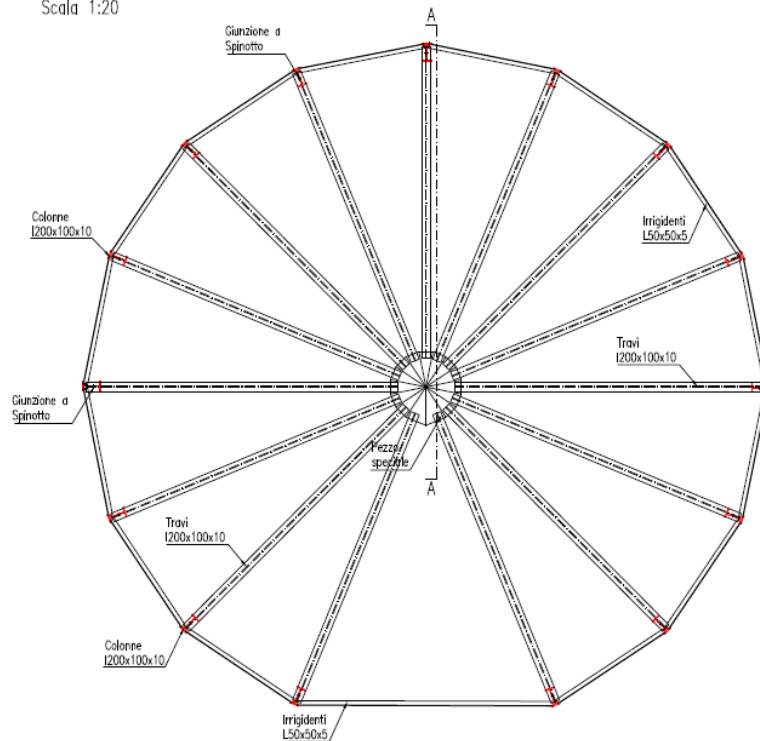
V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rd,1</sub>	V <sub>Rd,2</sub>	f <sub>v,loc,k</sub>	K	(D <sub>11</sub> ) <sub>w</sub>	(D <sub>22</sub> ) <sub>w</sub>	(D <sub>12</sub> ) <sub>w</sub>	(D <sub>66</sub> ) <sub>w</sub>
[kN]	[kN]	[kN]	[MPa]					
28.1	28.1	166.7	150.7	0.6	2.97E+06	8.90E+05	2.58E+05	3.94E+05



## CAMPI DI APPLICAZIONE

### Struttura a forma non convenzionale: Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)

Planimetria copertura inclinata  
Profili inclinati e dado di sommità  
Scala 1:20



N.B.

Il sistema di connessione, realizzato interamente in materiale composito, prevede l'utilizzo di bullonatura in GFRP. In alternativa il metodo suggerito è il seguente:

1. esecuzione di un foro  $\varnothing 16$ , della lunghezza pari a quella dei profili su cui deve essere realizzata la giunzione;
2. preparazione di due strisce di nastro in CFRP (o GFRP) di larghezza 50 mm, disposte a croce sul foro e previamente impregnate con resina epossidica;
3. inserimento dello spinotto in fibra di carbonio  $\varnothing 10$  trattato in superficie con resina epossidica, avendo cura che lo stesso, entrando nel foro, spinga all'interno i due nastri di cui sopra;
4. saturazione del foro con resina epossidica, risolto dei codini che fuoriescono dal foro sul supporto.

Questa particolare giunzione viene realizzata tra colonna/irrigidenti, colonna/trave e trave/corona di copertura.

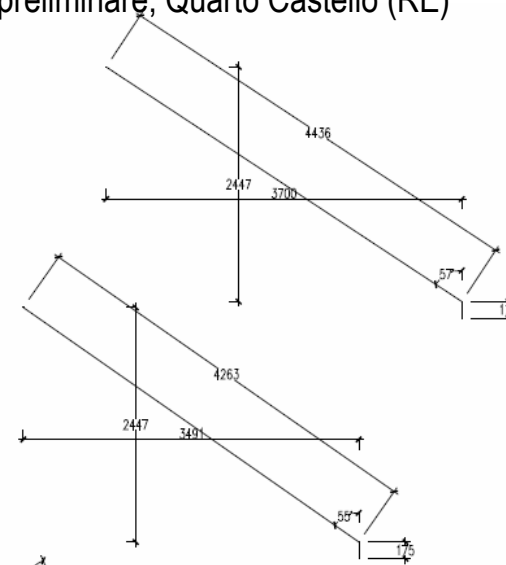
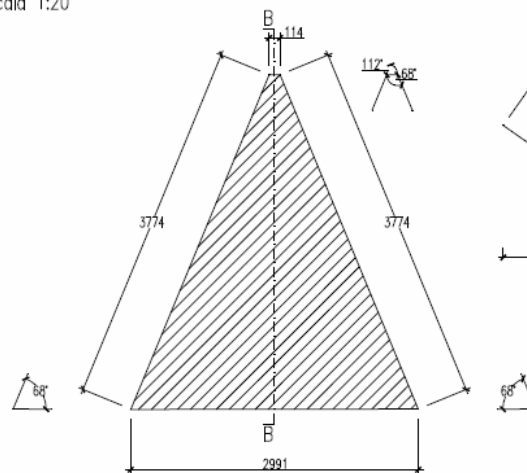




# CAMPI DI APPLICAZIONE

## Struttura a forma non convenzionale: Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)

Pannello di copertura – Pianta & sviluppo  
Pezzo speciale (x1)  
Scala 1:20



N.B.

Sui lati lunghi della pannellatura si utilizzano 4 bulloni M12/lato per il fissaggio agli IPE 200 facenti parte della struttura.  
A posizionamento della pannellatura effettuata, si provvede ad inserire un profilo semicircolare a protezione all'acqua della giunzione.

Il medesimo procedimento si segue sulla pannellatura laterale.  
Il fissaggio della pannellatura avviene sulle colonne IPE200.

Da inserire il cancello di ingresso al fabbricato.



## CAMPI DI APPLICAZIONE

### Struttura a forma non convenzionale:

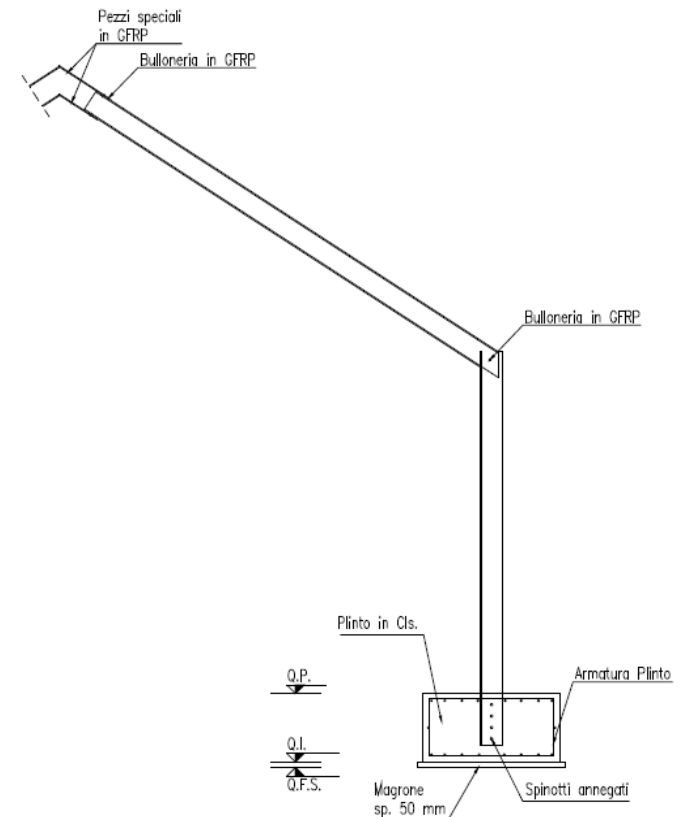
Progetto preliminare, Quarto Castello (RE)

N.B.

Dimensioni del plinto. tipologia d'armatura (barre in acciaio se concesso, altrimenti utilizzo di barre in GFRP/CFRP ad aderenza migliorata in sostituzione) e suo quantitativo da dimensionare in sede di progetto definitivo/esecutivo.

Nella zona d'attacco della colonna in pultruso alla fondazione sono previsti spinotti e, qualora necessario, l'inserimento di spessori al fine di evitare fenomeni di rifollamento dell'anima del profilo: numero e diametro degli spinotti, lunghezza di inserimento del profilo nel plinto e spessore delle piastre antirifollamento da dimensionare in sede di progetto esecutivo.

Sezione A-A  
Particolare Giunzioni  
Scala 1:20







# CAMPI DI APPLICAZIONE

## Strutture reticolari: Progetto esecutivo, Palazzo Gagliardi, L'Aquila (AQ)

### Valutazione della resistenza del collegamento bullonato

Ciascun elemento della trave reticolare è collegato alle piastre in acciaio in corrispondenza dei nodi mediante 4 bulloni M12, posizionati a distanza di 50 mm dai bordi del profilo e con interasse di 50 mm. Di seguito si riporta il calcolo della resistenza di questo collegamento bullonato.

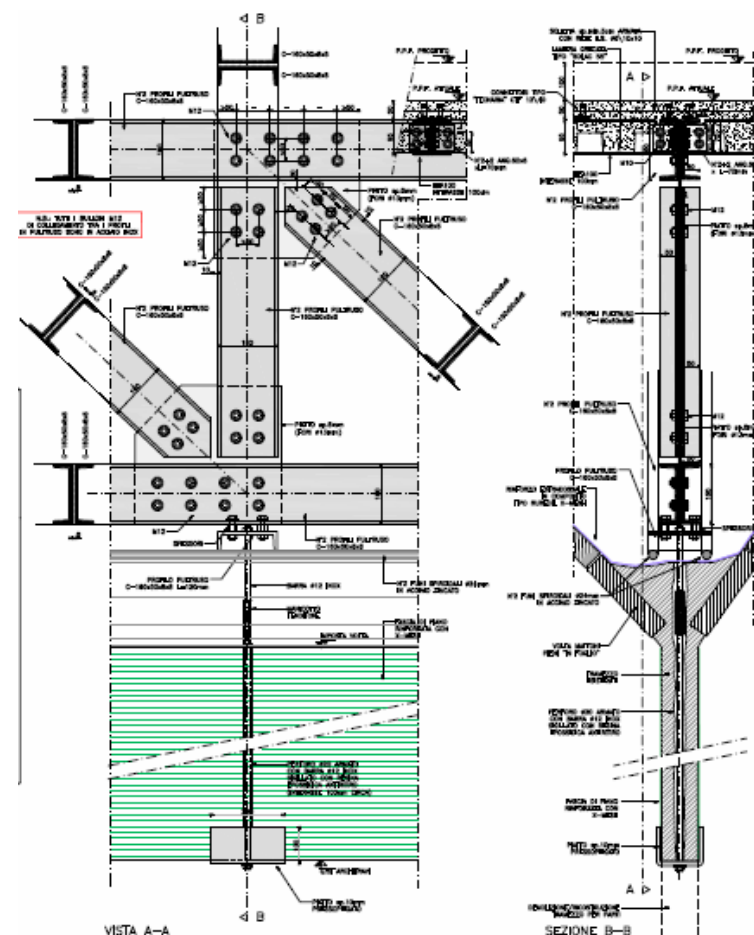
#### Resistenza a strappo del piatto in GFRP

La resistenza a strappo del piatto in corrispondenza della fila di bulloni è già stata calcolata valutando la resistenza del profilo.

#### Resistenza a taglio del piatto in GFRP

La resistenza a taglio del piatto per strappo di un singolo bullone è pari a  $VR_{d,b}=23.9\text{kN}$

La resistenza complessiva dell'unione per questo tipo di rottura va valutata considerando che gli sforzi di taglio non si distribuiscono uniformemente tra le file di bulloni. Nel caso in esame, con due file da due bulloni, la prima fila risulta sottoposta al 70% dell'azione complessiva.







