



# **CONOSCENZA, PREVENZIONE E SICUREZZA SISMICA**



**TECNOLOGIE DI RIQUALIFICAZIONE STRUTTURALE E ANTISISMICHE  
DELLE COSTRUZIONI ESISTENTI - MATERIALI COMPOSITI -  
ISOLAMENTO SISMICO – INTRODUZIONE AL SISMABONUS**

***Relatori: Dott. Ing. Giorgio Giacomini***

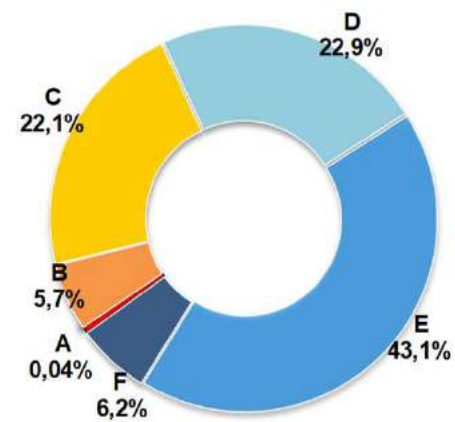


# Sisma ed Ecobonus: un mercato ad altissime potenzialità

## Efficienza Energetica



EDIFICI RESIDENZIALI NEI COMUNI CLASSIFICATI PER FASCIA CLIMATICA



Elaborazione Ance su dati Istat e D.P.R. 412/93 (tabella A e successive modifiche ed integrazioni)

STIMA DEL COSTO DI INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA SULL'INVOLUCRO EDILIZIO PER FASCIA CLIMATICA  
Milioni di euro

Fasce climatiche	< 1945	1945-80	1981-2000	Totale
C	399	2.344	100	2.843
D	1.940	5.983	235	8.158
E	3.737	16.054	955	20.746
F	513	1.102	174	1.789
<b>TOTALE</b>	<b>6.589</b>	<b>25.483</b>	<b>1.464</b>	<b>33.536</b>

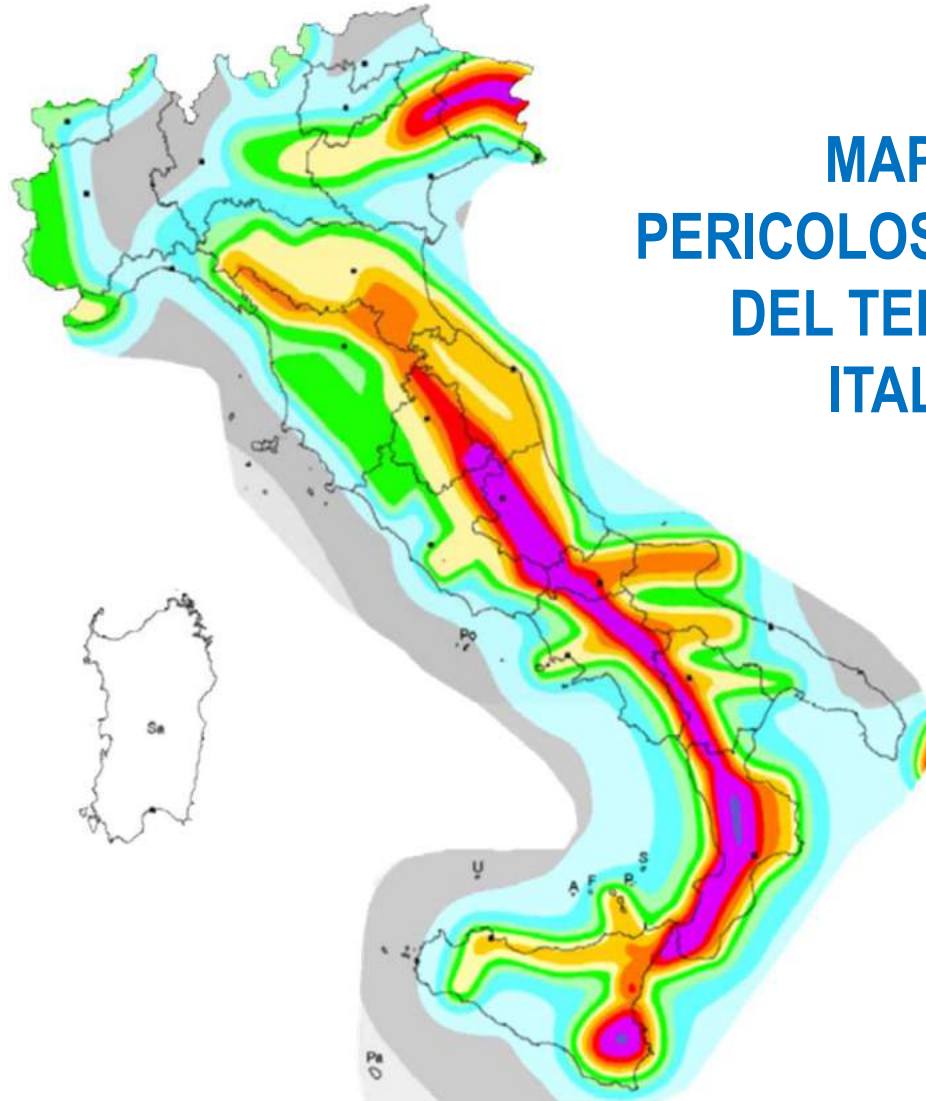
Elaborazione Ance su dati Istat

=

**33,5**  
miliardi

# Sisma ed Ecobonus: un mercato ad altissime potenzialità

**Sicurezza  
Antisismica**



**MAPPA DI  
PERICOLOSITA' SISMICA  
DEL TERRITORIO  
ITALIANO**

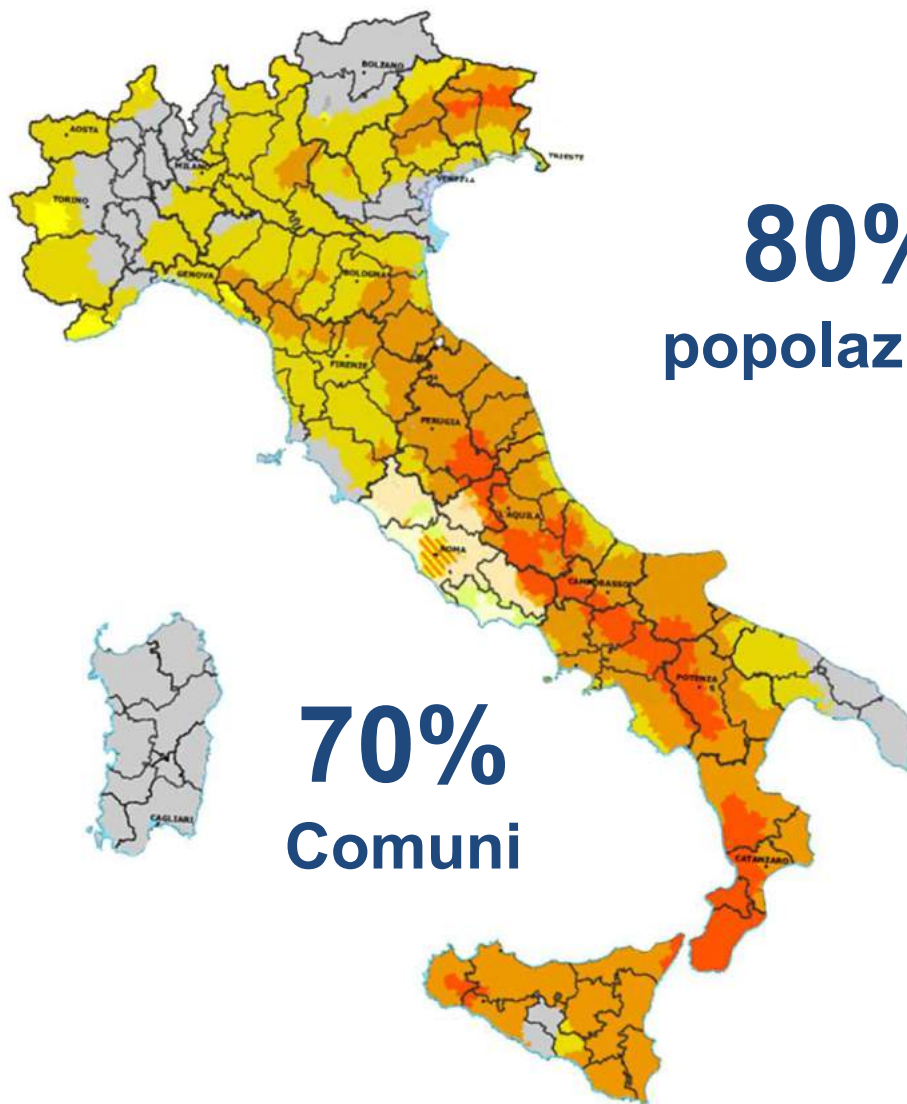
# Sisma ed Ecobonus: un mercato ad altissime potenzialità

**Sicurezza  
Antisismica**

**85%**  
superficie

**80%**  
popolazione

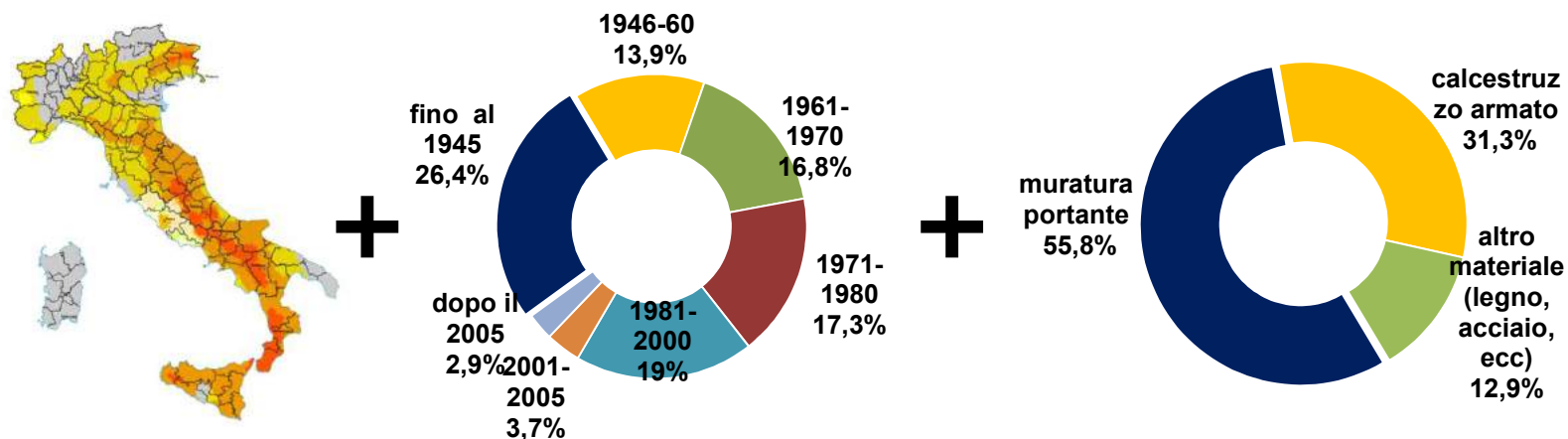
**70%**  
Comuni





# Sisma ed Ecobonus: un mercato ad altissime potenzialità

## Sicurezza Antisismica



**105**  
miliardi

# Rischio sismico: Emilia-Romagna



## EMILIA-ROMAGNA

(zona sismica 2,3)

**318**

**Comuni (95%)**

**4,1mln persone**

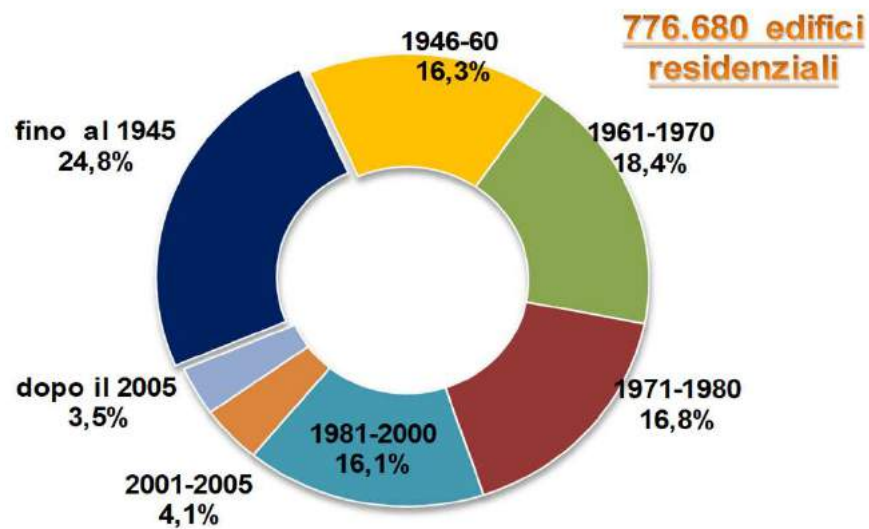
**1,8mln famiglie**

**777 mila edifici a  
uso abitativo**

# Stock abitativo nelle zone sismiche in Emilia-Romagna

## COMPOSIZIONE % PER EPOCA DI COSTRUZIONE

### EMILIA-ROMAGNA



Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

# Stima del costo di miglioramento sismico

**ITALIA:**

**105 miliardi**

Zona 1: 12 mld  
Zona 2: 57 mld  
Zona 3: 36 mld

**EMILIA-ROMAGNA**

**8,5 miliardi:**

Zona 2: 4 mld  
Zona 3: 4,5 mld

# Classificazione sismica

## Sismabonus



- L'adozione di **misure antisismiche** da diritto alla detrazione Irpef delle spese per il recupero edilizio (e la riqualificazione energetica) degli edifici (comma 1, lettera i).
- La **legge di bilancio per il 2017** ha rimodellato il “**sisma bonus**”, prevedendone non solo la proroga, ma anche un potenziamento e una definizione maggiormente articolata.
- Spese sostenute dal 1° gennaio **2017** al 31 dicembre **2021** (incluse quelle per la classificazione e la verifica sismica).
- Fino a un importo massimo di **96mila euro** per unità immobiliare per ciascun anno (esteso a **136.000 euro** nella finanziaria 2018 con Ecobonus).
- Edifici adibiti ad abitazioni private, condomini e attività produttive, ubicati nelle **zone 1, 2 e 3** (secondo OPCM N. 3274 del 20 marzo 2003). Estensione alla demolizione e ricostruzione per la **zona 1** (AdE aprile 2018). Estensione a ERP, IACP, ATER...(2018)
- Spetta una **detrazione IRPEF del 50% delle spese**, da ripartire in cinque quote annuali di pari importo, se gli interventi non alterano la classe di rischio.
- I beneficiari, anziché fruire della detrazione, possono optare per la **cessione del corrispondente credito per massimo 2 volte** (AdE 2018) a chi ha effettuato l'intervento o ad altri soggetti privati.



# Classificazione sismica

## Sismabonus



- **Aumento della percentuale di detrazione** qualora, in virtù delle misure antisismiche adottate, si ottenga una riduzione del rischio sismico tale da determinare il passaggio a una classe di rischio inferiore.
- Per le **abitazioni e gli edifici produttivi**, la detrazione maggiorata è pari:
  - al **70%**, in caso di passaggio a una classe di rischio inferiore
  - all'**80%**, in caso di passaggio a due classi di rischio inferiori.
- Per interventi su **parti comuni di condomini/intero edificio**, detta maggiorata è pari:
  - al **75%**, in caso di passaggio a una classe di rischio inferiore
  - all'**85%**, in caso di passaggio a due classi di rischio inferiori
- **Accollo del Sismabonus ai contributi per la ricostruzione in Centro Italia** (Ordinanza 60/2018 Commissario straordinario per la ricostruzione sisma 2016)

# Classificazione sismica

## Sismabonus



- La classe di rischio prima e dopo l'intervento deve essere asseverata da parte di **Professionisti abilitati** incaricati della progettazione strutturale (nella SCIA).
- DL e collaudatore statico attestano la conformità degli interventi al progetto depositato
- Tra i professionisti incaricati non vi è più la restrizione ad **Ingegneri ed Architetti** ... Rimane un generico riferimento alle competenze professionali.
- MIT istituisce una Commissione permanente per il monitoraggio dell'applicazione del decreto e per eventuale proposta di modifiche o integrazioni.

Per **Rischio Sismico** si intende la **misura ingegneristica** utilizzata per valutare il danno (perdita) atteso a seguito di un possibile evento sismico. Detta misura dipende da un'interazione di diversi fattori: **pericolosità, vulnerabilità ed esposizione**.



Sito

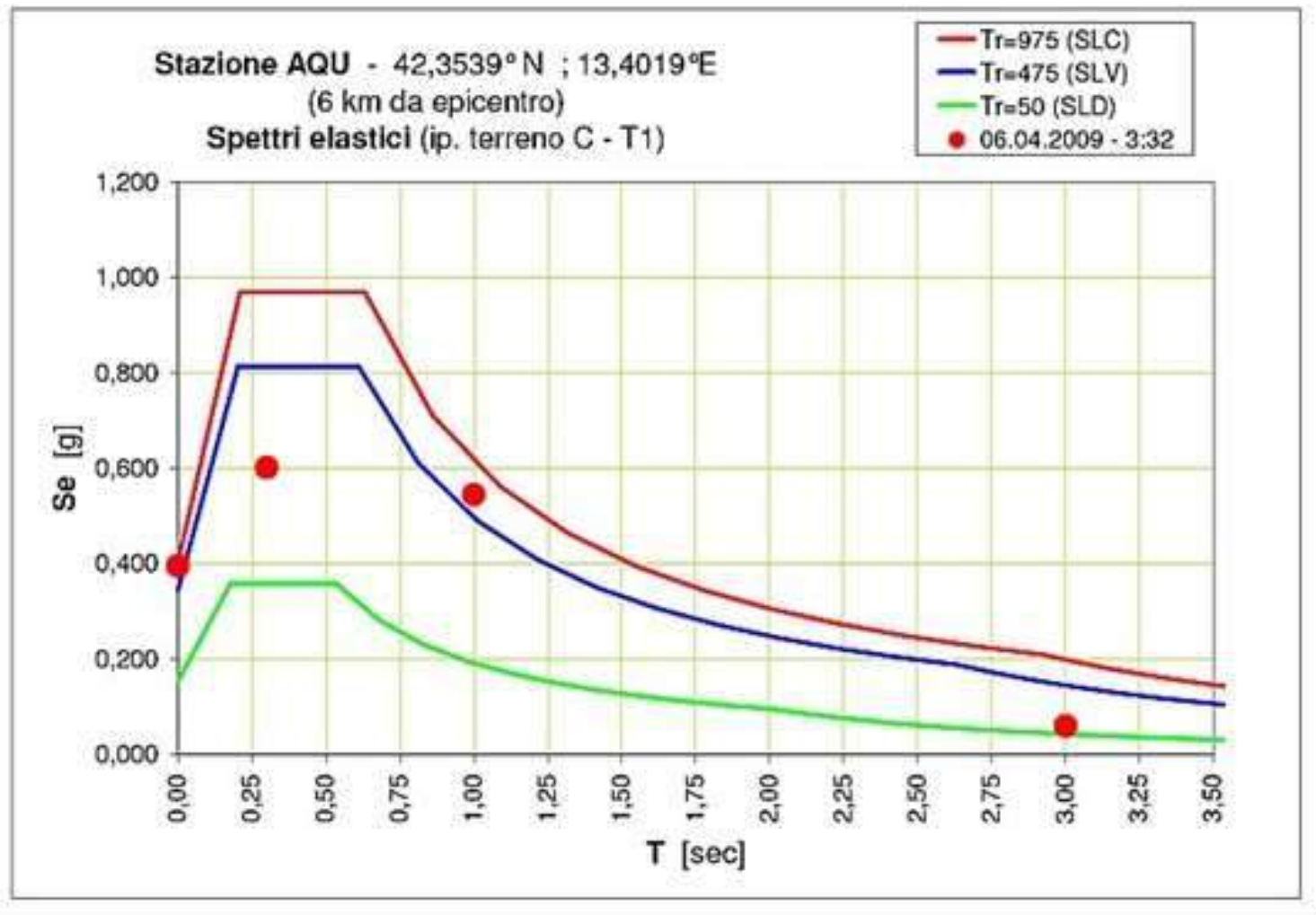


Edificio

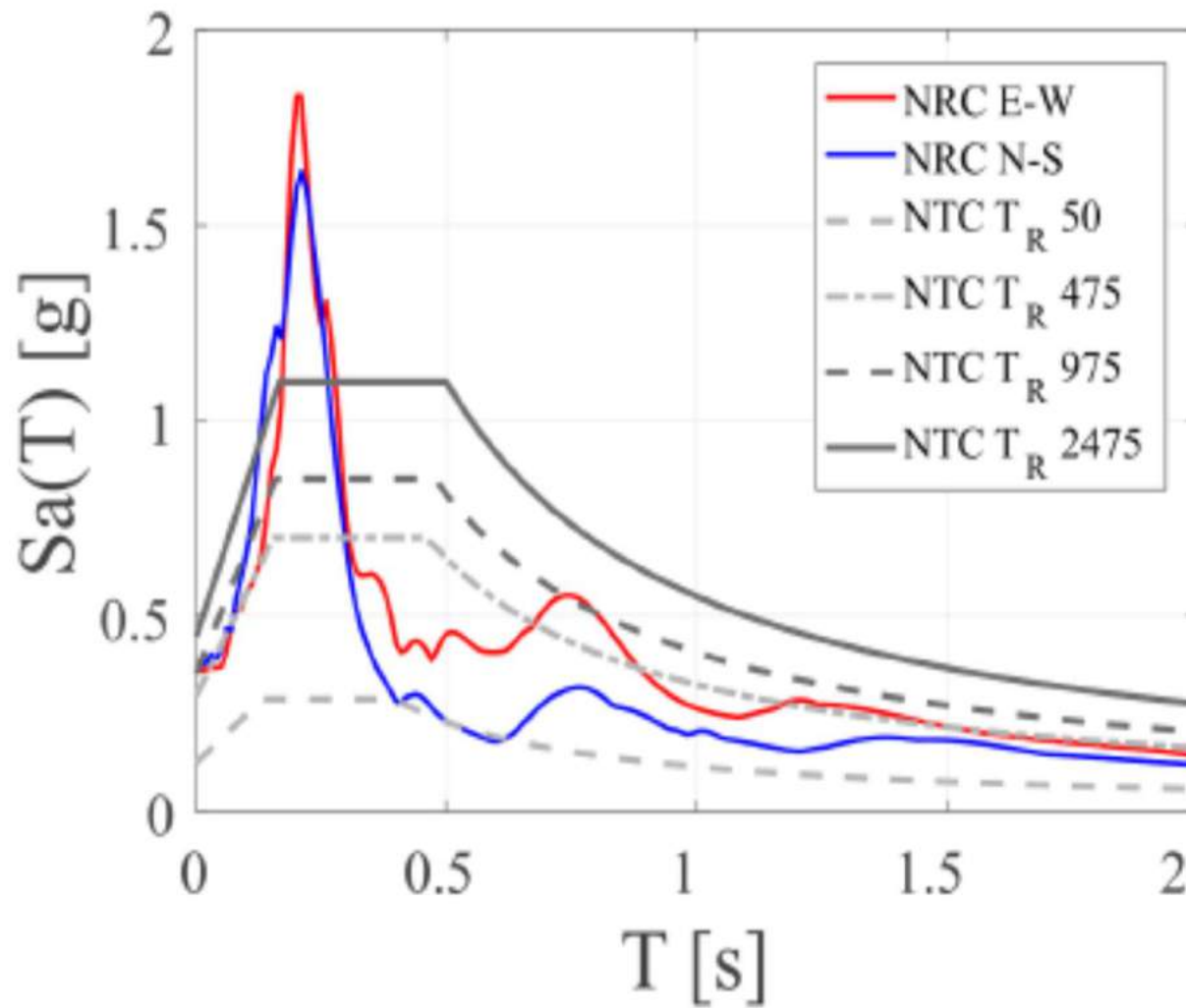


Occupanti/funzione

## L'AQUILA 6 APRILE 2009 - SUOLO C (INGV)



## AMATRICE 24 AGOSTO 2016 - SUOLO B (INGV)



# Valutazione Classe di Rischio



- 
- **Uso di 8 classi di rischio crescente: A<sup>+</sup>, A, B, C, D, E, F, G**
  - **2 metodi per la classificazione:**
    - **Convenzionale: + tutte le tipologie costruttive  
+ metodi di analisi NTC 2008/2018**
    - **Semplificato: + classificazione macrosismica  
+ edifici in muratura  
+ effetti adozione interventi locali  
+ passaggio di una sola classe**



# Metodo convenzionale

## Valutazione classi di rischio

---



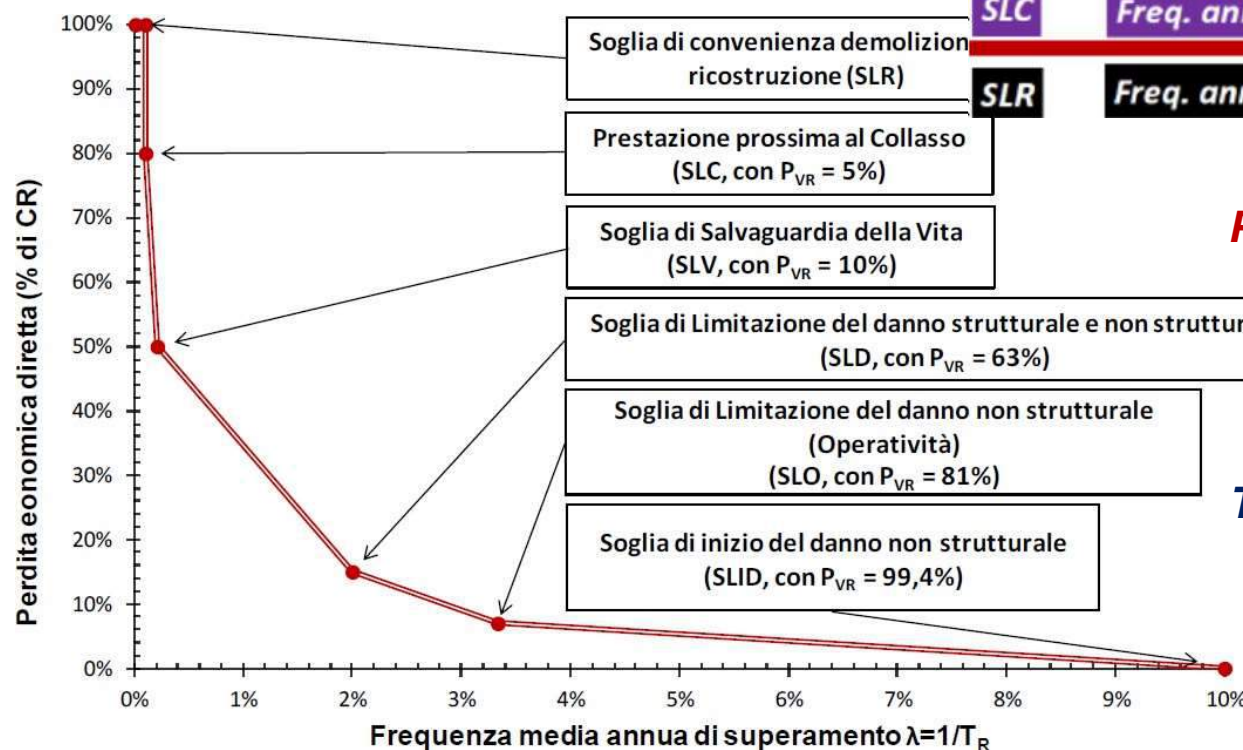
- Classi pre- post-intervento → con lo stesso metodo
- Metodo semplificato non sempre coerente con esiti metodo convenzionale
- Si considerano tecniche di mitigazione del rischio consolidate
- Per altri interventi (controsoffitti, ....) si accede alla detrazione minima (50%)
- Uso di due parametri:
  - **PAM**: Perdita annuale media attesa (% costo ricostruzione)
  - **IS-V** Indice di sicurezza  $(PGA)_c / (PGA)_d$  allo SLV
- Unità immobiliare ha classe dell'intero edificio



# Individuazione PAM

Costo di **riparazione dei danni** prodotti dagli **eventi sismici** che si manifesteranno nel corso della **vita della costruzione**, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione

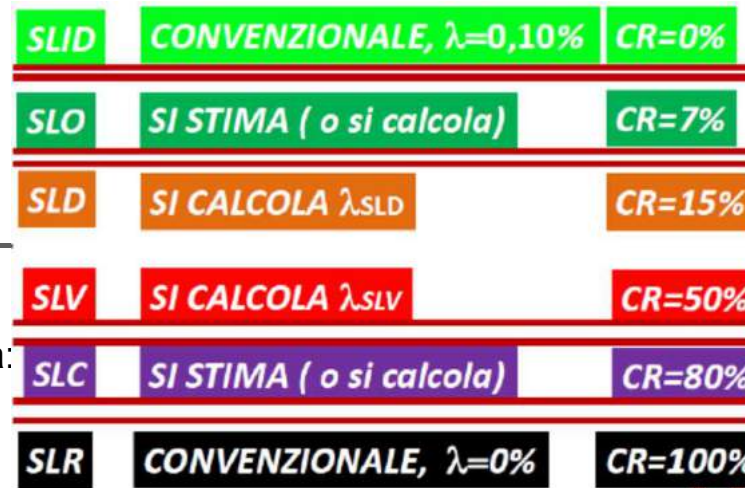
SLID	Freq. annuale $\lambda=10\%$	CR=0%
SLO	Freq. annuale $\lambda=3,33\%$	CR=7%
SLD	Freq. annuale $\lambda=2\%$	CR=15%
SLV	Freq. annuale $\lambda=0,21\%$	CR=50%
SLC	Freq. annuale $\lambda=0,10\%$	CR=80%
SLR	Freq. annuale $\lambda=0\%$	CR=100%



**PAM** = Area sottesa dalla curva spezzata

$T_R$  = Tempo di ritorno del sisma che provoca il superamento dello SL considerat

# Valutazione classe di rischio



1. Analisi della struttura e definizione dei valori di accelerazione al suolo relativi a: SLC, SLV, SLD, SLO.

1. Definizione dei periodi di ritorno  $T_{RC}$ :

$$T_{RC} = T_{rD} (PGA_C / PGA_D)^\eta$$

$$\eta = 1/0,41$$

3.  $\lambda = 1 / T_{RC}$

4. Ipotesi:  $\lambda_{SLO} = 1,67 \lambda_{SLD}$

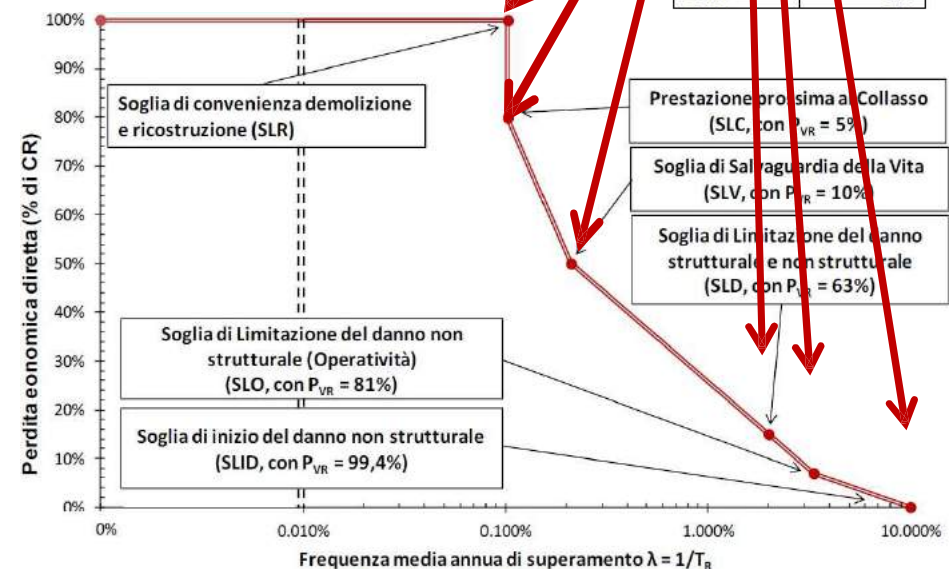
$$\lambda_{SLC} = 0,49 \lambda_{SLV}$$

5. SLID  $\rightarrow$  PED=0,  $\lambda=0,10$

6. SLR  $\rightarrow$  PED=1,  $\lambda=\lambda_{SLC}$

7. Calcolo PAM

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%



$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * CR(SLR)$$

# Valutazione classe di rischio



8. Individuazione classe PAM
9. Valutazione IS-V
10. Individuazione classe IS-V
11. Valutazione classe di rischio come la peggiore tra le due precedenti
12. Classe di rischio **può** essere migliorata dagli interventi
13. Rivalutazione della classe a seguito degli interventi
14. Necessario fare analisi globali, anche per interventi locali
15. Possibile numero di indagini limitate rispetto NTC 2008
16. Per fare uso del comportamento globale è necessario rimuovere mecc. Locali

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	$A^+_{IS-V}$
$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$

Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	$A^+_{PAM}$
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	$A_{PAM}$
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$B_{PAM}$
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$C_{PAM}$
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$D_{PAM}$
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$E_{PAM}$
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$F_{PAM}$
$7,5\% \leq PAM$	$G_{PAM}$

**Se si riduce la frequenza SLV , PAM cambia in forma minima.  
Se si riduce la frequenza SLD , PAM cambia molto.**

# Metodo semplificato

## Valutazione classi di rischio iniziale



- **Uso limitato alla tipologia in muratura**
- **Classe di rischio da classe di vulnerabilità EMS-98 (Scala macrosismica europea)**

Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V <sub>6</sub> (≡A <sub>EMS</sub> )	V <sub>5</sub> (≡B <sub>EMS</sub> )	V <sub>4</sub> (≡C <sub>EMS</sub> )	V <sub>3</sub> (≡D <sub>EMS</sub> )	V <sub>2</sub> (≡E <sub>EMS</sub> )	V <sub>1</sub> (≡F <sub>EMS</sub> )
MURATURA	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○				
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○—				
	Muratura di pietra sbozzata	---○				
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	---○—				
	Muratura di mattoni e pietra lavorata	---○—				
	Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata	—○—				
	Muratura rinforzata e/o confinata	---○—				

Valore medio della tipologia

Valori poco probabili

Valori probabili



# Metodo semplificato

## Valutazione classi di rischio iniziale



**Scostamento dalla Classe di Vulnerabilità per effetto di elevato degrado, scarsa qualità costruttiva, eventuali meccanismi incipienti di collasso**

pietra sbozzata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature).</li> <li>• Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>5</sub>
mattoni o pietra lavorata	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidità nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>5</sub>
pietra massiccia per costruzioni monumentali	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orizzontamenti a volta o di legno caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio</li> </ul>	V <sub>4</sub>
Ribaltamento delle pareti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scarsa qualità costruttiva</li> <li>• Elevato degrado e/o danneggiamento</li> <li>• Spinte orizzontali non contrastate</li> <li>• Pannelli murari male ammorsati tra loro</li> <li>• Orizzontamenti male ammorsati alle pareti</li> <li>• Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni</li> </ul>	da V <sub>5</sub> a V <sub>6</sub>
Meccanismi parziali o di piano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura</li> <li>• Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>5</sub>

# Metodo semplificato

## Valutazione classi di rischio iniziale



Definizione del PAM e della Classe di Rischio(\*) allo stato di fatto sulla base della Classe di Vulnerabilità

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$V_1$	$V_1 \div V_2$	$V_3$	$V_5$
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_6$
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$V_3$	$V_4$	$V_5 \div V_6$	
E*	$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$V_4$	$V_5$		
F*	$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$V_5$	$V_6$		
G*	$7,5\% \leq PAM$	$V_6$			

# Metodo semplificato

## Valutazione classi di rischio finale



Il passaggio di una Classe di Vulnerabilità (nell'esempio da  $V_6$  a  $V_5$  per pietra sbozzata ) si ottiene sulla base degli interventi necessari previsti

<p>pietra sbozzata</p>	<p>ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITA' STRUTTURALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>• Eliminazione delle spinte orizzontali non contrastate</li> <li>• Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> <li>• Collegamento dei pannelli murari agli orizzontamenti</li> </ul> <p>INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perseguire un comportamento d'insieme "regolare" e "scatolare".<sup>(10)</sup></li> <li>• Posticipare l'attivazione dei meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	<p>da <math>V_6</math> a <math>V_5</math></p>

# Metodo semplificato

## Valutazione classi di rischio

---



### Edifici in cemento armato

- Per passare di 1 classe → Operare solo **interventi locali** di rafforzamento
- Possibile non eseguire valutazione iniziale di classe di rischio
- Necessaria la presenza di telai orditi in due direzioni ortogonali
- Tipologie di interventi locali **NECESSARI**:
  - **Confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio**
  - **Impedimento del ribaltamento di tutti i tamponamenti perimetrali**
  - **Ripristino di zone degradate/danneggiate**

# Meccanismi di crisi per forze orizzontali dei c.a.

- Eliminazione meccanismi rottura fragile travi, pilastri, nodi



- Eliminazione meccanismi di collasso di piano (piano soffice) – flessione composta



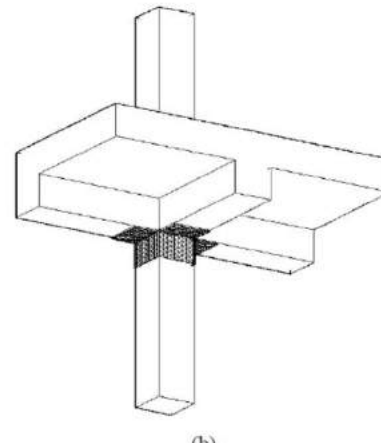
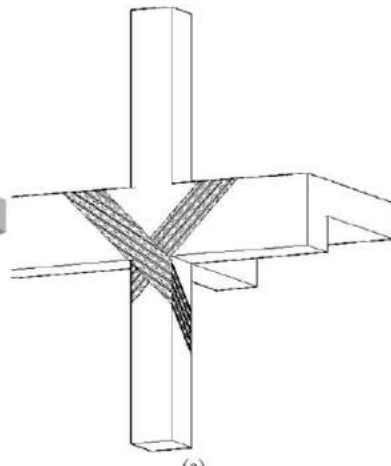
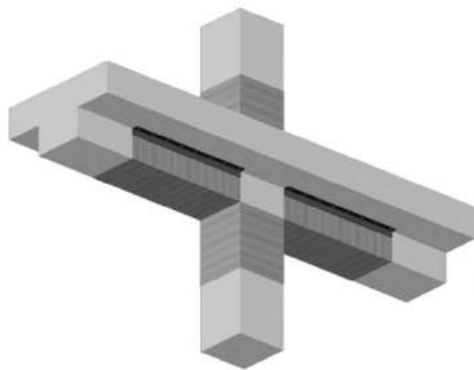
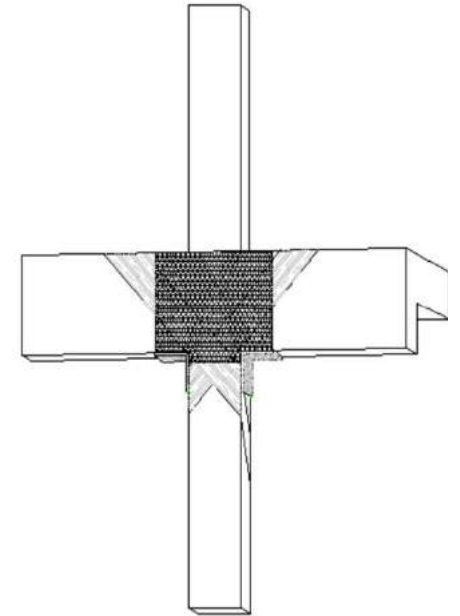
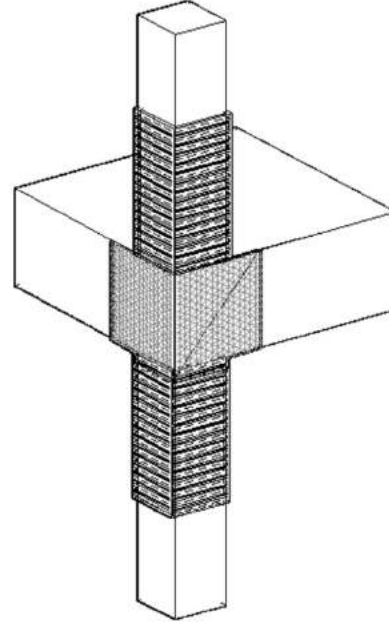
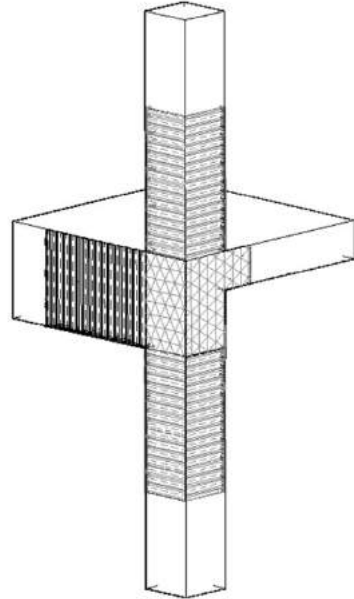
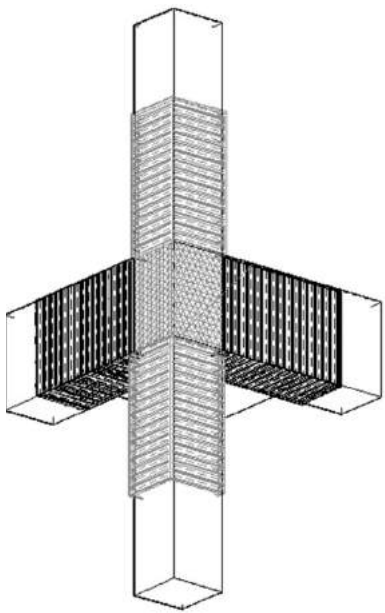
- Miglioramento capacità deformativa globale della struttura (push over):
  - Incremento capacità rotazionale delle cerniere plastiche – duttilità
  - Rilocalizzazione cerniere plastiche secondo gerarchia delle resistenze
  - incremento pressoflessione





# Edifici in cemento armato

## Esempi su nodi non confinati



# Miglioramento sismico allo 0,65 di strutture esistenti in c.a. con CFRP

Rinforzo nodo trave-pilastro L'Aquila

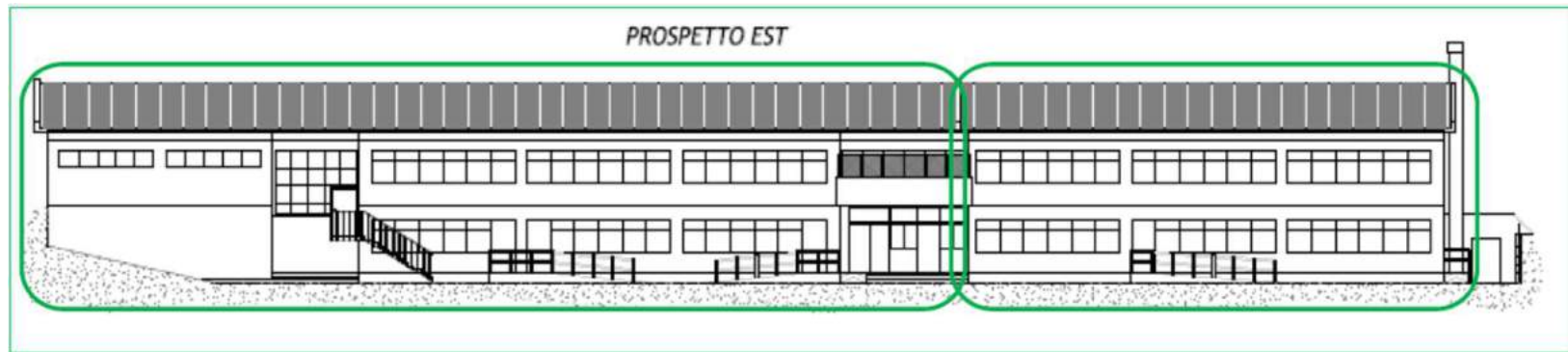


Scuola di Folignano (AP)



# Miglioramento sismico allo 0,65

## Scuola di Folignano AP



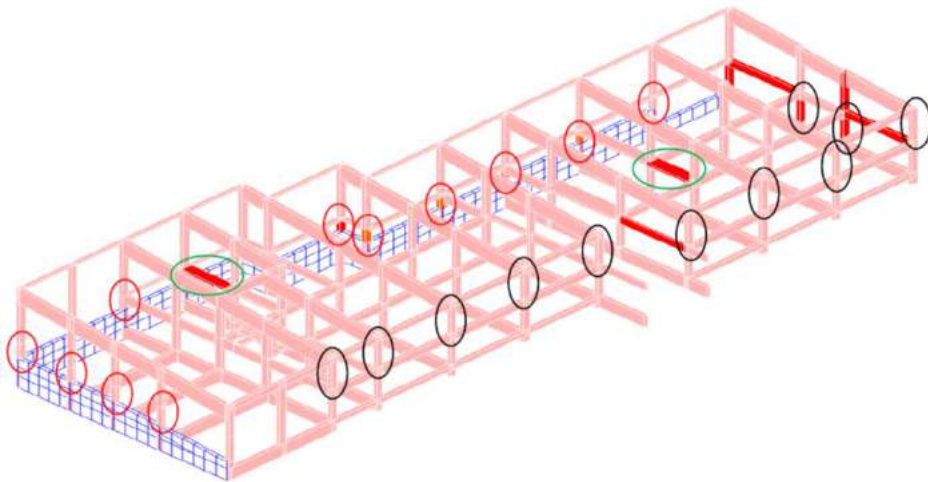
### Interventi realizzati 2015-2016

tutte le rotture fragili a taglio dei pilastri

alcune rotture duttili a flessione delle travi piatte

alcune rotture duttili a flessione di alcuni pilastri

confinando i nodi





# Miglioramento sismico allo 0,65

## Scuola di Folignano AP

---



# Miglioramento sismico allo 0,65

## Scuola di Folignano AP





# Miglioramento sismico allo 0,65

## Scuola di Folignano AP

### MISURAZIONE DELL'ADERENZA PER TRAZIONE DIRETTA - PROVA DI STRAPPO NORMALE -

#### Identificazione del campione

- Descrizione: **Rinforzo strutturale in fibra di carbonio unidirezionale**
- Modalità di applicazione: **A cura del committente**
- Metodo di prova:** **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 UNI EN 1542**
- Attrezzatura di prova:** **Apparecchiatura CONTROLS s/n 04031621 con fondo scala da 5 kN minima divisione 0,05 kN.**
- Data di prova:** **13 e 21 maggio 2015**



### RISULTATI DELLE PROVE

Prova	Posiz. in opera	Diametro piastrina (mm)	Forza di distacco (kN)	Tensione di aderenza (MPa)	Tipo di frattura
1	P.T. Pilastro 7 fusto lato interno	50	2,70	1,4	Distacco tra il composito ed il supporto
2	P.T. Pilastro 10 base lato interno	50	2,85	1,5	Rottura del supporto in cls
3	P.T. Pilastro 9 base lato interno	50	5,00	2,5	Rottura del supporto in cls
A	P.T. Pilastro 6 base lato interno	50	3,80	1,9	Distacco tra piastrina metallica e composito
B	P.T. Pilastro 9 base lato interno	50	2,40	1,2	Distacco tra piastrina metallica e composito
C	P.T. Pilastro 8 base lato interno	50	1,60	0,8	Rottura del supporto in cls

Le prove 1-2-3 sono state eseguite in data 13-05-2015  
Le prove A-B-C sono state eseguite in data 21-05-2015



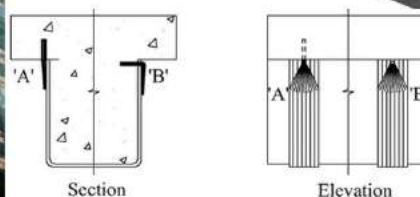
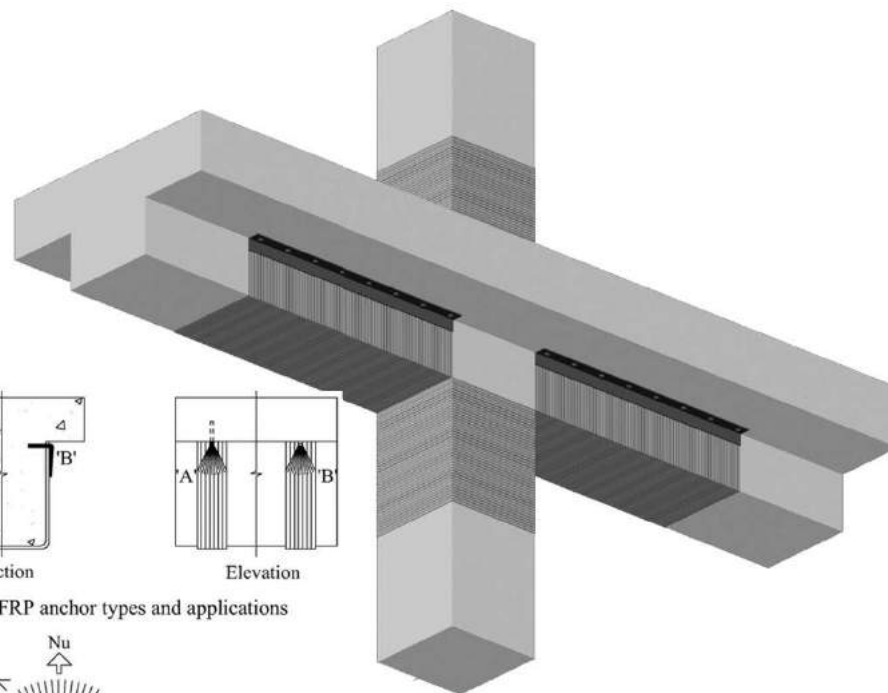
# **Miglioramento sismico allo 0,65 Scuola di Folignano AP**

---

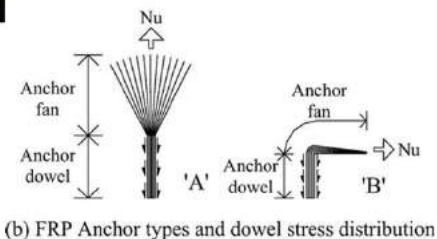
**Si ricorda che a seguito all'evento sismico dell'aprile 2009 de L'Aquila il corpo fabbrica aveva subito alcune lesioni.**

**Successivamente agli ultimi accadimenti sismici che hanno interessato il Centro Italia nell'agosto 2016 , e a seguito di sopralluoghi effettuati, l'edificio non ha presentato nessun tipo di danno**

# RINFORZO NODI NON CONFINATI TRAVE-PILASTRO CALCOLO CON FRPNODE



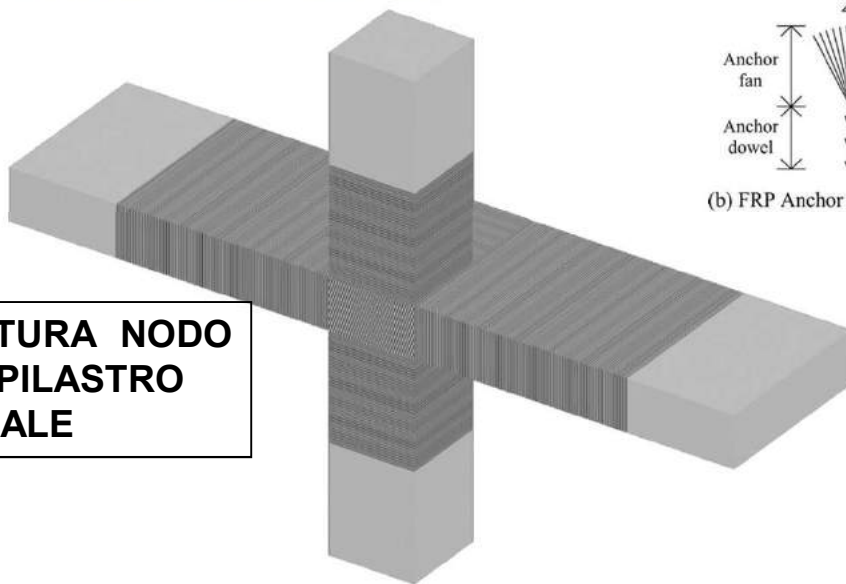
(a) FRP anchor types and applications



(b) FRP Anchor types and dowel stress distribution

**FASCIATURA NODO  
TRAVE-PILASTRO  
CON ANCORAGGIO  
A TAGLIO DELLA  
TRAVE**

**FASCIATURA NODO  
TRAVE-PILASTRO  
INTEGRALE**





# Rinforzo nodo trave pilastro con CFRP- ATER Abruzzo

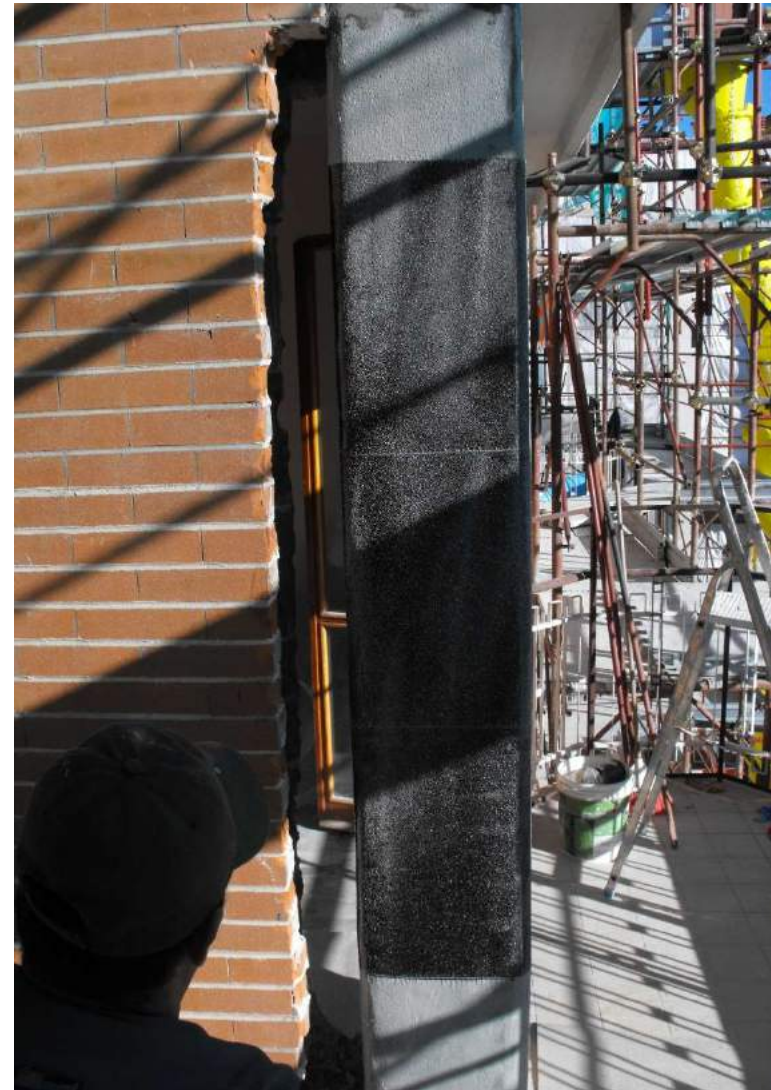


**Tessuto in carbonio  
C-Sheet 240/300 ,  
240/600 , 240/380 Q**

**Adesivi Resin Primer e  
Resin 75**



# RINFORZO NODI CONDOMINI A L'AQUILA





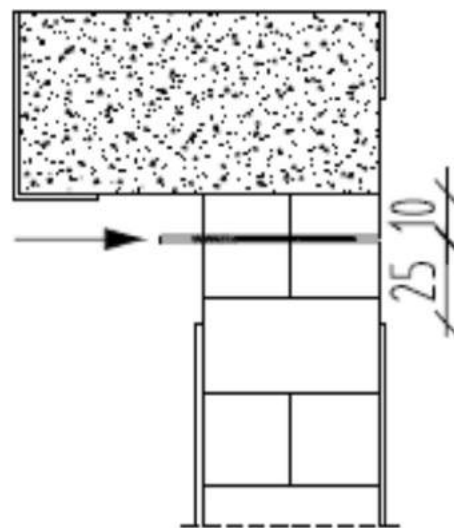
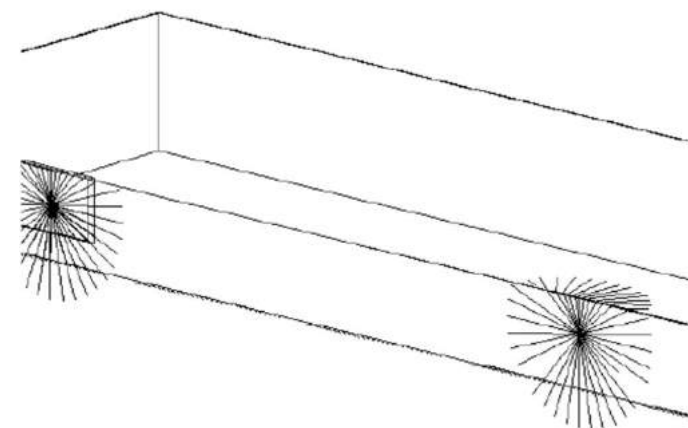
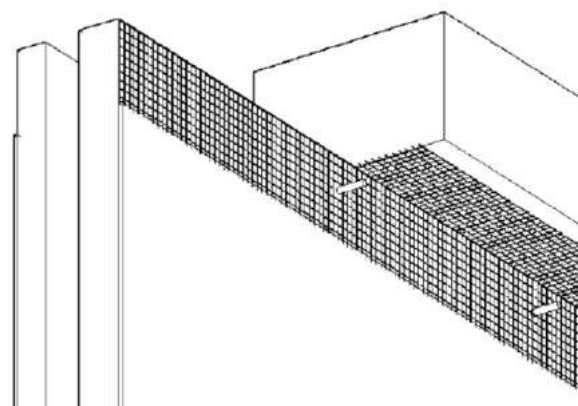
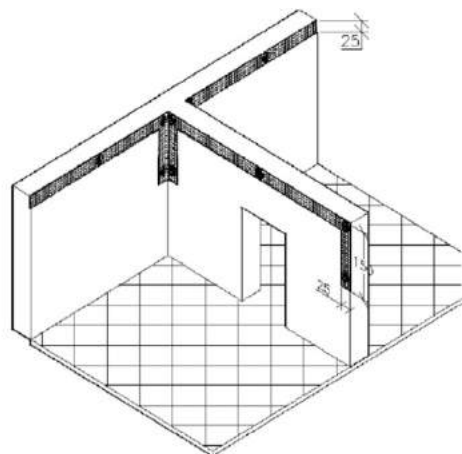
# RINFORZO NODI CONDOMINI A L'AQUILA

---



# Edifici in cemento armato

## Esempi di antiribalta tamponamenti





# Adeguamento sismico condominio Rosignano

---





# Adeguamento sismico condominio Rosignano



## Fasi dell'applicazione del rinforzo CFRP:

- Applicazione delle lamelle CFK all'intradosso delle travi;
- Applicazione delle fasce di ancoraggio e rinforzo al taglio delle travi con fibra C-Sheet 240/300;
- Applicazione della fasciatura di cerchiatura dell'edificio a livello del solaio con fibra C-Sheet 240/300.

