



2018

# I materiali compositi FRP-FRCM Alcuni esempi applicativi di rinforzi



*Ing. Carlo Perinelli*



# G&P intech

---

**G&P intech** rappresenta, grazie al proprio know-how e a partnership internazionali, una importante realtà tecnologica di riferimento nell'ingegneria strutturale e nell'architettura.

**G&P intech** risponde alle esigenze del mercato offrendo un servizio tecnologico completo nel settore del recupero edilizio, monumentale e delle infrastrutture.

Attività svolta nell'ambito degli FRP-FRCM-SRG SYSTEM:

1. Ingegneria strutturale per i rinforzi con materiali compositi in assistenza alla progettazione e alla posa in opera. Ricerca e sperimentazioni presso Università italiane ed europee.

2. Produzione e vendita di:

- lamelle CFK pultruse in carbonio
- tessuti in fibra di carbonio C-Sheet uni/bi/quadri-assiali, basalto,
- adesivi strutturali e malte con marcatura CE
- reti in carbonio, vetro AR, basalto
- tessuti in acciaio UHTSS
- ancoraggi e connettori

Produzione secondo standard di qualità ISO 9001, CE e CIT

3. Formazione permanente per ingegneri e applicatori specializzati



## I MATERIALI COMPOSITI FRP-FRCM-SRP-SRG

---

**FRP-SRP** : sono materiali compositi costituiti da un tessuto in fibra lunga o in acciaio UHTSS in una matrice adesiva organica.

**FRCM-CRM** : sono materiali compositi costituiti da una maglia (rete) in fibra immersa in una matrice inorganica, cementizia o in calce strutturale.

**SRG**: sono materiali compositi costituiti da un tessuto in acciaio UHTSS unidirezionale in una matrice inorganica.



## FIBRE E TESSUTI

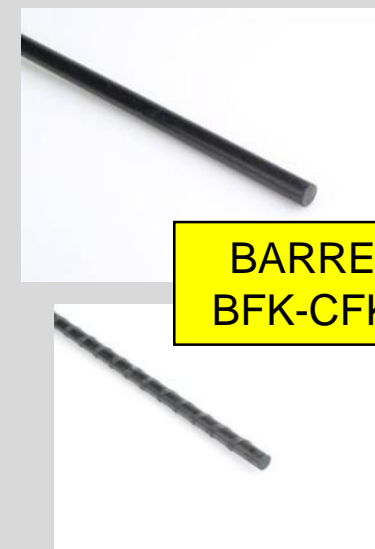
Carbonio

C-SHEET -CTB- Q

Unid.-Bid.-Quad.



## LAMELLE CFK

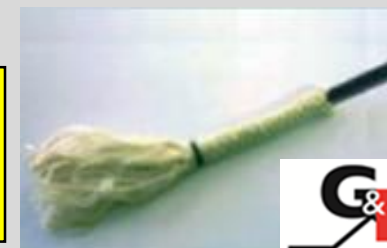


BARRE  
BKF-CFK



CONNETTORI  
AFIX-CFIX-  
SFIX

BARRE  
FIOCCATE  
AFIX BC



## **ASPETTI NORMATIVI FRP**

---

***Il Documento normativo di riferimento in Italia per i rinforzi realizzati con tecnologia FRP su c.a. e muratura è il***

***CNR DT 200 R1/2013***

***Il documento viene richiamato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC8 al cap. 8.6 strutture esistenti e approvato dal Cons. Sup LLPP nel luglio 2009.***

***Dal 9 luglio 2016 e' inoltre in vigore la qualificazione obbligatoria per l'uso e la vendita degli CFRP mediante CIT presso il STC del Ministero delle infrastrutture.***

***Ricordiamo che le qualifiche riguardano per il momento fibre in carbonio, vetro, aramide in matrice organica.***



# RETI E TESSUTI FRCM-SRG-TRM



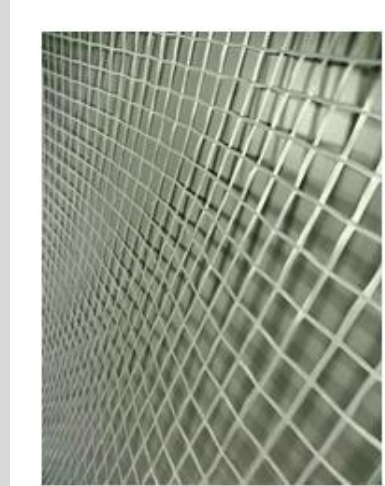
**C-NET 170 -220BL**



**RG NET BA**  
**33x33 66x66**



**B-NET 350 BA**



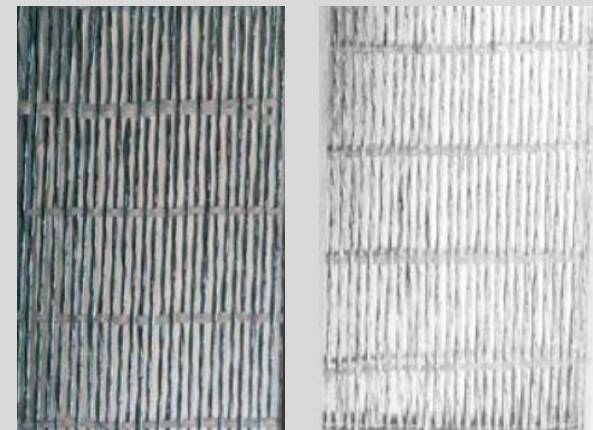
**G-NET 301 BAL**  
**G-NET 601 BAL**



**BARRA BFK**  
**BARRA CFK**



**AFIX 10**  
**SFIX G 12**



**STEEL NET G e I304**

# **Linee Guida FRCCM in approvazione**

**Linee Guida CNR per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCCM) e con reti preformate (CRM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti depositate presso il MIT per approvazione**



## FRP SOFTWARE DI CALCOLO PER C.A.

FRPsofTware e FRPnode costituiscono uno strumento di aiuto per il progettista che intenda rinforzare elementi in c.a. e nodi a flessione, taglio e confinamento con compositi fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP).

FRPsofTware e FRPnode sono aggiornati alle ultime normative tecniche e linee guida DT 200 R1 2013 e alle recenti linee di qualificazione dei materiali compositi (FRP).

FRPsofTware lavora su piattaforma Java e fornisce tre diversi pannelli per il rinforzo a flessione, taglio e confinamento di elementi in c.a. soggetti a prevalenti sforzi assiali. FRPnode è un foglio di calcolo in excel.

FRPsofTware è stato sviluppato da G&P intech in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova.

FRPsofTware e FRPnode sono **TOTALMENTE GRATUITI** e **SCARICABILI** dal sito:

[www.gpintech.com](http://www.gpintech.com)





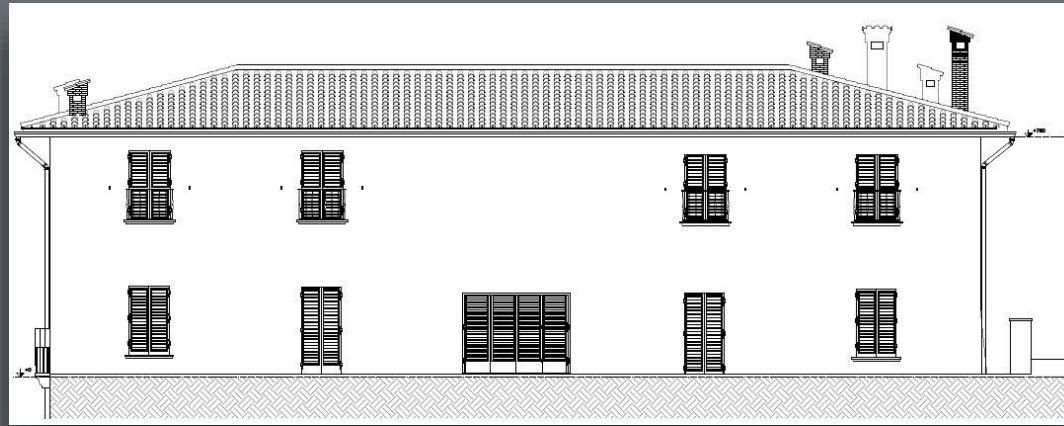
**G&P intech** mette a disposizione dei progettisti un nuovissimo strumento di calcolo per la progettazione dei rinforzi strutturali per le murature con sistemi FRCM (malte e reti), disponibile on line nel sito assieme al manuale di utilizzo.

**Il nuovo programma di calcolo, edizione 2018, presentato al Saie di Bologna stand B60, Pad. 26 , è un foglio di calcolo excel che svolge le verifiche dei rinforzi FRCM secondo le linee guida ministeriali e CNR.**

Riguarda in particolare rinforzi delle murature con reti in vetro AR, basalto, carbonio e tessuti in acciaio UHTSS galvanizzato con malte strutturali in calce e cementizie.

# Edificio residenziale in Firenze – Sismabonus

- Edificio in muratura inizio '900
- Due piani fuori terra 1000 mq



## Analisi dello stato attuale

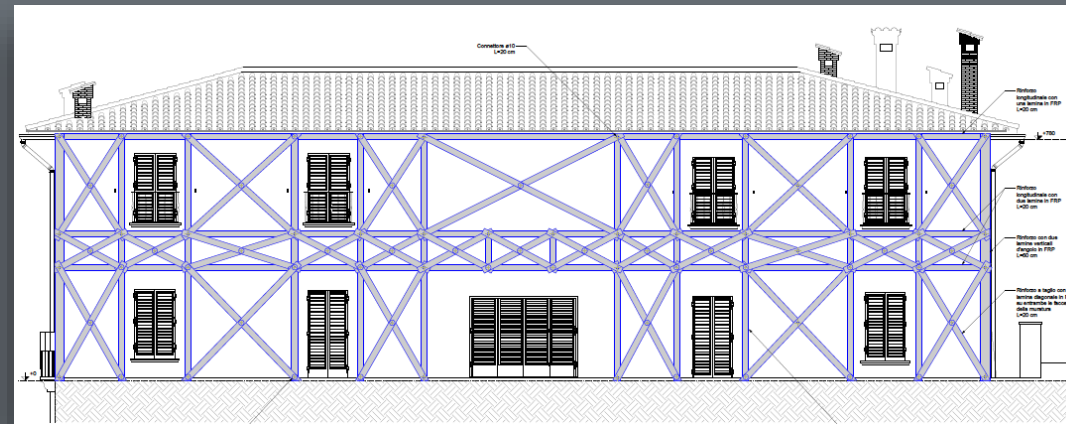
- Sono state eseguite indagini in-situ esaustive
- Livello di conoscenza LC3
- Fattore di confidenza FC=1
- Analisi dei carichi statici e sismici
- Modellazione e Analisi Non Lineare del Modello (Domus Wall)

Analisi dello stato attuale  
 $V_n=50$  anni  $C=II$   $C_v=1$   $V_r = 50$

- $PGA_{DLC} = 0,1341$  g
- $PGA_{CLC} = 0,0227$  g
- $IS-V,PGA = 0,168$  allo SLV
- $PAM = 23,31$  %
- Classe di Rischio G (D.M. 58 del 28.02.2017)

# Progetto di rinforzo con FRP

- Il progetto di rinforzo prevede l'utilizzo di un sistema FRP in fibra di carbonio applicato sulle murature perimetrali dell'edificio.



# Rinforzi FRP per strutture murarie

- La tecnica di rinforzo prevede l'incollaggio di fasce in fibra di carbonio sulla muratura con applicazione di resine epossidiche
- La superficie muraria deve essere regolarizzata in modo da non presentare irregolarità



# Rinforzi FRP per strutture murarie

## Tests di pull off su 15 punti con valori superiori a 0,9 MPa



## Considerazioni sulla resistenza del rinforzo

- Si utilizza un rinforzo in fibra di carbonio C-Sheet 240/300 Classe CIT 210C con le seguenti caratteristiche:

$$E = 240 \text{ Gpa} \quad (210 \text{ Gpa} )$$

$$f_{fk} = 3500 \text{ Mpa} \quad (2700 \text{ Mpa})$$

$$t_f = 0,165 \text{ mm}$$

$$b_f = 200 \text{ mm}$$



## Connettori AFIX 10 certificati

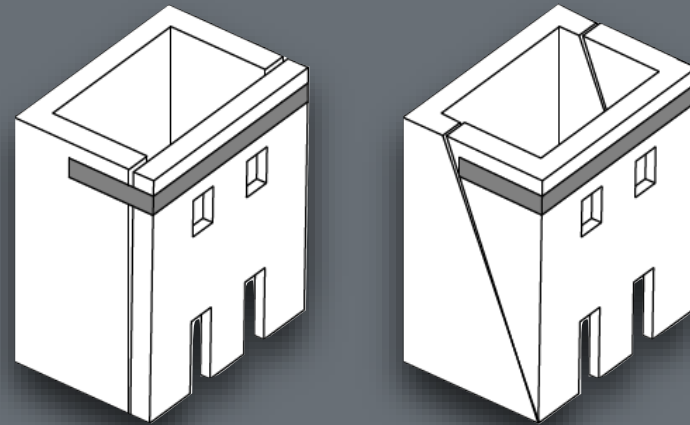


## Connettori AFIX 10 certificati



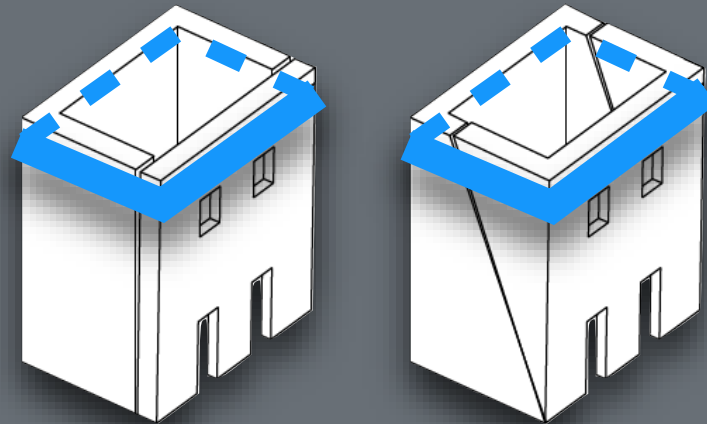
## Ribaltamento (cinematismo locale)

Per scongiurare il fenomeno del ribaltamento si realizza un cordolo perimetrale in fibra di carbonio



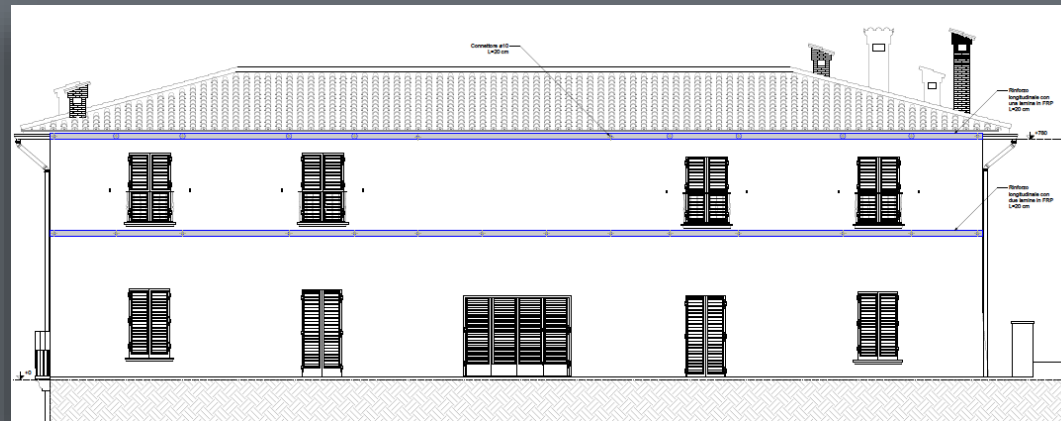
## Ribaltamento (cinematismo locale)

Nel caso in oggetto è stato possibile effettuare una cerchiatura completa e sfruttare quindi tutta la resistenza a trazione del rinforzo



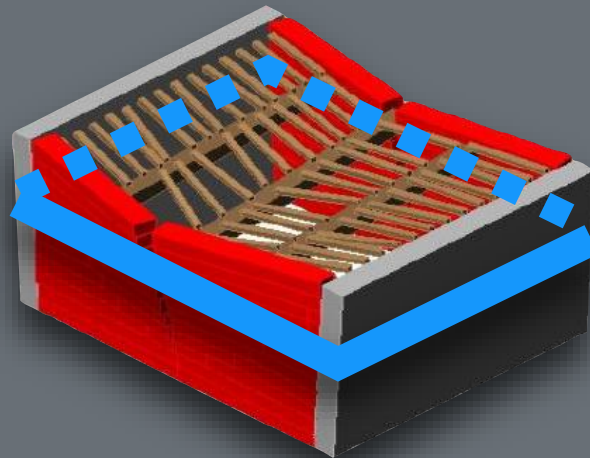
## Ribaltamento (cinematismo locale)

Sono state applicate fasce di cerchiatura perimetrale alle quote di imposta del solaio di piano primo e di copertura



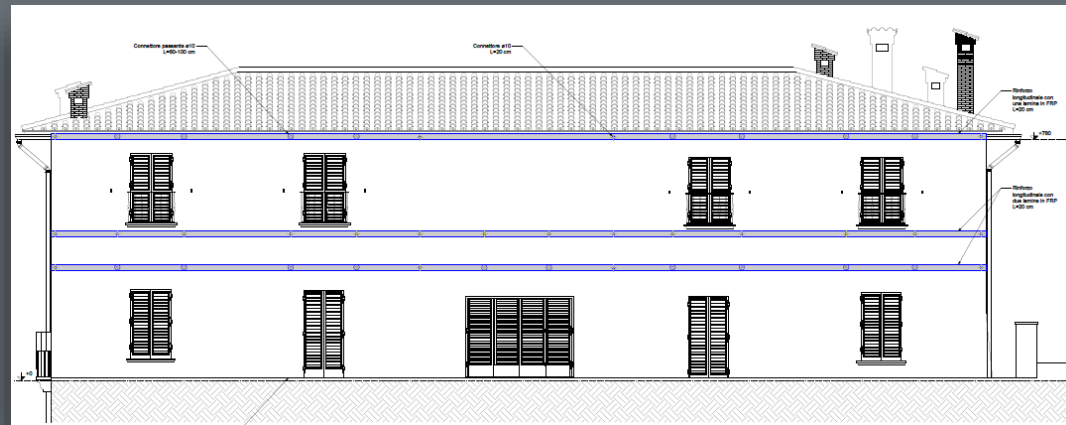
## Verifica per flessione della striscia orizzontale

Data l'altezza libera del piano terra superiore a 450 cm si è ritenuto di rinforzare anche la fascia muraria orizzontale sottostante il solaio di piano primo



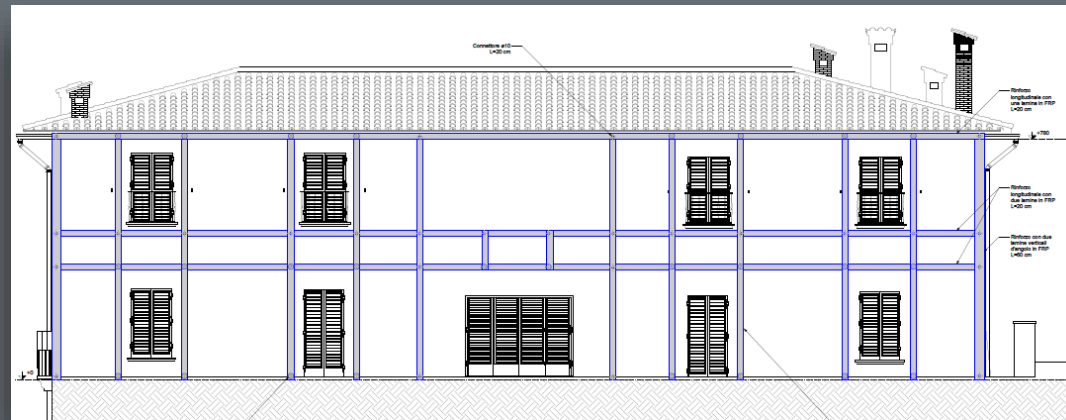
# Verifica per flessione della striscia orizzontale

Per ovviare a questo possibile meccanismo di rottura è stata inserita una fascia orizzontale alla quota degli architravi delle finestre



# Verifica per flessione della striscia muraria verticale

Per ovviare a questo possibile meccanismo di rottura sono state inserite fasce di rinforzo verticale





# Aumento della resistenza a Taglio



Terremoto: Umbria e Marche, 1997

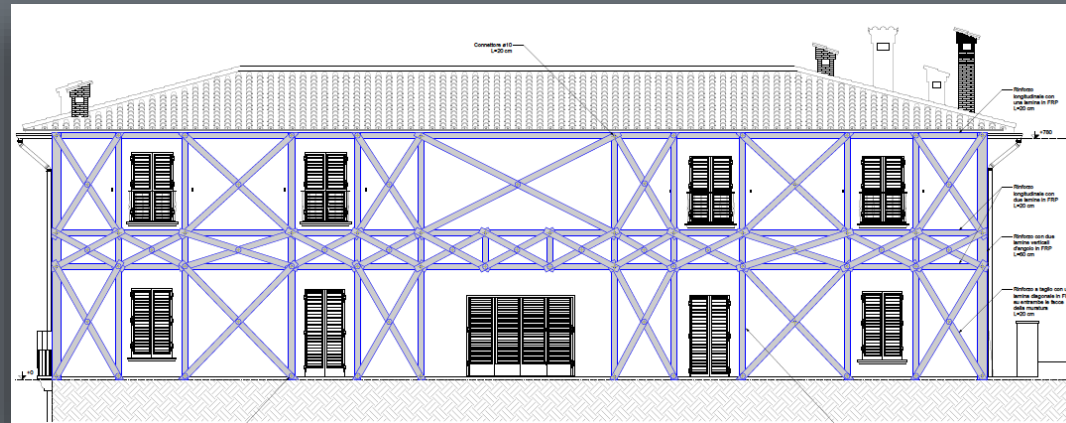


## Aumento della resistenza a Taglio



# Aumento della resistenza a Taglio

Per aumentare la resistenza a taglio dei pannelli murari perimetrali sono state applicati fasce di rinforzo disposte a Croce di Sant'Andrea su entrambe le facce della pareti



Calcolo della resistenza complessiva  
dell'edificio

Stato di progetto

$$PGA_{DLC} = 0,1341 \text{ g}$$

$$PGA_{CLC} = 0,0700 \text{ g}$$

$$IS-V, PGA = 0,524$$

$$PAM = 3,27 \%$$

Classe di Rischio D

Stato di fatto

$$PGA_{DLC} = 0,1341 \text{ g}$$

$$PGA_{CLC} = 0,0227 \text{ g}$$

$$IS-V, PGA = 0,168$$

$$PAM = 23,31 \%$$

Classe di Rischio G

**Miglioramento di 3 classi di rischio**

**Costo 250 €/mq**

# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)- 1288

IL PIU IMPORTANTE MONUMENTO ALL'AQUILA RESTAURATO CON  
TECNOLOGIE G&P INTECH E' STATO INAUGURATO il 20.12.2017



# SISTEMA ANCHORSTEEL NET – RETICOLO

Sistema a reticolo di rinforzo strutturale delle murature per il mantenimento del faccia a vista.

Prodotti:

Barre elicoidali inox AISI 316

**STEEL ANCHORFIX  $\phi$  10 mm**

Trefolo in acciaio **ANCHORSTEEL**

Malta di allettamento **LIMECRETE TA**

Mandrino

Trapano a percussione e AS test unit per pull off



# SISTEMA ANCHORSTEEL NET – RETICOLO

Sistema di rinforzo strutturale delle murature a reticolo per il mantenimento del faccia a vista.

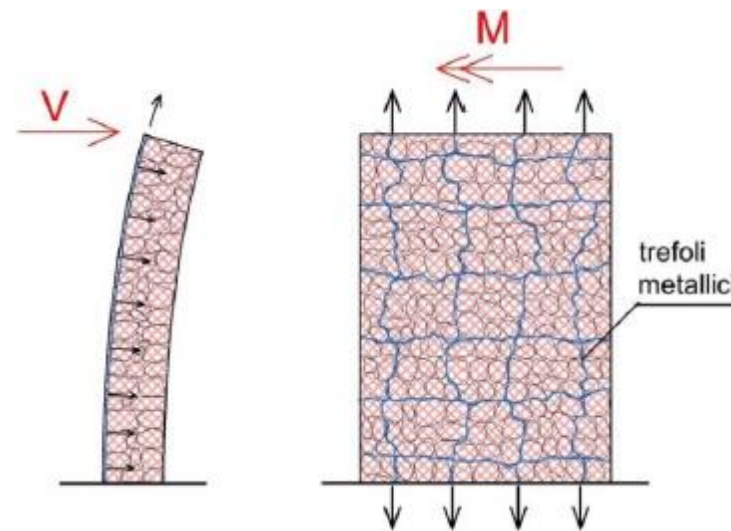
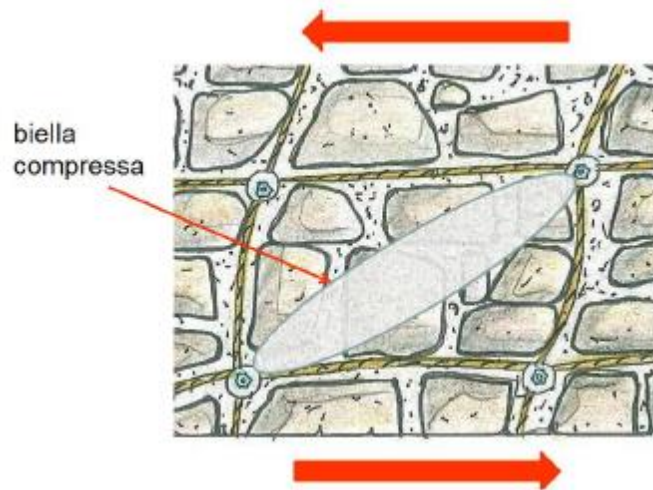
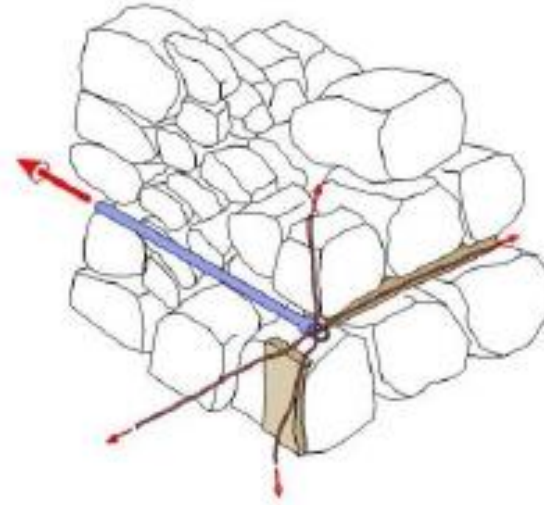
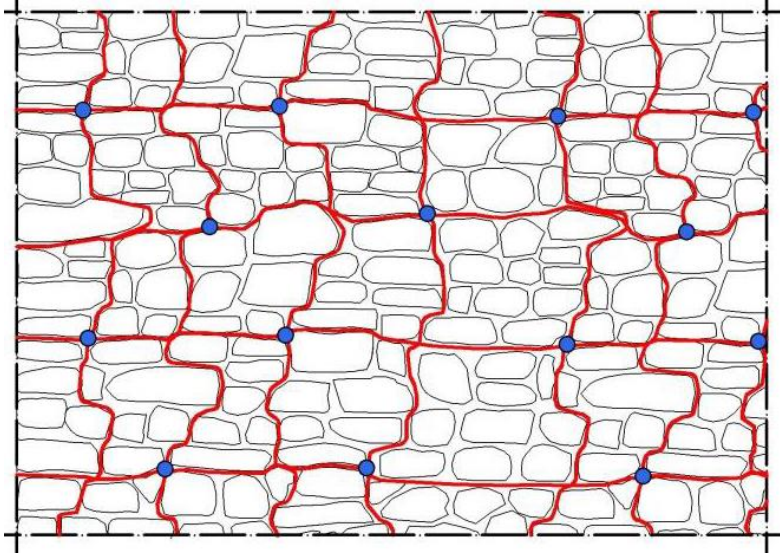
Prodotti:

Barre elicoidali inox AISI 316

**STEEL ANCHORFIX  $\phi$  10 mm con ritegno in testa**



# SISTEMA ANCHORSTEEL NET – RETICOLO





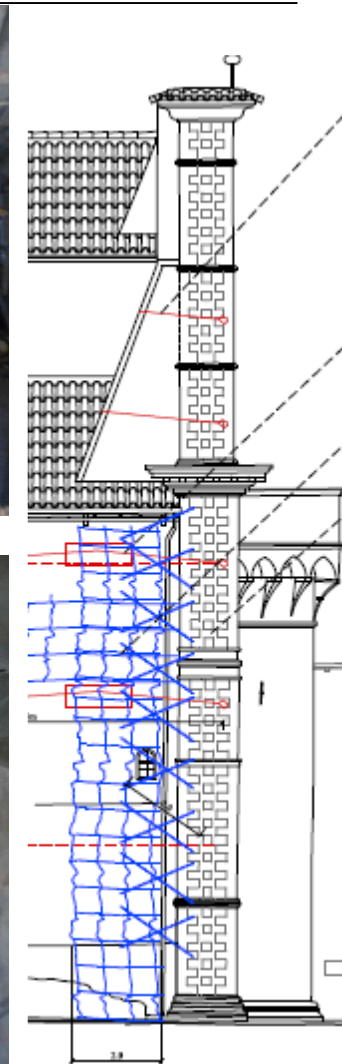
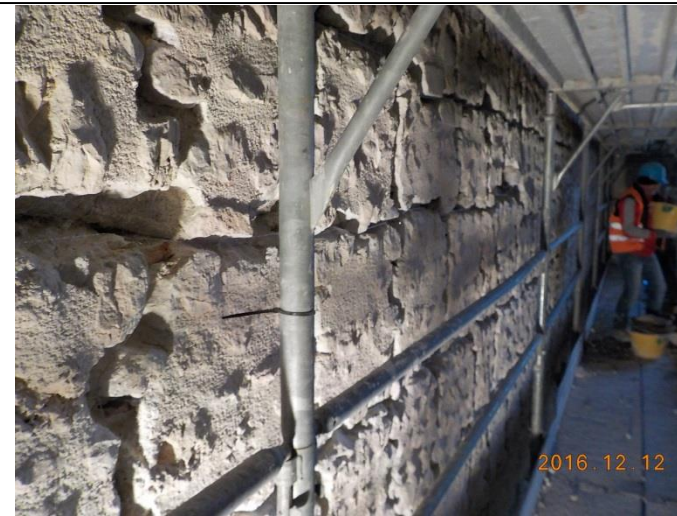
# SISTEMA ANCHORSTEEL NET – RETICOLO

## FASI ESECUTIVE



# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

## L'INTERVENTO CON RETICOLO DI RINFORZO ANCHORSTEEL NET

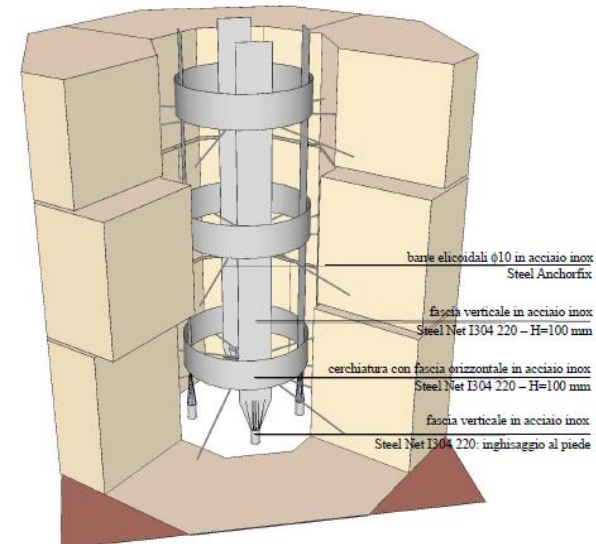
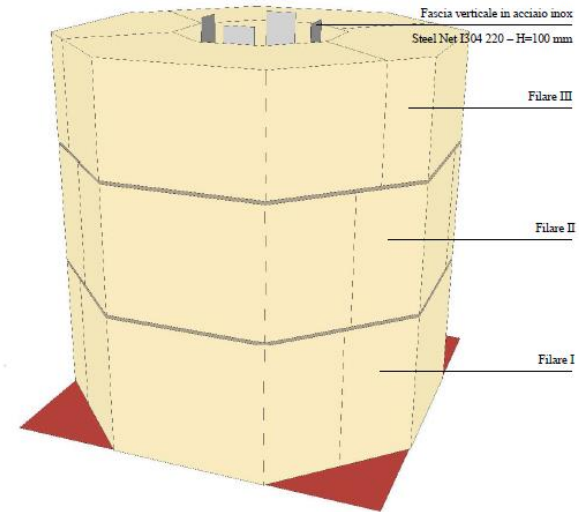


# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

## L'INTERVENTO PROPOSTO PER LE COLONNE



### Ripristino idoneità strutturale delle colonne Ipotesi di intervento



# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

FINE LAVORI DICEMBRE 2017

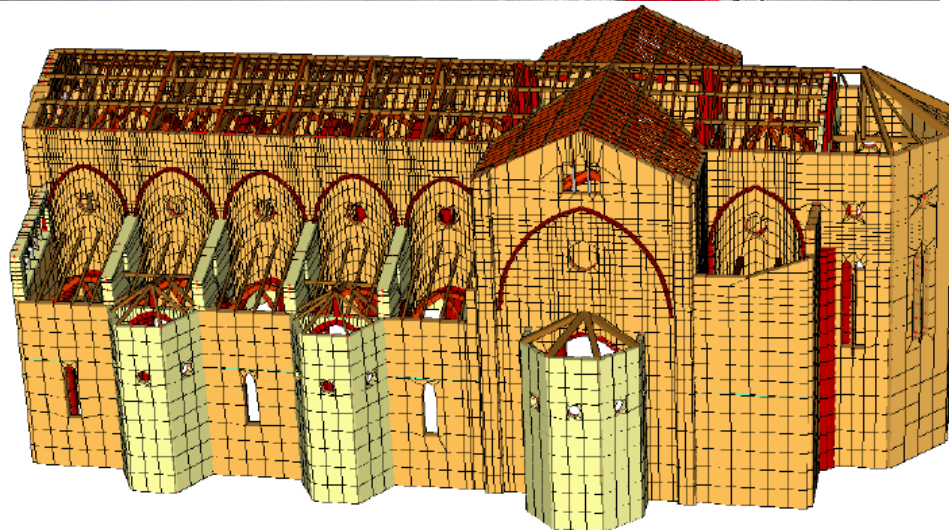


# DUOMO DI CREVALCORE (BO)

---

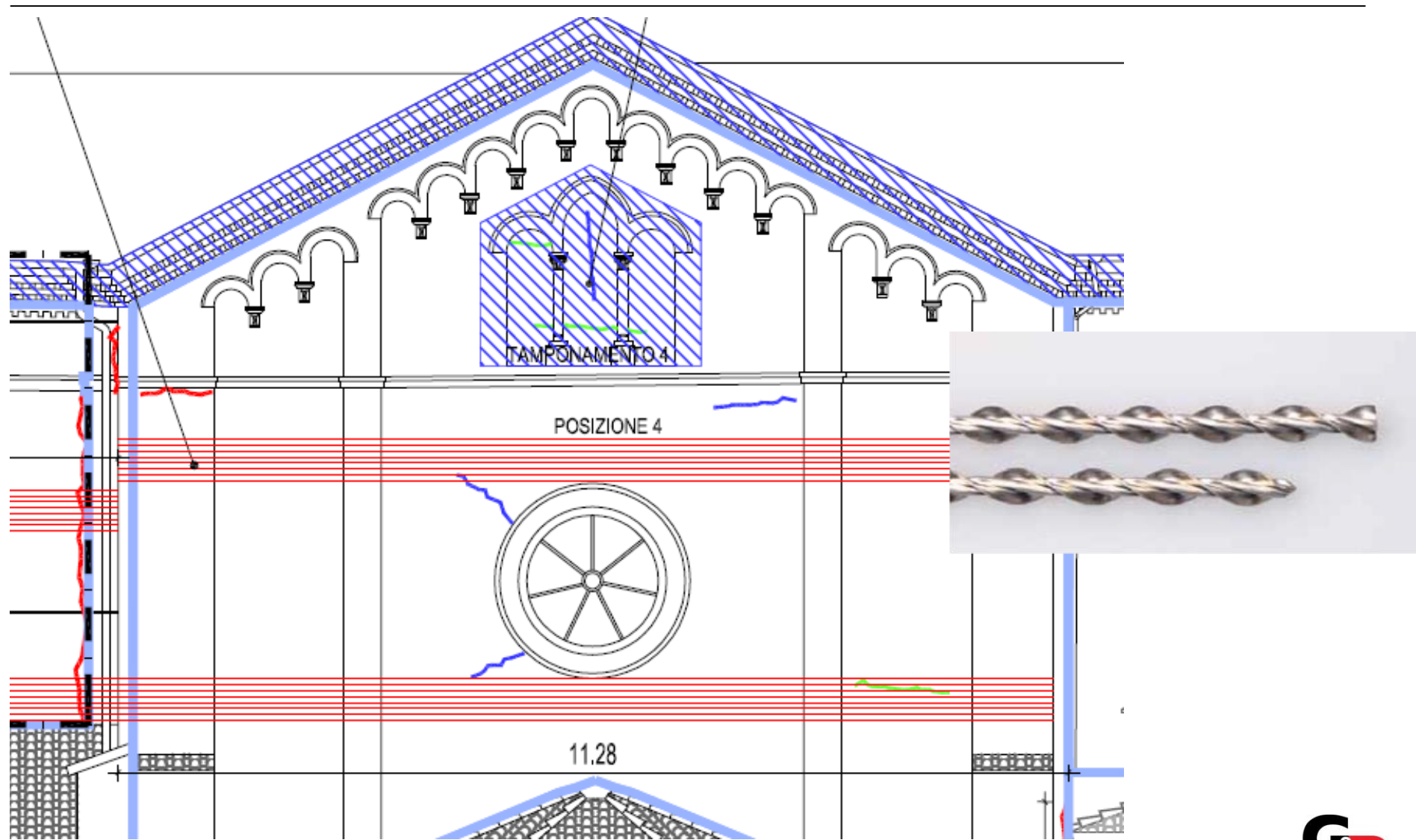


# DUOMO DI CREVALCORE (BO) SISMA 2012



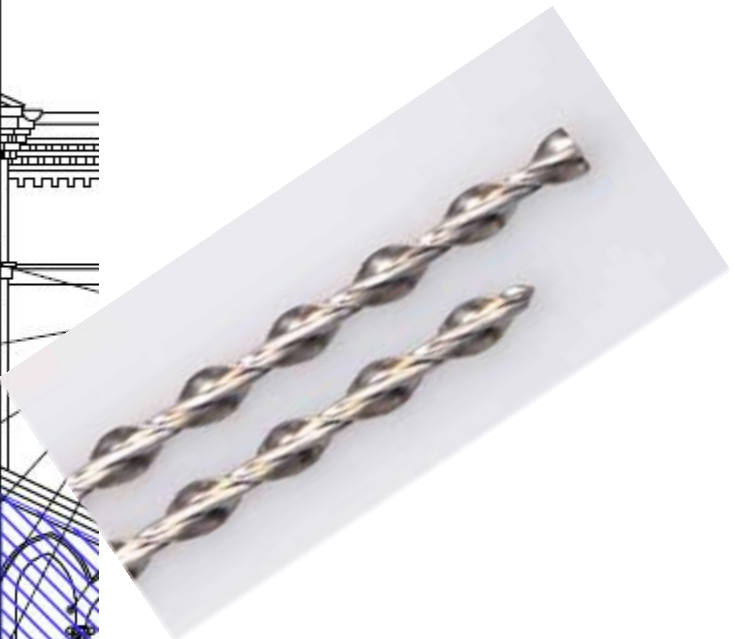
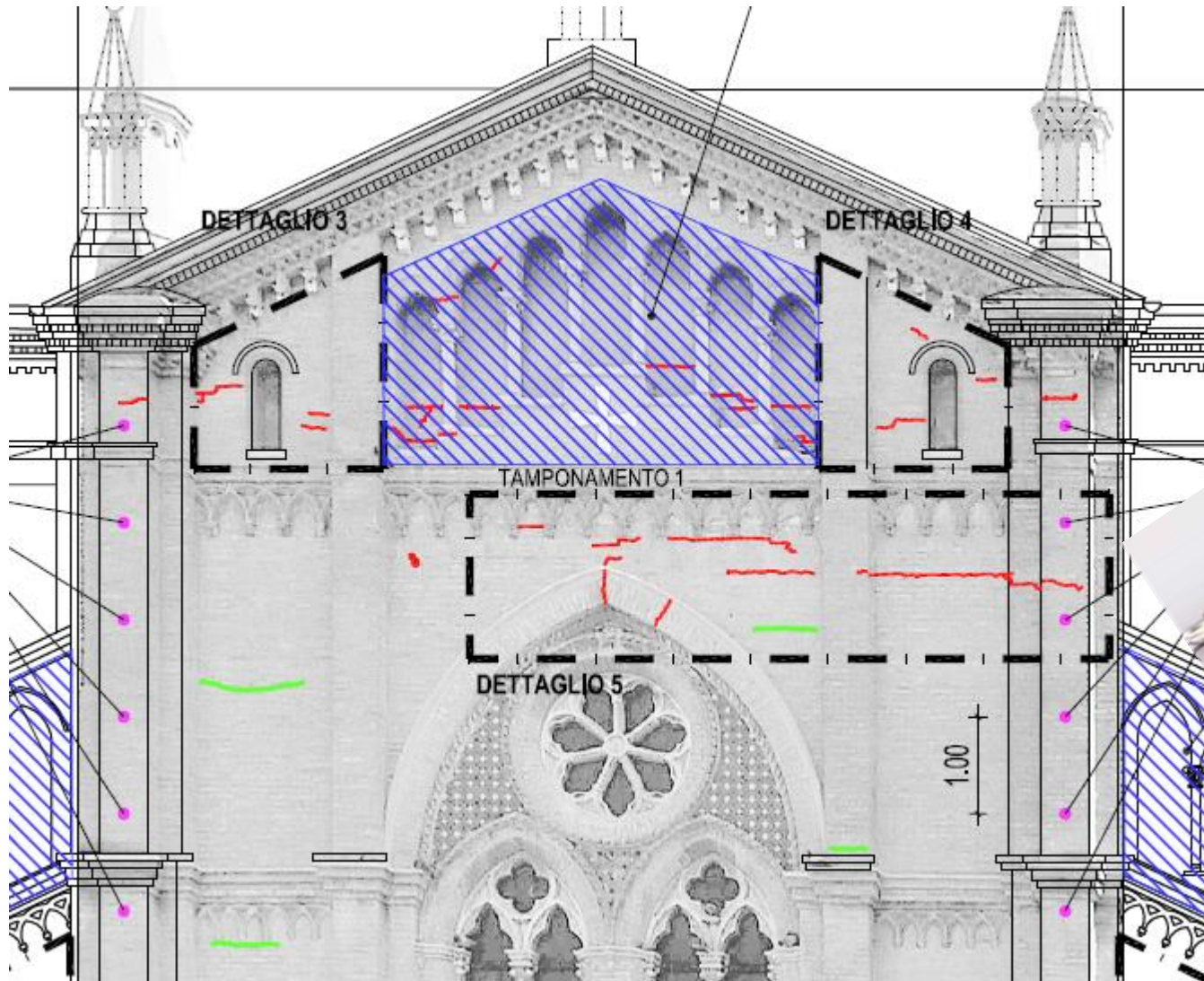
# DUOMO DI CREVALCORE (BO)

## SISTEMA STEEL ANCHORFIX STILATURE ARMATE



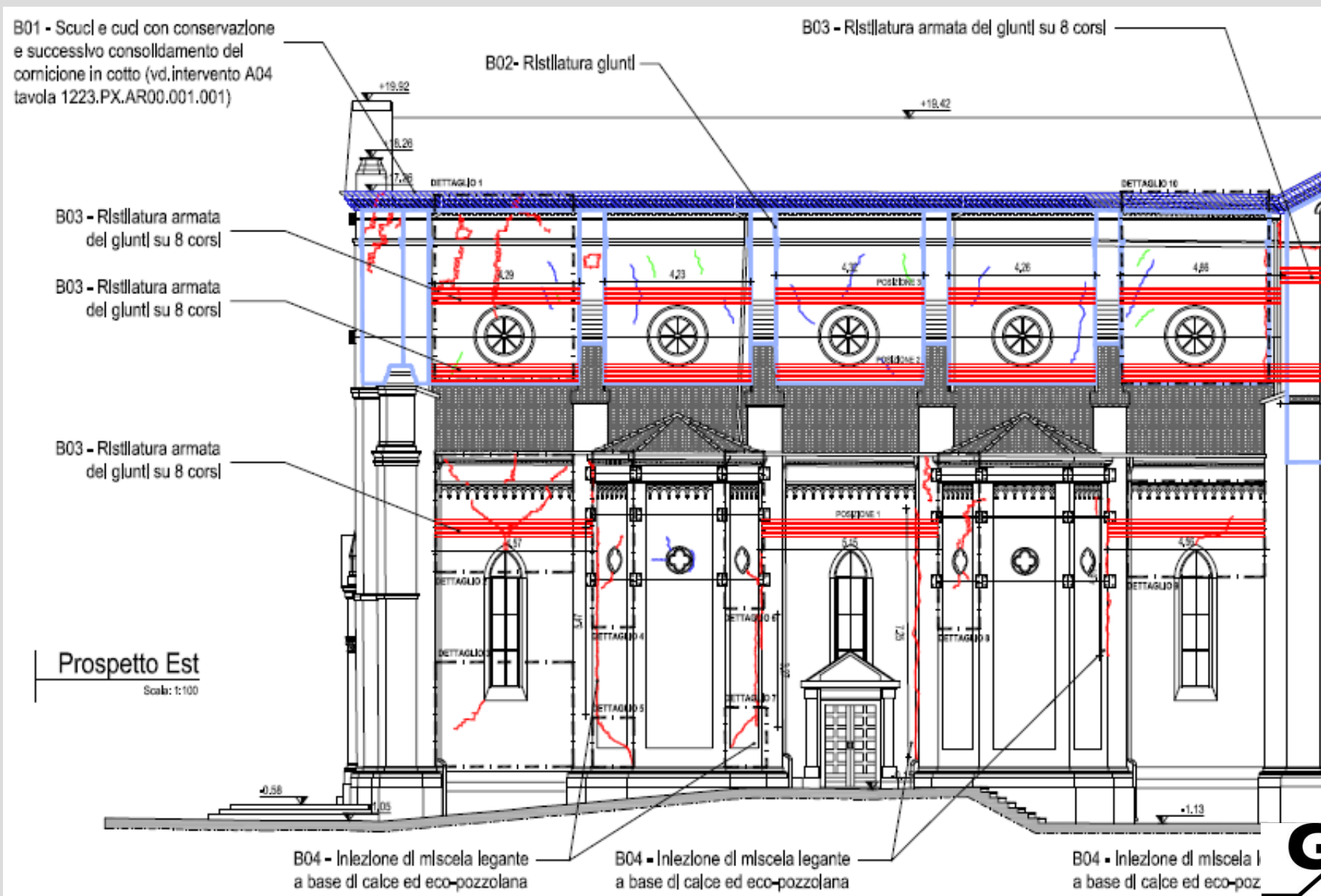
# DUOMO DI CREVACORE (BO)

## SISTEMA STEEL ANCHORFIX CUCITURE ARMATE A SECCO

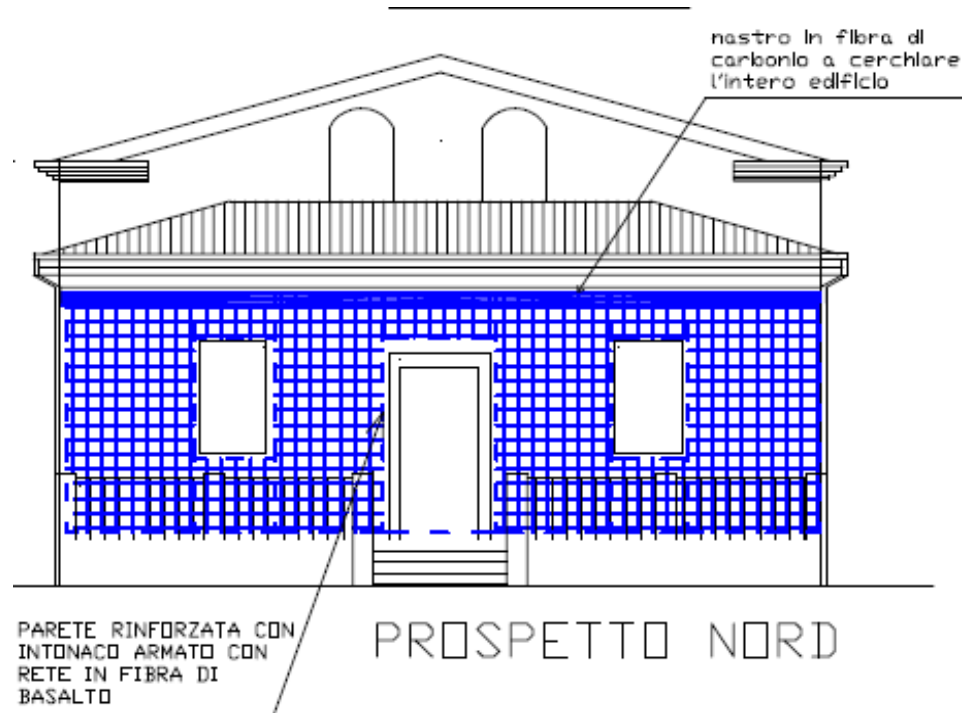




# SISTEMA STEEL ANCHORFIX stilature armate



# RINFORZO NEL PIANO CON FRCM MIRANDOLA SISMA 2012



**RINFORZO DEI PARAMENTI MURARI  
CON INTONACI ARMATI CON RETI IN  
VETRO AR G-NET 3101 BAL E  
CONNETTORI GFIX E LIMECRETE**



**SCHEMA DI INTERVENTO MURARIO**



ISTITUTO APOSTOLE S.CUORE DI GESU' AVEZZANO (AQ) Sisma 2009  
Miglioramento sismico allo 0,6- Rinforzo di murature, setti , pilastri  
con reti in carbonio C-NET 220 BL , connettori in aramide AFIX  
e malta CONCRETE ROCK S.

---





[www.gpintech.com](http://www.gpintech.com)

[info@gpintech.com](mailto:info@gpintech.com)



# HIRUN ENGINEERING ISOLATORI E DISSIPATORI SISMICI

*G&P intech – Divisione Hirun Engineering*



*Ing. Pietro Tomassini*



# SISTEMI DI INTERVENTO PER MIGLIORAMENTO ED ADEGUAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

## Soluzioni

### Sistemi di rinforzo e consolidamento FRP-FRCM

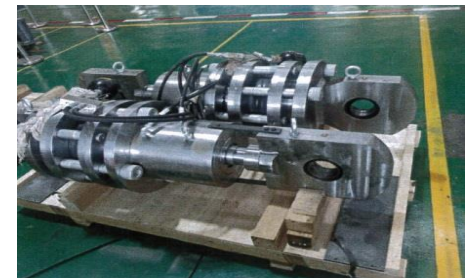
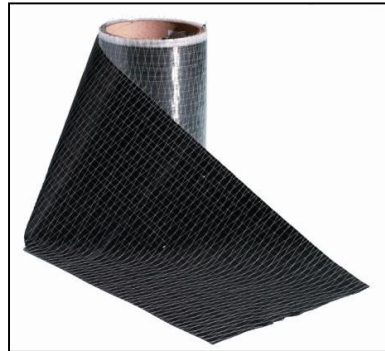
Aumento della resistenza

Aumento della duttilità

### Isolamento e dissipazione sismica Div. HIRUN ENGINEERING

Riduzione dell'energia sismica in ingresso

Incremento dell'energia dissipata



# Divisione HIRUN ENGINEERING



Partner principale per la produzione dei dispositivi antisismici , appoggi e giunti è la Società **HIRUN ENGINEERING** con sede a Wuhan – Hubei di proprietà della Wuhan Marine Machinery Plant a sua volta controllata al 100% dalla Società di Stato cinese China Shipbuilding Industry Corporation (CSIC), una delle prime 500 aziende del mondo. L'attuale capacità produttiva è di 60.000 dispositivi annui. Al proprio interno ha inoltre una delle più importanti macchine di prova al mondo per i dispositivi sismici per i tests di qualifica e di accettazione ai sensi delle principali normative mondiali.



## Divisione HIRUN Engineering – PRINCIPALI DISPOSITIVI

- Isolatori a pendolo HISLIDE a semplice (HP1) doppia (HP2) superficie di scorrimento



- Isolatori elastomerici in gomma e acciaio (HDRB) e in piombo (LRB)



- Dissipatori sismici HIFLUID fluodinamici VDD e shock trasmitter LUD



- Appoggi per ponti e viadotti HIFLOW e HIPOT

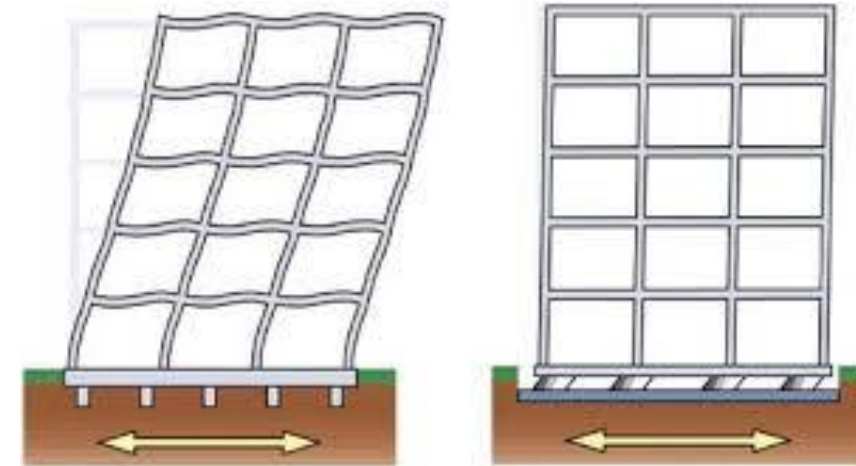




# ISOLATORI FRICTION PENDULUM- HISLIDE

## Funzione:

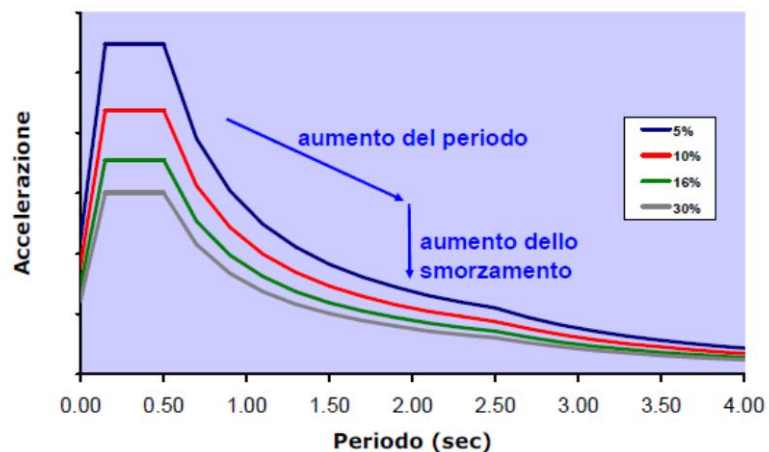
- Disaccoppiamento del moto della struttura da quello del terreno
- Spostamento relativo della sovrastruttura rispetto alla fondazione
- Funzione di appoggio, elevata rigidezza verticale e una bassa rigidezza al moto in direzione orizzontale



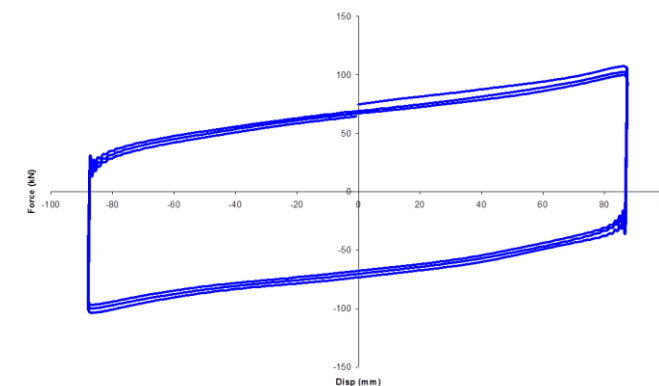
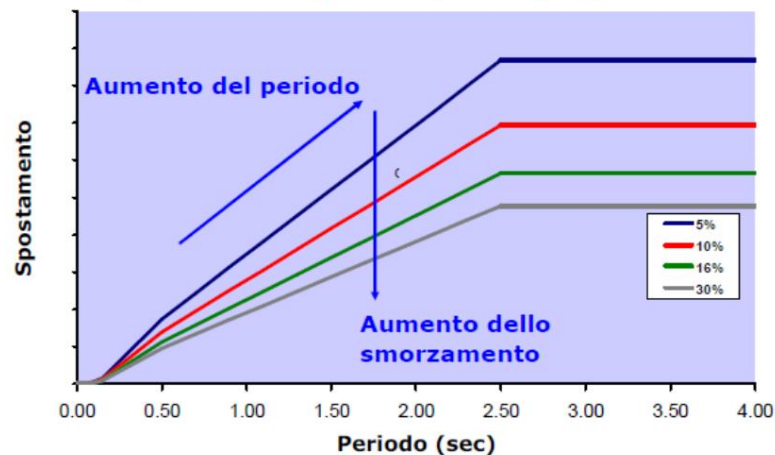
## Vantaggi:

- Incremento del periodo proprio della struttura
- Riduzione delle accelerazioni alla base, riduzione delle sollecitazioni sugli elementi strutturali
- Riduzione degli spostamenti interpiano evitando il danneggiamento degli elementi non strutturali
- Aumento dello smorzamento, buone capacità dissipative e di ricentraggio

Spettro d'accelerazione di progetto

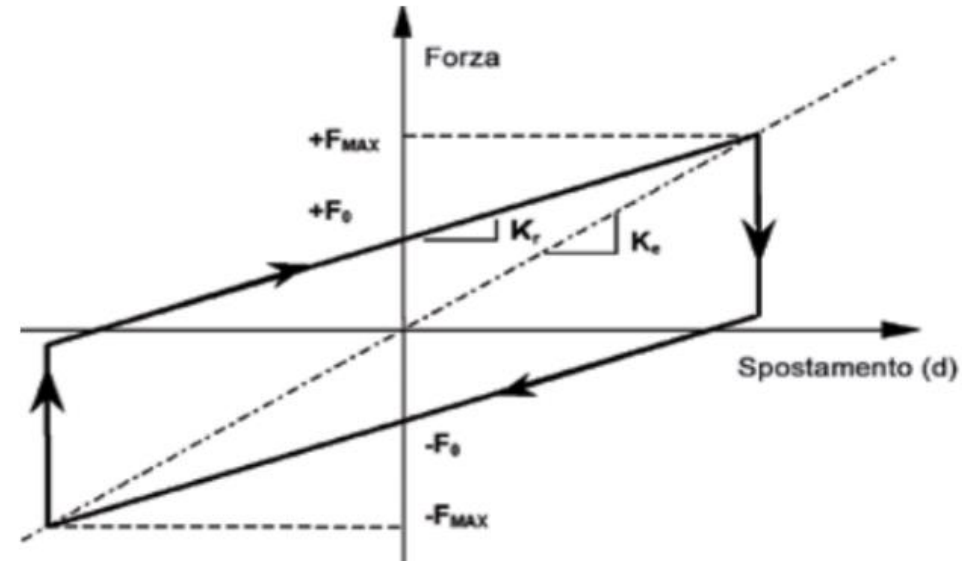


Spettro dello spostamento di progetto



## PARAMETRI CHE CARATTERIZZANO GLI ISOLATORI A PENDOLO E FORMULAZIONE MATEMATICA

- **W** = carico max di progetto che può sostenere l'isolatore
- **R** = raggio di curvatura della o delle superfici di scorrimento
- **μ** = coefficiente d'attrito
- **D** = spostamento di progetto



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$K_r = \frac{W}{R}$$

$$K_e = W \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{D} \right)$$

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{D} \right)}}$$

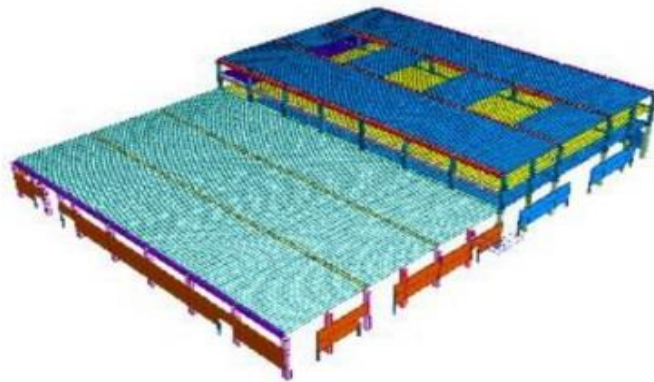
$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right]$$

**Peculiarità:**

- Periodo proprio indipendente dalla massa della struttura
- Raggio di curvatura determina periodo proprio di vibrazione della struttura
- Centro di massa = centro di rigidità, no problemi torsionali
- La dissipazione di energia è fornita dall'attrito che sviluppa durante lo scorrimento
- La capacità di ricentraggio è fornita dalla curvatura

## DISSIPATORI VISCOELASTICI HIFLUID VSD

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO DI UN COMPLESSO INDUSTRIALE CON L'UTILIZZO DI CONTROVENTI DISSIPATIVI MUNITI DI DISPOSITIVI VISCOELASTICI



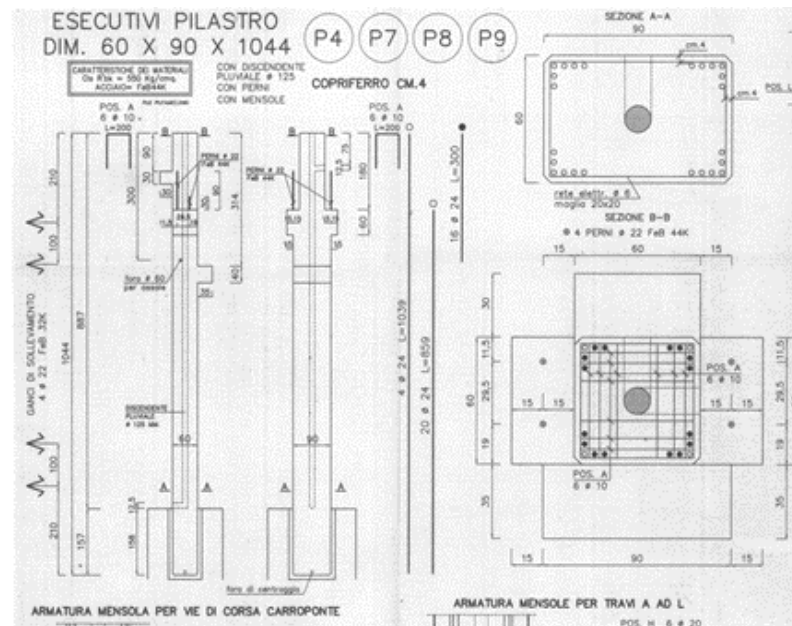
## RILIEVO STRUTTURALE

- Strutture regolari in pianta (2 blocchi 70x40m)
- Pilastri prefabbricati
- Travi principali in c.a.p a T rovescia e ad L
- Solai con tegoli TT e soletta integrata
- Fondazione a plinti bi-palo
- Collegamento tra i due edifici con appoggio semplice di tipo «a sella»

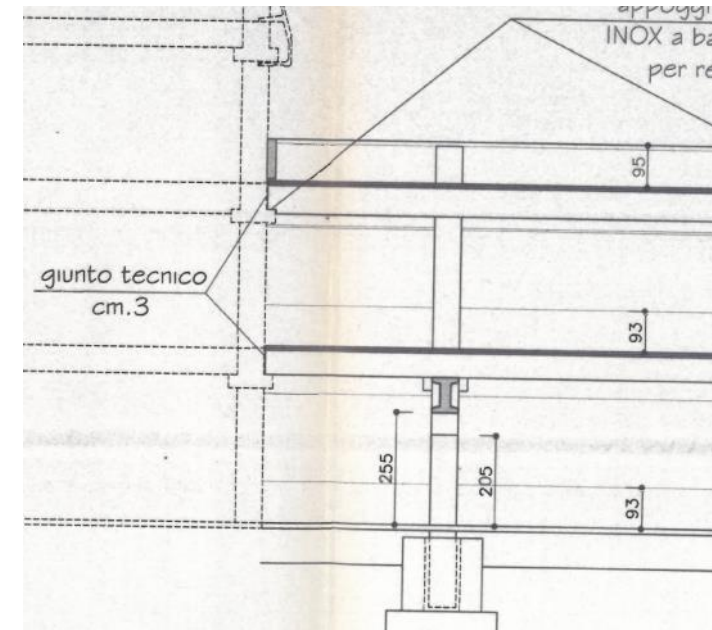


- Rilievi
- Indagini in sito
- Carotaggi
- Prove di laboratorio
- Prove ultrasoniche e sclerometriche
- Sondaggi

**Livello di conoscenza LC2 (FC=1.2)**



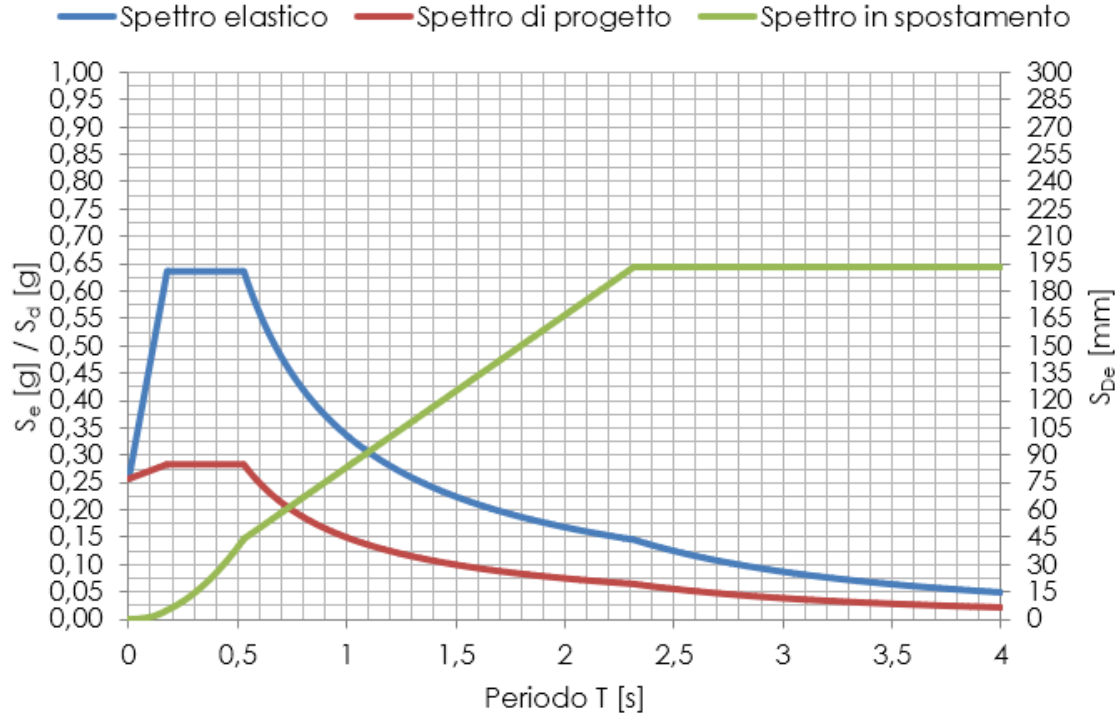
Disegno originale di una colonna prefabbricata



Appoggio semplice delle travi (lato ampliamento)

## VERIFICHE STRUTTURALI PRE-INTERVENTO

Spettro elastico e di progetto



SL	$T_R$ [s]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_C^*$
SLO	45	0.057	2.47	0.302
SLD	75	0.072	2.461	0.323
SLV	712	0.183	2.482	0.358
SLC	1462	0.231	2.504	0.363

ANALISI

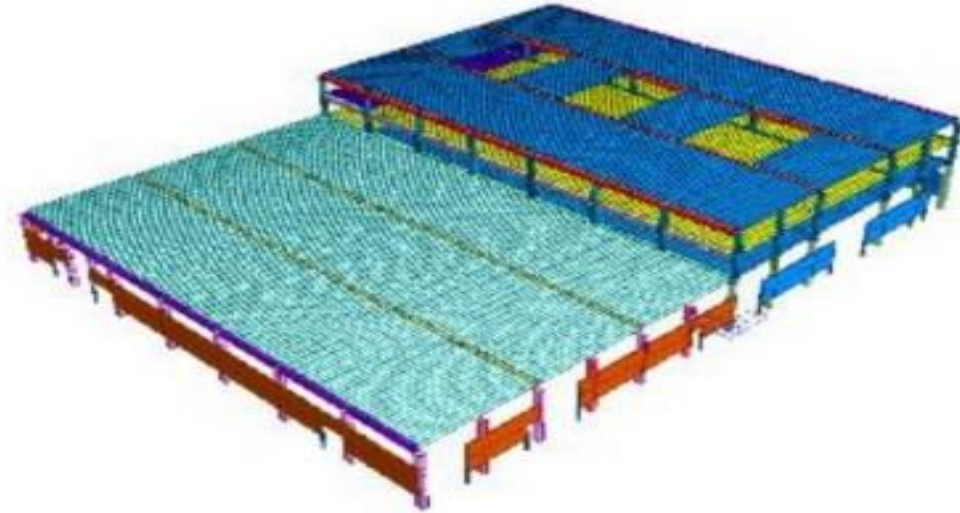


- Adeguata resistenza degli elementi strutturali nei confronti dei carichi statici
- Notevole carenza di rigidezza e resistenza nei confronti azioni orizzontali in combinazioni sismiche
- Crisi principali di tipo flessionale concentrate al piede dei pilastri
- Spostamenti eccessivi fino a superare i 40cm

## PRINCIPALI PROBLEMATICHE STRUTTURALI



Corpo del fabbricato (Google Maps)



Modellazione F.E.M. del fabbricato

- Deformate sotto azioni sismiche incompatibili con i pochi centimetri di giunti tecnici (ordine dei 3/6 cm) presenti rispetto ai corpi adiacenti
- Spostamenti eccessivi nella direzione di appoggio delle travi dell'ampliamento (superiori a 15 cm)



Rischio di importanti fenomeni di «martellamento» tra i corpi adiacenti



Rischio di scivolamento della trave con conseguente perdita dell'appoggio

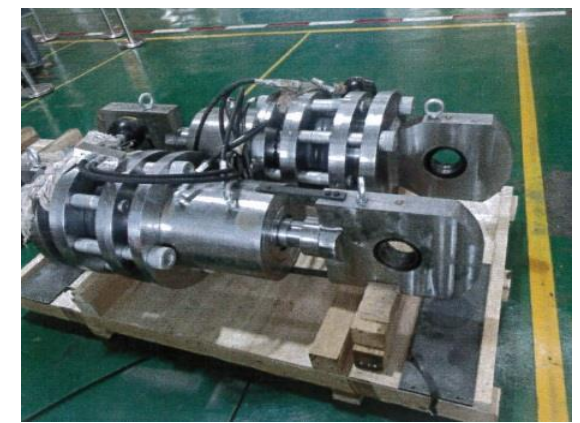
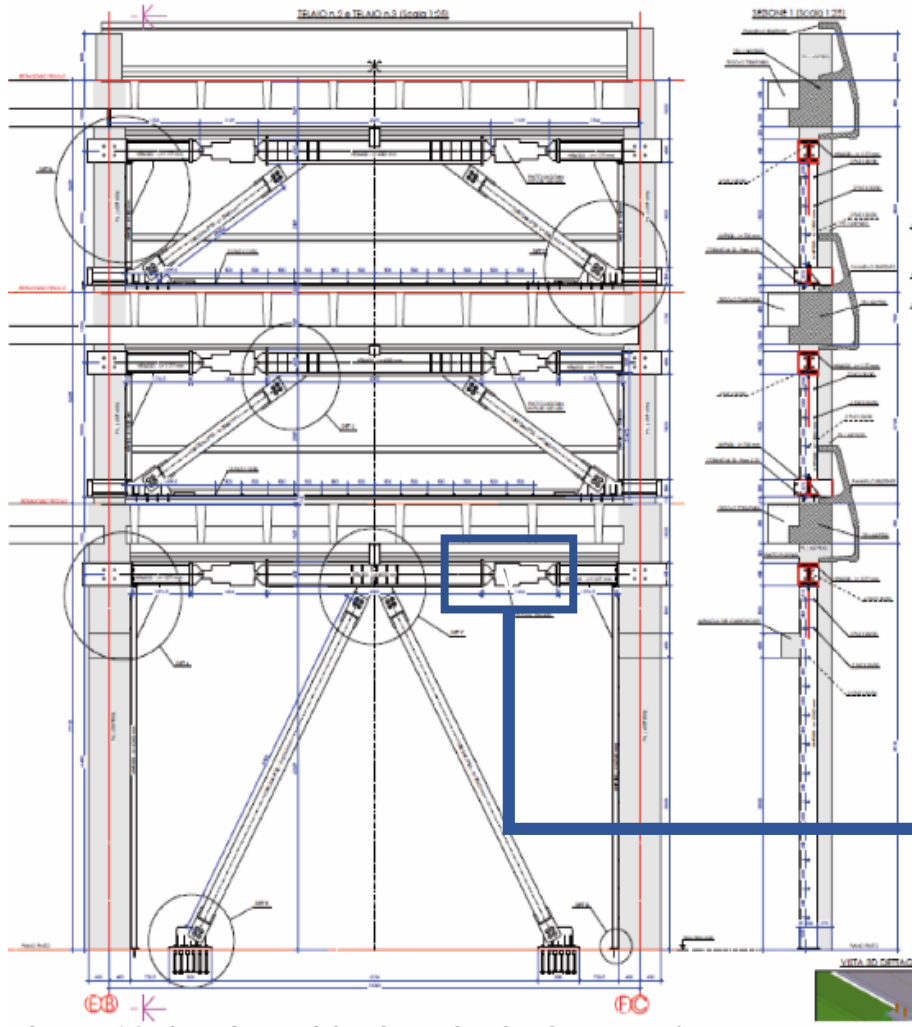
## OBIETTIVI DEL PROGETTO

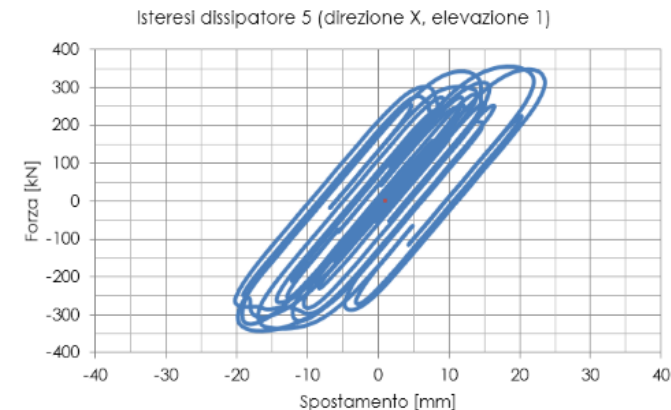
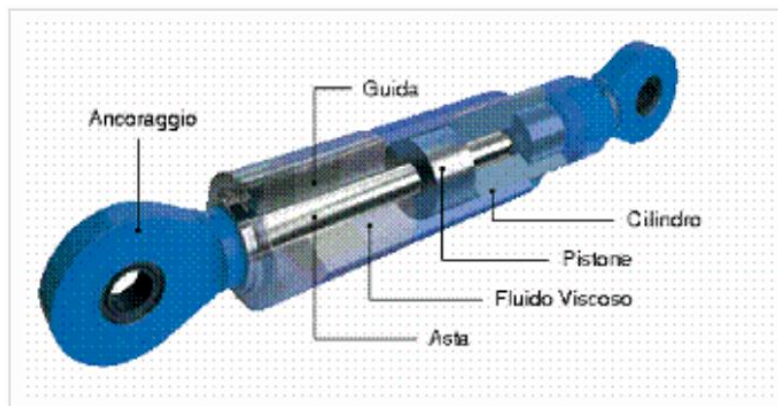
- ✓ Riduzione delle accelerazioni di piano
- ✓ Riduzione degli spostamenti interpiano
- ✓ Ottenimento di un accettabile livello di smorzamento
- ✓ Riduzione dell'invasività dell'intervento
- ✓ Ampliamento di giunti tecnici nei limiti consentiti



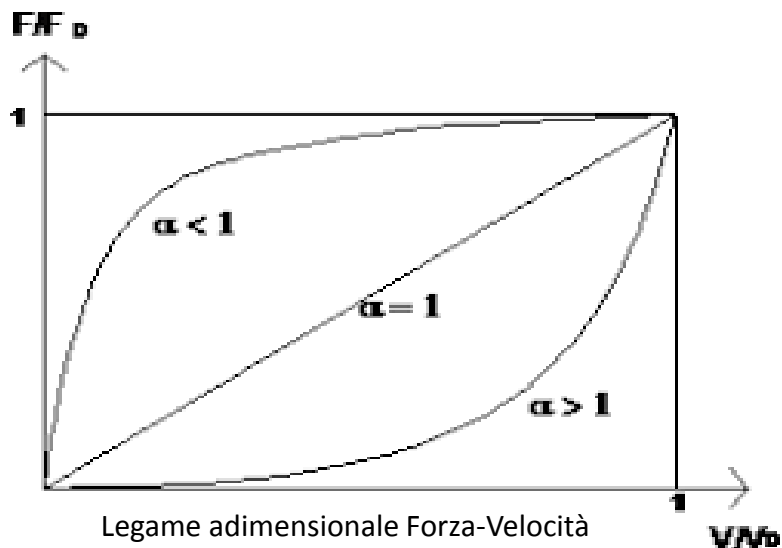
## SOLUZIONE

Dissipazione dell'energia sismica mediante l'utilizzo di **controventi in acciaio muniti di dispositivi viscoelastici**





- Dissipatori «dipendenti dalla velocità»
- Dissipano l'energia sismica in input mediante la non linearità del proprio ciclo isteretico
- Riducono gli effetti delle azioni dinamiche (riduzione degli spostamenti)



$$F = C \cdot v^\alpha$$

Coefficiente di smorzamento

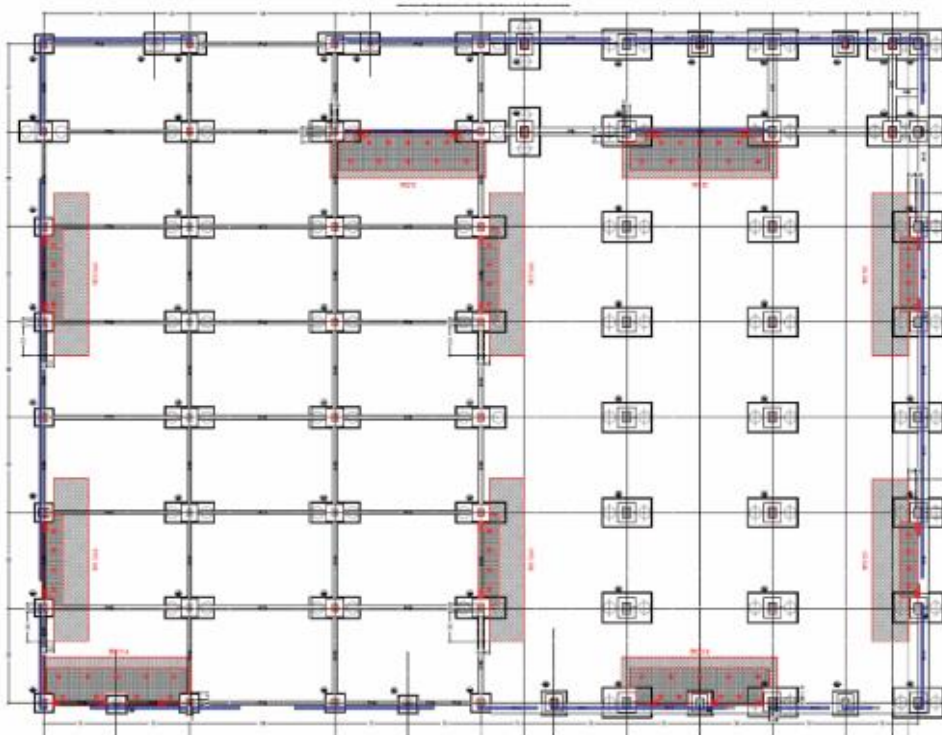
Velocità relativa del pistone

Fattore esponenziale dipendente dal circuito idraulica  $0 \leq \alpha \leq 2$



## SCelta E DISPOSIZIONE DEI DISPOSITIVI

- I dispositivi viscoelastici presentano un legame costitutivo non lineare, per cui la loro taratura ha richiesto analisi time history non lineari nel tempo tarando opportunamente i parametri  $\nu$ ,  $\alpha$ ,  $C$ .
- Il predimensionamento è stato condotto con un'analisi elastica modellando i dispositivi come link elastici dotati di un'opportuna rigidezza, al quale viene definita al fine di ottenere lo smorzamento richiesto
- Le analisi richieste per la finalizzazione di questo tipo di intervento devono essere necessariamente effettuate con analisi dinamiche non lineari con integrazione al passo

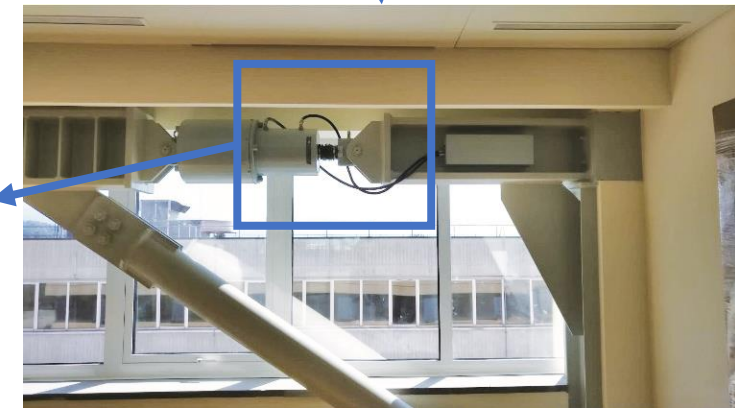
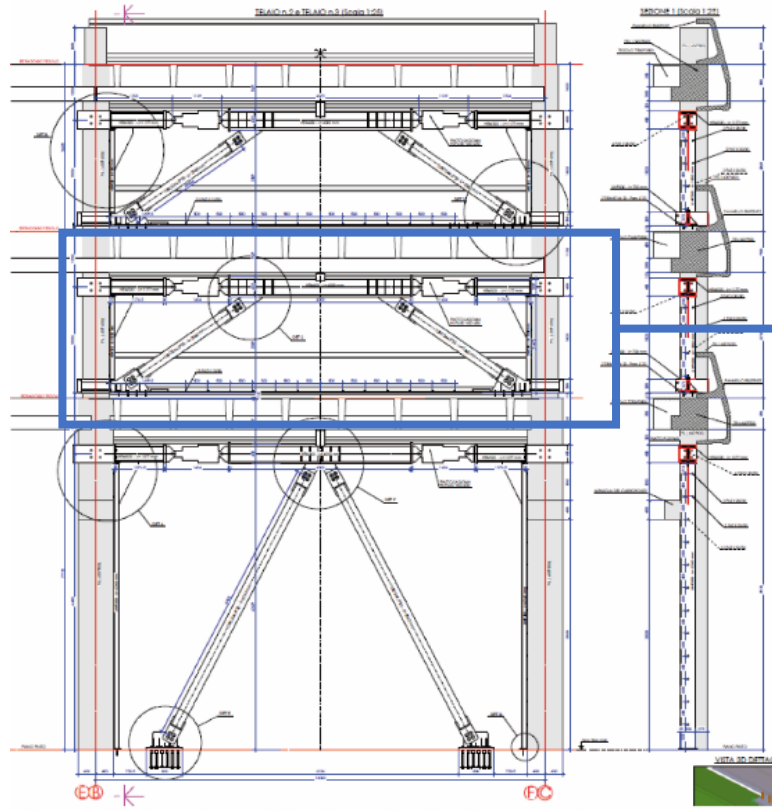


Totale di 44 dispositivi:

- 28 in direzione x
- 16 in direzione y

DIREZIONE X		
F	421.14	kN
V	250	mm/s
LINEARE		
Kel	11	kN/mm
NON LINEARE		
C	139.58	kN
V <sub>rif</sub>	1	mm/s
$\alpha$	0.2	
Knl	22	kN/mm

DIREZIONE Y		
F	1824.92	kN
V	250	mm/s
LINEARE		
Kel	47	kN/mm
NON LINEARE		
C	604.86	kN
V <sub>rif</sub>	1	mm/s
$\alpha$	0.2	
Knl	94	kN/mm

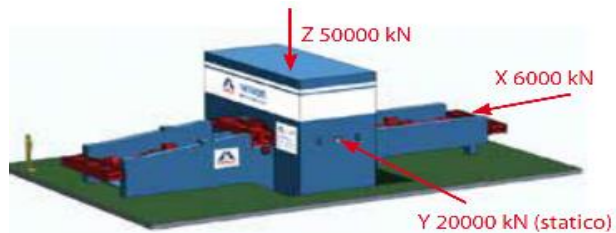




## PROVE DI ACCETTAZIONE E QUALIFICAZIONE EN15129 e NTC 2008/18



Macchina Test dei dispositivi sismici di proprietà HIRUN, Wuhan (Cina)



DISPOSITIVO	Quantitativo di prove da effettuare	Cosa è necessario verificare	Prove distruttive
ISOLATORI IN GOMMA	20% (min. 4)	Rigidità – capacità di movimento	NO
ISOLATORI A PENDOLO	20% (min. 4)	Rigidità – coefficiente d'attrito	NO
A VINCOLO PROVVISORIO	20% (min. 4)	Rigidità – smorzamento - Sovrappressione	NO
FLUIDO-DINAMICI	20% (min.4)	Legge costitutiva dinamica	NO

Dissipatori VSD sono omologati CE e conformi alle norme EN15129

Le prove di accettazione sono eseguite su almeno il 20% dei dispositivi, comunque non meno di 4 e non più del numero di dispositivi da mettere in opera



## VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA

### Indici di sicurezza PRE-intervento

$$\text{Indice di rischio } \alpha_U = \frac{PGA_{\text{capacità}}}{PGA_{\text{domanda}}}$$

Al fine di determinare la quota «incassabile» dall'edificio in termini di accelerazioni si è agito sulla probabilità di superamento nel periodo di riferimento %P<sub>vr</sub> finché l'intera struttura non è risultata completamente verificata in termini di sollecitazioni e di spostamento.  
Il valore di target era 60mm.

- Introduzione nel modello strutturale della distribuzione di armatura così come rilevata in sito e desunta dal progetto originario
- Analisi dinamica lineare con q=1.50

SL	T <sub>R</sub> [s]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>C</sub> *
SLO	45	0.057	2.47	0.302
SLD	75	0.072	2.461	0.323
SLV	712	0.183	2.482	0.358
SLC	1462	0.231	2.504	0.363

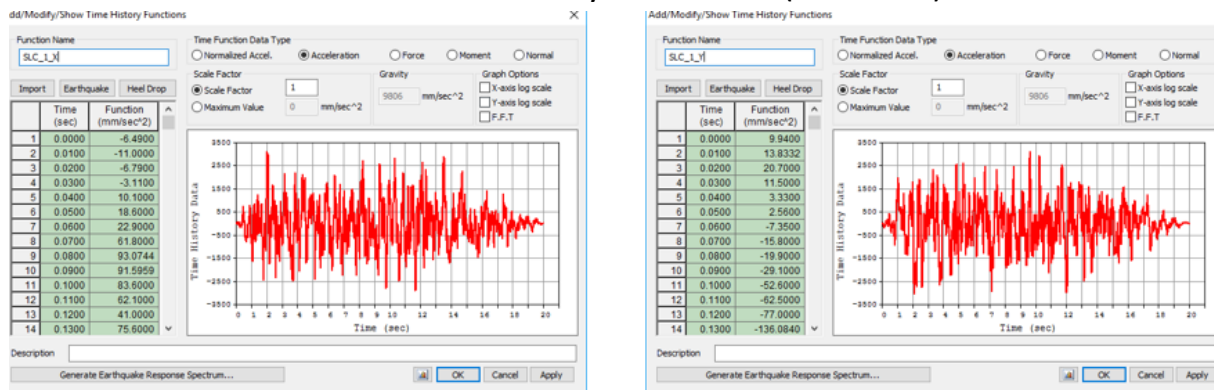
↓  
*PGA<sub>domanda</sub> Accelerazione richiesta*

In termini di sollecitazioni

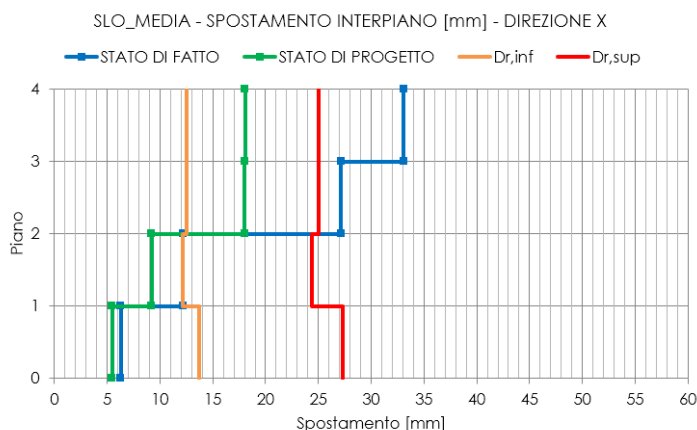
$$\alpha_U = \frac{0.152 a_g/g}{0.183 a_g/g} = 0.831$$

In termini di spostamenti

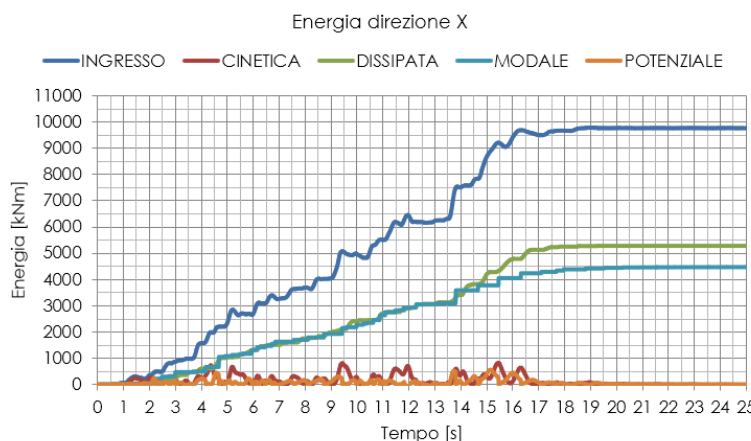
$$\alpha_U = \frac{0.024 a_g/g}{0.183 a_g/g} = 0.131$$



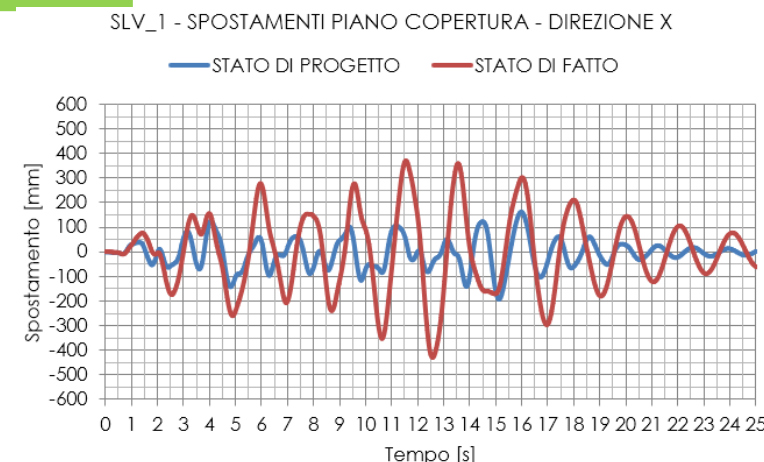
$\alpha_U$	Pre-intervento	Post-intervento
In termini di sollecitazioni	0.831	1.00
In termini di spostamenti	0.131	1.00



Verifica dei drifts interpiano SLO



Verifica energetica



Verifica spostamenti in copertura

L'intervento con l'introduzione di controventi dissipativi muniti di dispositivi viscoelastici ha soddisfatto i requisiti normativi in termini di accelerazioni al suolo per i nuovi fabbricati ubicati nella zona in esame.

**L'edificio risulta adeguato sismicamente**

# Grazie per l'attenzione



*Rinforzi strutturali – Sistemi antisismici*

*Via Retrone, 39 - 36077 Altavilla Vicentina (VI)*

*Tel. 0444/522797 - Fax 0444/349110*

*info@gpintech.com*