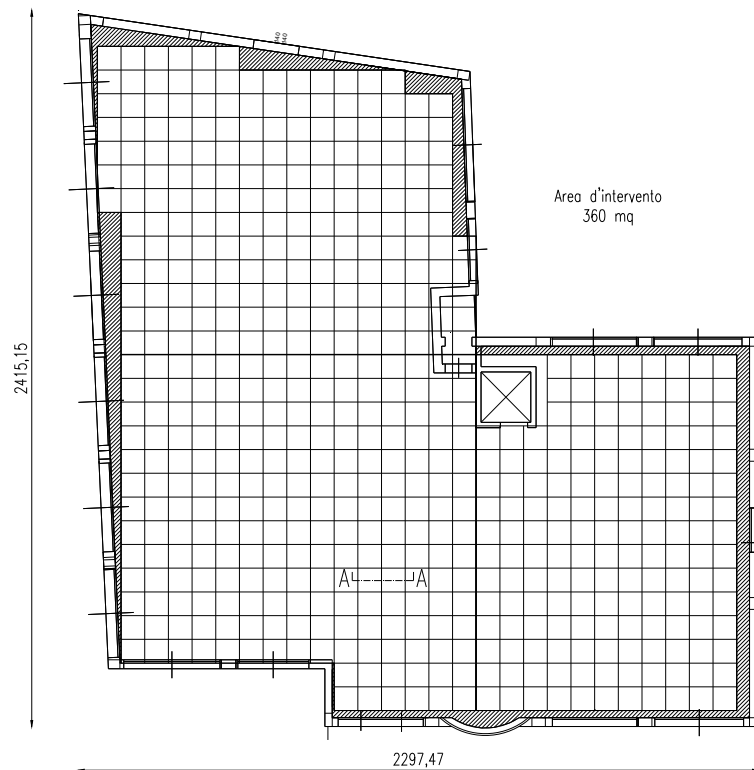
## Strutture reticolari: Progetto esecutivo, Palazzo Gagliardi, L'Aquila (AQ)





# CAMPI DI APPLICAZIONE

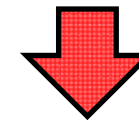
## Strutture reticolari spaziali: Progetto preliminare, Monfalcone (GO)



Viene creato un reticolo spaziale di elementi trave.  
Questi sono raggruppati in due categorie:

Corrente superiore e inferiore (dir. X e Y), profili a "T" di dimensione 80x80x8 mm;

Ritti, diagonali (dir. X e Y), profili a doppia "L" di dimensione 40x40x5 mm.

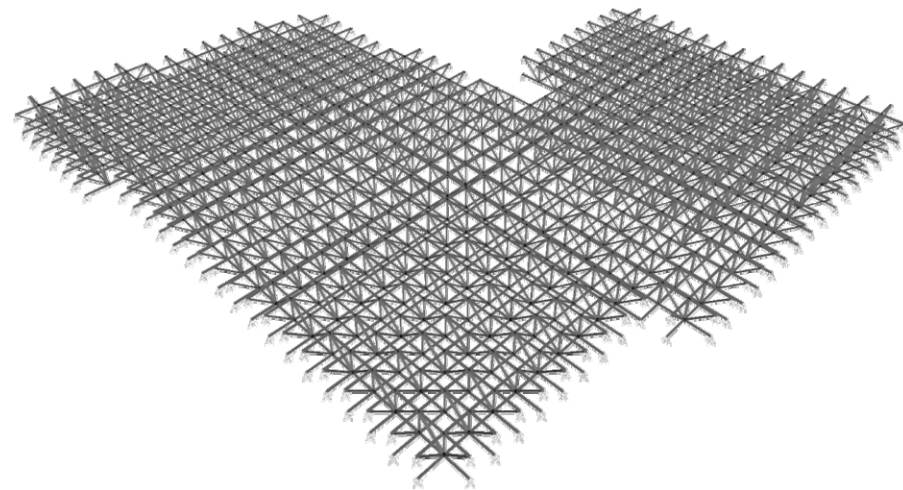


Adeguamento sismico,  
miglioramento sismico,  
intervento di riparazione locale?

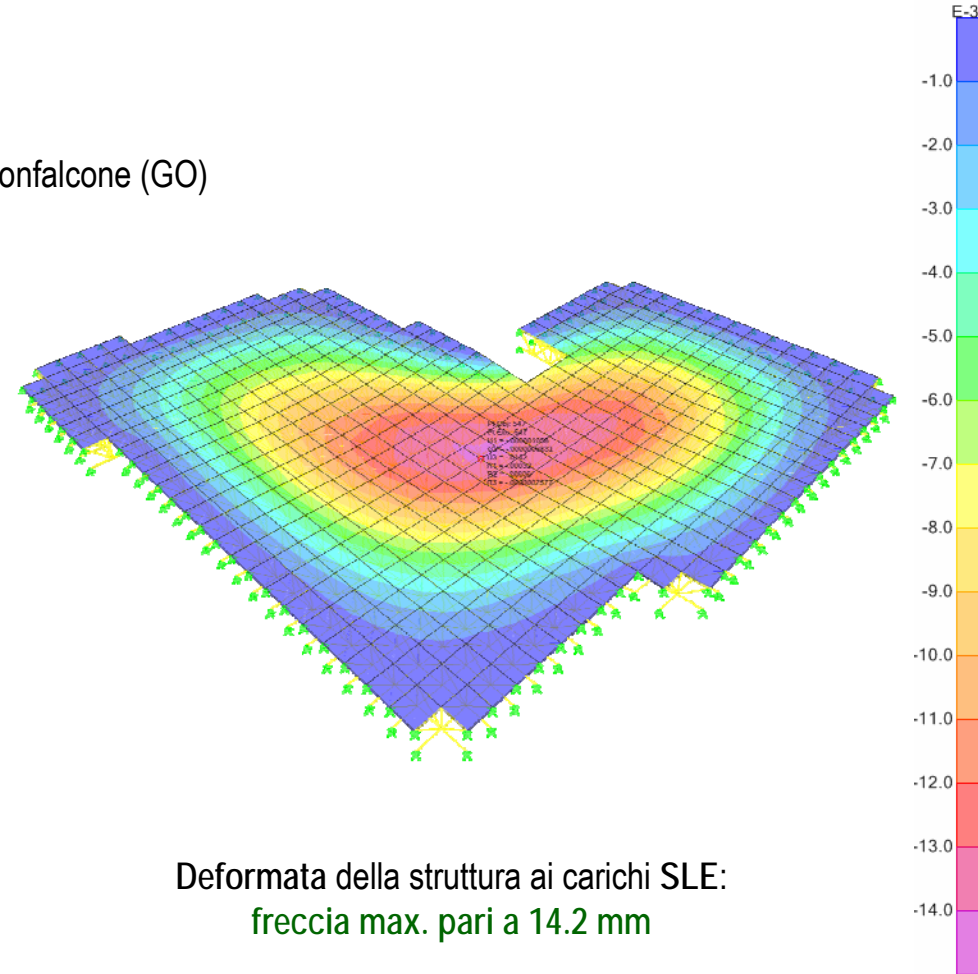


# CAMPI DI APPLICAZIONE

Strutture reticolari spaziali: Progetto preliminare, Monfalcone (GO)



Estruso della copertura, realizzato SAP 2000, v.15.2.1.







# CAMPI DI APPLICAZIONE

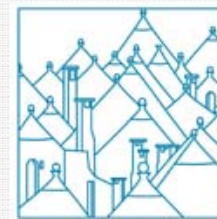
## Strutture reticolari spaziali: Progetto preliminare, Monfalcone (GO)

Si effettua un'analisi con GFRP design: si riscontra che l'elemento più sollecitato agli SLU ha un coefficiente d'uso pari a 0.841. In termini di deformabilità e di resistenza si riscontrano buoni risultati. Si esplicitano le *base reactions* determinata dal programma di calcolo.

TABLE: Base Reactions							
OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
SLU	Combination	0.00	0.00	1301.29	12290.10	-12908.55	0.00
SLE	Combination	0.00	0.00	905.60	8563.21	-8974.77	0.00
SLE	Combination	0.00	0.00	285.58	2773.58	-2768.04	0.00

Il carico totale (dir. Z) della copertura (dead + perm. + acc.) è pari a 1301 kN. Di conseguenza, la copertura, d'area pari a 360 m<sup>2</sup>, pesa 3.68 kN/m<sup>2</sup>. La sola travatura reticolare spaziale, agli SLE, pesa 0.87 kN/m<sup>2</sup>.



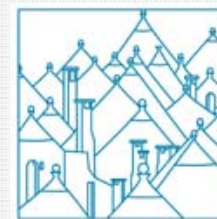


## SOLUZIONI APPLICATIVE: La copertura della sagrestia della Basilica di San Domenico a Siena



Alcuni problemi strutturali hanno di recente indotto il Ministero per i Beni Architettonici ad intervenire sulla porzione di copertura posta in corrispondenza della sagrestia della chiesa, a destra della navata centrale, all'intersezione tra questa ed il transetto.

La copertura originaria, realizzata attraverso capriate disposte ad un interasse di circa un metro, costituite da travi prefabbricate in cemento armato con sezione a doppio T (13×15 cm.) e da catene in acciaio del diametro di 20 mm che assorbivano le spinte orizzontali, è posta a protezione di una struttura voltata sottostante interessata da alcuni affreschi di notevole interesse storico-artistico.

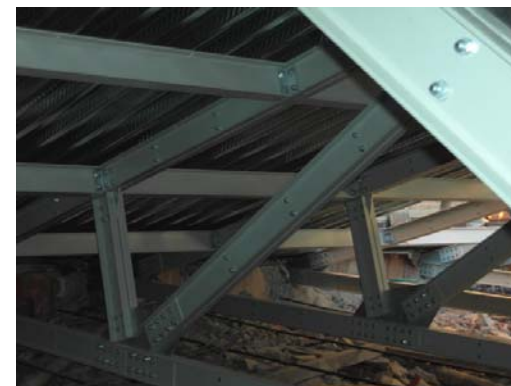


## SOLUZIONI APPLICATIVE: La copertura della sagrestia della Basilica di San Domenico a Siena



La struttura è stata dimensionata per sopportare il carico statico della soprastante lamiera grecata in acciaio zincato, del massetto strutturale alleggerito (reso collaborante per mezzo di bulloni in acciaio zincato), del manto di copertura in tegole e coppi e del carico della neve.

I collegamenti tra i singoli elementi sono stati previsti con piastre e bulloneria in Fe galvanizzato a caldo e incollaggio con adesivi di tipo poliuretano/epossidico così da evitare il rifollamento dei fori.

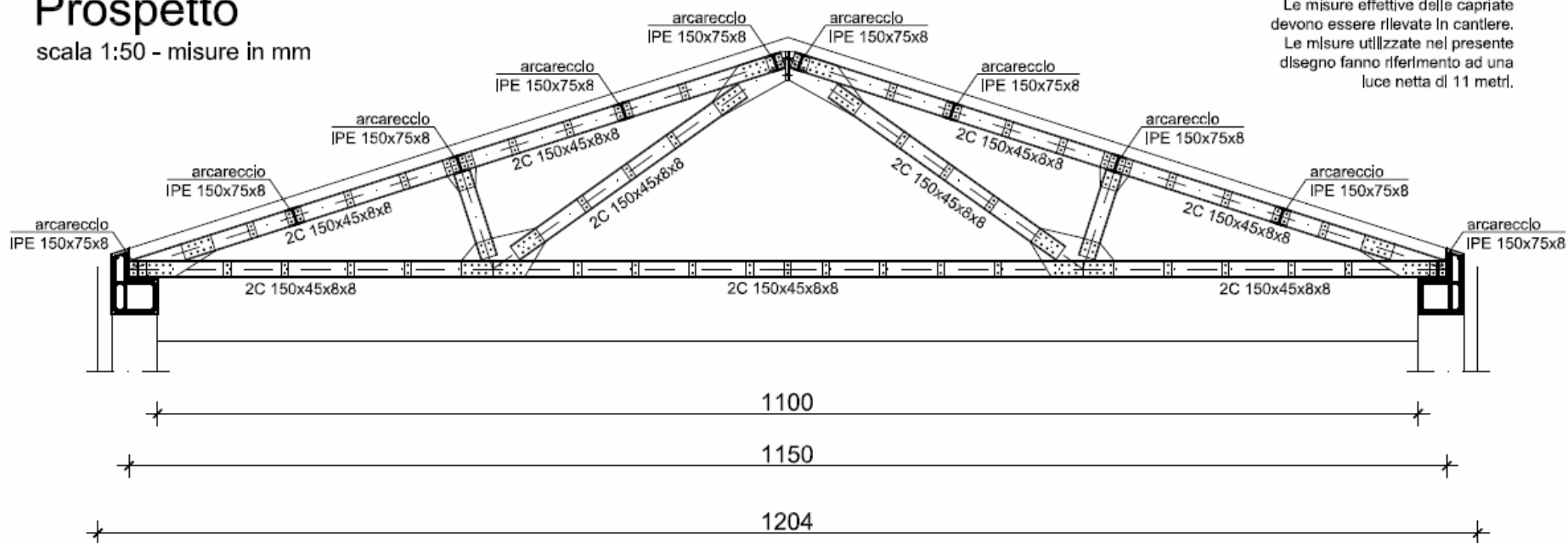




# SOLUZIONI APPLICATIVE: Progetto esecutivo

## Prospetto

scala 1:50 - misure in mm

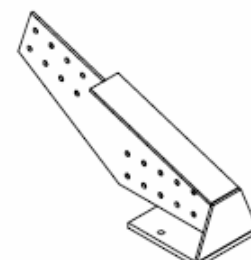
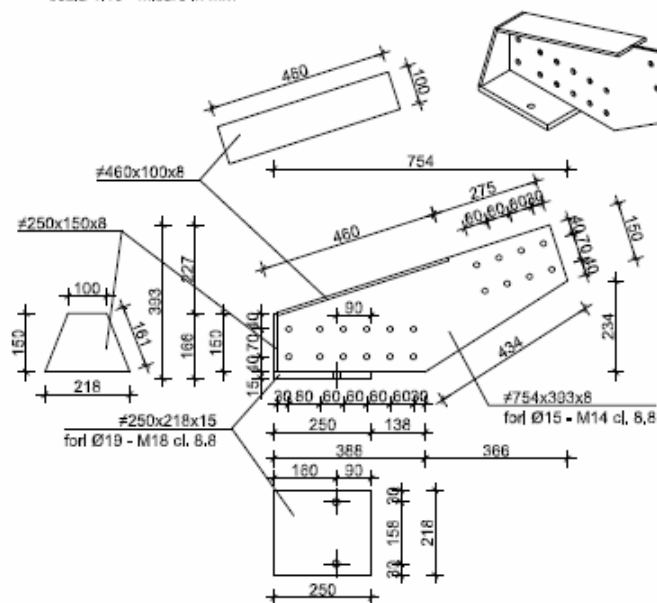




# SOLUZIONI APPLICATIVE: Progetto esecutivo

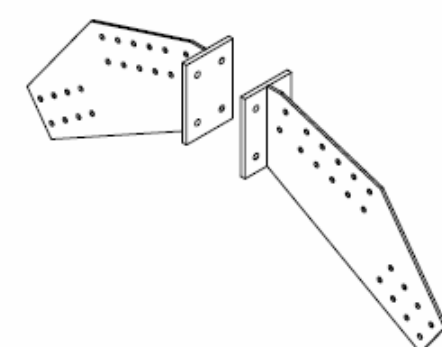
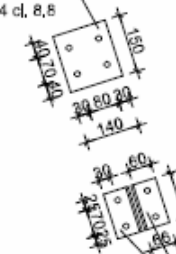
## Particolari, carpenteria metallica

Appoggio capriata  
scala 1:10 - misure in mm



Imbottitura arcarecci  
scala 1:10 - misure in mm

#150x140x6  
fori Ø15  
M14 cl. 8,8



Imbottitura

scala 1:10 - misure in mm

#150x60x8  
fori Ø13  
M12 cl. 8,8



L60x6 per collegamento arcarecci  
2 fori Ø15 con 2 M14 cl. 8,8  
su ogni lato dell'angolare





## BIBLIOGRAFIA

### Atti dei congressi:

GATTESCO N., DUDINE A. "Effectiveness of masonry strengthening technique made with a plaster reinforced with a GFRP net", 8th International Masonry Conference, Dresden, DE, luglio 2010;

GATTESCO N., DUDINE A. "Efficacia di una tecnica di rinforzo per murature con intonaco e rete in GFRP", Convegno nazionale sulla Sicurezza e conservazione nel recupero di beni culturali colpiti da sisma, vol. 1., pagg. 251-260, IUAV, Venezia, 8-9 aprile 2010;

BORRI A., CANDELA M., FONTI R., "Sperimentazioni al vero nel centro storico de L'Aquila - Pannelli murari diversamente consolidati e sollecitati fuori piano: prime note", 14th Convegno ANIDIS, atti del congresso, Bari, 18 - 22 settembre 2011;

BORRI A., SISTI R., GATTESCO N., DUDINE A., "Indagini sperimentali su sistemi di rinforzo con intonaco, rete in GFRP e trefoli metallici inseriti nei giunti di malta", 15th Convegno ANIDIS, atti del congresso, Padova, 30 giugno - 04 luglio 2013;

GATTESCO N., BOEM I., DUDINE A., "Rinforzi di murature esistenti mediante intonaco armato con rete in GFRP", 15th Convegno ANIDIS, atti del congresso, Padova, 30 giugno - 04 luglio 2013;

BORRI A., CASTORI G., CORRADI M., SISTI R., "Tecniche di rinforzo di murature storiche". 15th Convegno ANIDIS, atti del congresso, Padova, 30 giugno - 04 luglio 2013;

BORRI A., CASTORI G., CORRADI M., VETTURINI R., "Tecniche di intervento per il recupero di Volte in Folio". 15th Convegno ANIDIS, atti del congresso, Padova, 30 giugno - 04 luglio 2013;

GATTESCO N., BOEM I., DUDINE A., "Behaviour of Existing Masonry Strengthened with a GFRP Reinforced Mortar Coating", 14th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, atti del congresso, Cagliari, 03 - 06 settembre 2013.

TOMAZEVIC, M.; WEISS, P.; LUTMAN, M.; "Influence of floors and connection of walls on seismic resistance of old brick masonry buildings", Institute for testing and research in materials and structures, ZAG, Ljubljana, 1994.



## BIBLIOGRAFIA

### Atti dei congressi:

TOMAZEVIC, M.; SHEPPARD, P.; "The strengthening of stone-masonry buildings for revitalizing in seismic regions", 7th European Conference on Earthquake engineering, Athens, Vol. 5, 285-282, 1982.

AIELLO, M.A.; MICELLI, F.; VALENTE, L.; "Masonry confinement by using composite reinforcement", Proc. 4th International Conference on Conceptual Approach to Structural Desing, Venice, 2007.

BRIGNOLA, S.; FRUMENTO, S.; LAGOMARSINO, S.; PODESTA', S.; "Identification of shear parameters of masonry panels through the in-situ diagonal compression test", Int. J. of Arch. Herit., 3, 52-73, 2009.

GATTESCO, N.; MACORINI, L.; "In-plane stiffening techniques with nail plates or CFRP strips for timber", Construction and Building Materials, 58, 64-76, 2014.

### Publicazioni:

DUDINE A., "Analisi sperimentale del comportamento sotto carichi ciclici delle fasce di piano in edifici storici in muratura portante", comunicazione personale, (D.P.R. 252/2006), gennaio 2009.

GATTESCO N., DUDINE A. "Il rinforzo di murature esistenti con intonaco e rete in GFRP", Structural, Ed. De Lettera, n. 164/2010, pagg. 50-61, Milano, Novembre 2010;

CORRADI, M.; BORRI, A.; and VIGNOLI, A.: "Experimental evaluation of the in-plane shear behaviour of masonry walls retrofitted using conventional and innovative methods", Journal of the British Masonry Society, 21(1), 29-42, 2008.

TRIANAFILLOU, T.C.: "Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP laminates", Journal of Composite Construction ASCE, 2(2), 96-104, 1998.

TOMAZEVIC, M.; APIH, V.: "The strengthening of stone masonry walls by injecting the masonry-friendly grouts", European Earthquake Engineering, 1, 10-20, 1993.



## BIBLIOGRAFIA

### Publicazioni:

SHELLEKENS, J. C. J. Computational Strategies for Composite Structures. PhD thesis, Delft University of Technology, 1992.

ROTS, J. G. Computational Modeling of Concrete Fracture. PhD thesis, Delft University of Technology, 1988.

MELOTTO, M. Tesi specialistica "Analisi sperimentali e numeriche di pannelli in muratura senza e con rinforzi in rete in fibra di vetro", Relatore: prof. Ing. A. Gubana, Correlatore: prof. Ing. N. Gattesco

ROVINA, F. Tesi specialistica "Adeguamento sismico di un edificio monopiano esistente in muratura con sopraelevazione in pannelli in legno tipo X-lam", Relatore: prof. Ing. I. Clemente, Correlatore: dott. ing. A. Dudine

CEFARIN, M. Tesi specialistica "Studio del comportamento ciclico delle fasce di piano ed individuazione di tecniche di ripristino mediante uso di FRP", Relatore: prof. Ing. C. Amadio, Correlatore: dott. ing. A. Dudine

CLARKE, J. L., Structural design of Polymer Composites - EUROCOMP Design Code and Handbook, Chapman & Hall, London (UK), e-Library, 2005.

BANK, L. C., Composites for Construction - Structural Design with FRP materials, John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey (USA), 2006.

# CONVEGNO TECNICO

Tecniche di rinforzo strutturale di edifici con materiali compositi

Trani (BT), martedì 25 ottobre 2016

Ore 14:30



**OIBA**  
ORDINE DEGLI INGEGNERI  
della Provincia di Bari



FIBRE NET S.r.l.

Via Jacopo Stellini, 3

33050 PAVIA DI UDINE (UD)

Tel. 0039 0432 600918

Fax 0039 0432 526199

Sito web: [www.fibrenet.info](http://www.fibrenet.info)

E-mail: [info@fibrenet.info](mailto:info@fibrenet.info)