# Adeguamento sismico condominio Rosignano

Applicazione dei connettori AFIX 10  
inserimento del connettore  
impregnato nel foro  
precedentemente realizzato e  
iniettato con adesivo Resin 75;

- sfioccatura della parte terminale del  
connettore;



- impregnazione con adesivo  
dell'estremità sfioccata sulla fibra  
precedentemente posata;

- copertura del connettore con  
fascia di fibra C-Sheet a  
protezione dello stesso.



# Adeguamento sismico condominio Rosignano



La facciata fronte mare prima e dopo l'intervento di rinforzo con CFRP

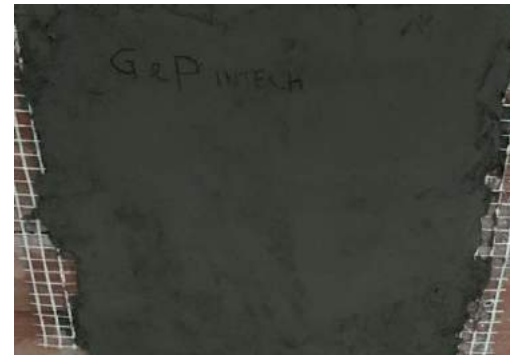
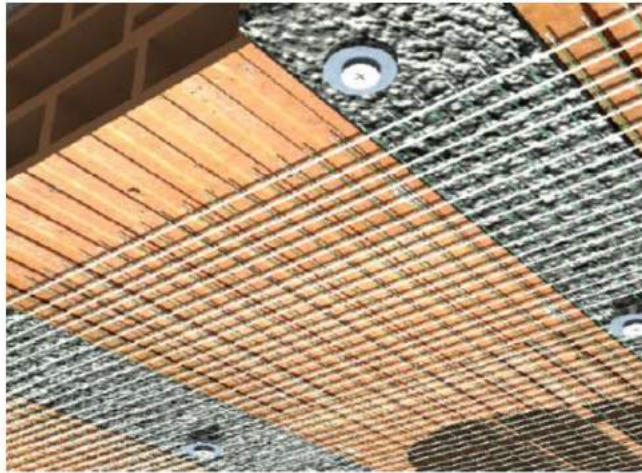


# RINFORZO E RIQUALIFICAZIONE SISMICA EDIFICI SCOLASTICI

## LINEA GUIDA SCUOLE SICURE



# RINFORZO E RIQUALIFICAZIONE SISMICA EDIFICI SCOLASTICI ANTISFONDELLAMENTO SOLAI





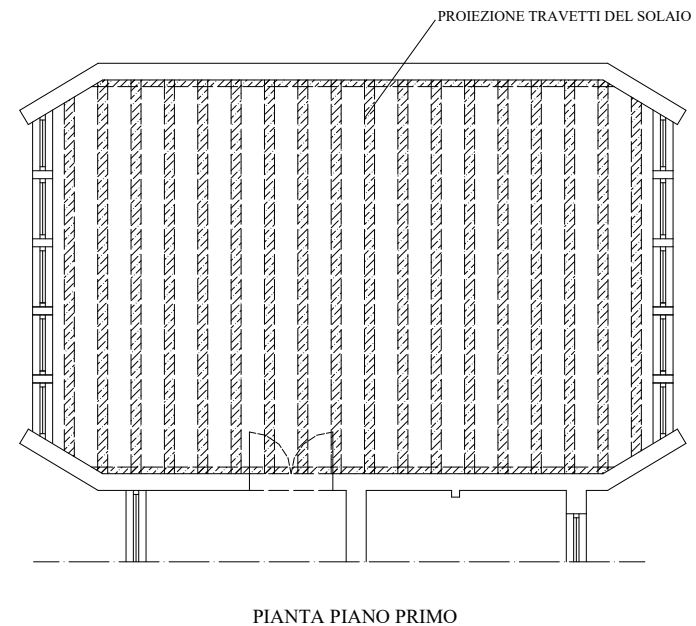
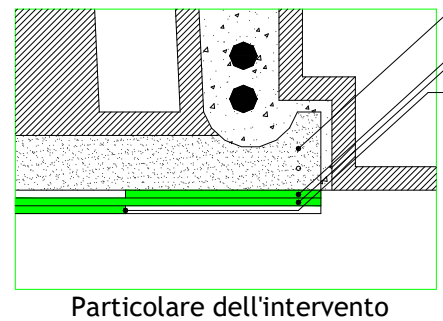
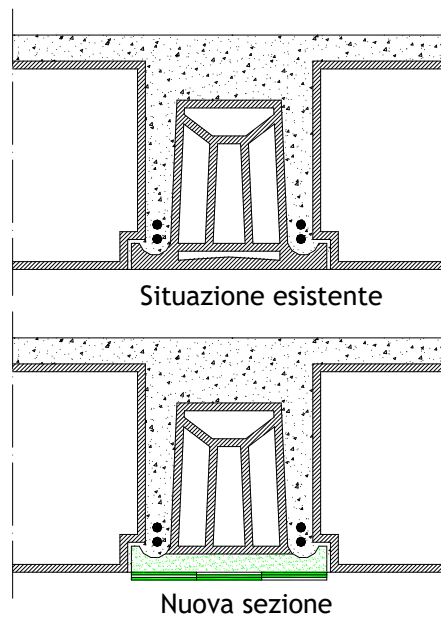
## **INCREMENTO RESISTENZA SOLAI - HOTEL DE LA VILLE BIBLIOTECA NAZIONALE – FIRENZE**



**Rinforzo reso necessario  
per il consolidamento del  
soffitto in laterocemento a  
seguito del manifestarsi di  
una situazione di degrado**



# INCREMENTO RESISTENZA SOLAI - HOTEL DE LA VILLE BIBLIOTECA NAZIONALE – FIRENZE



Particolare dell'intervento del rinforzo a flessione dei travetti del solaio, con ricostruzione del fondello con malta fibrorinforzata Concrete Rock V2 e applicazione di fasce di tessuto unidirezionale C-Sheet 240/300.

# **INCREMENTO RESISTENZA SOLAI - HOTEL DE LA VILLE BIBLIOTECA NAZIONALE – FIRENZE**

---

**Rinforzo dei travetti con fibra  
di carbonio unidirezionale  
C-Sheet 240/300**





# GRAND HOTEL BILLIA - SAINT VINCENT (AO)

---



**RINFORZO E ADEGUAMENTO  
STRUTTURALE DEI 5 PIANI DI SOLAI.**



# HOTEL BILLIA - SAINT VINCENT



**TRAVI RINFORZATE A FLESSIONE  
CON LAMELLE CFK AD ALTO  
MODULO (210 GPa) E A TAGLIO CON  
FIBRE IN CARBONIO AD ALTO  
MODULO (390 GPa)**



**VISTA DELL'INTERVENTO  
DAL BASSO**

# CANTIERE UNIVERSITA' DI TRENTO



**RINFORZO ANTISISMICO DEI PILASTRI SU  
5 PIANI CON PARZIALE SCARICO DEGLI  
STESSI ( 60% ca.)**



# CANTIERE UNIVERSITA' DI TRENTO





# CANTIERE UNIVERSITA' DI TRENTO



# OSPEDALE PIEMONTE DI MESSINA





# FABBRICATO RESIDENZIALE –COMMERCIALE MESTRE

---



**RINFORZO STRUTTURALE DEL  
FABBRICATO DI 5 PIANI DI TRAVI,  
SOLAI, PILASTRI CON LAMELLE CFK  
E TESSUTI C-SHEET IN CARBONIO**







## TEST A FLESSIONE SU TRAVI IN SCALA REALE UNIV. PADOVA



NOME	TIPO	TIPO DI RINFORZO	AREA DI FRP (mm <sup>2</sup> )
<u>n°1 RC-C</u>	C.A.	--	--
<u>n°2 RC-N</u>	C.A.	INCOLLATO	120
<u>n°3 RC-EA</u>	C.A.	INCOLLATO ANCORATO	120
<u>n°4 RC-PrEA</u>	C.A.	PRETENSIONATO ANCORATO	96
<u>n°5 PRC-PrEA</u>	C.A.P.	PRETENSIONATO ANCORATO	96



## TEST A FLESSIONE SU TRAVI IN SCALA REALE UNIV. PADOVA



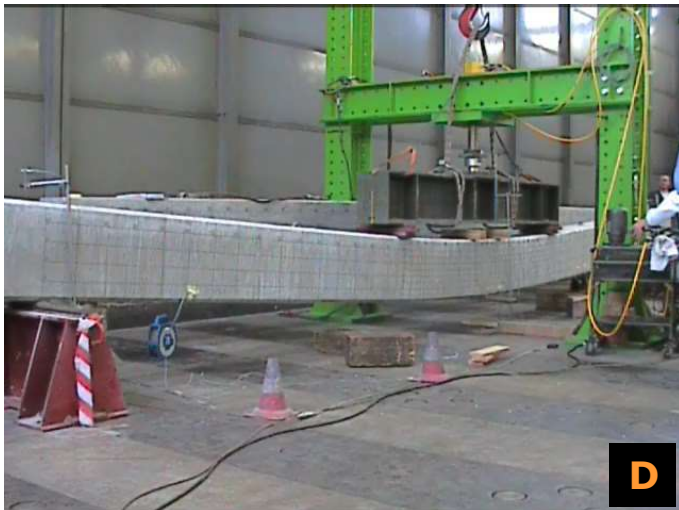
RC-C



RC-N



RC-EA



RC-PrEA

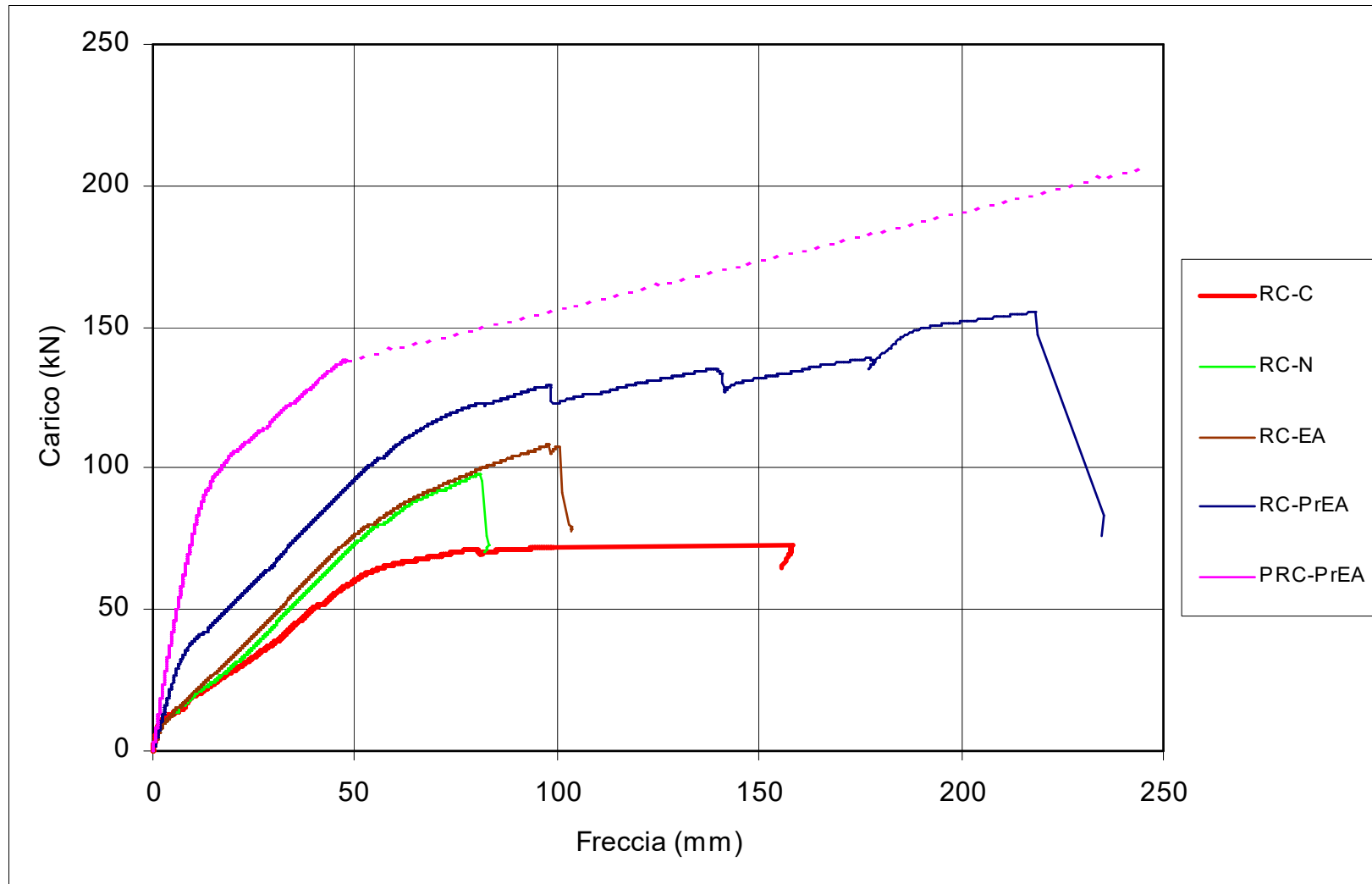


PRC-PrEA

UNA PANORAMICA  
SULLE 5 PROVE  
ESEGUITE, CHE  
METTE IN EVIDENZA  
LA CONDIZIONE  
DELLE TRAVI  
PORTATE A  
ROTTURA.



## TEST A FLESSIONE SU TRAVI IN SCALA REALE UNIV. PADOVA





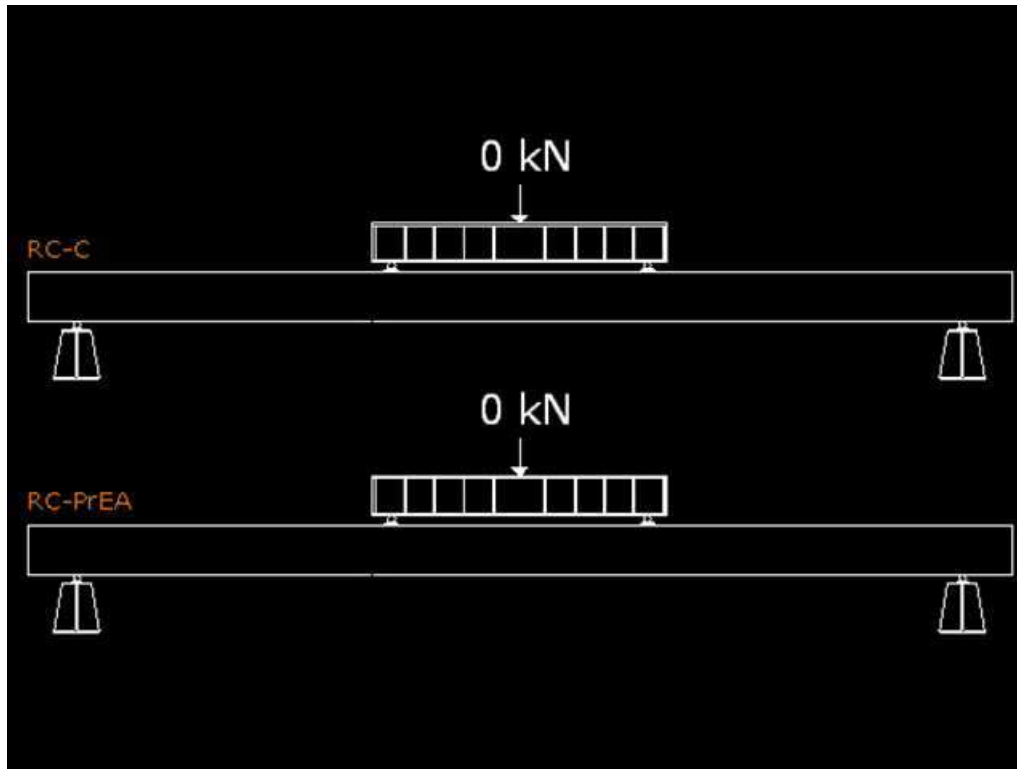
## TEST A FLESSIONE SU TRAVI IN SCALA REALE UNIV. PADOVA

- LA SPERIMENTAZIONE ESEGUITA SULLE CINQUE TRAVI A SCALA REALE HA MOSTRATO LA **GRANDE EFFICACIA** DEL SISTEMA DI RINFORZO A FLESSIONE IN **LAMELLE CFRP**:
  1. INCREMENTI DEL MOMENTO A ROTTURA COMPRESI TRA 36 % E 85 %;
  2. DECREMENTI DELLA FRECCIA IN MEZZERIA;
  3. AUMENTO DELLA RIGIDEZZA DELLA SEZIONE;
- IN PARTICOLARE, LE **PRESTAZIONI MIGLIORI** IN TERMINI DI INCREMENTO SONO STATE REGISTRATE NELLE TRAVI IN CUI LA FIBRA ERA STATA **PRETENSIONATA** (NONOSTANTE IN QUELLE TRAVI FOSSE PRESENTE IL 20% IN MENO DI LAMELLA):
  1. NOTEVOLE INCREMENTO DEL MOMENTO DI PRIMA FESSURAZIONE, + 52 %;
  2. LAMELLA UTILIZZATA FINO AL 75 % DELLE SUE POTENZIALITA' ;

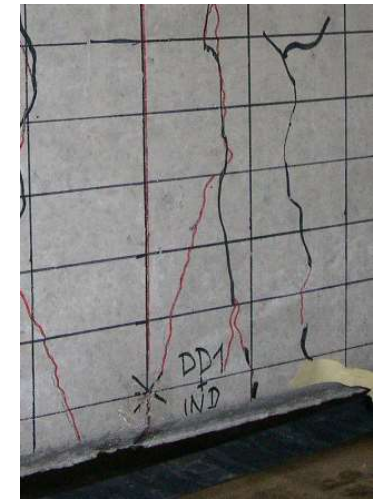




## TEST A FLESSIONE SU TRAVI IN SCALA REALE UNIV. PADOVA



**RC-C:**  
FRATTURA AMPIA  
CON ESPULSIONE DI  
CLS



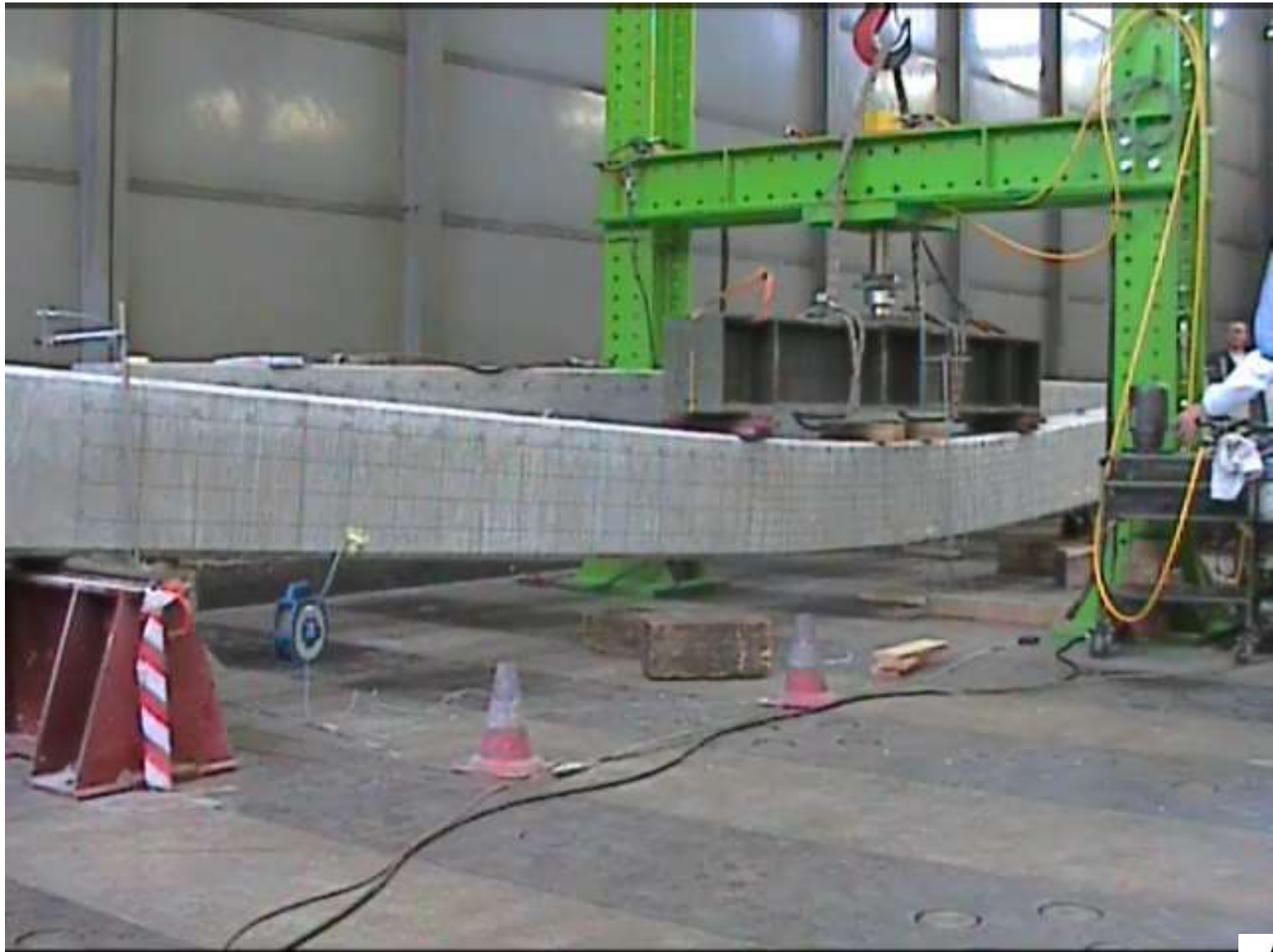
**RC-EA:**  
FESSURE  
PICCOLE

### FILMATO:

EVOLUZIONE DELLE FRATTURE A  
PARITA' DI CARICO.



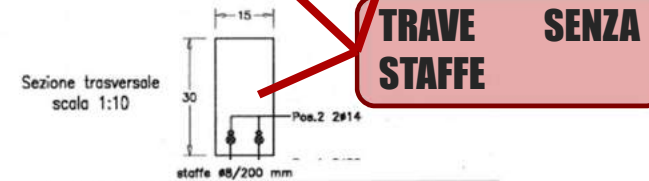
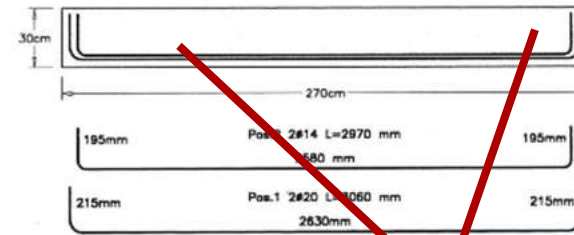
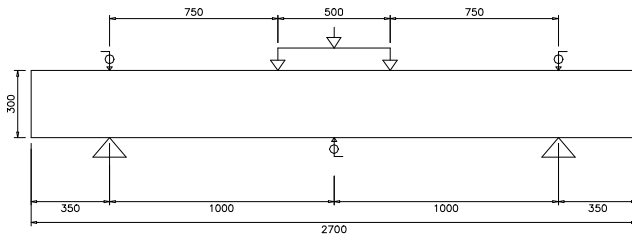
## TEST A FLESSIONE SU TRAVI IN SCALA REALE UNIV. PADOVA



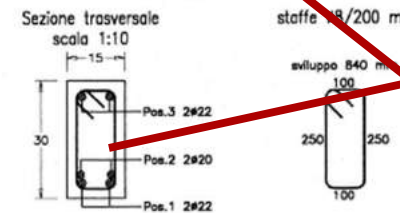
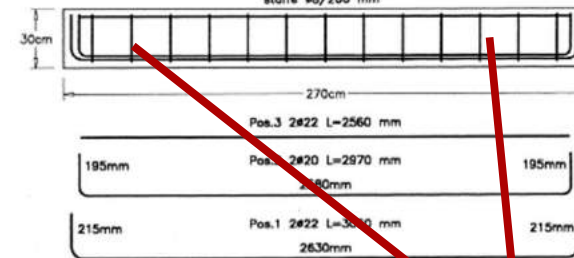


# RINFORZO A TAGLIO CON FRP

## RINFORZO A TAGLIO \*



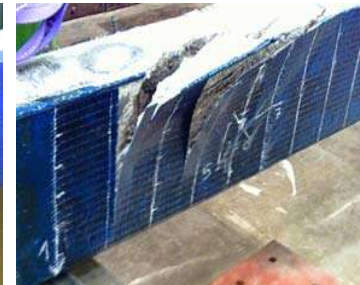
**TRAVE SENZA STAFFE**



**TRAVE CON STAFFE**



# ROTTURA A TAGLIO CON FRP



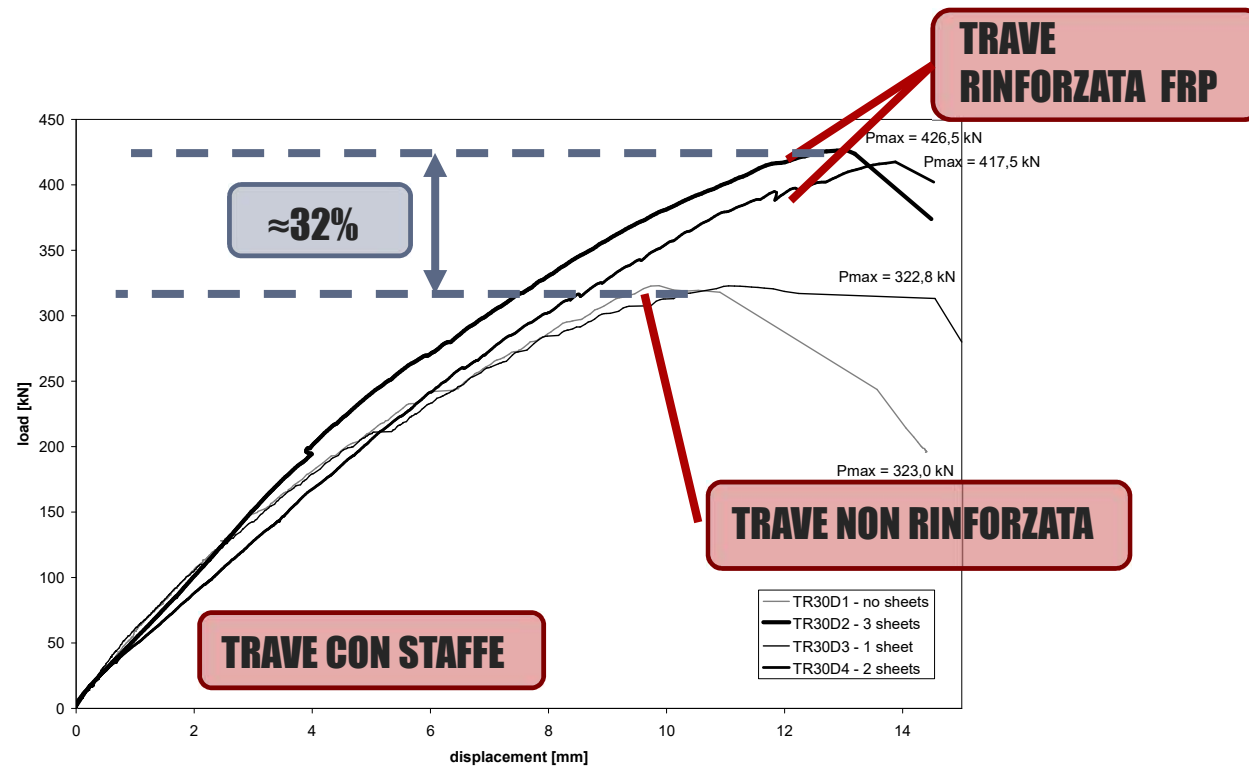
Failure of the strengthened beams with stirrups (side-bonding)

Failure of the strengthened beams with stirrups ("U"-jacketing)





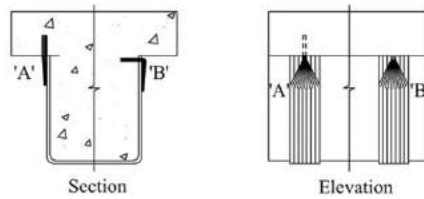
# RISULTATI SPERIMENTALI



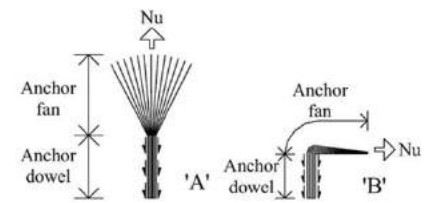


# ANCORAGGI A TAGLIO

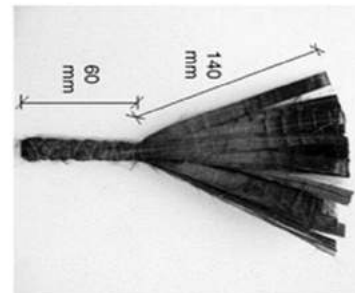
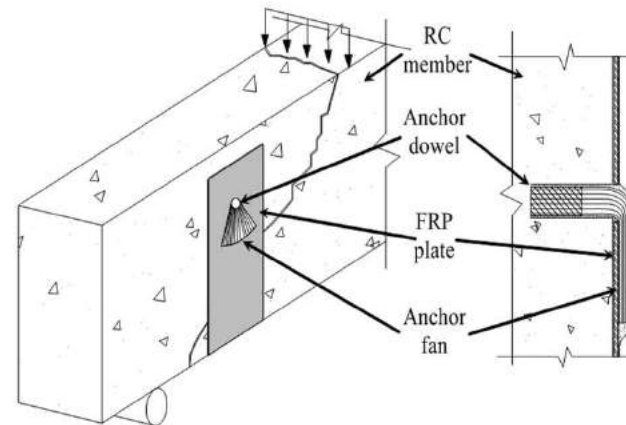
CNR-DT 200 R1 2013  
USO DEGLI ANCORAGGI



(a) FRP anchor types and applications



(b) FRP Anchor types and dowel stress distribution





# USO DEGLI ANCORAGGI DT 200

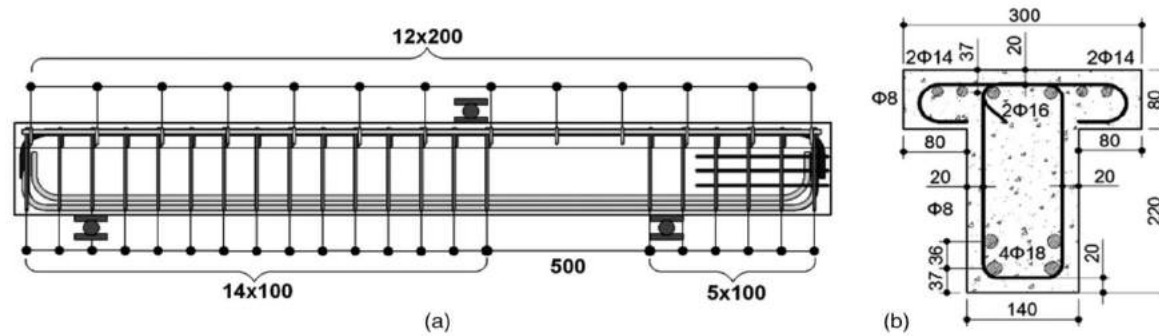
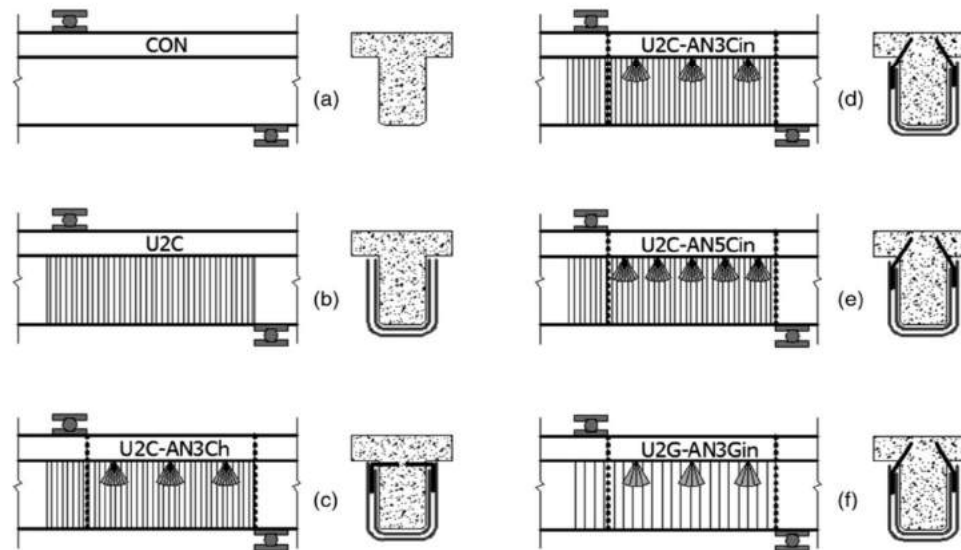


Fig. 2. (a) Beam geometry and reinforcement; (b) cross section (dimensions in mm)

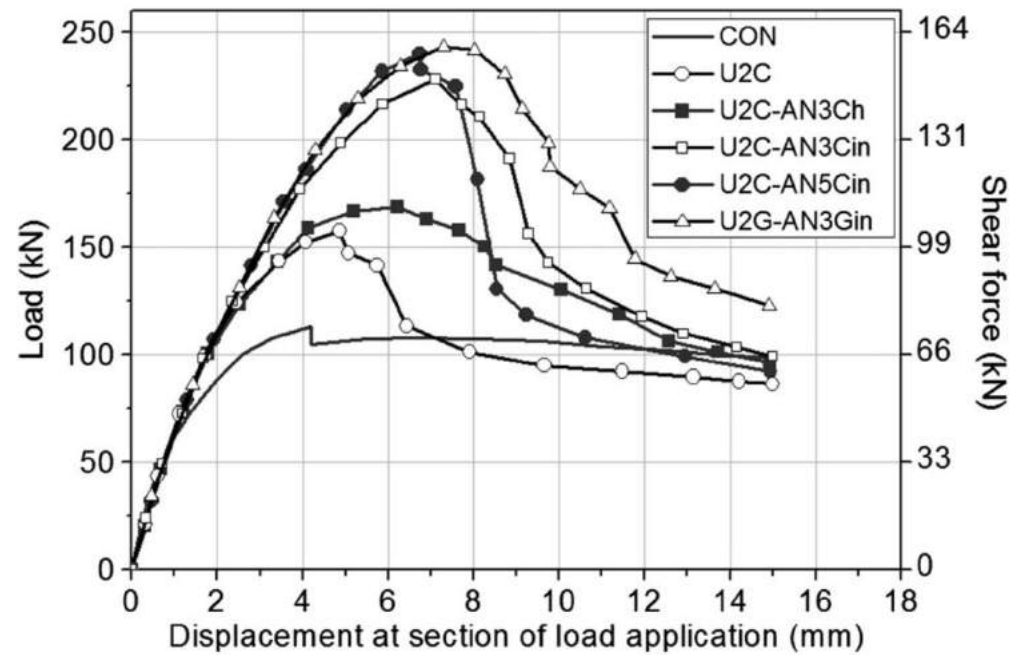




# RISULTATI SPERIMENTALI

DT 200 R1 2013

USO DEGLI ANCORAGGI



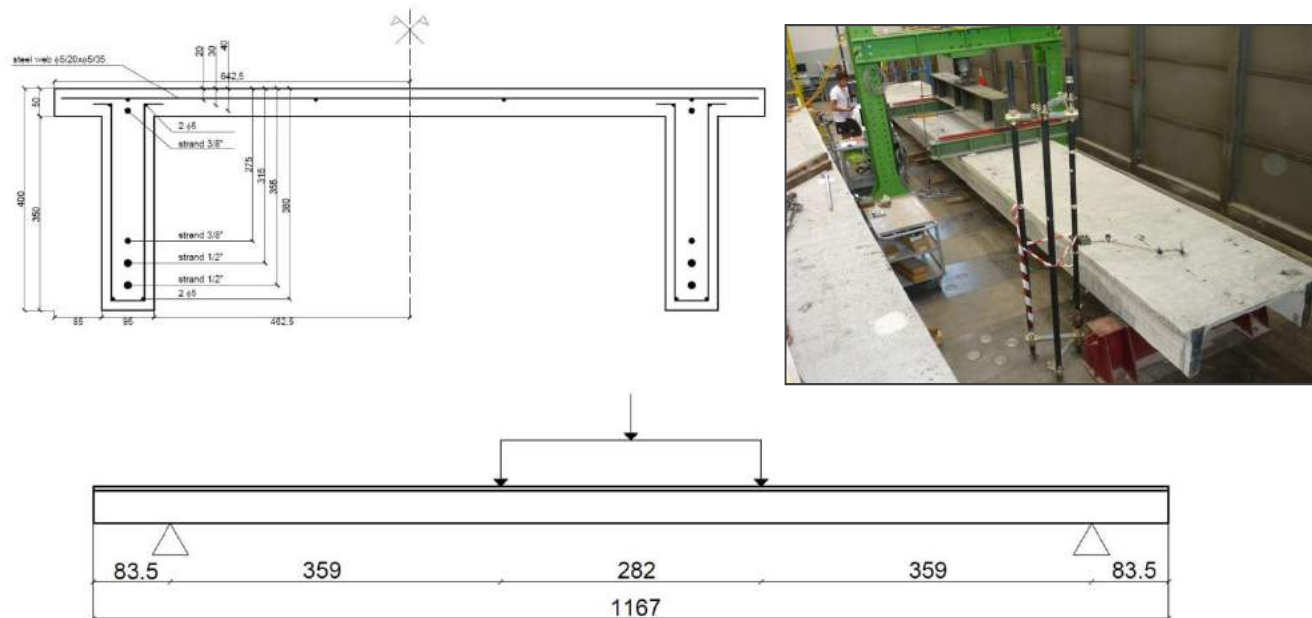




# Prove sperimentali Università di Padova Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

## OGGETTO DELLA SPERIMENTAZIONE

Sono state testate 4 travi prefabbricate in c.a.p. con sezione a “pi-greco” ricavate da un edificio industriale risalente alla fine degli anni '90.





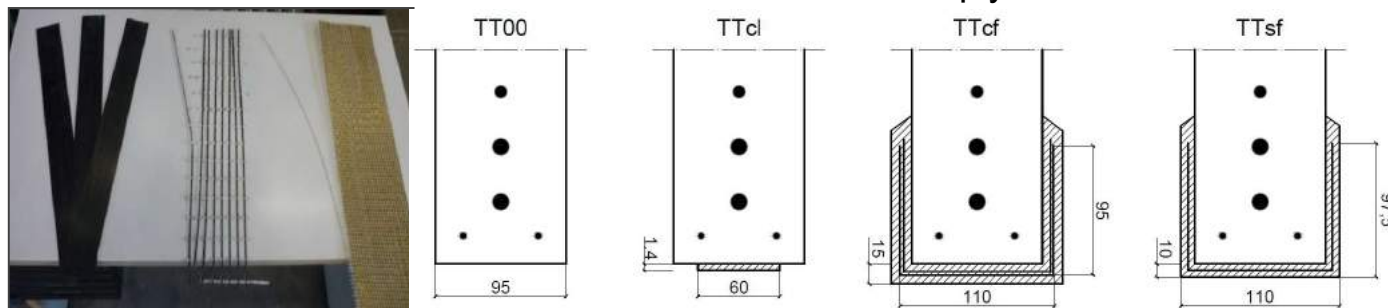
# Prove sperimentali Università di Padova

## Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

### OGGETTO DELLA SPERIMENTAZIONE

Sulla base di calcoli preliminari si sono dimensionati **3 tipi di rinforzo** dai quali ci si aspetta un contributo paragonabile in termini di incremento di carico ultimo.

Rif.	Tipologia rinforzo	Spessore rinforzo [mm]
<b>TT01</b>	Trave di controllo non rinforzata	-
<b>TT02</b>	Lamella in carbonio + resina epossidica FRP	1.4
<b>TT03</b>	Fibra di carbonio + malta cementizia	0.117/ply (2 strati)
<b>TT04</b>	Fibra d'acciaio + malta cementizia	0.220/ply





# Prove sperimentali Università di Padova

## Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

### Preparazione delle travi con applicazione rinforzi



**TT02 -  
RINFORZO  
CON LAMELLA  
CFK IN  
CARBONIO E  
ADESIVO  
RESIN 90**



**TT03 -  
RINFORZO  
CON DOPPIA  
RETE IN  
CARBONIO  
  
C-NET 200U E  
MALTA  
CONCRETE  
ROCK V2**



**TT04 - RINFORZO CON  
TESSUTO IN ACCIAIO  
STEEL NET 190 E  
MALTA CONCRETE  
ROCK V2**





# Prove sperimentali Università di Padova

## Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

### Travi sotto carico

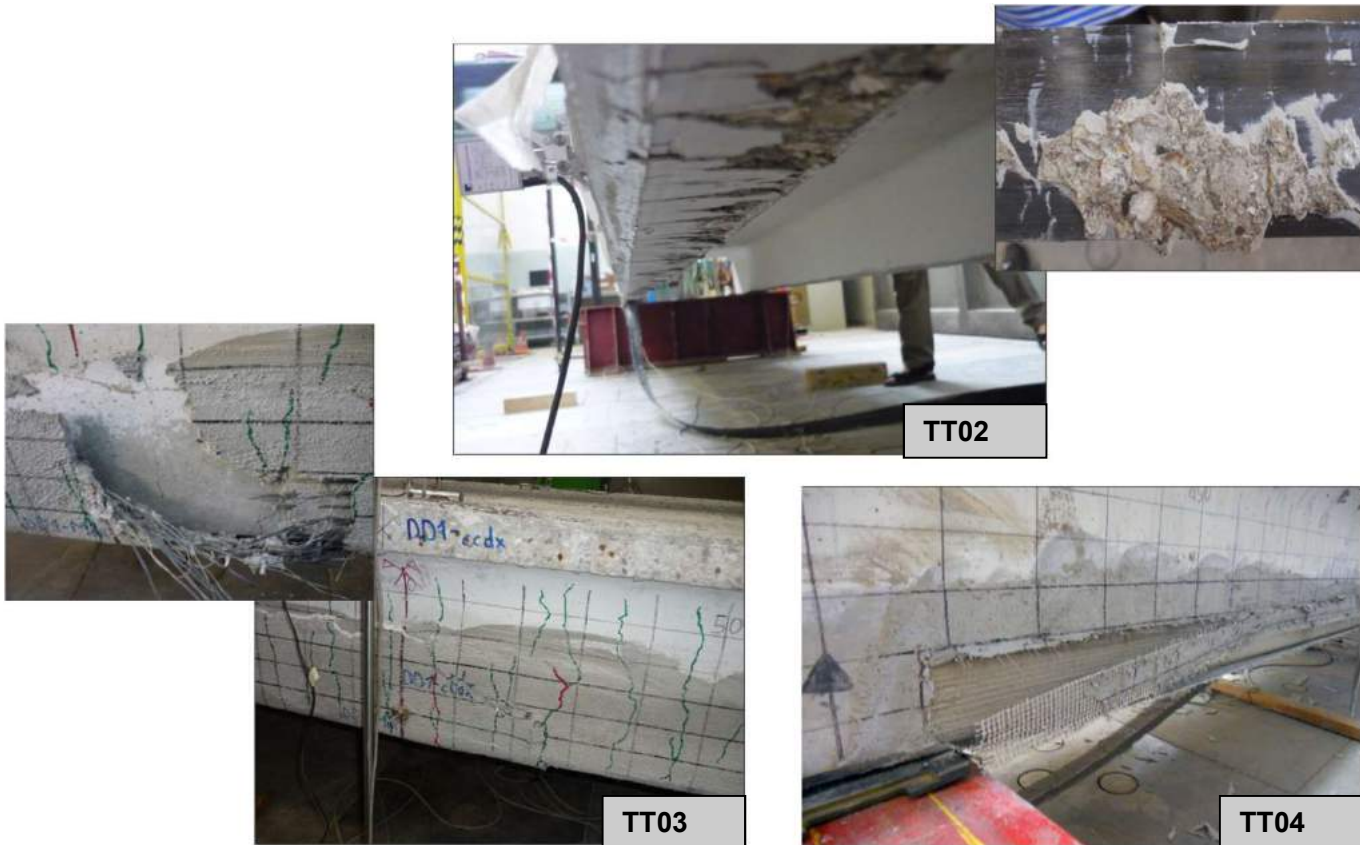




# Prove sperimentali Università di Padova

## Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

### Rottura delle travi allo SLU



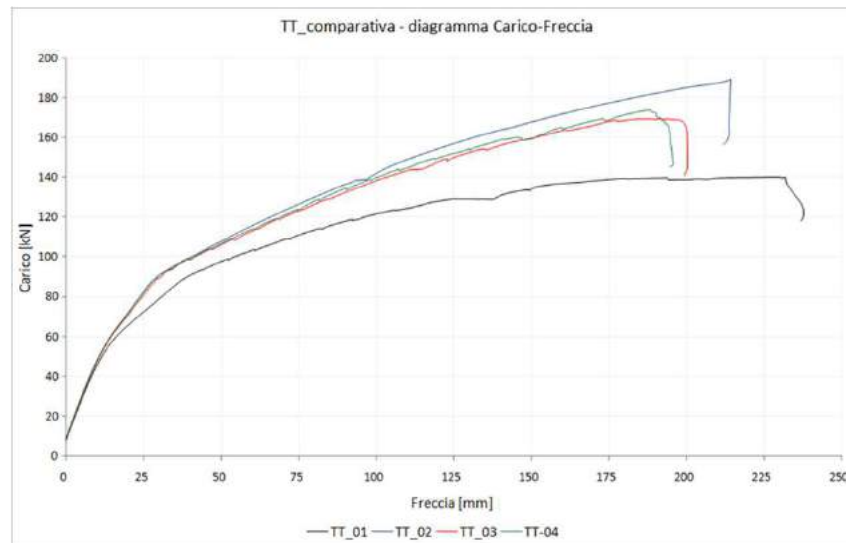


# Prove sperimentali Università di Padova

## Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

### Diagramma carico-freccia

SEZIONE DI MEZZERIA:	TT_01	TT_02	TT_03	TT_04
CARICO MASSIMO AL MARTINETTO:	$P_{max} = 139,987 \text{ kn}$	189,088 kn	169,235 kn	173,628 kn
FRECCIA A PMAX:	$F_{med} = 238,26 \text{ mm}$	214,50 mm	200,87 m	196,33 mm
DEFORMAZIONI A PMAX:	$\epsilon_{Min} = -1,859 \text{ ‰}$	-1,085 ‰	-1,030 ‰	-0,973 ‰
	$\epsilon_{Max} = +10,340 \text{ ‰}$	+8,319 ‰	+7,568 ‰	+7,081 ‰





# Prove sperimentali Università di Padova

## Rinforzo di copponi in c.a.p. con sistemi FRCM-SRG

### Tabella conclusiva

TRAVE	Carico a rottura $C_U$ (kN)	Incremento di $C_U$ (%)	Momento a rottura $M_U$ (kNm)	Incremento di $M_U$ (%)
TT_01	139,987	--	290,857	--
TT_02	189,088	35,08	378,944	30,29
TT_03	169,235	20,89	343,328	18,04
TT_04	173,628	24,03	351,209	20,75

TRAVE	$\varepsilon_c$ (‰)	$\varepsilon_f$ (‰)	Utilizzo cls (%)	Utilizzo fibre (%)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_f$ (MPa)
TT_01	-1,859	--	93,0	--	-77,7	--
TT_02	-1,085	8,319	54,3	50,4	-45,4	1397,6
TT_03	-1,030	7,568	51,5	43,2	-43,0	1816,3,0
TT_04	-0,973	7,081	48,7	42,1	-40,7	1345,4





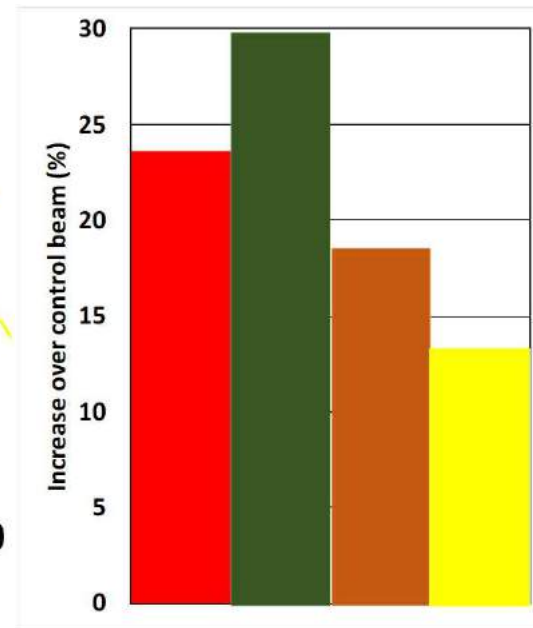
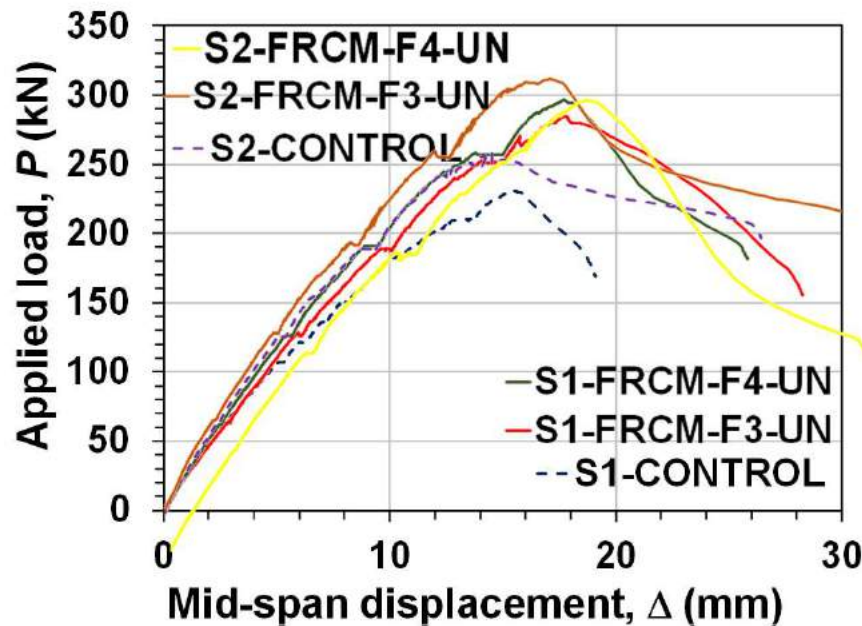
# RINFORZO A TAGLIO CON FRCM





# RINFORZO A TAGLIO CON FRCM

## RISULTATI SPERIMENTALI



1- staffe ogni 300 mm  $\phi$  8

2- staffe ogni 200 mm  $\phi$  8

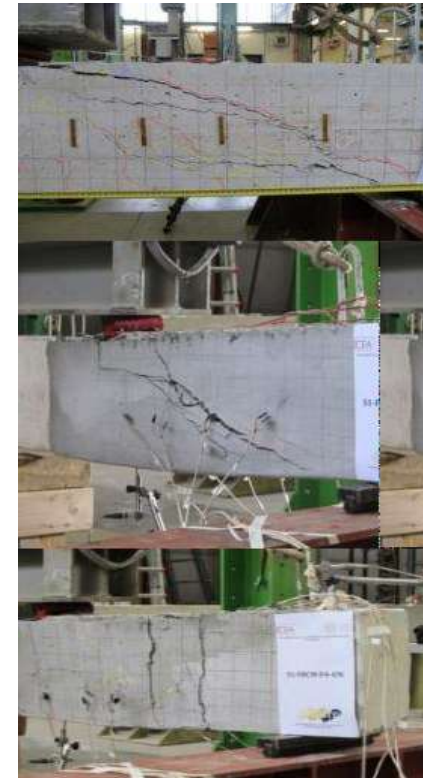
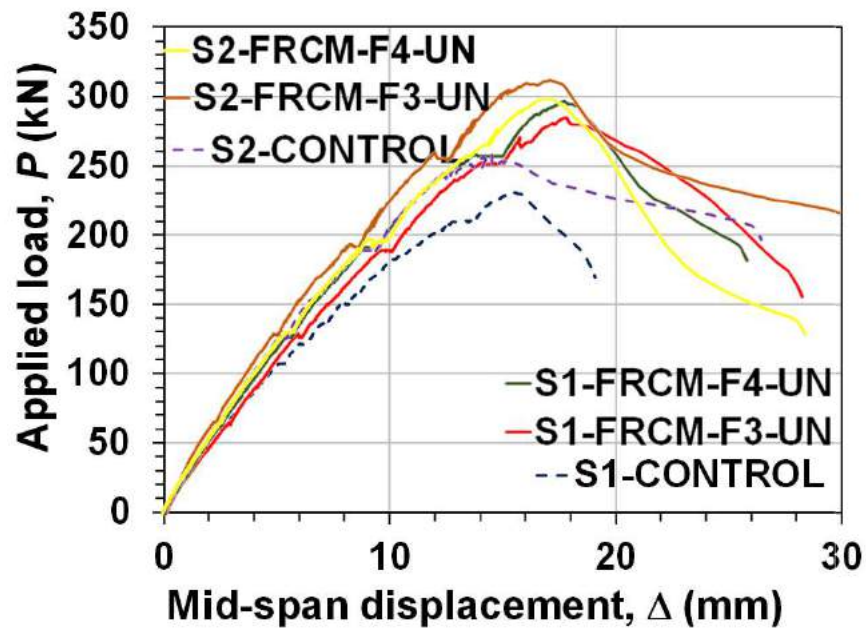
F3 rete in carbonio

F4 tessuto in acciaio UHTSS



# RINFORZO A TAGLIO CON FRCM

## RISULTATI SPERIMENTALI



# RINFORZO E RIQUALIFICAZIONE PONTI E VIADOTTI

## Concessionari autostradali A1-A4-A14- Anas-Veneto Strade





# RINFORZO E RIQUALIFICAZIONE PONTI E VIADOTTI

## RFI- Italferr tratta Bologna- Rimini

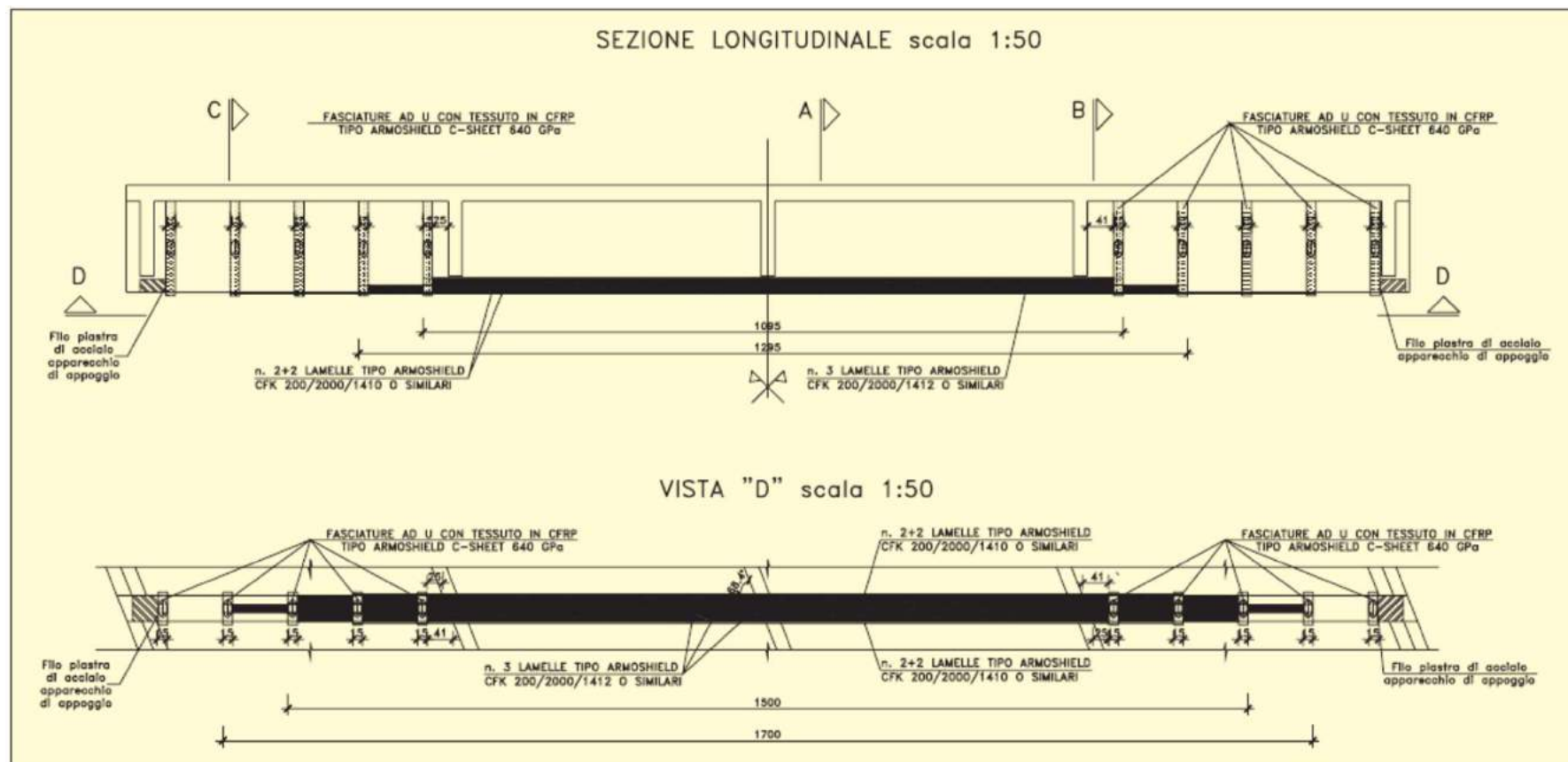


## PONTE SUL FIUME RABBI - FORLI'

---



# PONTE SUL FIUME RABBI - FORLI'



SCHEMA DI RINFORZO DELLE TRAVI PRINCIPALI CON LAMELLE CFK E FIBRA AD ALTO MODULO – SEZIONE E VISTA DA INTRADOSSO



## PONTE SUL FIUME RABBI - FORLI'



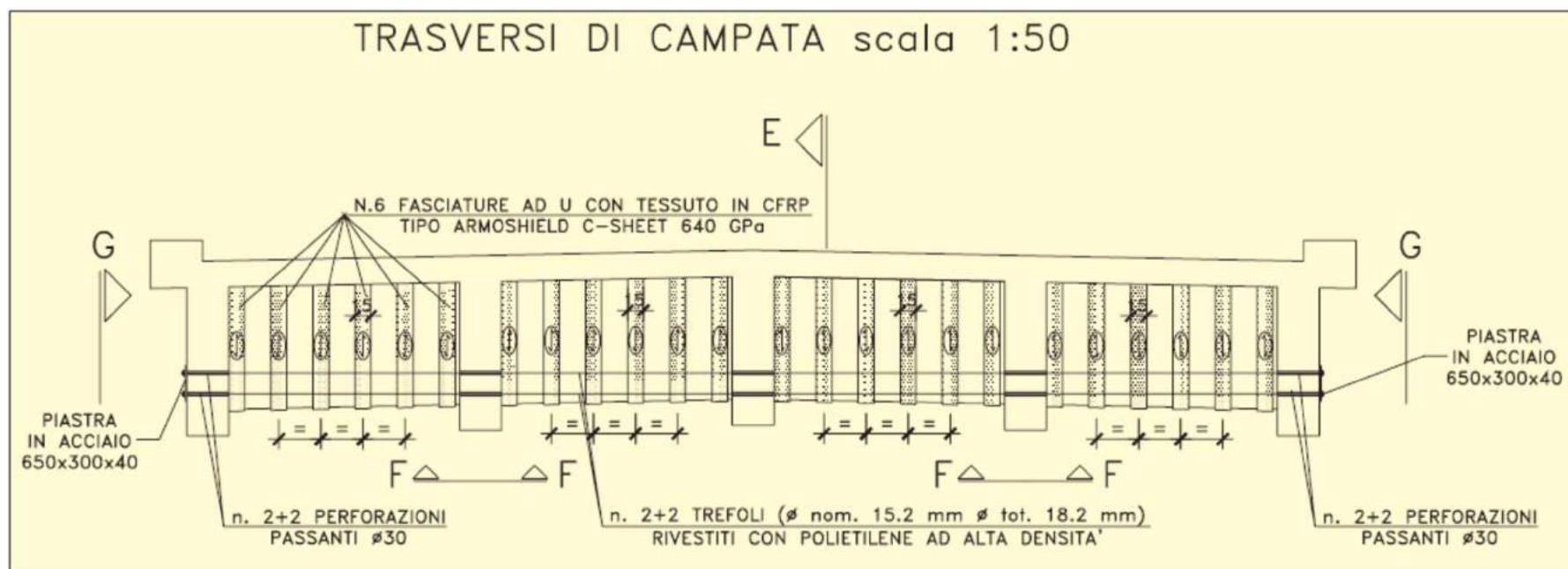
FASI DI APPLICAZIONI DELLE  
LAMELLE CFK ALL'INTRADOSSO  
DELLE TRAVI PRINCIPALI

VISTA DI UNA CAMPATA CON LE  
LAMELLE CFK APPLICATE  
ALL'INTRADOSSO DELLE TRAVI E LA  
FIBRA IN PROSSIMITA'  
DELL'APPOGGIO





## PONTE SUL FIUME RABBI - FORLI'



SCHEMA DI RINFORZO DEI TRAVERSI DI CAMPATA E DETTAGLIO DELL'APPLICAZIONE DELLE LAMELLE CFK SULLE TRAVI E DELLE FIBRE SUI TRAVERSI



## Attività produttive - prefabbricati

---

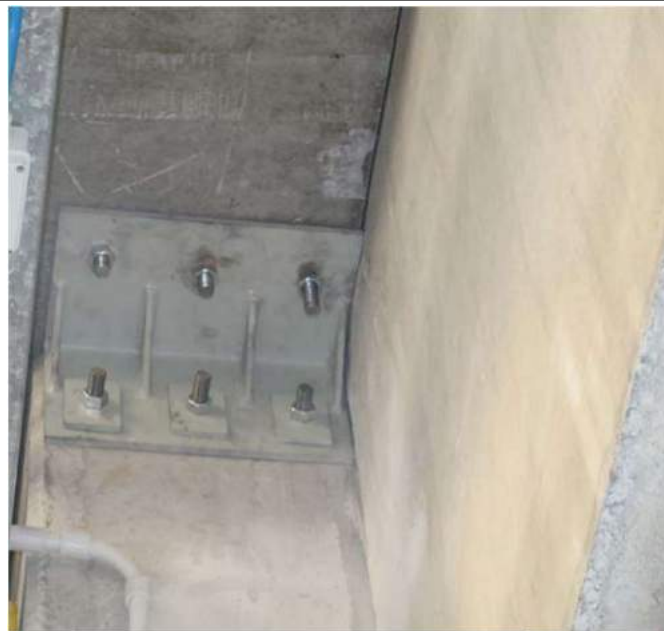
Tipologie di interventi locali **NECESSARI** per un salto di classe:

- **Collegare gli elementi strutturali (travi-pilastri, tegoli-trave)**
- **Collegare tamponamenti alla struttura**
- **Stabilizzare i sistemi contenuti nell'edificio (impianti, scaffalature, macchinari, etc...)**



# Attività produttive - Prefabbricati

## Esempi





# Rinforzi strutturali impianti industriali

Consolidamento strutturale 6 celle silos grano  
12x6 m H 30 m - Cargill Rovigo con CFRP



Grandi Officine Trenitalia  
Bologna- Rinforzo strutturale



Rinforzo silos parcheggio Verona  
con CFRP



Faro Stazione Cuneo



## L'AQUILA, 2009



**Il terremoto de L'Aquila ha confermato la vulnerabilità degli edifici esistenti in muratura, in relazione al comportamento globale e locale, delle singole componenti strutturali.**

**Il riconoscimento normativo della complessità dell'edificato storico (in termini di materiali, aggregazioni distributive, tipologie costruttive) e dell'importanza delle indagini diagnostiche (ispezioni e prove strumentali in sito) costituiscono un passo fondamentale per la individuazione degli interventi di rinforzo/ consolidamento più adeguati per il ripristino delle prestazioni strutturali, nel rispetto dell'identità storico-funzionale dell'edificio esistente, valutato in tutte le sue parti.**

# TERREMOTO L'AQUILA 6 APRILE 2009





# TERREMOTO EMILIA 20-29 maggio 2012



# TERREMOTO EMILIA 20-29 maggio 2012

---





# TERREMOTO AMATRICE- NORCIA- CENTRO ITALIA 24 AGOSTO- 30 OTTOBRE 2016

---





# TERREMOTO AMATRICE- NORCIA- CENTRO ITALIA 24 AGOSTO- 30 OTTOBRE 2016





# TERREMOTO AMATRICE- NORCIA- CENTRO ITALIA 24 AGOSTO- 30 OTTOBRE 2016



Chiesa di S. Agostino e Porta  
Carbonara



# TERREMOTO AMATRICE- NORCIA- CENTRO ITALIA 24 AGOSTO- 30 OTTOBRE 2016

---



# TERREMOTO AMATRICE- NORCIA- CENTRO ITALIA

## 24 AGOSTO- 30 OTTOBRE 2016

---



Criticità tessitura muraria e  
cordolo di sommità in c.a. non  
ancorato alla muratura

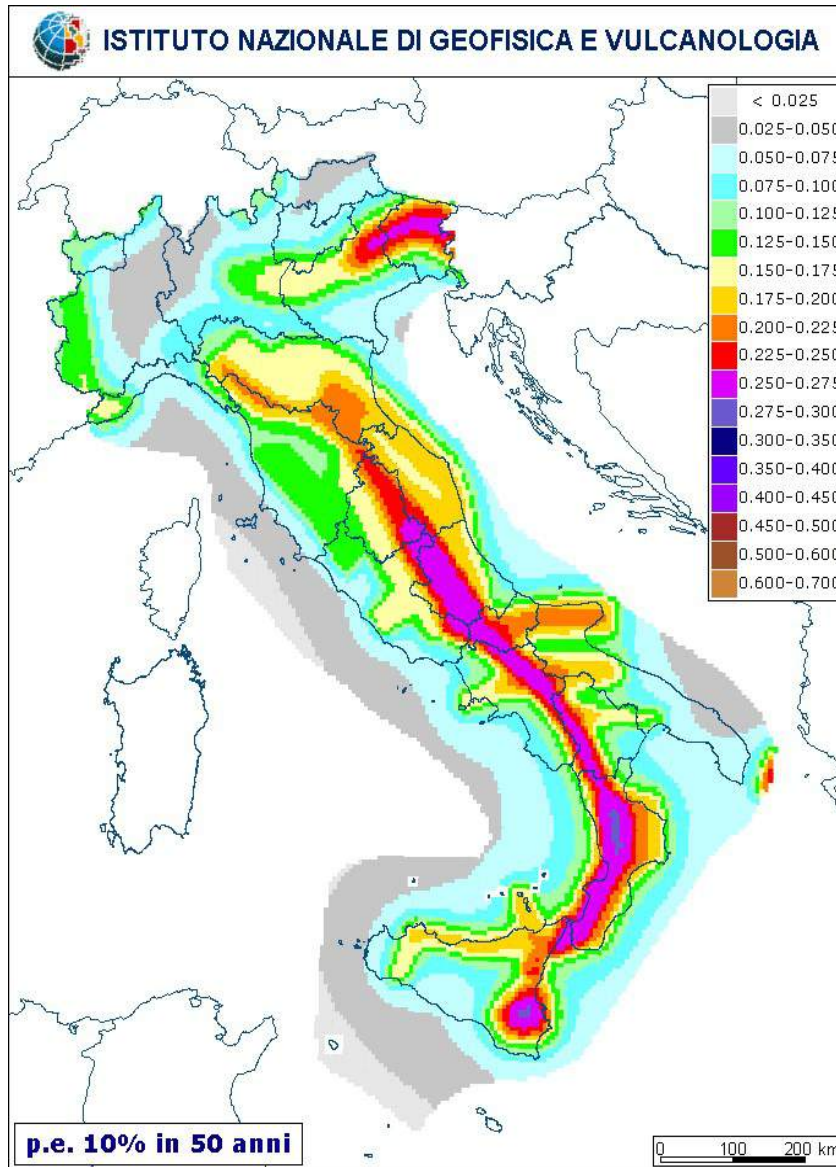


## AZIONE DEL SISMA SULLE STRUTTURE

Nelle metodologie di modellazione e progettazione moderne l'azione sismica è rappresentata da uno strumento fondamentale: lo spettro elastico di risposta che dà l'accelerazione subita dalla struttura in funzione del periodo proprio e dei seguenti parametri:

- Coordinate geografiche (sismicità del luogo)
- Periodo di ritorno del terremoto
- Tipo di terreno
- Configurazione morfologica del terreno
- Smorzamento viscoso equivalente (capacità di dissipare energia) della struttura





**Periodo ritorno  
475 anni**

# TERREMOTO DI PROGETTO

Vita nominale

$$V_N \geq 50 \text{ anni}$$

Fattore di uso

$$C_U = 1.0 - 1.5 - 2.0$$

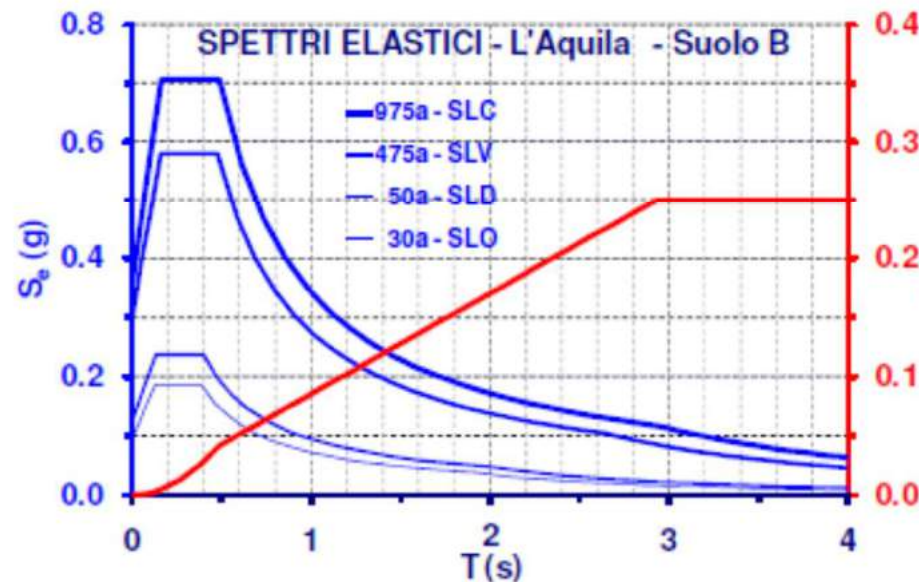
Costr. ordinarie - affollate - strategiche)

Vita (Periodo) di riferimento

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Periodo di ritorno

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$$



SL	SLO	SLD	SLV	SLC
$P_{VR} (\%)$	81	63	10	5
$T_R = V_R^*$	0.6	1.0	9.5	19.5

N.B.:

$\xi = 5\%$  per edifici tradizionali

$\xi \geq 10\%$  per edifici isolati

# **DPCM 9 FEBBRAIO 2011 BENI CULTURALI**

---

**PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI BENI CULTURALI  
PER MITIGARE IL RISCHIO SISMICO**

**LV1 ANALISI QUALITATIVA DELLA VULNERABILITA' SISMICA  
SU SCALA TERRITORIALE**

**LV2 RIPARAZIONE ED INTERVENTI LOCALI**

**LV3 MIGLIORAMENTO SISMICO GLOBALE**

**MIGLIORAMENTO E NON ADEGUAMENTO A LIVELLI DI SICUREZZA  
CHE SIANO COMPATIBILI CON LE ESIGENZE DELLA CONSERVAZIONE.**

**ACCETTARE UNA VITA NOMINALE TROPPO BREVE (E RELATIVO  
PERIODO DI RITORNO) PER UN BENE STORICO STRATEGICO  
(MUSEI, OSPEDALI , SCUOLE, CASERME ) PUO' COMPORTARE  
LA NECESSITA' DI RICORRENTI VERIFICHE OPPURE NECESSITA'  
DI DELOCALIZZARE .**



# **DPCM 9 FEBBRAIO 2011 BENI CULTURALI**

---

**STATI LIMITI DI PROGETTO CONSIDERATI PER I BENI CULTURALI**

**SLD PER GARANTIRE FUNZIONALITA' DELLA STRUTTURA DOPO IL TERREMOTO**

**SLV PER GARANTIRE SALVAGUARDIA DELLA VITA E DELLA STRUTTURA**

**SLA E' UNO SPECIFICO STATO LIMITE DI DANNO AI BENI ARTISTICI (DA VALUTARE IN AMBITO LOCALE) , ASSIMILATO ALLO SLD OPPURE AUMENTATO DI N CICLI DI CONTROLLO DURANTE LA VITA NOMINALE ( COMUNQUE < SLV)**

**$V_n = 50$  ANNI ( O MENO) (>20 anni sono considerati accettabili in molti casi )**

**FATTORE D'USO DA NTC (0,7 – 2) - CLASSI D'USO**

**$I_s$  INDICE DI SICUREZZA SISMICA =  $T_{sl}/T_{r,sl}$  o fattore di accelerazione  $f_{asl} = a_{sl}/a_{g,,sl}$**

**IL PROGETTISTA DOVRA' ESPLICITARE IN UN'APPOSITA RELAZIONE I LIVELLI DI SICUREZZA ATTUALI O RAGGIUNTI DOPO L'INTERVENTO E LE EVENTUALI CONSEGUENTI LIMITAZIONI DA IMPORRE NELL'USO DELLA COSTRUZIONE (8.3 NTC)**

# **NORME TECNICHE 2008**

## **CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA**

---

Gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare ed uniforme alle strutture. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata calcolando l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidità.

Nel caso si decida di intervenire su singole parti della struttura (**macroelementi**) va valutato l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidità.

**Gerarchia delle resistenze** per i pannelli murari: coesione muraria, azioni nel piano, azioni fuori del piano.

Particolare attenzione deve essere posta ai materiali impiegati e alla fase esecutiva degli interventi, onde assicurare l'efficacia degli stessi, in quanto l'eventuale cattiva esecuzione può comportare un peggioramento delle caratteristiche della muratura o del comportamento globale dell'edificio.

# **NORME TECNICHE 2008-LINEE GUIDA BENI CULTURALI 2011 CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA**

---

**Criteria generali di guida agli interventi di consolidamento degli edifici in muratura, con riferimento ad alcune tecniche di utilizzo corrente:**

**Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti**

**Interventi su archi e volte**

**Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai**

**Interventi in copertura**

**Interventi che modificano la distribuzione degli elementi verticali resistenti**

**Interventi volti ad incrementare la resistenza nei maschi murari e murature**

**Interventi su pilastri e colonne**

**Interventi volti a rinforzare le pareti attorno alle aperture**

**Interventi volti ad assicurare i collegamenti degli elementi non strutturali**

**Interventi in fondazione**

**Realizzazione di giunti sismici**



# CRITERI DELL' INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

---

- 1) **MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE MURATURE**, mediante consolidamento della tessitura muraria (iniezioni, sostruzione,...) e , se necessario, sostituzione.
- 2) **MIGLIORARE LA CONFIGURAZIONE STRUTTURALE**, con l'introduzione di nuovi elementi resistenti nel piano, la riduzione di spinte di volte e coperture, l'eliminazione o l'ampliamento di giunti tra corpi di fabbrica, l'eliminazione di piani deboli e di elementi vulnerabili, etc.
- 3) **RENDERE EFFICACI I COLLEGAMENTI**, mediante inserimento di tiranti, cerchiature esterne, idonea ammorsatura fra pareti confluenti in martelli murari ed angolate, cordoli in sommità, connessione dei solai di piano e delle coperture alle murature, etc.



# CRITERI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO E TECNICHE D'INTERVENTO

---



Nella scelta degli interventi deve essere posta particolare attenzione ai principi della conservazione. Inoltre, la valutazione della sicurezza e una chiara comprensione della struttura devono essere alla base delle decisioni e delle scelte degli interventi. Pertanto, l'intervento non deve essere finalizzato solo al raggiungimento di un appropriato livello di sicurezza della costruzione attraverso analisi FEM, ma deve garantire anche (miglioramento controllato):

- compatibilità e durabilità;
- integrazione e non trasformazione della struttura;
- rispetto di concezione e tecniche originarie della struttura;
- bassa invasività;
- se possibile, reversibilità o rimovibilità;
- minimizzazione dell'intervento.

# Meccanismi di crisi per forze orizzontali murature

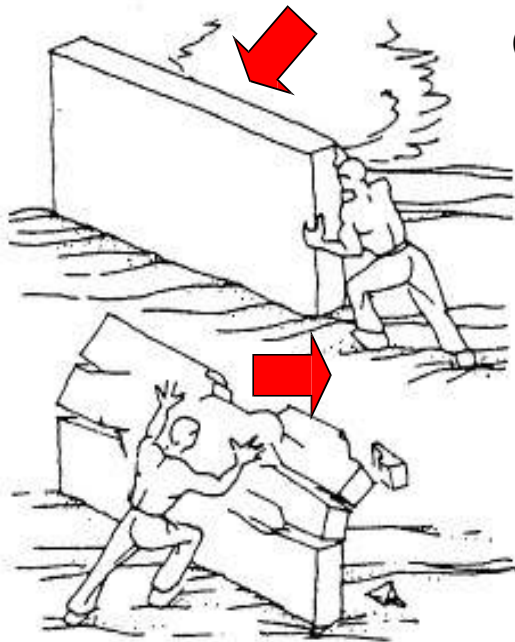
- Debolezza del comportamento scatolare
- **Qualità muraria**
- **Crisi nel piano del pannello**
- **Crisi per ribaltamento fuori dal piano**
- Crisi di pilastri in muratura
- Crisi di elementi a semplice o doppia curvatura





# Comportamento scatolare

- Carenze di resistenza alle forze orizzontali (vento, sisma) quando queste sollecitano la parete **fuori dal proprio piano**
- La resistenza dei muri a forze agenti **nel piano del muro** è **molto maggiore**, e quindi è maggiore la loro efficacia come elementi di controventamento



↓  
Concezione strutturale a “sistema scatolare”

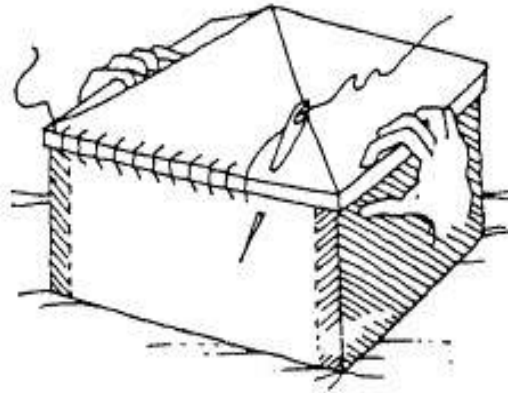


figura da

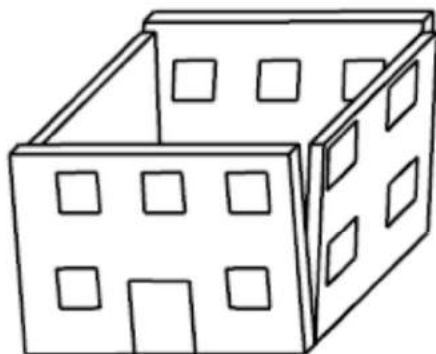
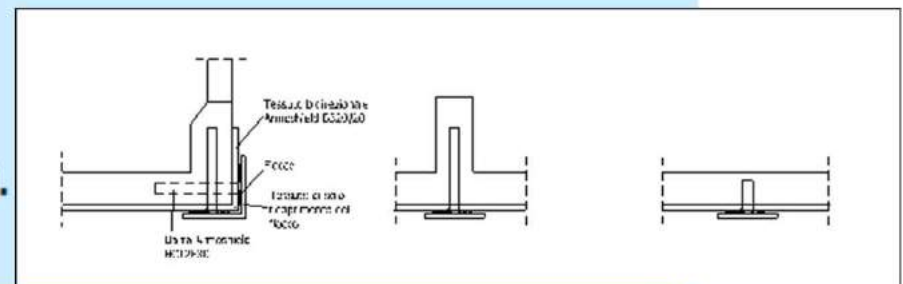
# MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI

## “CINTURAZIONE”

La “cinturazione” dell’edificio migliora diversi aspetti:

- ➔ scarso collegamento tra pareti ortogonali
- ➔ spinte di elementi di copertura
- ➔ distribuisce forze orizzontali date dai solai

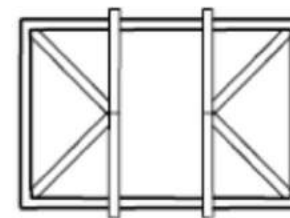
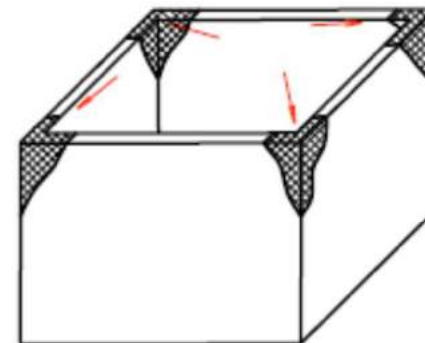
senza aggiungere peso, specie con i compositi.



SCARSO COLLEGAMENTO CON I SOLAI

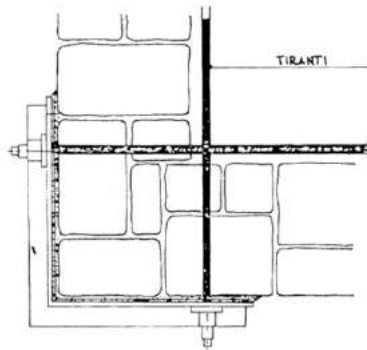


ELEMENTI SPINGENTI



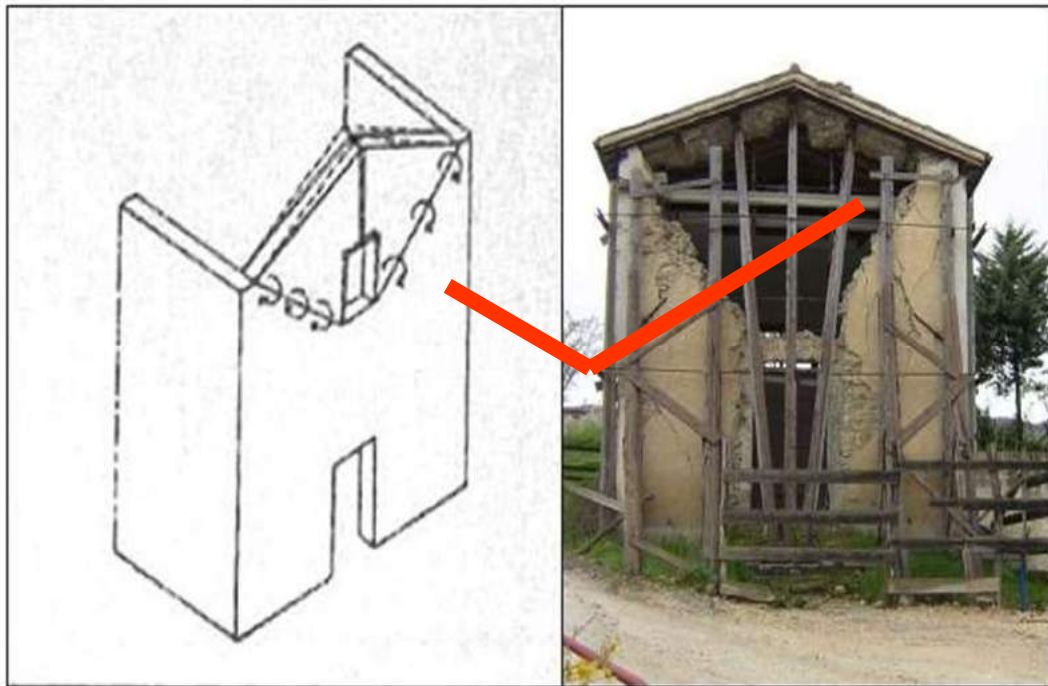
## MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI: TIRANTI

Disposti nelle due direzioni principali del fabbricato, a livello dei solai ed in corrispondenza delle pareti portanti, ancorati alle murature mediante capochiave (a paletto o a piastra), possono favorire il comportamento d'insieme del fabbricato. Migliorano il comportamento nel piano di pareti forate.:  
NB:Consolidamento muratura area del capochiave.





# MECCANISMO DI RIBALTAMENTO



Catene non efficaci contro tale meccanismo per la qualità muraria scadente



## MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI: CORDOLI

In sommità alla muratura possono costituire una soluzione efficace per collegare le pareti, in una zona dove la muratura è meno coesa a causa del limitato livello di compressione, e per migliorare l'interazione con la copertura.

Possono essere realizzati:

-in calcestruzzo armato, solo se di altezza limitata, per evitare eccessivi appesantimenti ed irrigidimenti, scorrimenti oltre agli effetti sulla conservazione

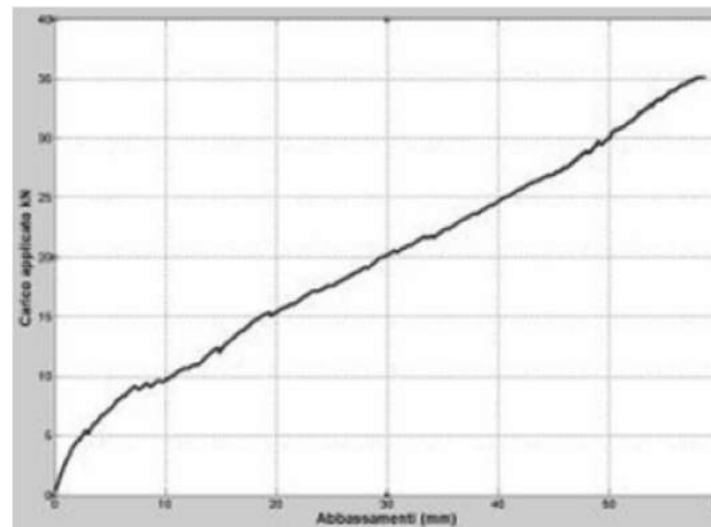
-in muratura armata con SRG consentendo di realizzare il collegamento attraverso una tecnica volta alla massima conservazione delle caratteristiche murarie esistenti. In alternativa irrigidimento fascia di piano con rinforzo tessuto SRG interno-esterno e connettori di collegamento.

-in acciaio, rappresentando una alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività. Si prestano particolarmente bene al collegamento degli elementi lignei della copertura

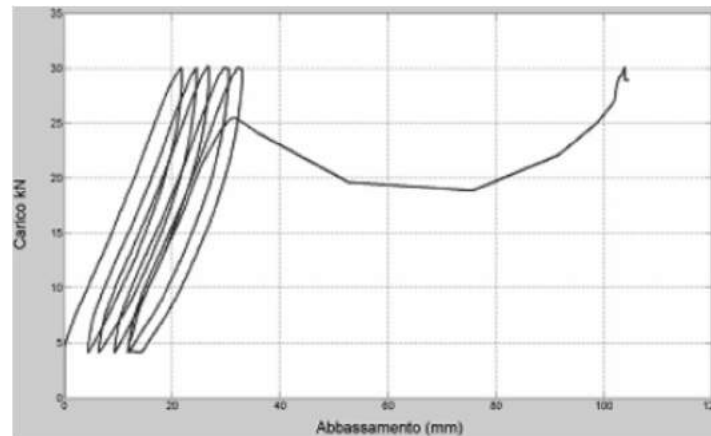


# CORDOLI IN MURATURA ARMATA CON SRG

Test sperimentali condotti dall'Univ. di Perugia su elementi in muratura armata in mattoni 3-4 corsi armati nei giunti di malta strutturale R2 – M15 con tessuti in acciaio UHTSS SRG. Le prove sono state a flessione su 4 punti, cicliche all'80% del carico di rottura. I risultati sperimentali hanno confermato i valori teorici di calcolo. Inoltre l'elemento ha dimostrato elevata capacità dissipativa superiore



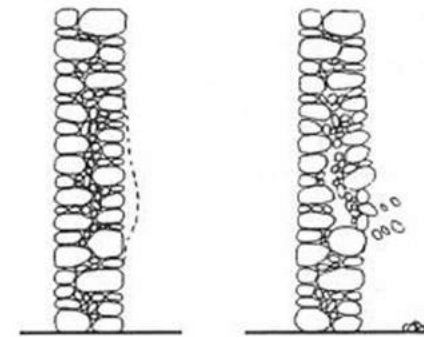
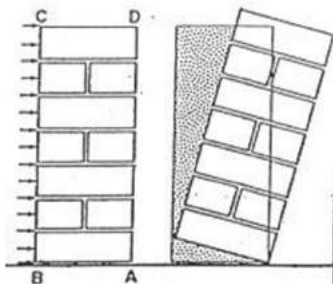
Prova a flessione



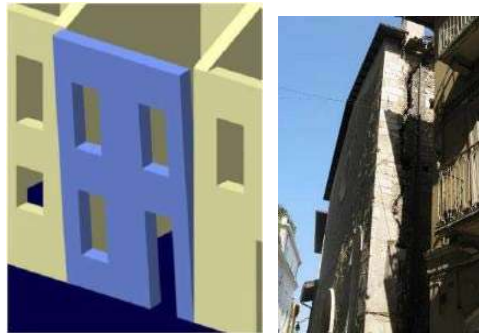
Prova ciclica 



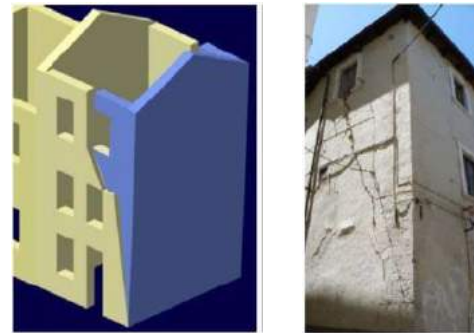
# PROBLEMA DELLA QUALITA' MURARIA INIEZIONI CON LIMECRETE IR



# Ribaltamento fuori dal piano (I modo)



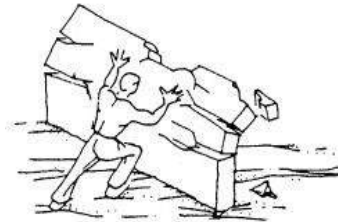
Ribaltamento semplice



Ribaltamento composto



Flessione verticale

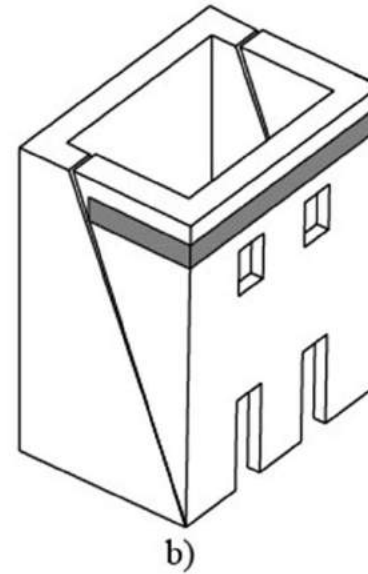
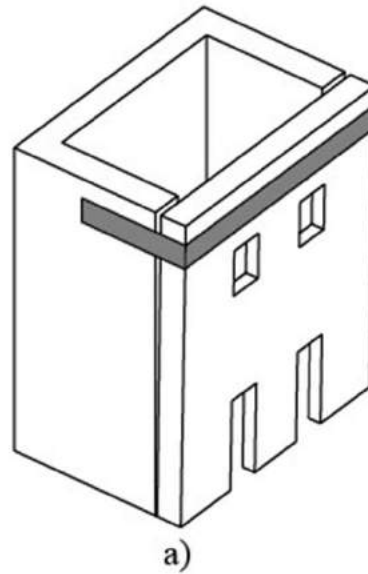
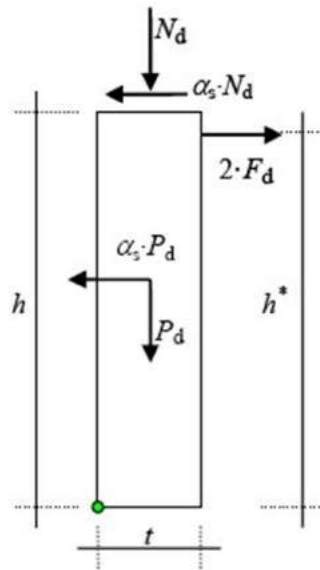


Pareti soggette ad azioni  
**ortogonali** al loro piano



Flessione orizzontale

# MECCANISMO DI RIBALTAMENTO SEMPLICE/COMPOSTO



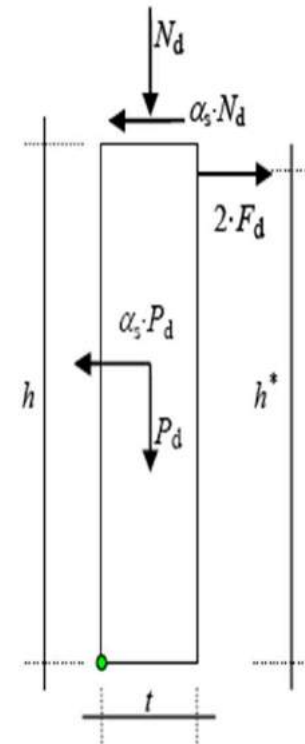


# MECCANISMO DI RIBALTAMENTO SEMPLICE



- $P_d$  peso proprio del pannello,
- $N_d$  sforzo normale agente sulla sommità del pannello,
- $\alpha_s$  rapporto tra l'intensità dei carichi orizzontali e quella dei carichi verticali,
- $F_d$  sforzo nel rinforzo di FRP.

$$F_d = \frac{1}{2 \cdot h^*} \cdot \left[ \alpha_s \cdot \left( P_d \cdot \frac{h}{2} + N_d \cdot h \right) - (P_d + N_d) \cdot t \right]$$

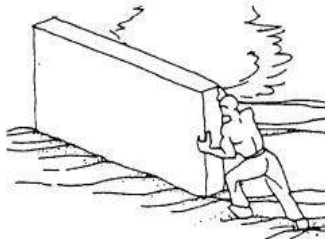


Chiesa di S. Agostino – Amatrice

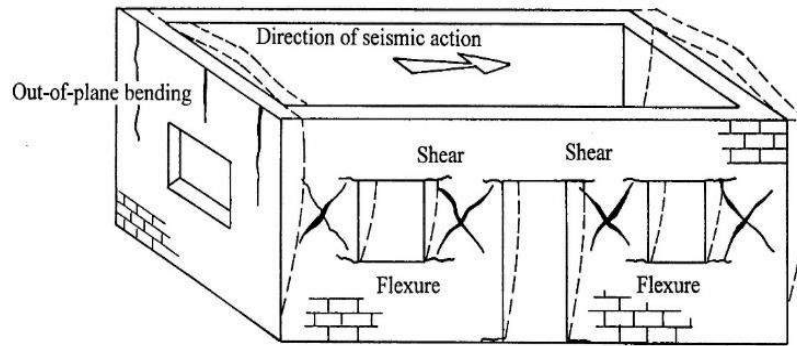
# VILLA COMUNALE LIBERTY DI PORTA NAPOLI – L'AQUILA CONFINAMENTO PRETESO CON TESSUTO IN ACCIAIO INOX UHTSS E CONNETTORI CON MALTA IN CALCE IDRAULICA



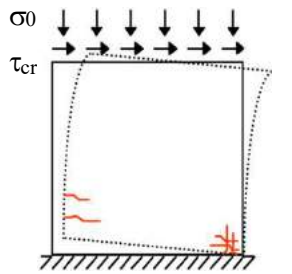
# Crisi nel piano del pannello (II Modo)



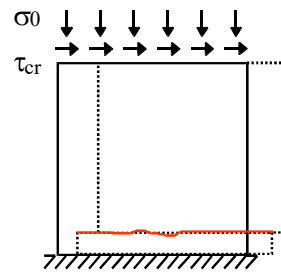
Pareti soggette ad azioni **parallele** al loro piano



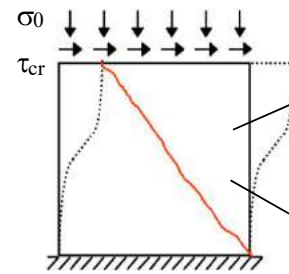
Danneggiamento delle pareti per azioni nel piano



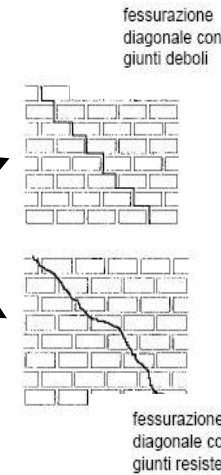
**Pressoflessione**



**Scorrimento**



**Taglio**

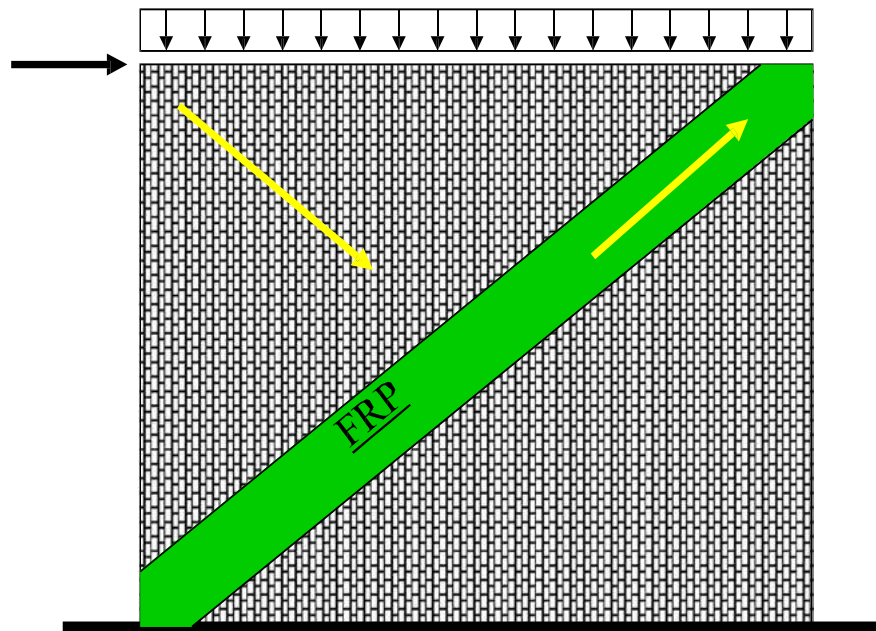


fessurazione diagonale con giunti deboli

fessurazione diagonale con giunti resistenti



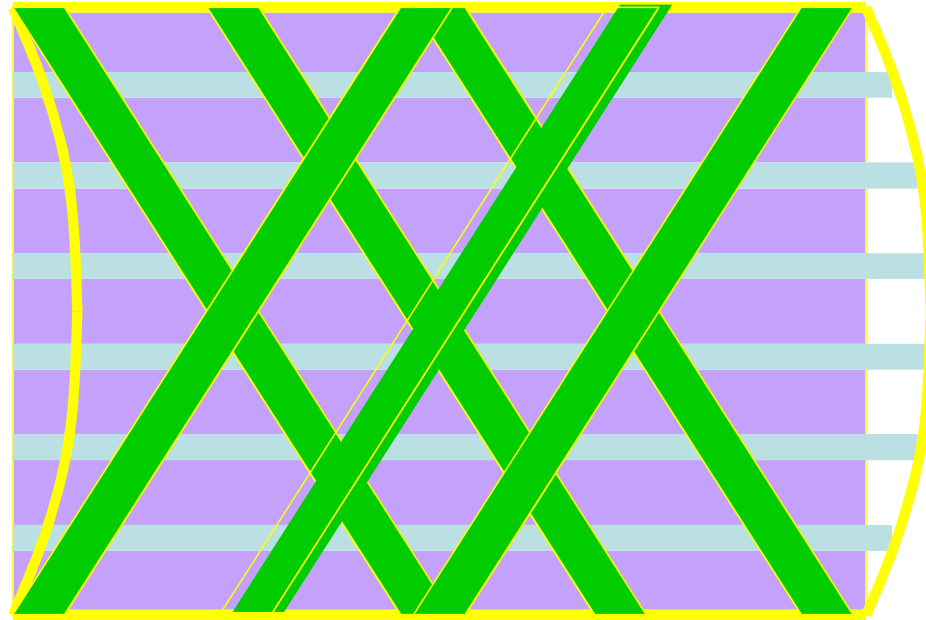
## FUNZIONI DEI RINFORZI FRP NEL PIANO



trasmissione di sforzi di trazione all'interno di singoli elementi strutturali o tra elementi contigui;

# FUNZIONI DEI RINFORZI FRP NEL PIANO

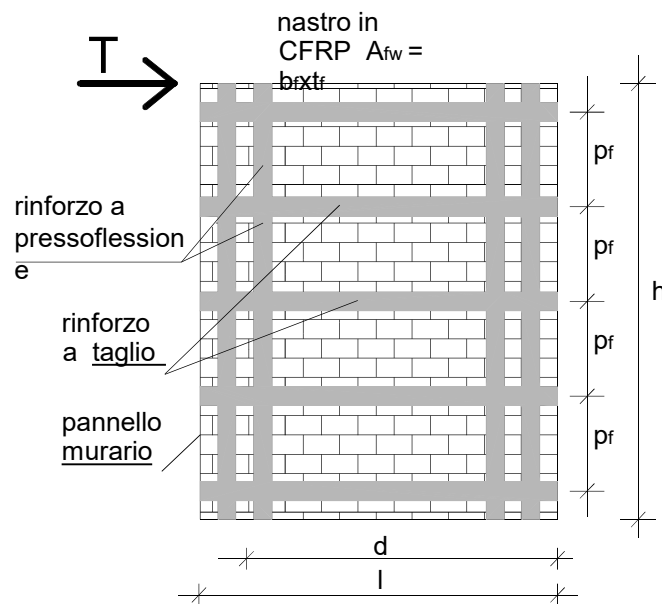
---



irrigidimento di solai nel proprio piano per conseguire un funzionamento a diaframma rigido;

# INTERVENTI VOLTI AD INCREMENTARE LA RESISTENZA DELLE MURATURE E DEI MASCHI MURARI

## Rinforzo a taglio



PROSPETTO DELLA PARETE

**Con elementi  
paralleli ai giunti di  
malta**

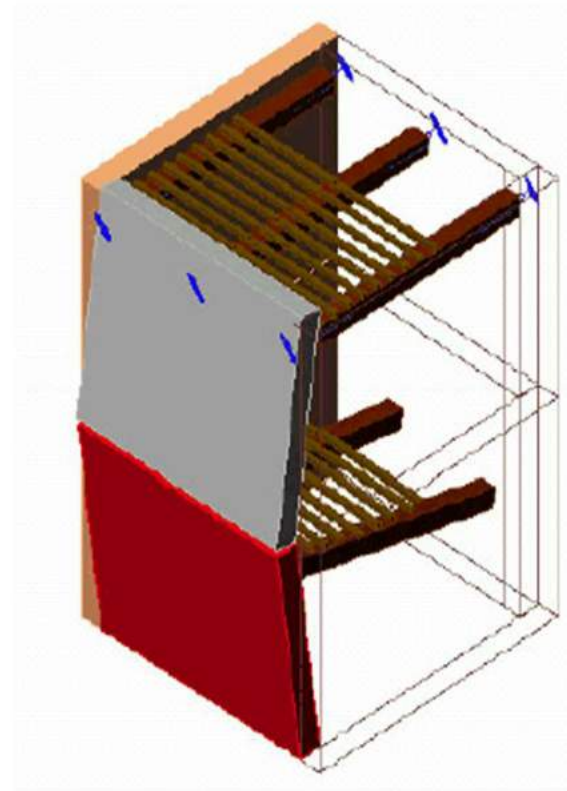


**Con elementi diagonali**



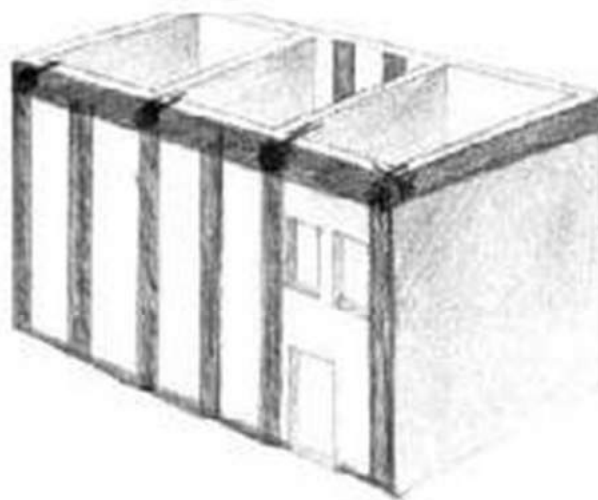
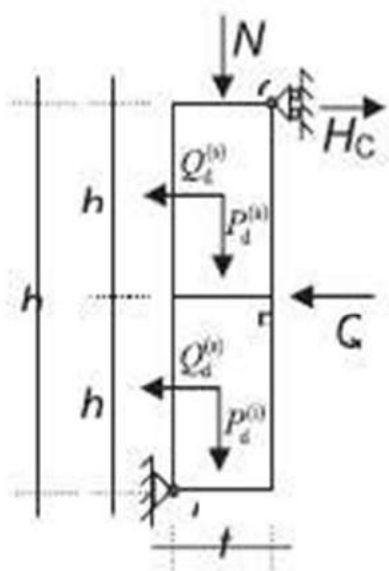
# MECCANISMO DI COLLASSO PER FLESSIONE VERTICALE

Cinematismo di collasso prodotto da una sollecitazione di flessione nel piano verticale su una parete in muratura vincolata a un livello e soggetta all'azione di un orizzontamento intermedio

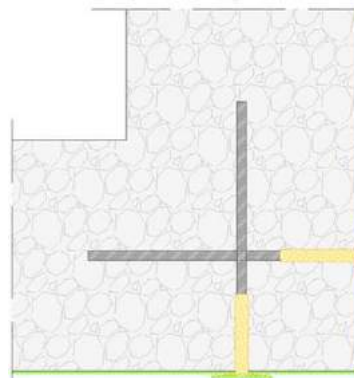
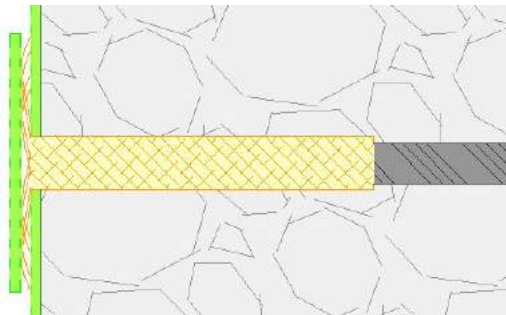


# INTERVENTI VOLTI AD INCREMENTARE LA RESISTENZA DELLE MURATURE E DEI MASCHI MURARI

Rinforzo a pressoflessione nel piano con ancoraggi



- Applicazione di tessuto in zona tesa
- Connessioni con le pareti ortogonali





# RINFORZI A PRESSOFLESSIONE E A TAGLIO



**RINFORZO A TAGLIO DEI  
PARAMENTI MURARI**



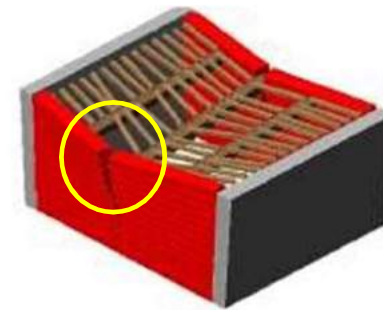
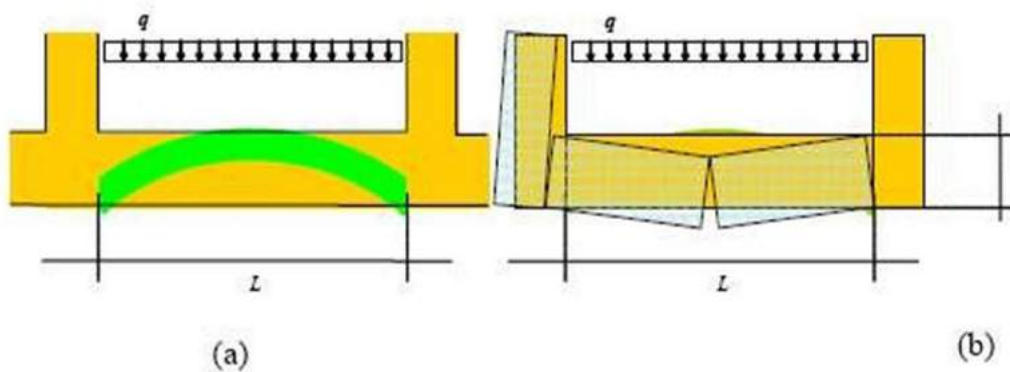
**RINFORZO FLESSIONALE  
DEI PARAMENTI MURARI**



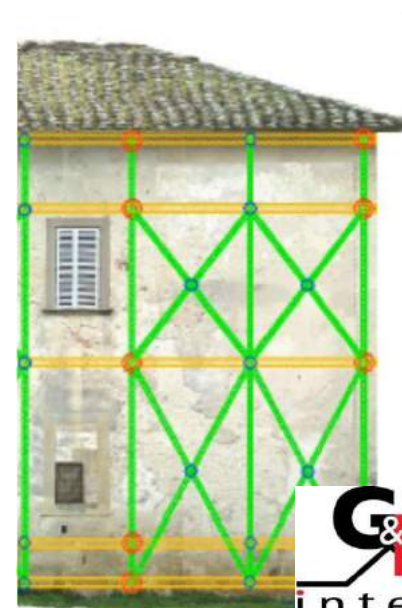
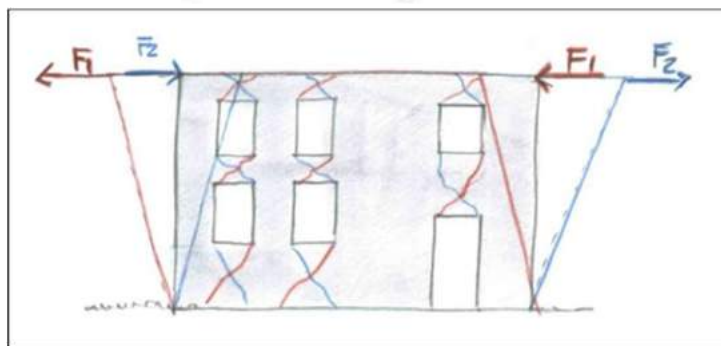
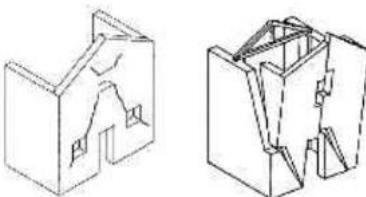
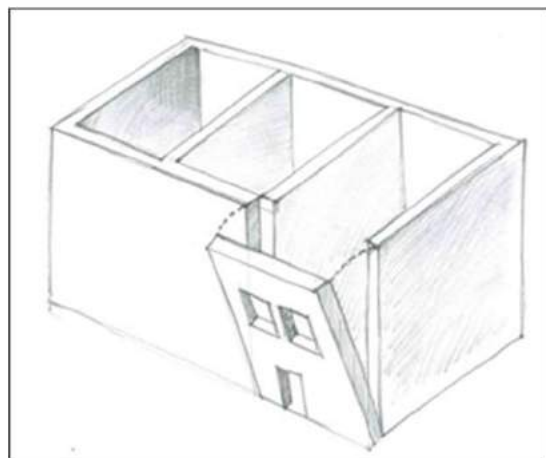
# MECCANISMO DI COLLASSO PER FLESSIONE ORIZZONTALE

In un pannello di muratura ben vincolato al piede ed inoltre ben ammortato a muri trasversali in grado di esercitare un'azione di contrafforte, la resistenza alle azioni orizzontali è garantita da un funzionamento ad arco della striscia di sommità. Il valore del massimo carico orizzontale uniformemente ripartito,  $q$ , sopportabile da tale arco può essere valutato mediante la formula:

$$q = \frac{2 \cdot t^2}{L^2} \cdot f_{md}^h$$

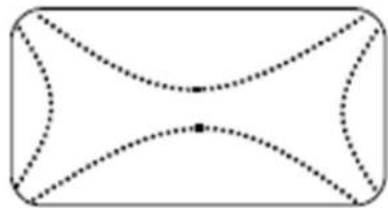
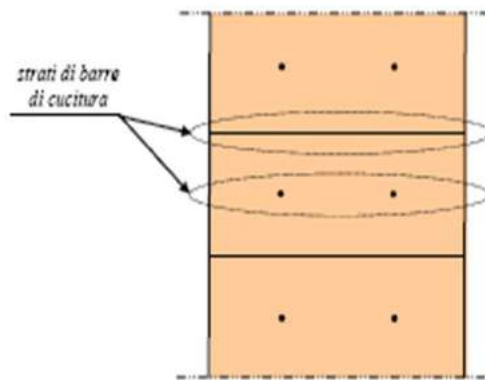


# INTERVENTI VOLTI AD INCREMENTARE LA RESISTENZA DELLE MURATURE E DEI MASCHI MURARI NEL PIANO

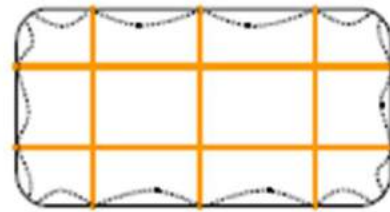


# INTERVENTI VOLTI AD INCREMENTARE LA RESISTENZA DEI PILASTRI

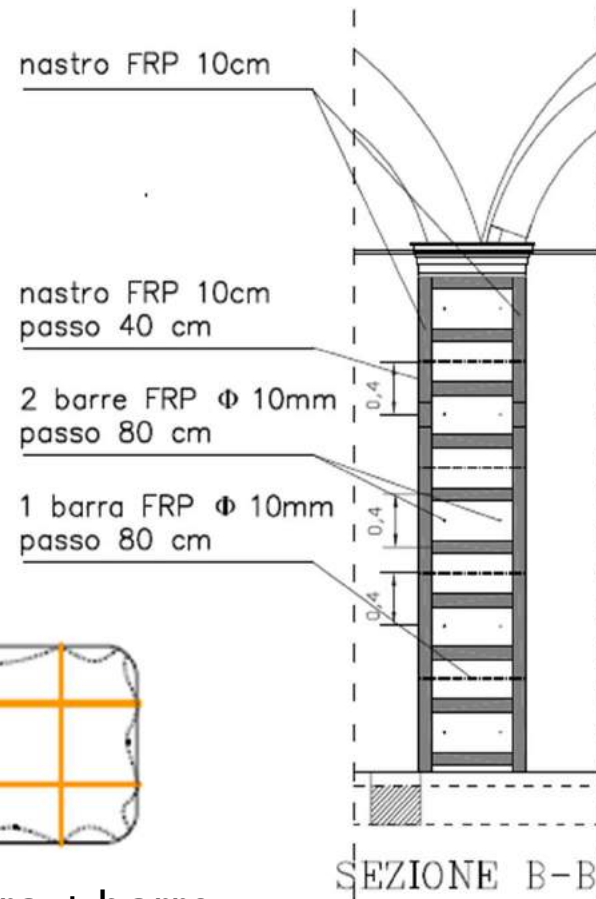
## Confinamento FRP



Solo cerchiatura

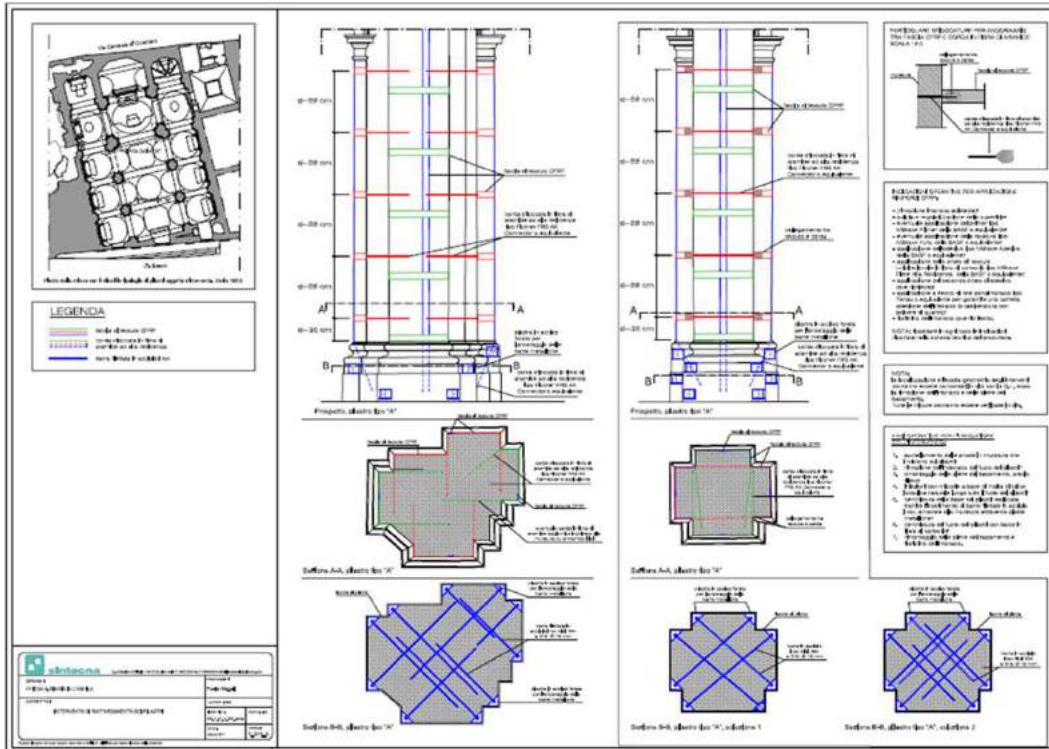


Cerchiatura + barre





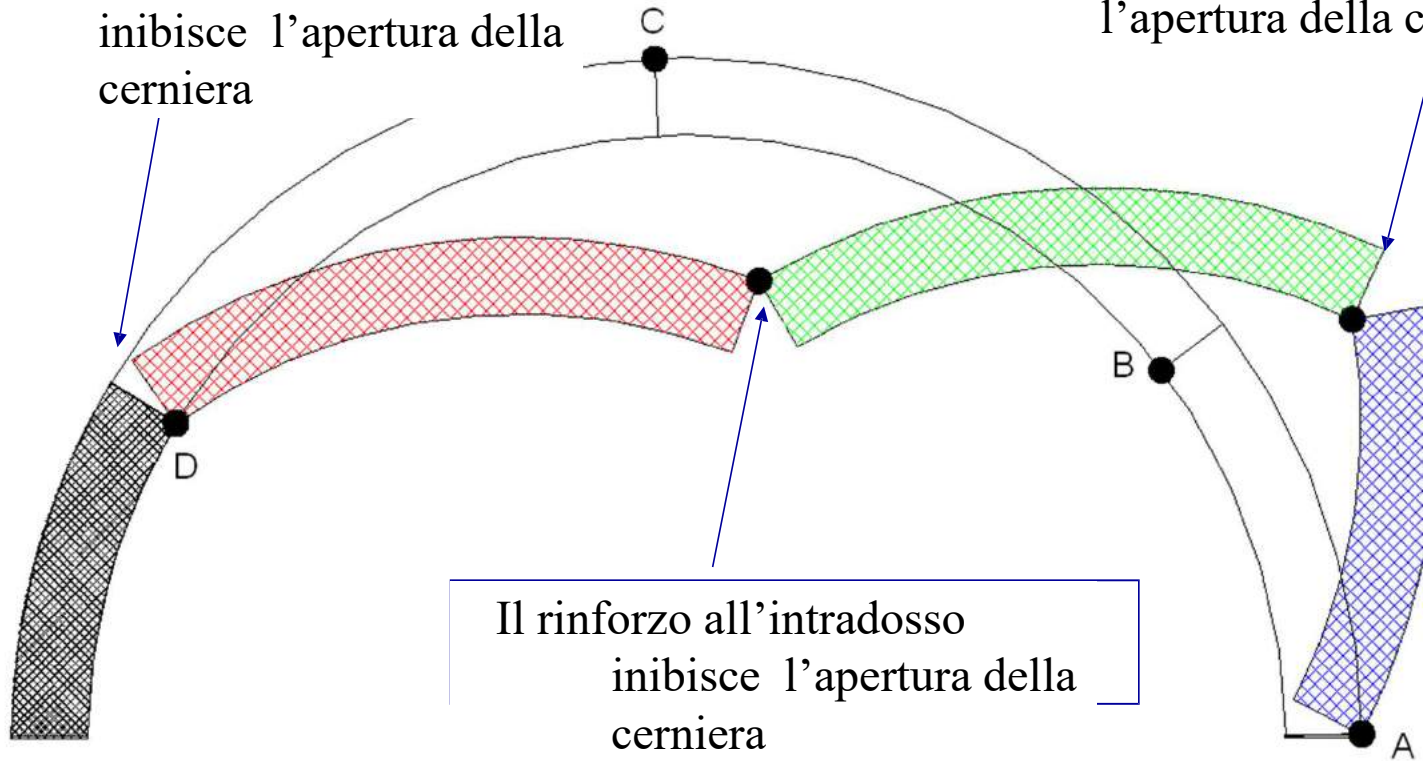
# INTERVENTO DI RINFORZO PILASTRI DELLA CHIESA DI SAN BIAGIO D'AMITERNO - L' AQUILA



# CINEMATISMI PER ARCHI E VOLTE

Il rinforzo all'estradosso  
inibisce l'apertura della  
cerniera

Il rinforzo all'estradosso inibisce  
l'apertura della cerniera



Il rinforzo all'intradosso  
inibisce l'apertura della  
cerniera

Formazione  
cerniere

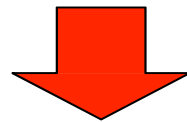
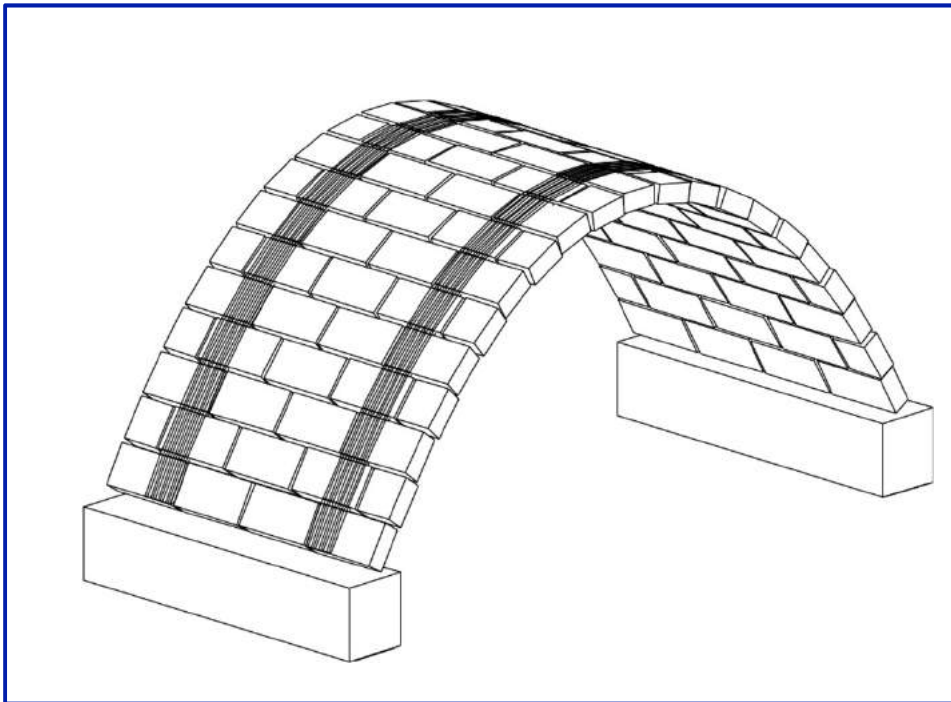


Suddivisione in  
blocchi rigidi



Meccanismo  
di collasso

## RINFORZO DELL'ARCO CON FRP

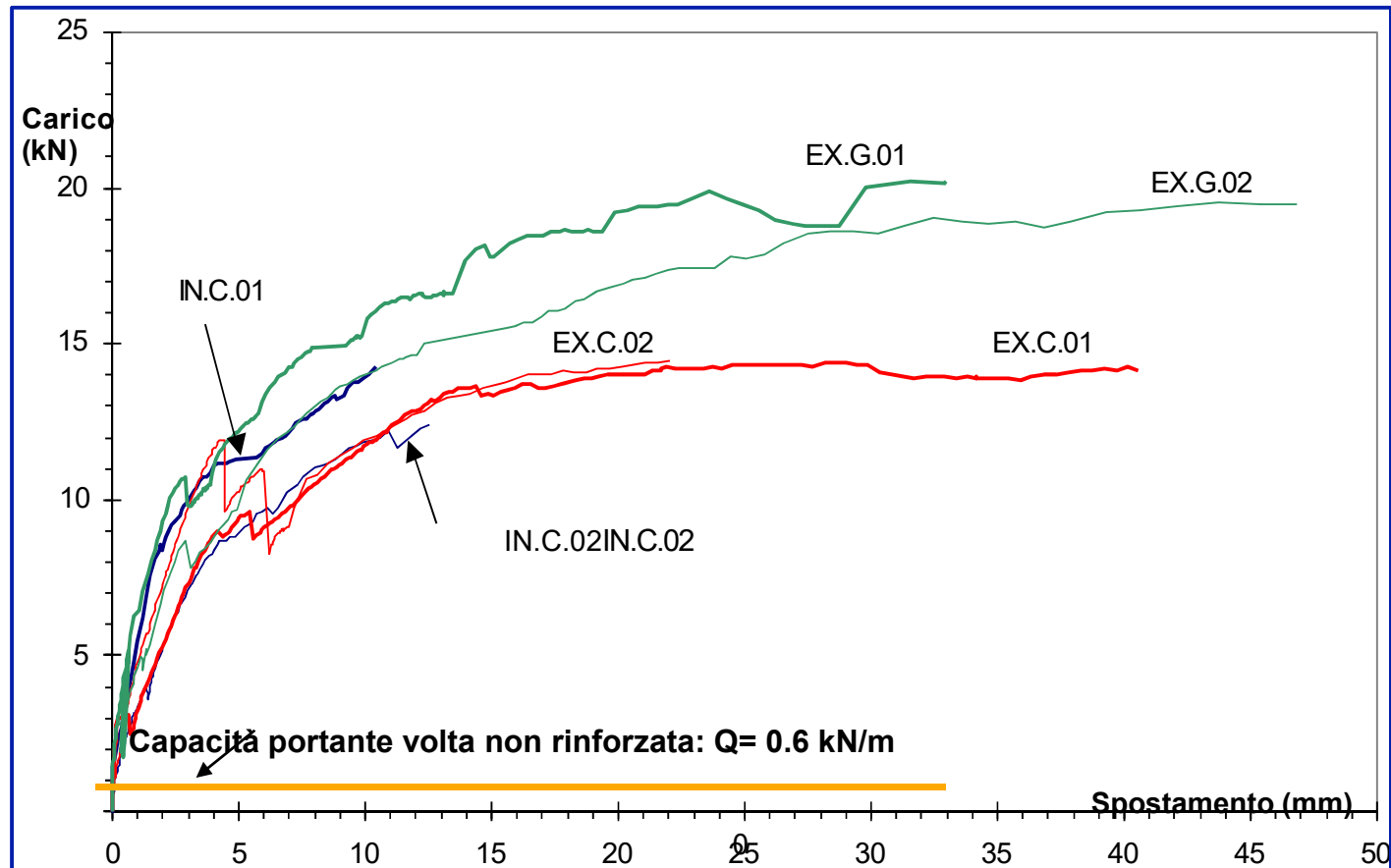


**Il rinforzo previene la formazione di cerniere plastiche**

- **Tensioni di trazione assorbite dall' FRP**
- **Miglioramento del meccanismo resistente**
- **Modifica della distribuzione delle tensioni**
- **Modifica dei cinematismi di collasso**



## RISULTATI SPERIMENTALI (UNIV. PD)

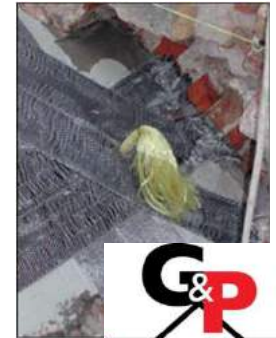


- Il rinforzo all'estradosso consente deformazioni più ampie
- Capacità portante molto maggiore della volta non rinforzata (20-30 volte)

# Rinforzo Beni Culturali



## MATERIALI COMPOSITI PER IL RINFORZO MURATURE



# PALAZZO SGARIGLIA – ASCOLI PICENO- SISMA 2016



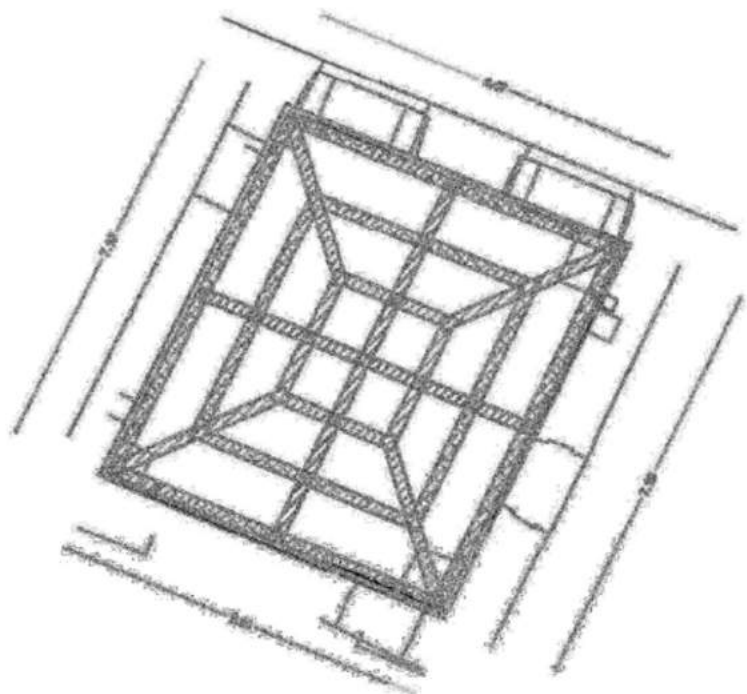


# PALAZZO MOZZI-BARDINI FIRENZE



Vista del palazzo e delle volte a crociera oggetto dell'intervento

# PALAZZO MOZZI-BARDINI FIRENZE



Dettaglio dell'estradosso della volta



# PALAZZO MOZZI-BARDINI FIRENZE



Vista dell'estradosso della volta

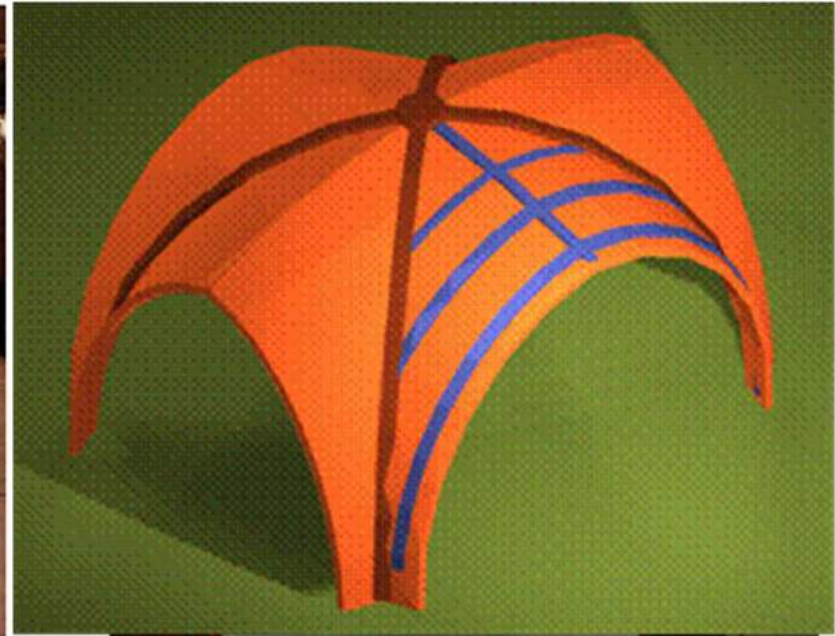


Dettaglio dell'imposta della volta



# RINFORZO VOLTE A CROCIERA

Applicazione: miglioramento sismico delle volte del Palazzo Comunale di Assisi



Palazzo  
Bardini  
Firenze



# RINFORZO VOLTE A CROCERA

FASCE DI RINFORZO IN CFRP e FRCCM



Palazzo Bardini – Soprintendenza Firenze



Villa Palladiana  
Caldogno

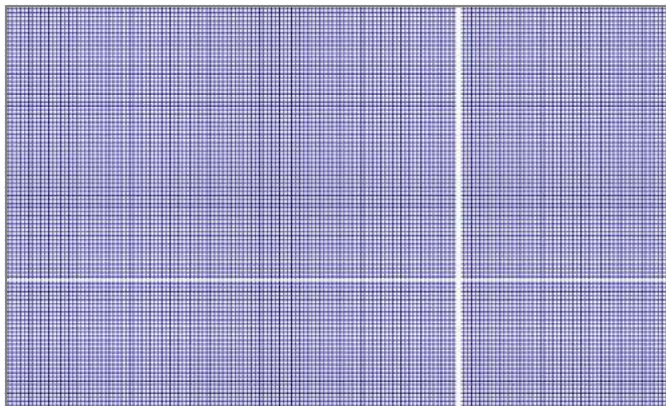
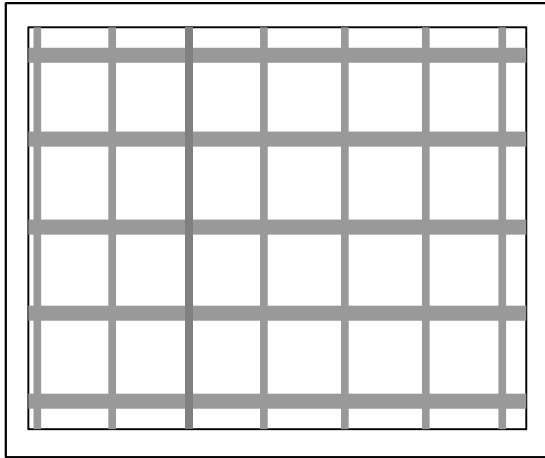


Palazzi  
centro  
storico  
L'Aquila



# RINFORZO VOLTE A BOTTE – L’AQUILA E UDINE

## FASCE DI RINFORZO IN CARBONIO



**DISTRIBUZIONE UNIFORME DEL RINFORZO CON FRCM**





# RINFORZO VOLTE A PADIGLIONE – TRIBUNALE DI PIACENZA BASILICA SUPERIORE S.FRANCESCO D'ASSISI – SISMA '97



PALAZZO LANDI CHIOSTRO- PIACENZA



VOLTA  
BASILICA  
SUPERIORE  
S.FRANCESCO  
ASSISI



# **I MATERIALI COMPOSITI FRP- FRCM PER RINFORZO STRUTTURALE PER CLS E MURATURE**

---

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

**FRCM-SRG** : sono materiali compositi costituiti da una maglia (rete) in fibra bidirezionale (vetro AR, basalto, carbonio) o tessuto in acciaio UHTSS unidirezionale immersa in una matrice inorganica, cementizia o in calce strutturale.

## Scopo dei rinforzi FRP-FRCM

Conseguire un incremento di resistenza nei confronti delle azioni sollecitanti e, quando possibile, un aumento dei valori degli spostamenti esibiti all'atto del collasso.

resistenza

+

duttilità

capacità



**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-TRM-FRCM:

1. Ingegneria strutturale per i rinforzi con materiali compositi in assistenza alla progettazione, DL e alla posa in opera. Programmi di ricerca e sperimentazioni presso Università italiane, europee (Cost, Rilem, Endure) ed internazionali (PIARC, IABMAS, Miami, Buenos Aires, Guangzhou)
2. Produzione e vendita di:
  - lamelle CFK pultruse in carbonio
  - tessuti in fibra di carbonio C-Sheet uni/bi/quadri-assiali, vetro, basalto
  - adesivi strutturali e malte con marcatura CE
  - reti in carbonio, vetro AR, basalto
  - tessuti in acciaio UHTSS
  - ancoraggi e connettori
  - **isolatori e dissipatori sismici Div. Hirun Engineering**

Produzione secondo standard di qualità ISO 9001.

3. Formazione permanente per ingegneri e applicatori specializzati



## FIBRE E TESSUTI

Carbonio

C-SHEET -CTB- Q

Unid.-Bid.-Quad.



## LAMELLE CFK



## BARRE BFK-CFK



## CONNETTORI AFIX-CFIX- SFIX



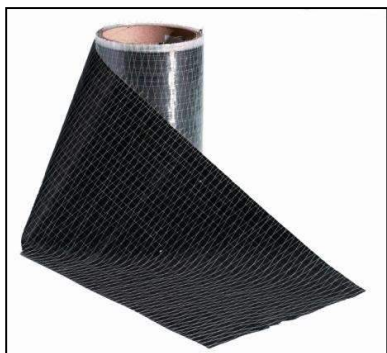
## BARRE FIOCCATE AFIX BC



# Fibra Unidirezionale-Bidirezionale e Quadriassiale in carbonio ad alta prestazione C-Sheet-CTB-Q certificati CIT

Adesivi: Resin Primer, Resin 75, Resin 90

IDENTIFICAZIONE CFRP SYSTEM E CLASSE		GRAMMATURA NOMINALE	MODULO ELASTICO CIT	RESISTENZA A TRAZIONE NOMINALE MEDIA	$\epsilon$	RESISTENZA CARATTERISTICA CIT
C-SHEET CLASSE 210C	240/300	300 g/m <sup>2</sup>	>250 GPa	3800 MPa	> 1,8%	>3500 MPa
	240/400	400 g/m <sup>2</sup>	>240 GPa	3800 MPa	> 1,8%	>3500 MPa
	240/600	600 g/m <sup>2</sup>	>230 GPa	3200 MPa	> 1,8%	>2800 MPa
CLASSE 350/2800C	390/300	300 g/m <sup>2</sup>	>360 Gpa	3200 Mpa	>0,8%	>2800 Mpa
	390/400	400 g/m <sup>2</sup>	>360 GPa	3200 MPa	> 0,8%	>2800 MPa
CTB CLASSE 210C	240/360	360 g/m <sup>2</sup>	>250 GPa	3300 MPa	> 1,8%	>2800 MPa
Q CLASSE 210C	240/380	380 g/m <sup>2</sup>	>300 GPa	>4500 MPa	> 1,8%	>3200 MPa





## Lamelle CFK in fibra di carbonio in certificazione CIT

Adesivi: Resin Primer, Resin 90

IDENTIFICAZIONE FRP SYSTEM		SPESSORE	MODULO ELASTICO CIT	RESISTENZA A TRAZIONE MEDIA	$\epsilon$	RESISTENZA CARATTERISTICA CIT
LAMELLE CFK CLASSE C150/2300	150/2000	1,2 – 1,4 mm	> 160 GPa	>2500 MPa	> 1,5%	>2300 MPa
	200/2000	1,4 mm	> 200 GPa	>2200 MPa	> 1,3%	>1800 MPa
CLASSE C200/1800						



**Tessuto unidirezionale in acciaio galvanizzato UHTSS STEEL NET G 220 certificato, in attesa di normativa. Adesivi: Resin Primer, Resin 90-95**

IDENTIFICAZIONE TESSUTO SRP		GRAMMATURA	MODULO ELASTICO	RESISTENZA A TRAZIONE MEDIA	$\epsilon$	RESISTENZA CARATTERISTICA
<b>STEEL NET G</b>	<b>220</b>	<b>2200 g/m<sup>2</sup></b>	<b>190 GPa</b>	<b>&gt;2600 MPa</b>	<b>&gt; 1,6%</b>	<b>2500 MPa</b>



## **Vantaggi: Rinforzi con compositi a matrice organica FRP**

- **Non apportano nuovi e ulteriori carichi sulla struttura (inerzia)**
- **Adattabilità a forme complesse**
- **Intervento finito praticamente invisibile , non invasivo**
- **Alta durabilità**
- **Scarsa o assente aggredibilità chimica**
- **Sono di veloce applicazione e adatti nelle fasi emergenziali e di pronto intervento**
- **Possono essere applicati senza l'interruzione delle attività nelle aree sottostanti o sovrastanti l'intervento**
- **Minori oneri di gestione del cantiere**
- **Minimo ingombro di stoccaggio materiali in cantiere**



## **ASPETTI NORMATIVI CFRP**

---

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

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

***Il documento viene richiamato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni NTC8-18 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 CIT degli CFRP presso il STC del Ministero delle infrastrutture.***

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



## 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. a flessione, taglio e confinamento con compositi fibrorinforzati in carbonio a matrice polimerica (CFRP).

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



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.

FRPsofTware e FRPnode sono stati sviluppati da G&P intech in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova.

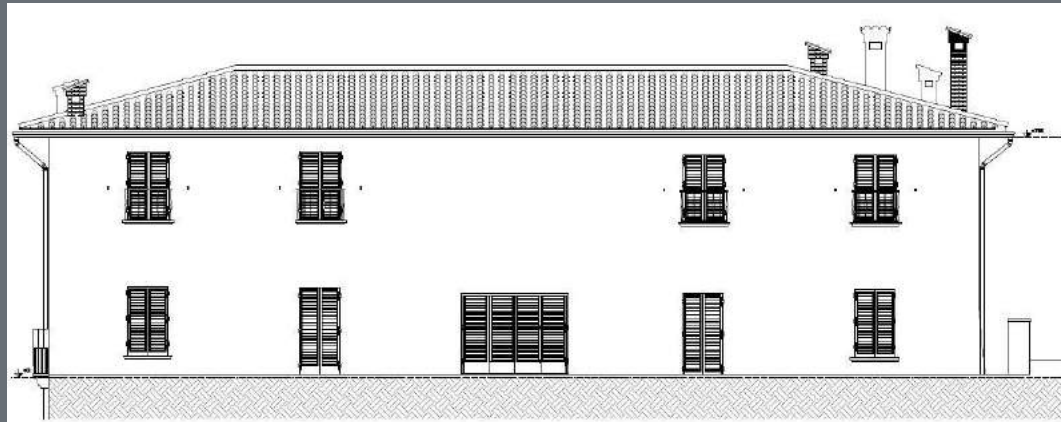
FRPsofTware e FRPnode sono **TOTALMENTE GRATUITI** e **SCARICABILI** dal sito:

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



# 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)

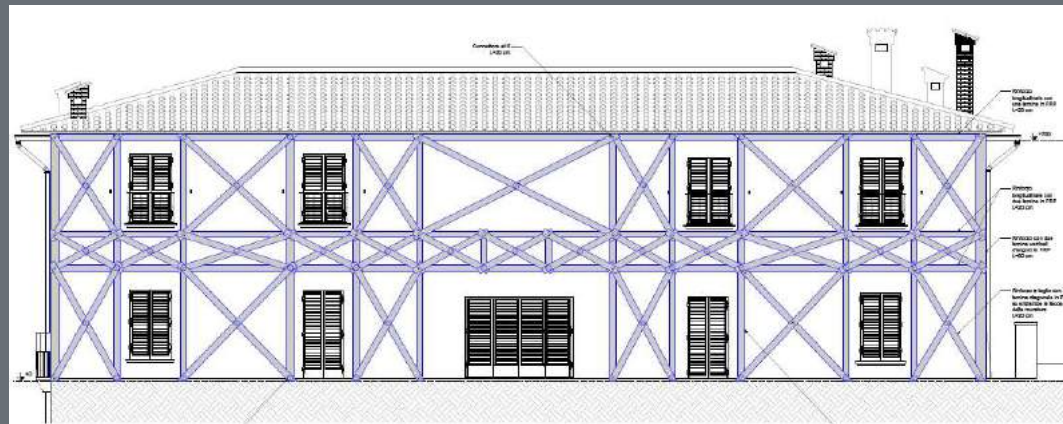
## Analisi dello stato attuale

$V_n=50$  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 con malta Limecrete M15



## Rinforzi FRP per strutture murarie

- Si devono preventivamente realizzare i fori per i connettori
- Si stende una mano di Primer per migliorare l'aderenza con il rinforzo



## Rinforzi FRP per strutture murarie

- Si stende una mano di resina
- Si stende la fascia CFRP sulla resina
- Con il rullo si stende la fascia
- Si stende una seconda mano di resina
- Con il rullo si stende nuovamente la fascia





## Rinforzi FRP per strutture murarie

- Si spolvera la fascia con sabbia quarzifera per avere una superficie aggrappante per la successiva applicazione dell'intonaco



## Prove di pull off



## Considerazioni sulle caratteristiche del rinforzo

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

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

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

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

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

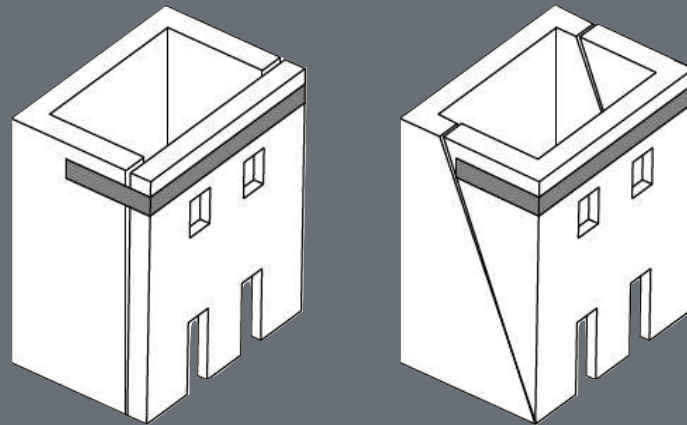
## Connettori di ancoraggio AFIX 10 certificato





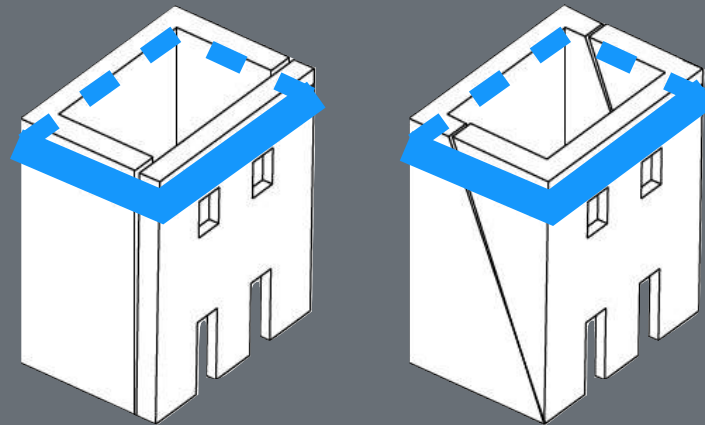
## Ribaltamento (cinematismo locale)

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



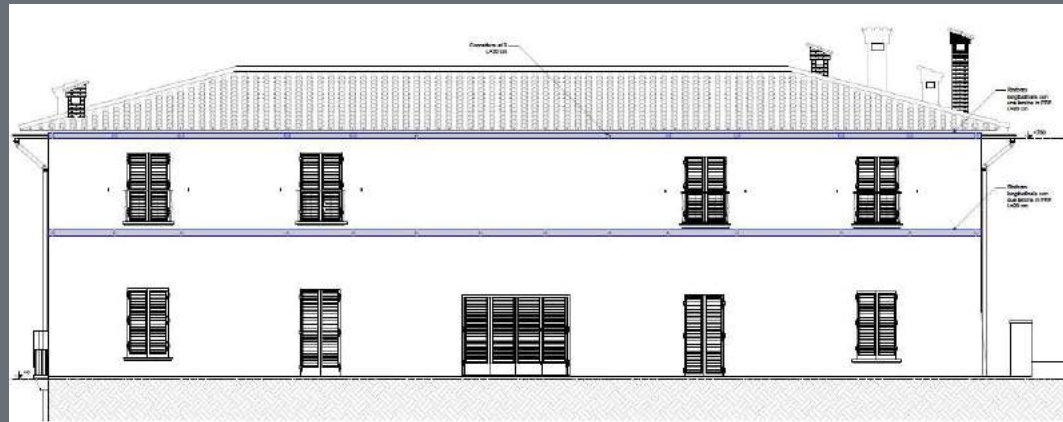
## Ribaltamento (cinematismo locale)

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



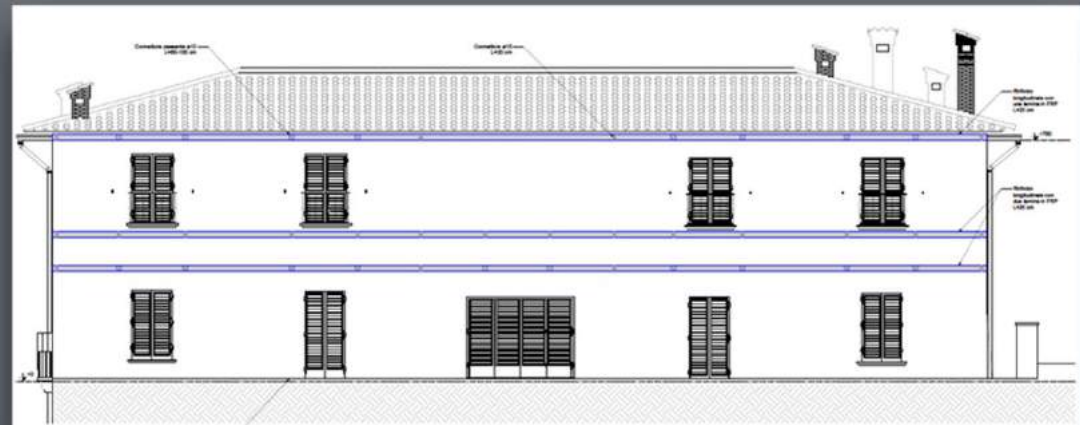
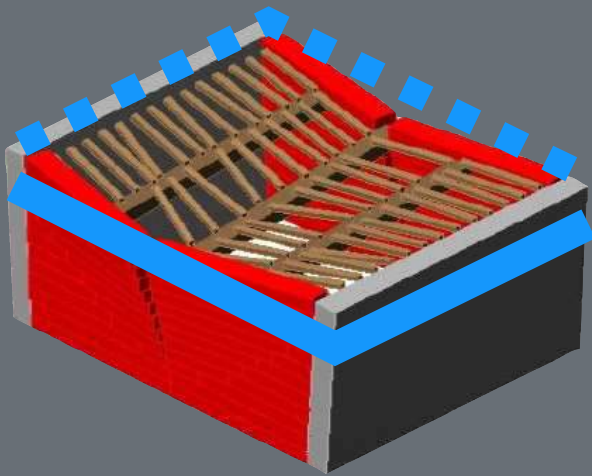
## Ribaltamento (cinematismo locale)

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



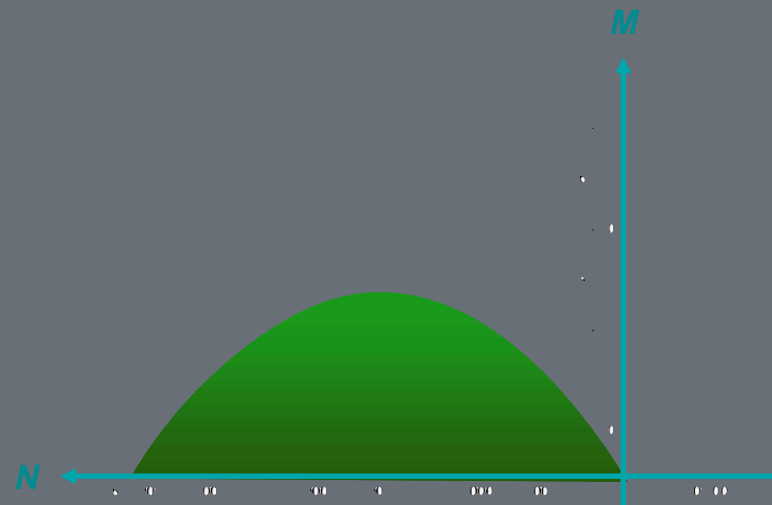
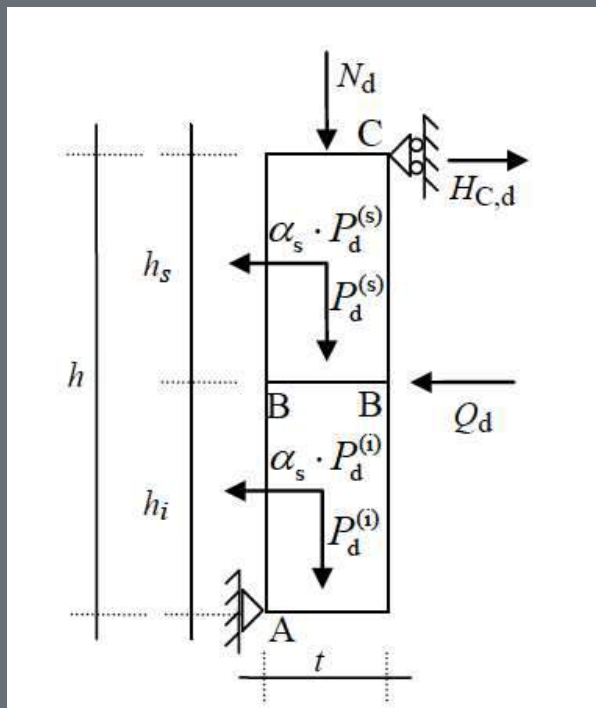
## Verifica per flessione della striscia orizzontale orizzontale

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

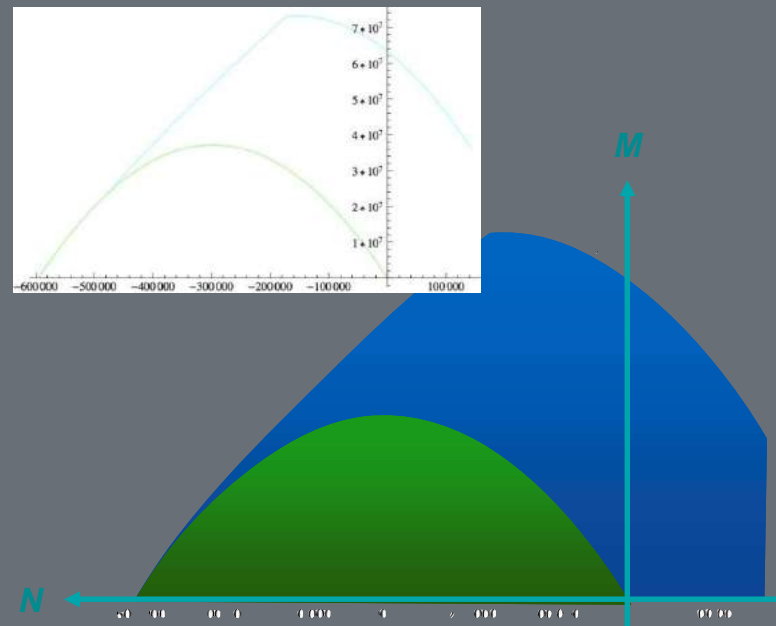
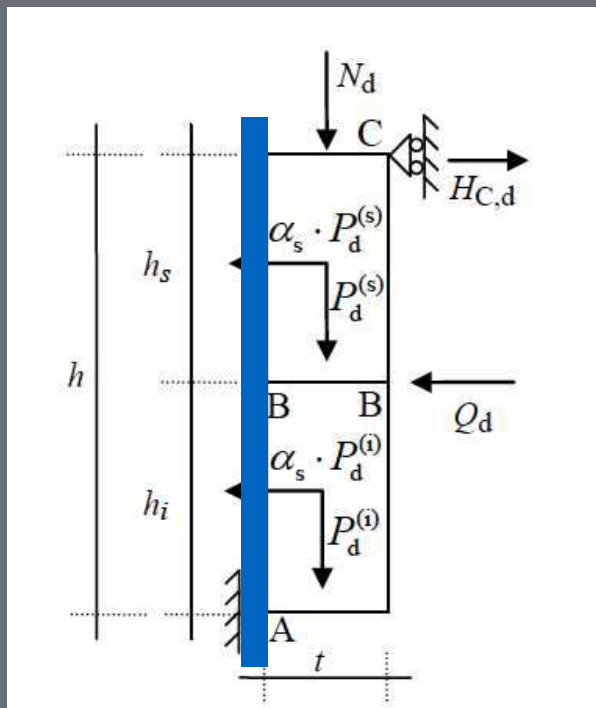




# Verifica per flessione della striscia muraria verticale



# Verifica per flessione della striscia muraria verticale



## Verifica per flessione della striscia muraria verticale

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



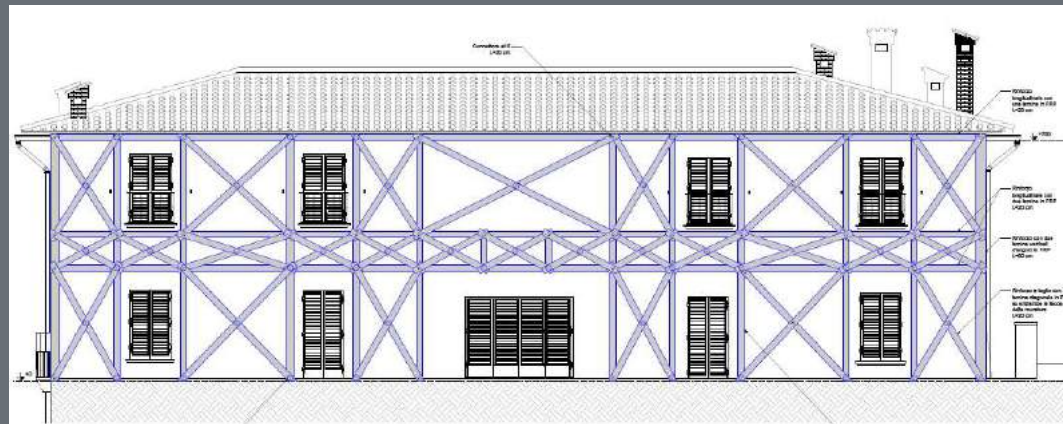
## Aumento della resistenza a Taglio





## 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

L'esecuzione del rinforzo appena mostrato ha comportato un netto miglioramento della resistenza sismica dell'edificio

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

# Calcolo della resistenza complessiva dell'edificio

- $PGA_{DLC} = 0,1341 \text{ g}$
- $PGA_{CLC} = 0,0700 \text{ g}$
- $IS-V, PGA = 0,524 \text{ a SLV}$
- $PAM = 3,27 \%$
- Classe di Rischio D



## Calcolo PAM

PAM = 3,44%

Classe PAM

D

## Calcolo IS-V

IS-V = 52%

Classe IS-V

C

## Classe di Rischio

D

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**



# COMPITI E RESPONSABILITA'

---

## PROGETTISTA

- INDICARE LE CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI DEI MATERIALI E I REQUISITI MINIMI DI ACCETTAZIONE (SCHEDA TECNICA, CLASSI, CIT, DOP)
- INDICARE LE PROVE OBBLIGATORIE DA EFFETTUARE (PULL-OFF, TESTS SUI MATERIALI)
- INDICARE EVENTUALI ALTRE PROVE SPERIMENTALI SPECIFICHE IN SITU, IN LABORATORIO,ECC.

# COMPITI E RESPONSABILITA'

---

## DIREZIONE LAVORI

- **CONTROLLARE LA RISPONDENZA DEI REQUISITI DI NORMA DEI MATERIALI IN CANTIERE (SCHEDA TECNICA, CLASSI, CIT, DOP)**
- **EFFETTUARE PROVE DI ACCETTAZIONE OBBLIGATORIE DEI MATERIALI IN CANTIERE (UTILIZZO COKIT (ASSOCOMPOSITI-POLIMI) O PROVE IN ALTRO LABORATORIO AUTORIZZATO ) AI SENSI DEL DECRETO CSLP 9/7/15**
- **EFFETTUARE LE PROVE DI PULL OFF OBBLIGATORIE SECONDO NORMA (QUALITA' DELLA POSA) AI SENSI DEL DT 200 R1 2013.**
- **VERIFICARE LE CERTIFICAZIONI DI LABORATORIO IN MANCANZA DI NORMATIVE E DI LINEE GUIDA SPECIFICHE (FRCM)**
- **EFFETTUARE ALTRE PROVE SPERIMENTALI IDONEE IN MANCANZA DI NORMATIVE E DI LINEE GUIDA SPECIFICHE (FRCM) O NEI CASI RITENUTI NECESSARI**

## **COMPITI E RESPONSABILITA'**

---

### **DIREZIONE LAVORI DM 49/2018**

Omissis

**4. Il direttore dei lavori o l'organo di collaudo dispongono prove o analisi ulteriori rispetto a quelle previste dalla legge o dal capitolato speciale d'appalto finalizzate a stabilire l'idoneità dei materiali o dei componenti e ritenute necessarie dalla stazione appaltante, con spese a carico dell'esecutore.**

**5. I materiali previsti dal progetto sono campionati e sottoposti all'approvazione del direttore dei lavori, completi delle schede tecniche di riferimento e di tutte le certificazioni in grado di giustificarne le prestazioni, con congruo anticipo rispetto alla messa in opera.**

Omissis

# COLLAUDO- PROVA DI ACCETTAZIONE PULL-OFF

**PULL-OFF** (UNI EN 1542; 1015-12; 1348)

Prova a strappo – Resistenza a trazione diretta

L'obiettivo è definire la capacità del substrato di resistere alla delaminazione



Apparecchiatura per prova pull-off



Disco di prova  
incollato alla lamella



# PROVA DI PULL-OFF

## Prova pull-off su tessuto in cantiere



Il disco di prova  
incollato al  
testimone di  
tessuto

La fresatura  
attorno al provino

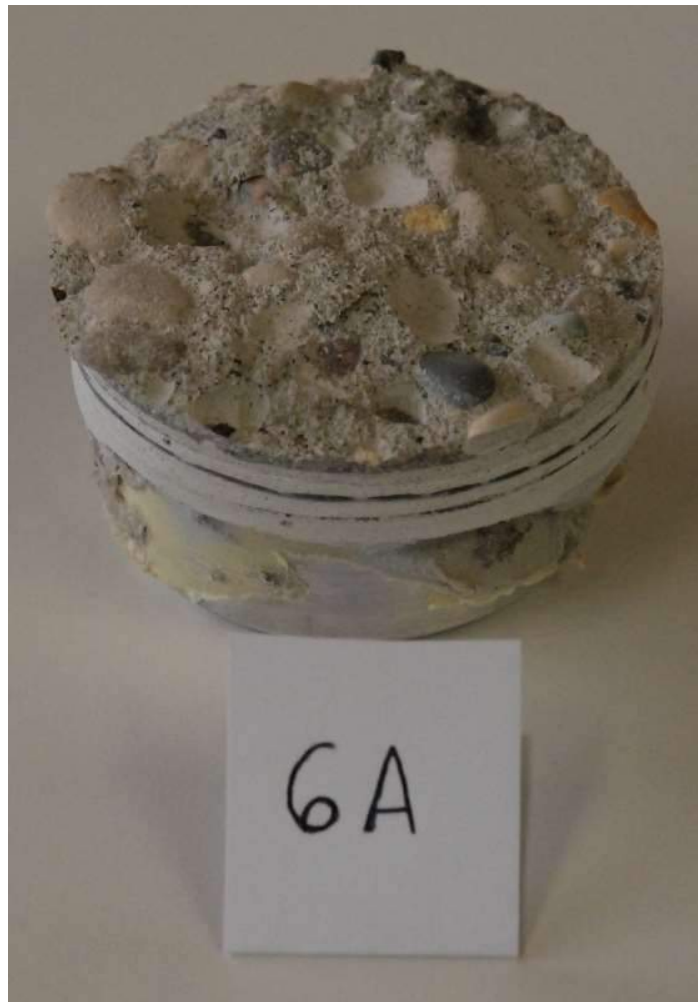


La fase di prova

## PROVA DI PULL-OFF

---

### Prova pull-off su tessuto in cantiere



Il provino a prova completata (rottura del supporto in cls)

# PROVA DI PULL-OFF

Tensione di picco allo strappo su cls non inferiore a 0,9 MPa sull'80% delle prove (DT 200 R1 2013)

Esempio applicativo: **Sperimentazione su lamelle CFK**

TIPO	Contrassegno	Modo di rottura	$F_h$ (kN)	$f_h$ (MPa)
1	TR 1	A	5,49	3,45
	TR 2	A	5,72	3,60
	TR 3	A	4,39	2,76
2	TR 1	A/B	2,83	--
	TR 2	A	4,89	3,07



La fase dello strappo e tre dei provini



# PROVA DI ACCETTAZIONE MATERIALI

## KIT PER LA PREPARAZIONE DEI CAMPIONI DI ACCETTAZIONE

Il LPM ha già da tempo predisposto un sistema, denominato COKIT, per facilitare la preparazione dei laminati in cantiere.

### COMPOSIZIONE DEL COKIT

Il CoKIT (Figura 1) è composto da:

- Scheda prelievo materiali
- Tavoletta di laminazione
- Foglio di peel-ply per la laminazione da sovrapporre al laminato
- Busta per il prelievo del tessuto



Figura 1 – Composizione del Co-KIT



# PROVA DI ACCETTAZIONE MATERIALI

---

## KIT PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI COMPOSITI UTILIZZATI NELL'AMBITO DELLE COSTRUZIONI (COKIT)

(Politecnico di Milano)



### OBIETTIVI

**VERIFICA DELLE CARATTERISTICHE DEL TESSUTO UTILIZZATO** (Peso del tessuto per unità di area)

**VERIFICA DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LAMINATO COMPOSITO PREPARATO IN CANTIERE** (Rigidezza e resistenza del laminato – