

Consolidamento strutturale con materiali innovativi – regole di progettazione

Prof. ing. Andrea Prota

Ordinario di Tecnica delle Costruzioni
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università di Napoli Federico II
aprota@unina.it



Salerno, 24 febbraio 2018



LINEE GUIDA CNR e CSLP

CNR – Commissione di Studio per la Predisposizione e l'Analisi di Norme Tecniche relative alle costruzioni

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE DI STUDIO PER LA PREDISPOSIZIONE E L'ANALISI
DI NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI

**Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati**

Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie



**Linee 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**

*Come si inseriscono i materiali compositi
nel contesto delle Norme Tecniche?*

Costruzioni in muratura

CIRCOLARE N. 617

C8A.5.1 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI

Inserimento tiranti

Connessione solai di piano/coperture alle murature



INCATENAMENTI

*Inserimento tiranti: **Il Campanile della Chiesa del Carmine a Napoli***

Fa parte del complesso storico-monumentale del Carmine



- XIII secolo: prime notizie dell'esistenza di un campanile
- 1456: un terremoto distrugge la struttura e solo il basamento resta

I primi due livelli sono circondati da edifici (chiesa, congrega, monastero) mentre i livelli superiori sono liberi su ogni lato



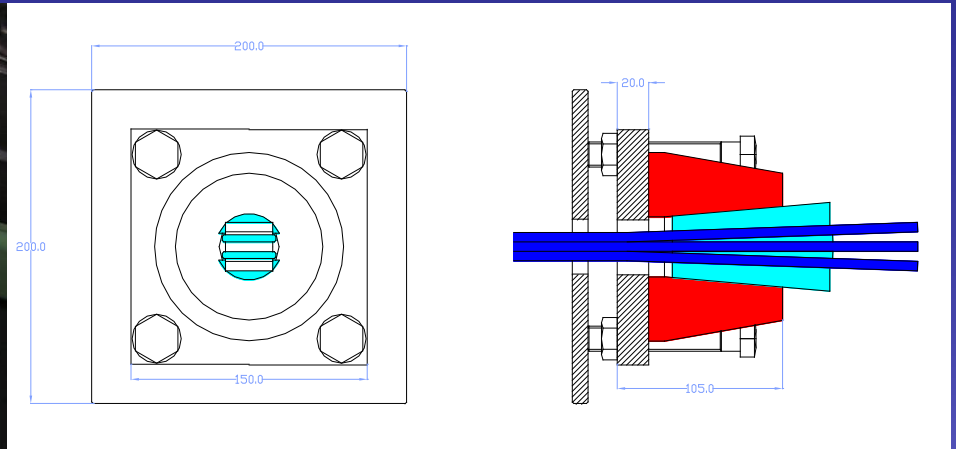
E' alto 68m e presenta una caratteristica cupola a forma di pera

6 livelli + il piano terra

*Catene in fibra di vetro a sezione rettangolare con 2 o 3 lamine
(40mm x 9mm) --- $E = 40\text{GPa}$*



➤ Progettazione ed installazione del sistema di ancoraggio terminale



Catene pre-tesate a circa 30-40MPa

CIRCOLARE N. 617

Connessione solai di piano/coperture alle murature: esempio

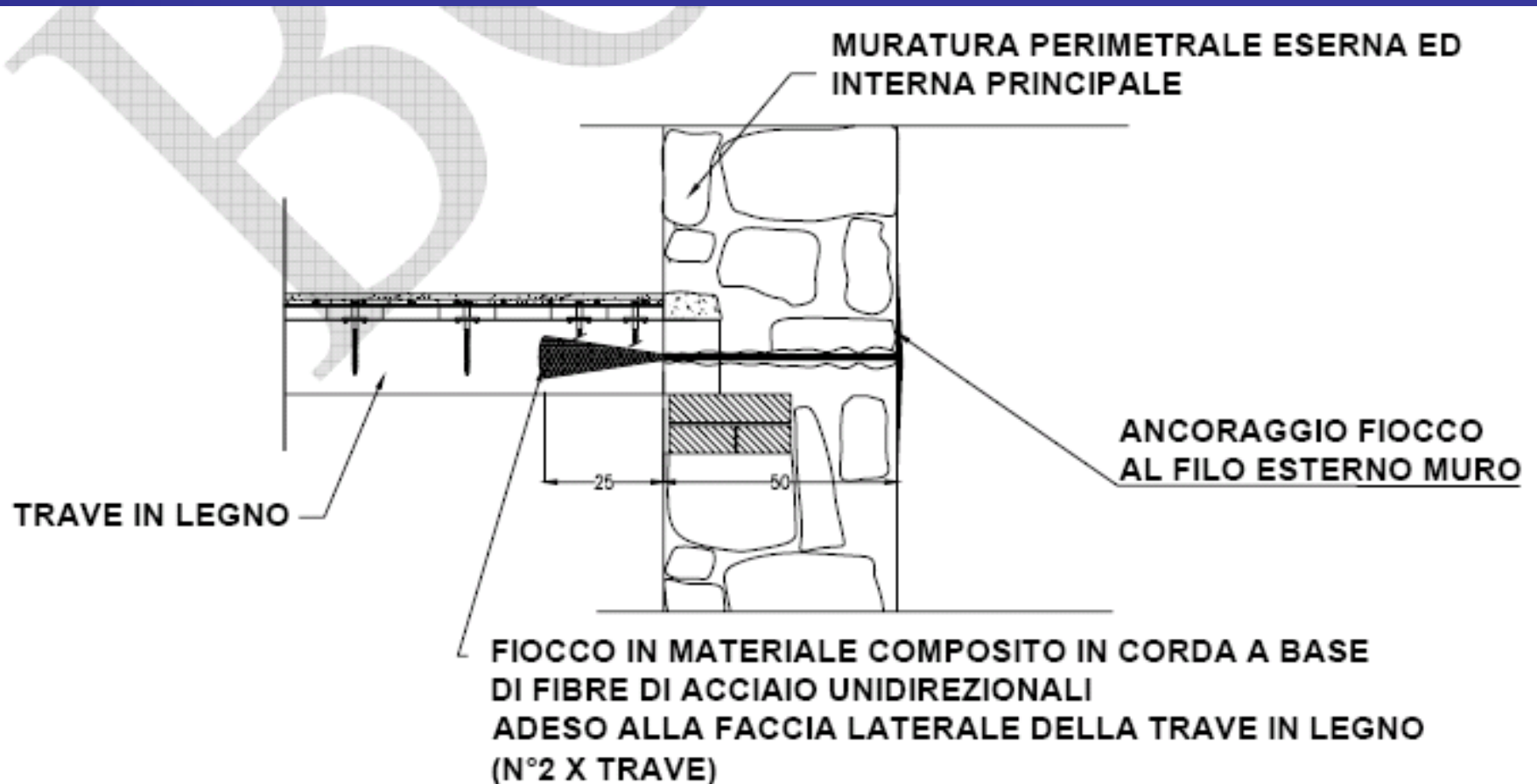


Figura 62. Ancoraggio laterale: soluzione con fiocco in fibra metallica passante

CIRCOLARE N. 617

Connessione solai di piano/coperture alle murature: esempio

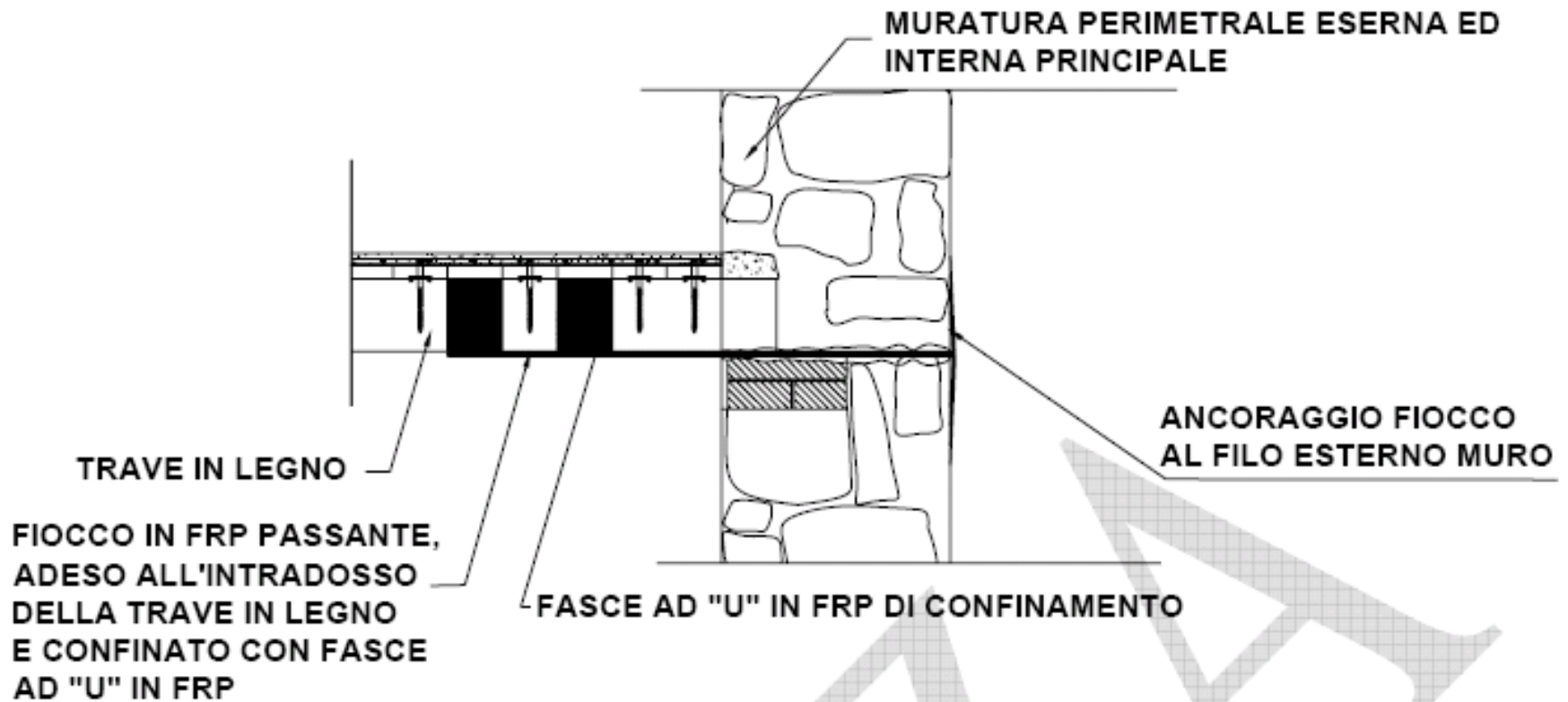


Figura 63. Ancoraggio laterale: soluzione con fiocco in fibra di carbonio passante

CIRCOLARE N. 617

Cerchiature esterne

Cinturazione : Fascia di Piano





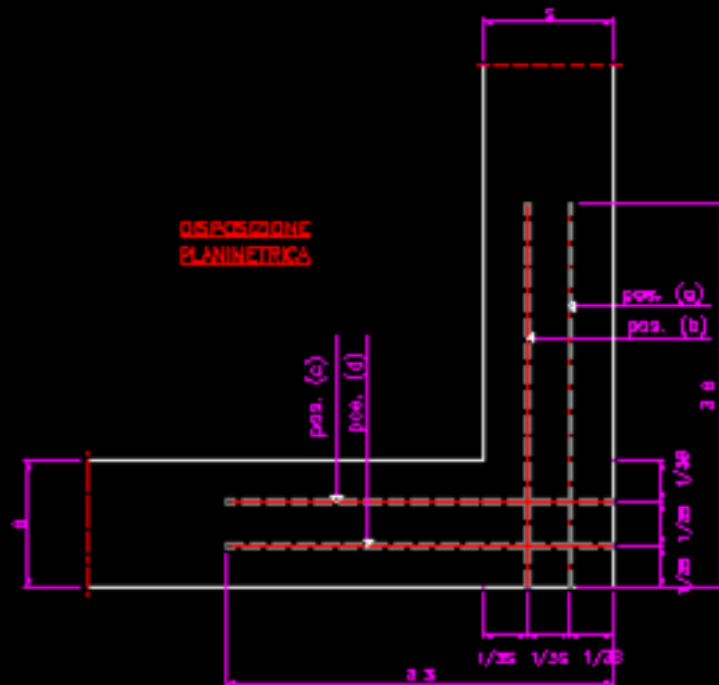


CIRCOLARE N. 617

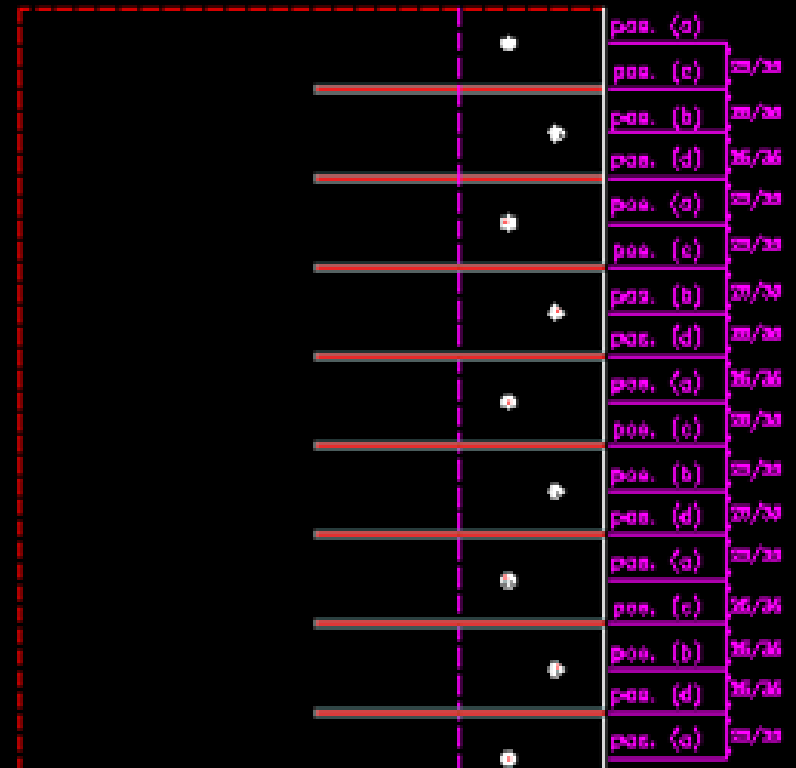
Perforazioni armate

CONSOLIDAMENTO DI CANTONILE IN MURATURA
MEDIANTE INIEZIONI ED ANCORAGGI

DISTRIBUZIONE
PLANIMETRICA



PROSPETTIV

















CIRCOLARE N. 617

C8A.5.6 INTERVENTI VOLTI AD INCREMENTARE LA RESISTENZA NEI MASCHI MURARI

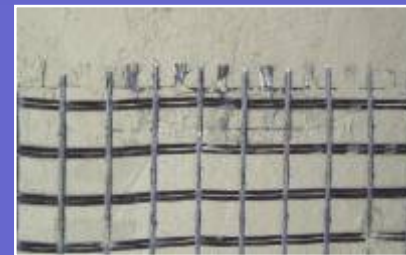


Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

CIRCOLARE N. 617

C8A.5.7 INTERVENTI SU PILASTRI E COLONNE



Tessitura muraria originaria del pilastro tipo



Applicazione rete in fibra di vetro e del secondo strato di malta bicomponente ad elevata duttilità

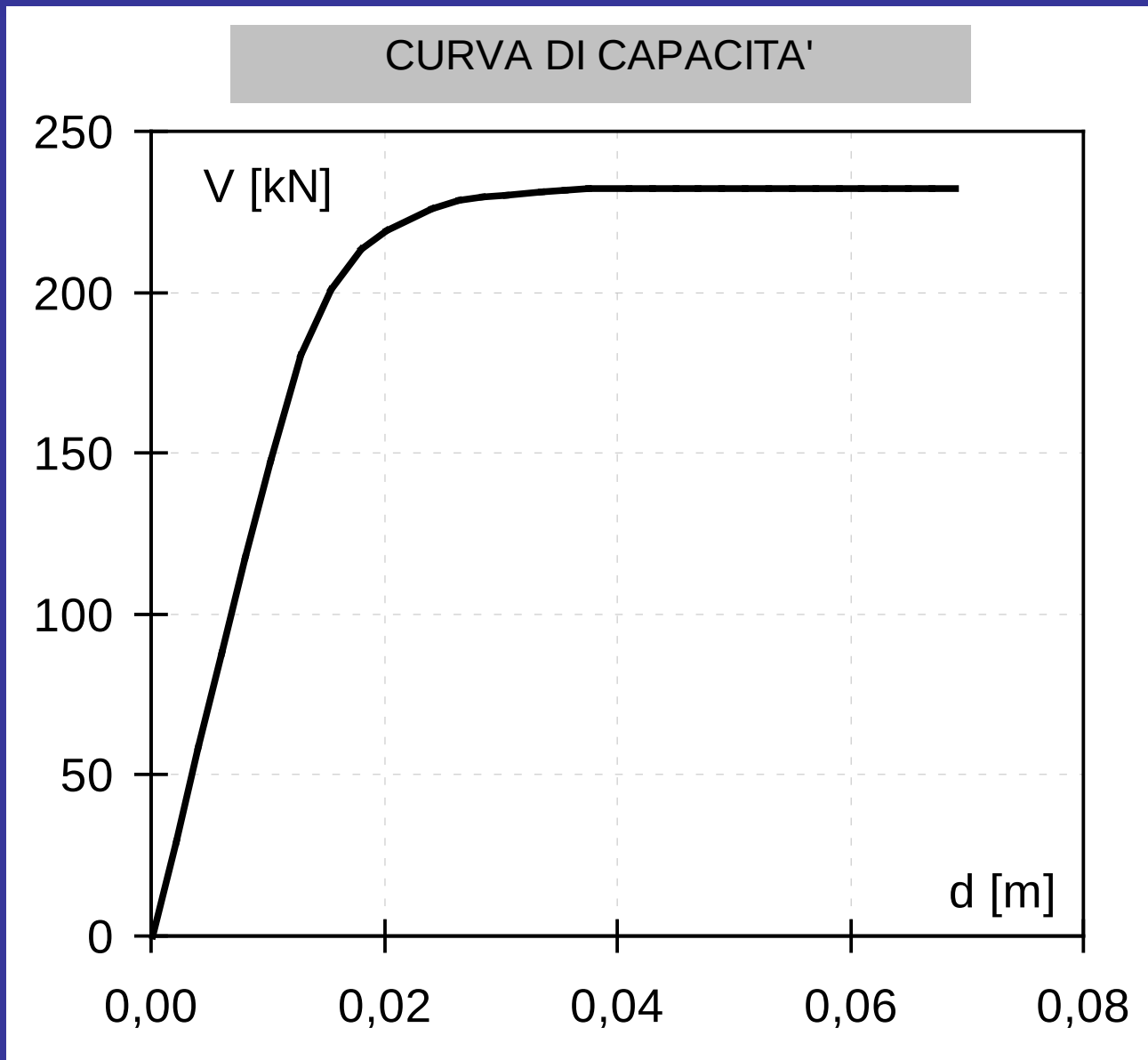


Vista pilastro tipo con inserimento fiocco (tirantino anti-espulsivo)

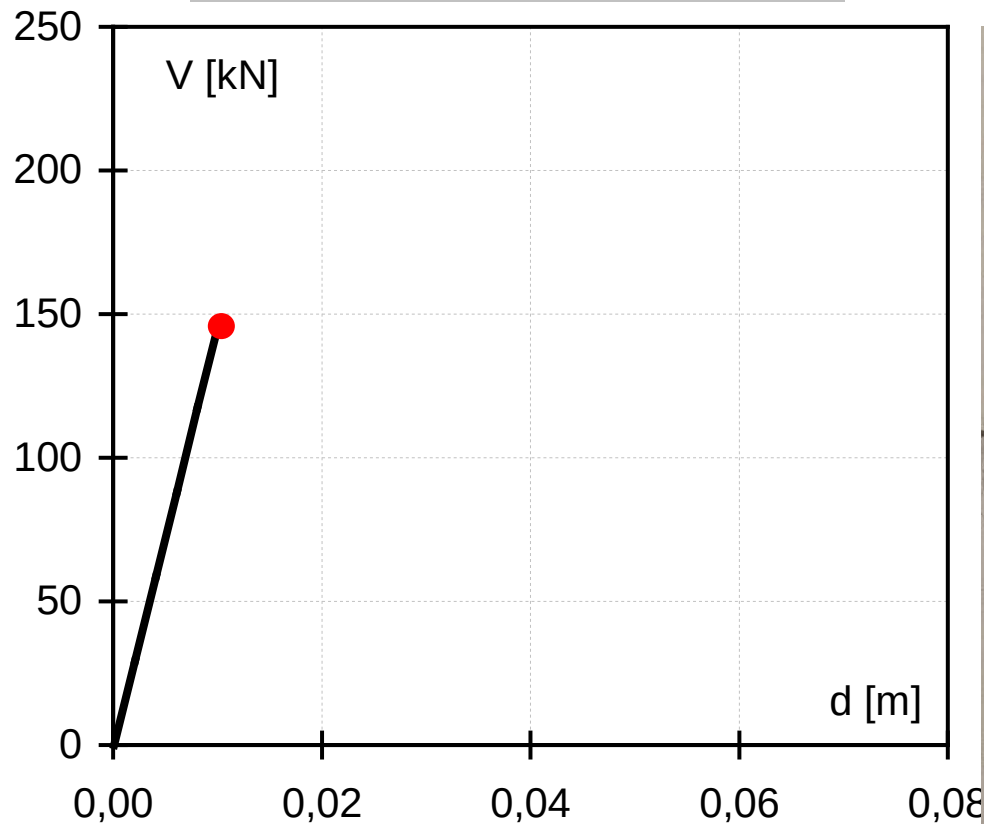
Costruzioni in cemento armato



TIPICO RISULTATO PUSH-OVER



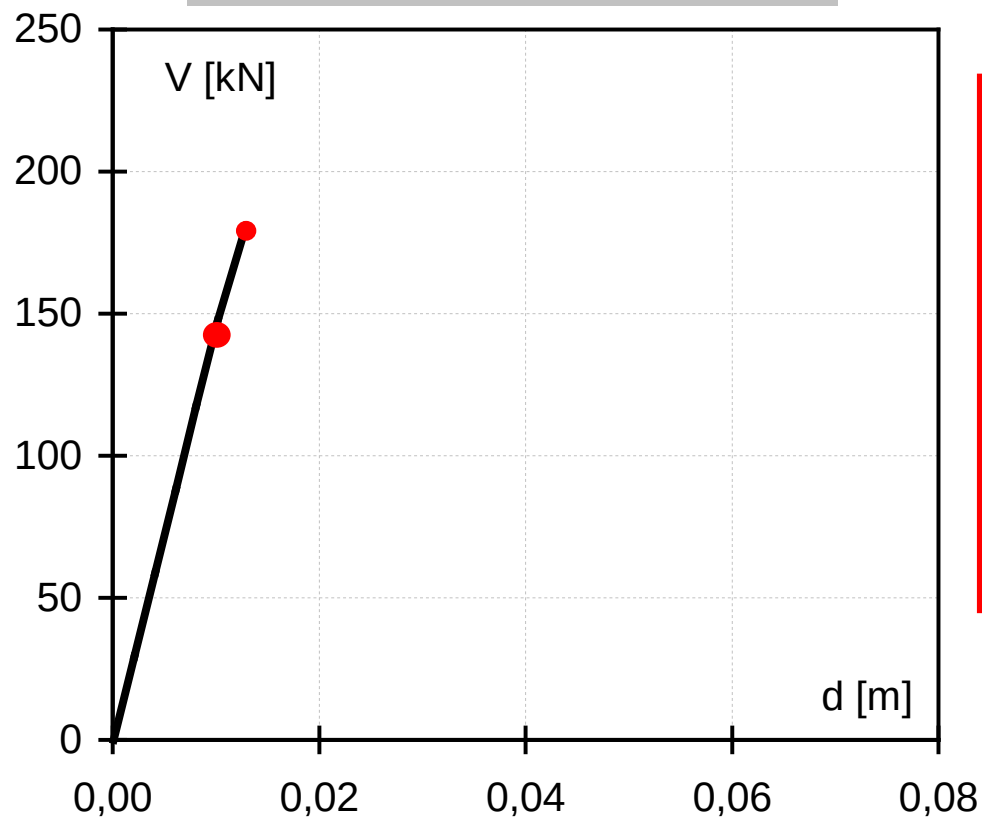
CURVA DI CAPACITA'



★ Prima crisi elemento a taglio (nodo)



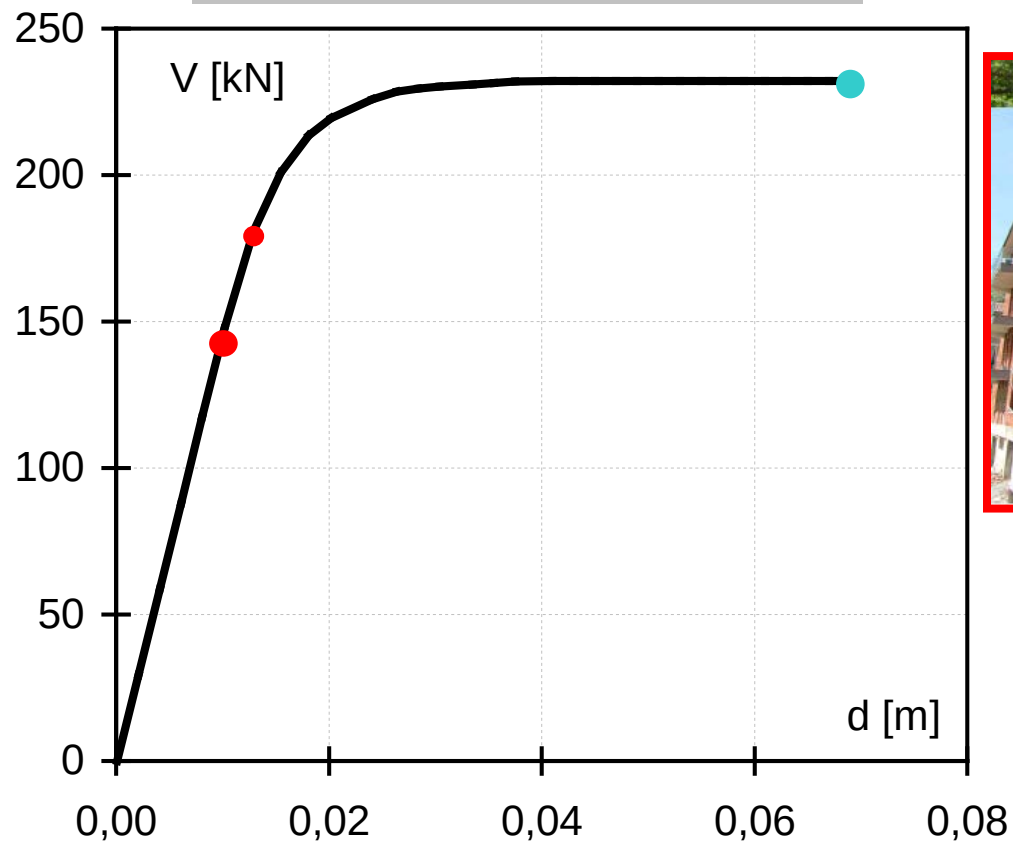
CURVA DI CAPACITA'



✳ Prima crisi elemento a taglio (pilastro)



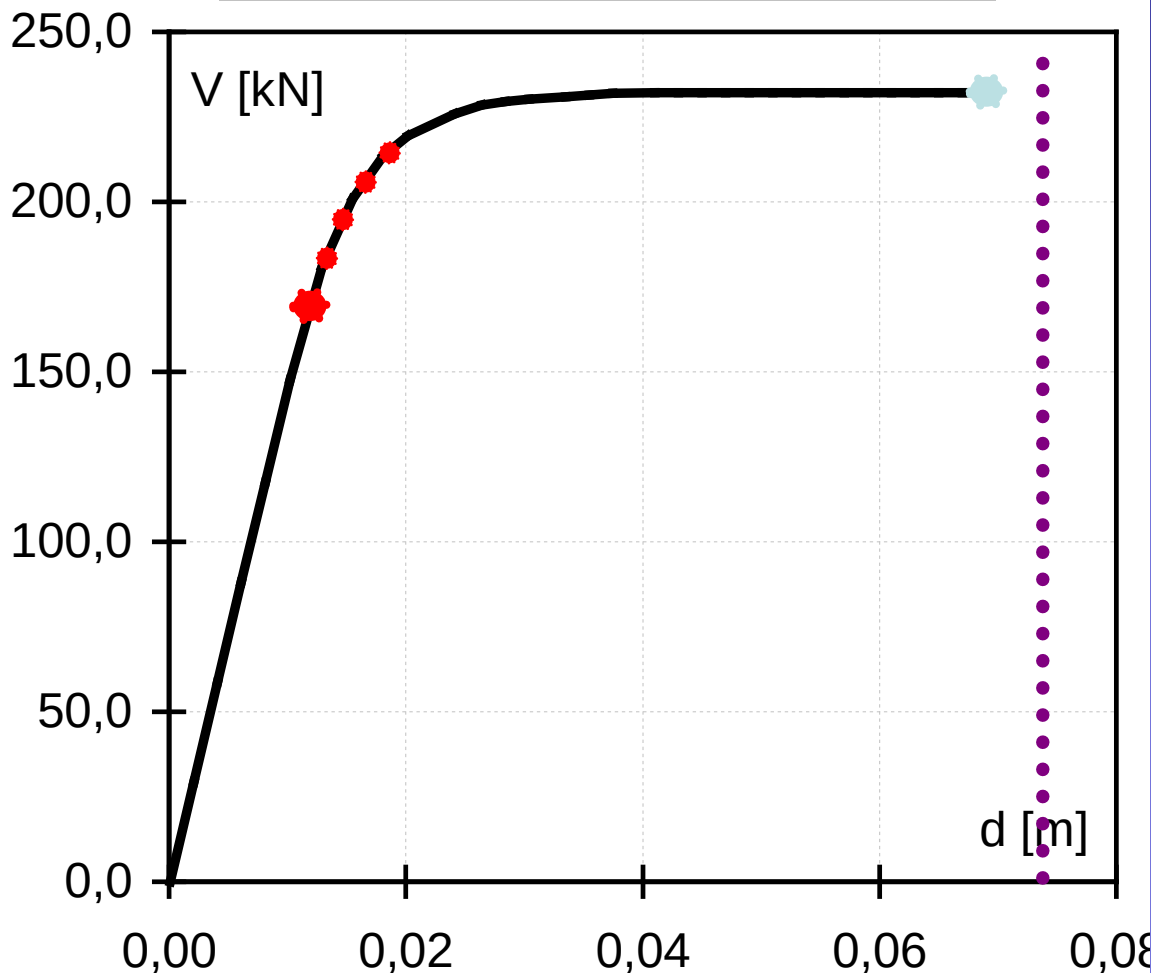
CURVA DI CAPACITA'



Capacità deformativa
insufficiente



CURVA DI CAPACITA'



★ Prima crisi elemento a taglio
(nodo/pilastro/trave)

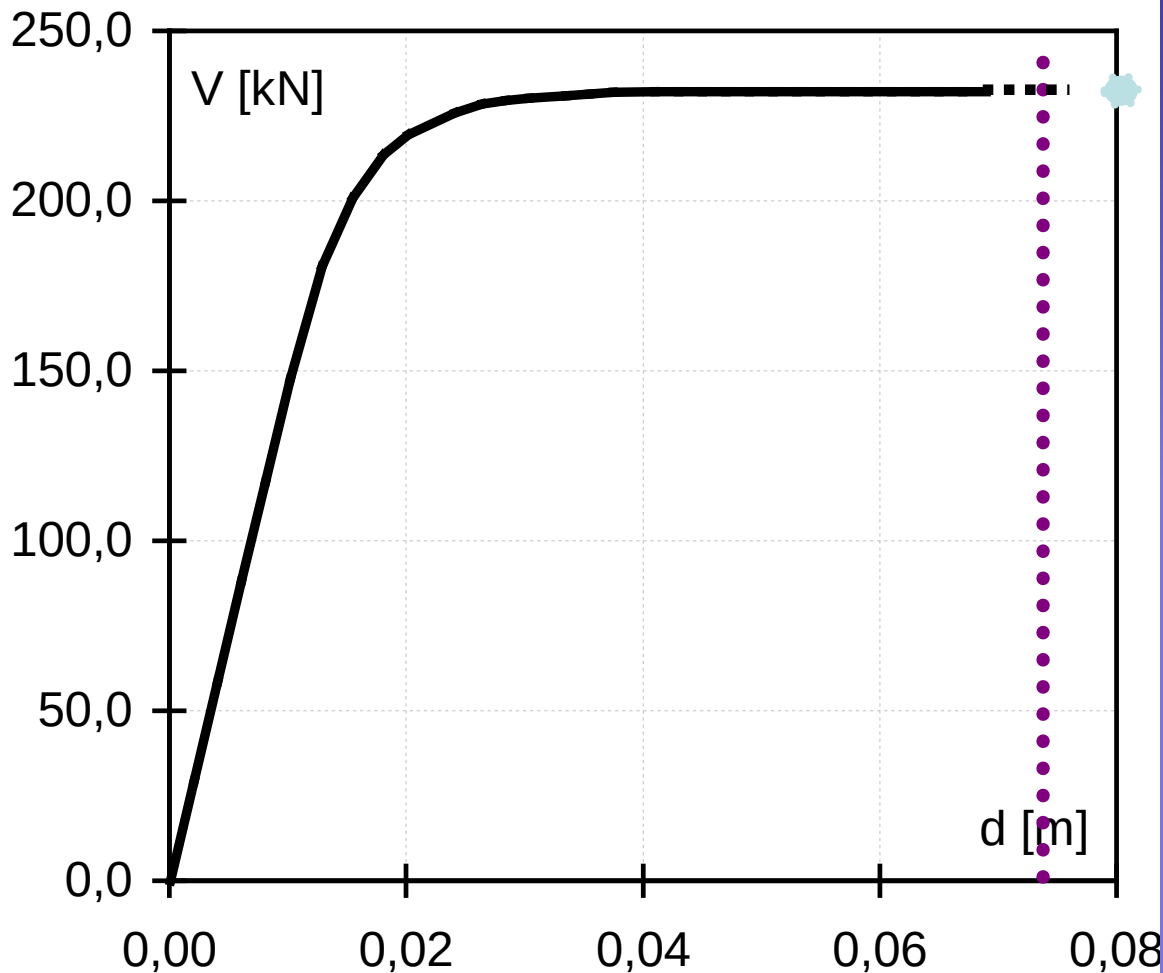
★ Capacità in termini di
spostamento SLV
(formazione 1° cerniera
plastica $3/4 q_u$)

..... Richiesta in termini di
spostamento SLV

**Verifiche non soddisfatte in
termini di resistenza o di duttilità.
E' necessario intervenire per
migliorare/adequare la struttura**

A COSA TENDIAMO?

CURVA DI CAPACITA'

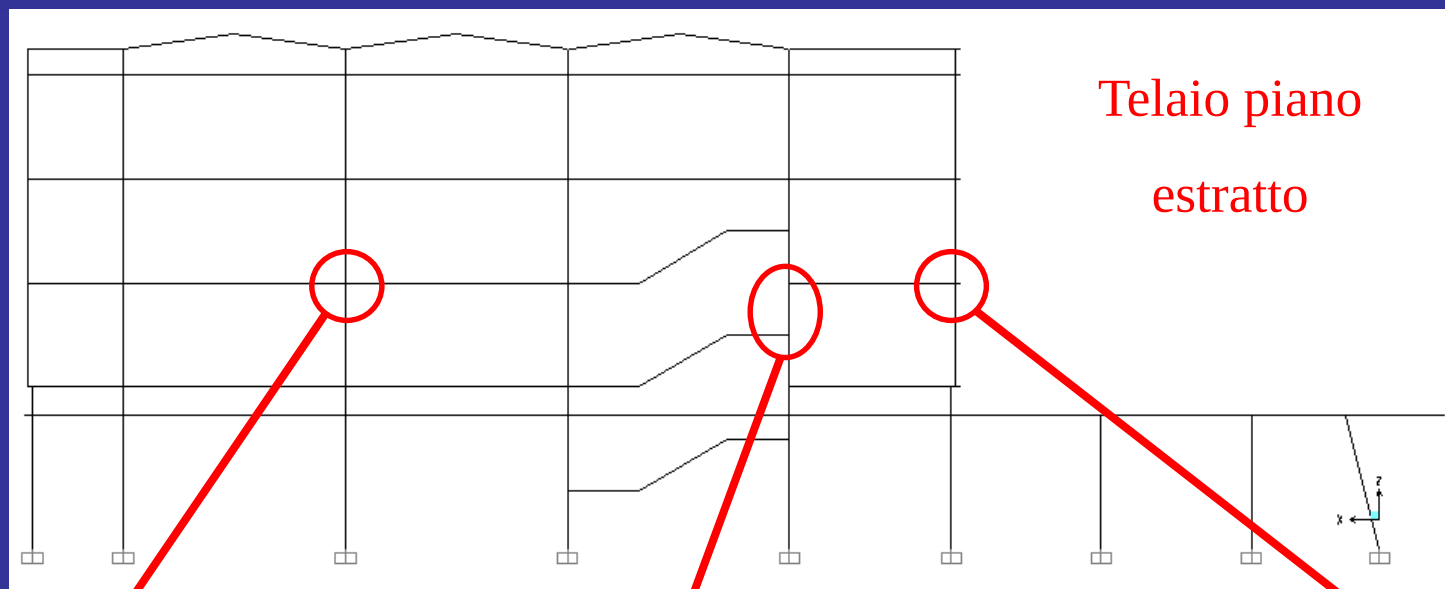


Prima crisi elemento a taglio
(nodo/pilastro/trave)

Capacità in termini di
spostamento SLV
(formazione 1° cerniera
plastica $3/4\theta_u$)

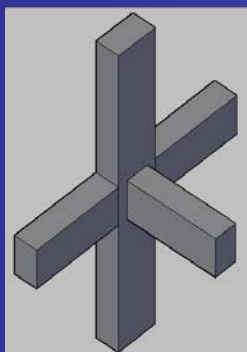
Richiesta in termini di
spostamento SLV

**Rinforzo a taglio
Incremento capacità
deformativa globale**

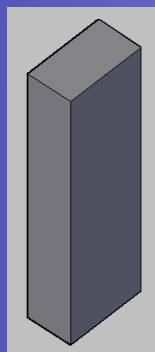


Telaio piano
estratto

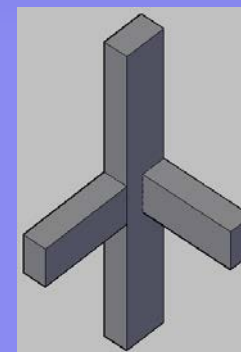
Nodo intermedio



Pilastro tozzo



Nodo d'angolo



Valutazione della capacità dei nodi

La verifica di resistenza va effettuata solo per i nodi non interamente confinati

La resistenza deve essere verificata sia lungo la diagonale tesa che lungo la diagonale compressa



$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g} \right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g} \right)^2} \right| \leq 0.3\sqrt{f_c}$$

$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g} \right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g} \right)^2} \leq 0.5f_c$$

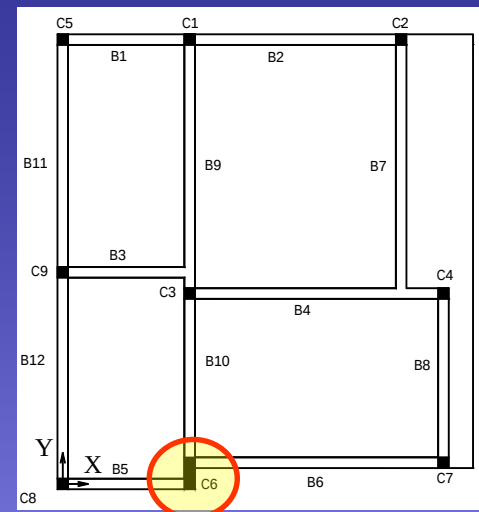


Rinforzo a taglio

OBIETTIVO: Impedire la formazione di meccanismi di rottura di tipo fragile

La resistenza di progetto a taglio di un elemento rinforzato si valuta come:

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



$$V_{Rcd} = b \cdot d^* \cdot \alpha_c \cdot v \cdot \sigma_{cd} \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta}$$

(taglio-compressione)

$$V_{Rsd} = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \frac{d^*}{s} \cdot \cot \theta$$

(taglio-trazione)

$$\theta = 45^\circ$$

$V_{Rd,f}$ = Contributo del rinforzo in FRP

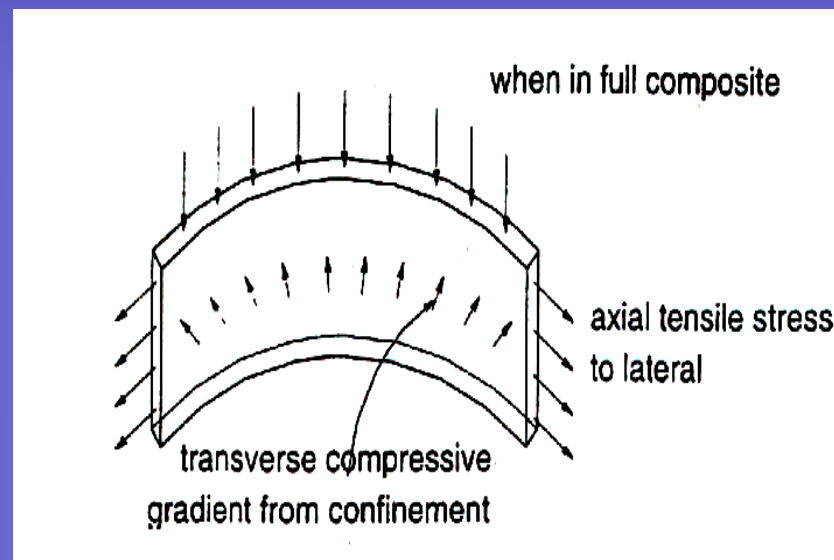
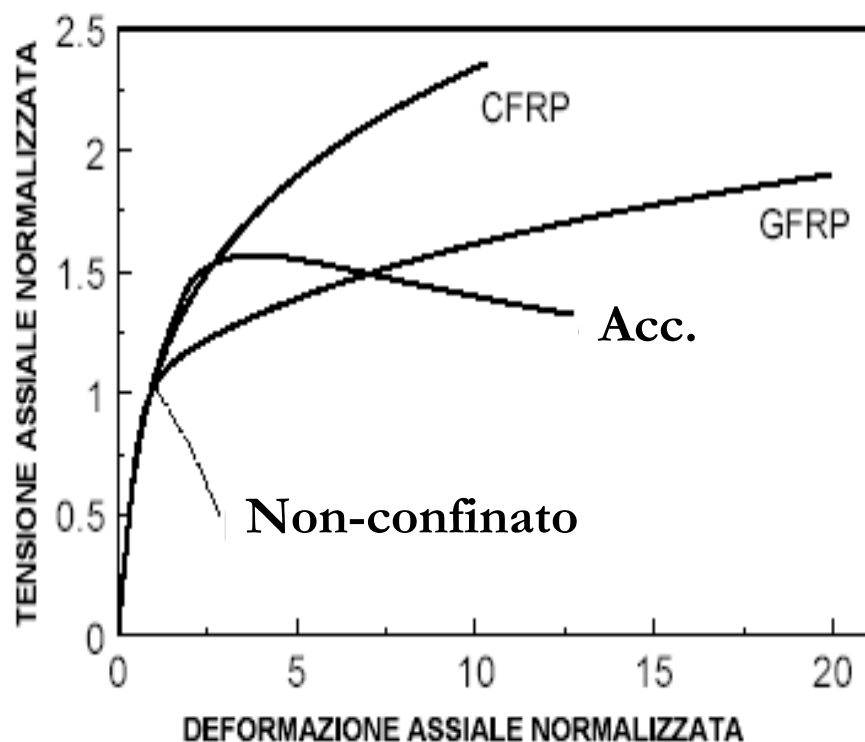
SCOPO: miglioramento della capacità deformativa globale della struttura.

- 1) Incrementando la duttilità delle potenziale cerniere plastiche senza variarne la posizione.

Fasciatura dei pilastri con FRP

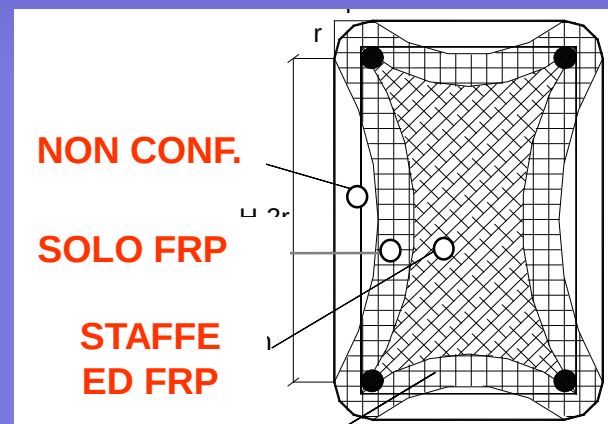
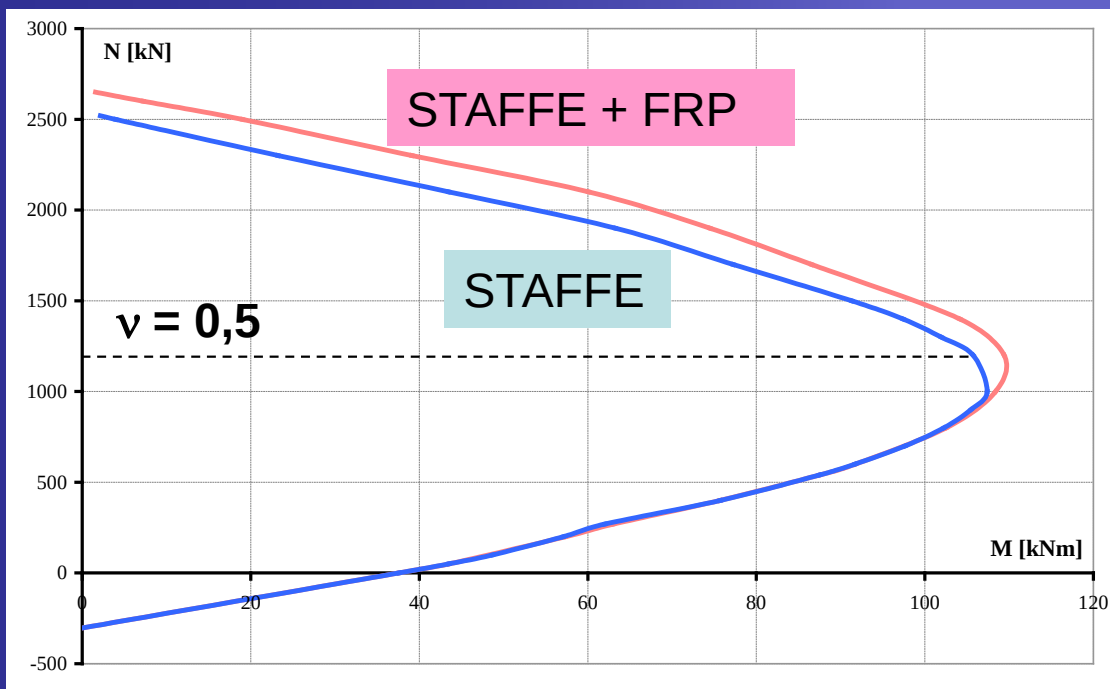
CONFINAMENTO

Effetto del confinamento



- Incrementa la resistenza a compressione assiale dell'elemento
- Incrementa la resistenza a trazione dell'elemento
- Accresce la duttilità degli elementi soggetti alla azione combinata di forze assiali e momento flettente

Confinamento: Domini di resistenza





Confinamento dei pilastri

- Confinamento in FRP su elementi pressoinflessi

Consente di incrementare la duttilità ed in misura ridotta la resistenza

In mancanza di determinazioni più accurate, la valutazione della curvatura ultima di una sezione presso-inflessa può essere perseguita adottando un classico legame parabola-rettangolo, il cui tratto costante si estenda fino ad un valore della deformazione ultima, ε_{ccu} , fornito dalla seguente relazione:

$$\varepsilon_{ccu} = 0.0035 + 0.015 \sqrt{\frac{f_{l,eff.}}{f_{cd}}}$$

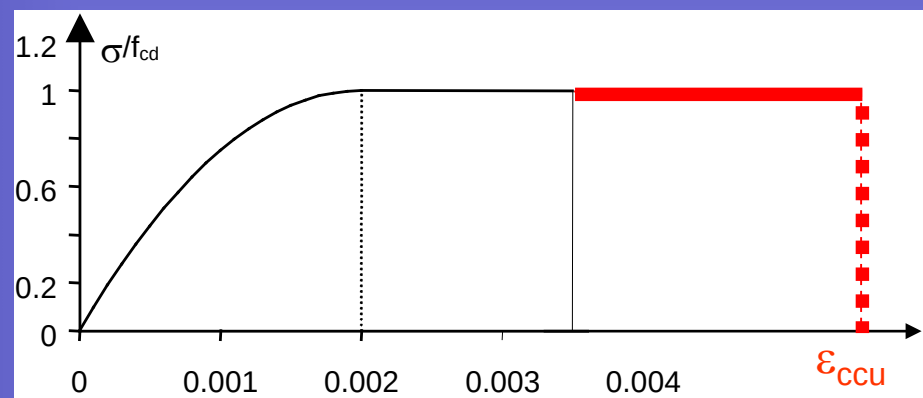
$f_{l,eff.}$: pressione efficace di confinamento

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$$

k_{eff} : coefficiente di efficienza (≤ 1)

f_l : pressione di confinamento

Legame σ - ε di progetto



8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

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

La relazione di cui al § 8.3 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento e a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.

Nel caso di interventi di rafforzamento locale, volti a migliorare le caratteristiche meccaniche di elementi strutturali o a limitare la possibilità di meccanismi di collasso locale, è necessario valutare l'incremento del livello di sicurezza locale.

Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione leggera

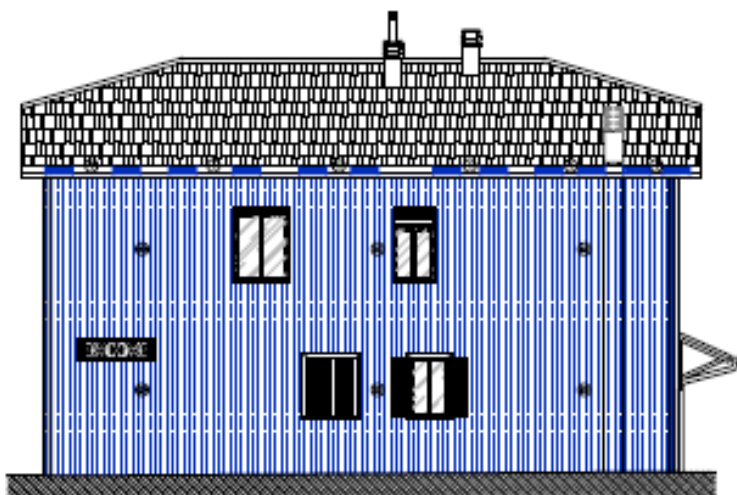


www.reluis.it

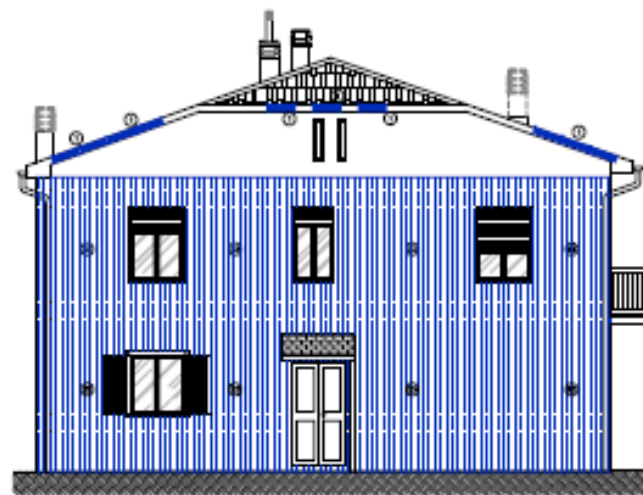
*Esempi dalla ricostruzione privata
dell'Abruzzo*

Edificio 1

PROSPETTO EST – SCALA 1:50



PROSPETTO NORD – SCALA 1:50



LEGENDA:

CLASSIFICAZIONE INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

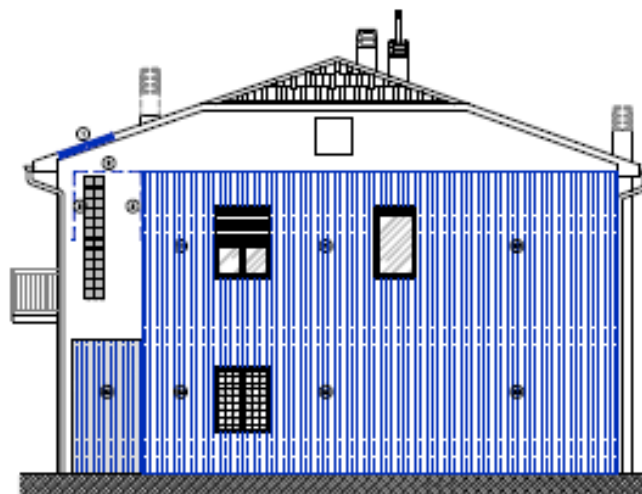
Per le specifiche dei dettagli si rimanda alla tavola degli interventi

- ①  Ripristino del copriferro
- ②③  Consolidamento muratura con fibra di vetro

PROSPETTO OVEST – SCALA 1:50



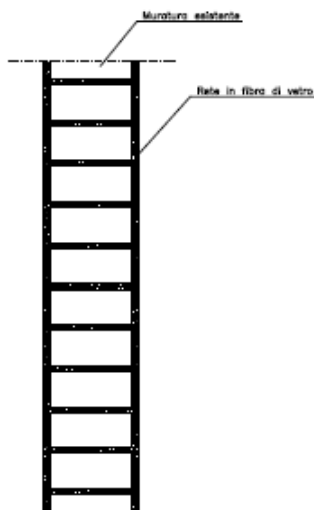
PROSPETTO SUD – SCALA 1:50



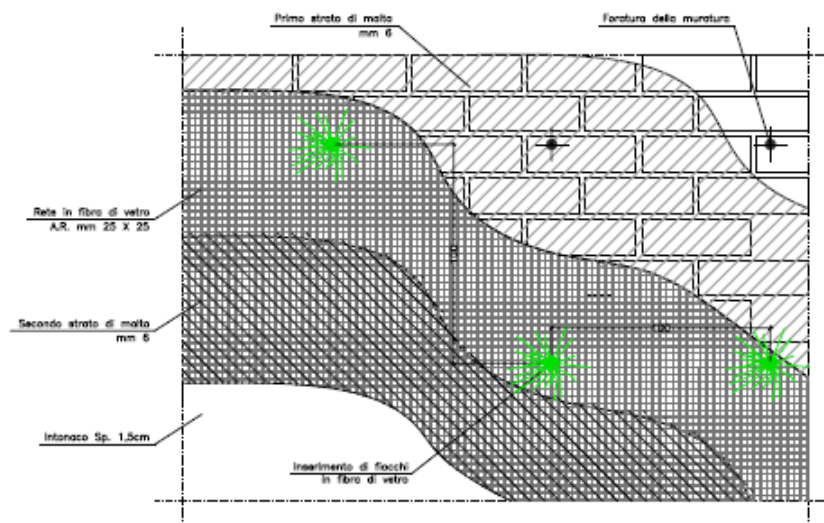
Edificio 1

23 CONSOLIDAMENTO MURATURA PORTANTE CON RETE IN FIBRA DI VETRO

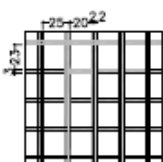
SEZIONE



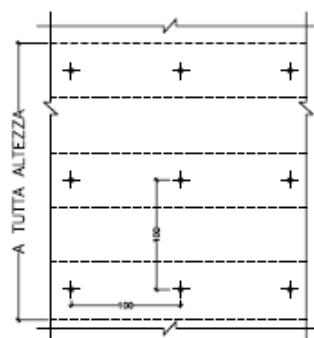
PROSPETTO



PARTICOLARE RETE IN FIBRA DI VETRO



PROSPETTO - MAGLIA FORATURA MURATURA



LAVORAZIONE RINFORZO RETE IN FIBRA DI VETRO:

Rinforzo con rete in fibra di vetro di pareti di qualsiasi genere, eseguito su due facce, mediante l'applicazione di una rete a maglia quadrata in fibra di vetro alcali-resistente (A.R.) pre-apprettata, posta in opera mediante una malta premiscelata bicomponente ad elevata duttilità a base di calce idraulica ed Eco-Pozzolana. Le fasi di lavorazione sono elencate di seguito:

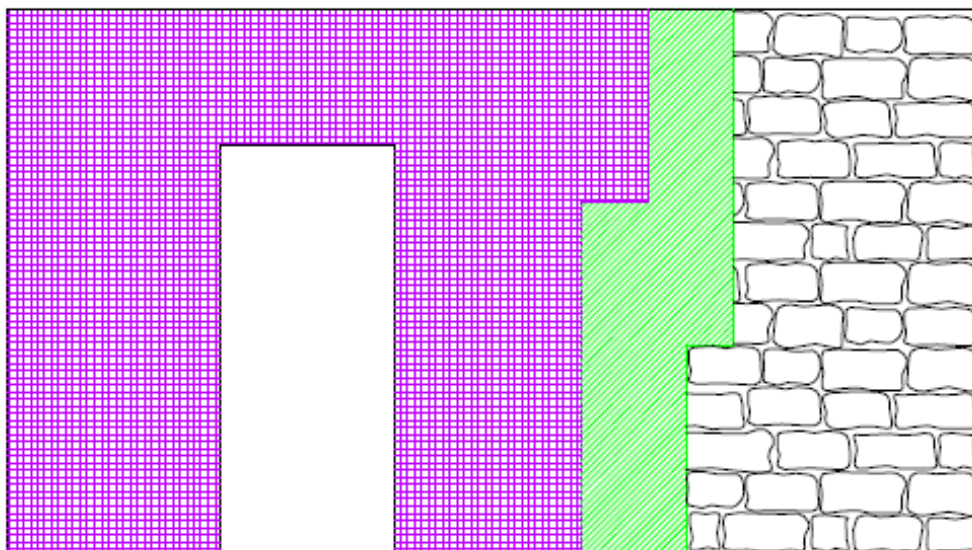
- 1) la spicconatura dell'intonaco;
- 2) la pulitura degli elementi murari e il lavaggio della superficie muraria;
- 3) la foratura della muratura per alloggiamento dei fiocchi ed occlusione temporanea dei fori (intervallo 100cm);
- 4) la stesura di un primo strato di malta pozzolanica (6 mm);
- 5) la posa della rete in fibra di vetro a maglia quadrata di dimensioni cm25x25, inserimento di fiocchi in fibra di vetro e primerizzazione dei fori;
- 6) la stesura di un secondo strato di malta pozzolanica (6mm);
- 7) finitura superficiale come da specifiche architettoniche

DATI TECNICI DEL PRODOTTO:

TIPO DI TESSUTO	Fibra di vetro A.R.
GRAMMATURA (g/m²)	125
DIMENSIONE DELLE MAGLIE (mm)	25 x 25
RESISTENZA A TRAZIONE (daN/cm²)	45
ALLUNGAMENTO A ROTTURA (%)	<3

- muratura a blocchi in cls e blocchi in laterizio
- rete in GFRP con malta
- coefficiente incrementativo 2
- costo intervento 238 euro/mq
- mecc. fuori piano non attivi per presenza solai in c.a.
- ante (nel piano): 0.155 g
- post (nel piano): 0.207 g

Edificio 2



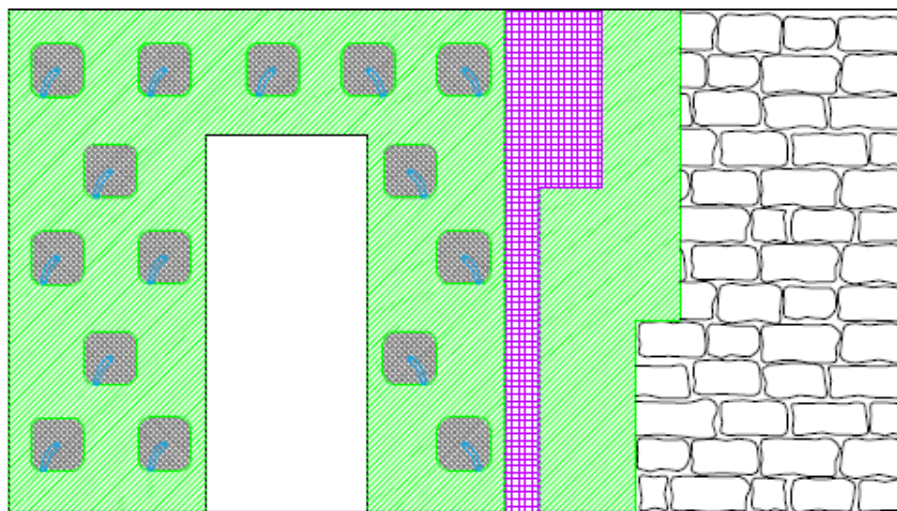
Fase 3:

Applicazione di Armatura in fibra di vetro per il rinforzo strutturale della parete, al fine di migliorare la distribuzione delle tensioni indotte dalle sollecitazioni sismiche. Questa rete in fibra di vetro, viene applicata comprimendola dolcemente con una spatola piana, in modo da farla aderire perfettamente alla malta precedentemente applicata, quando quest'ultima è ancora "fresca".

Dati Tecnici Rete Fibra di Vetro:

Grammatura = 225 g/mq

- muratura a blocchi in cls
- rete in GFRP con malta
- coefficiente incrementativo 1.5
- costo intervento 266 euro/mq
- mecc. fuori piano non attivi per presenza solai in c.a.
- ante (nel piano): 0.11 g
- post (nel piano): 0.17 g

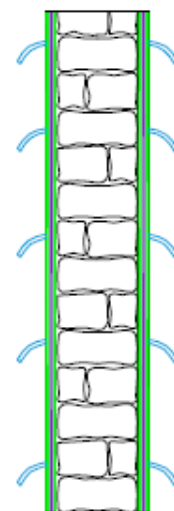


Fase 5:

Realizzazione di fori passanti del diametro di 18/20 mm al centro delle tasche di attesa e applicazione di uno strato di Primer epossidico sull'area della tasca e all'interno dei fori stessi. Nei fori verranno inseriti dei tubicini che fungeranno da spia per indicare il riempimento.

Dati Tecnici Primer:

Peso Specifico = 1,1 g/cm³
Viscosità = 300 mPa*s



Edificio 3



- *muratura in pietrame*
- *rete in GFRP con malta su muratura*
- *cordoli in composito*
- *coefficiente incrementativo: 1.6*
- *costo intervento 157 euro/mq*
- *ante (nel piano): 0.03 g; post (nel piano): 0.294 g*
- *ante (nel piano): 0.079 g; post (nel piano): 0.157 g*

Edificio 4



- *muratura in pietrame*
- *nastri in FRCM sulle murature*
- *calcolo come muratura armata secondo le linee guida CSLP*
- *costo intervento 271 euro/mq*
- *ante (nel piano): 0.08 g; post (nel piano): 0.28 g*
- *ante (nel piano): 0.11 g; post (nel piano): 0.17 g*

Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione leggera



Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione leggera



Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione leggera

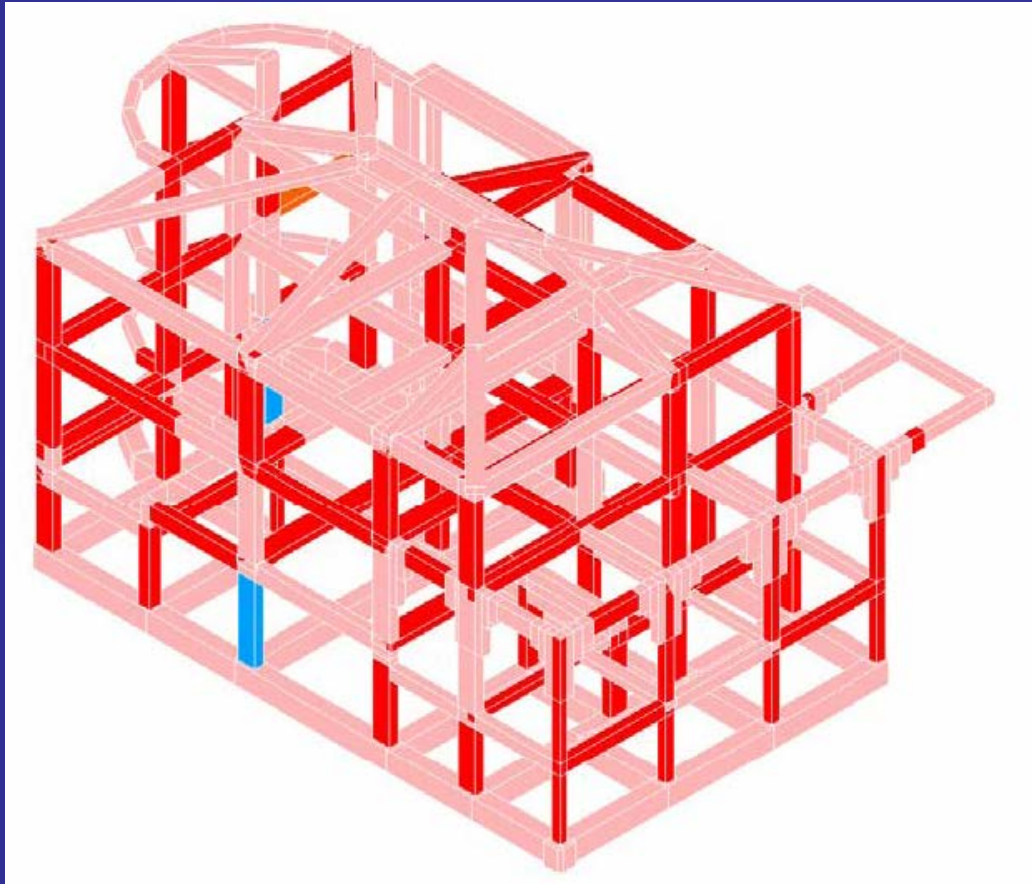


Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione leggera

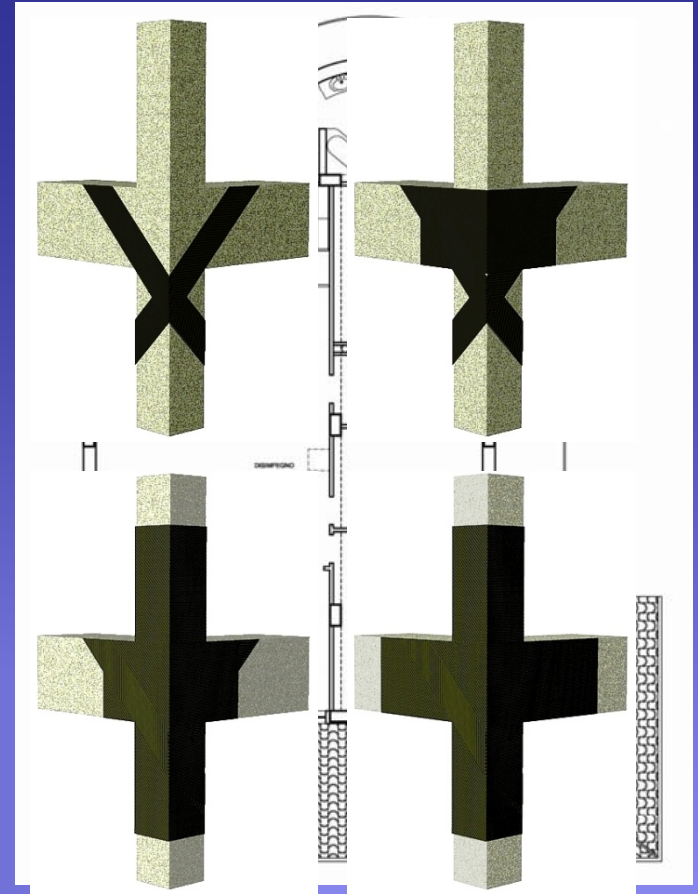


Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione pesante

UTILIZZO DI MATERIALI COMPOSITI IN FIBRA DI CARBONIO (CFRP)



Superficie lorda coperta = 749,48 m²



Percentuale di Adeguamento Raggiunta = 69,5%

Ricostruzione privata a l'Aquila: ricostruzione pesante

INTERVENTI COMBINATI REALIZZATI NEGLI EDIFICI CON STRUTTURA PORTANTE IN CEMENTO ARMATO

SETTI E ED INCAMICIATURA PILASTRI
ADIACENTI (per incremento sforzi di taglio)

RINFORZI IN FRP
(rottture fragili di nodi non confinati e
taglio travi)

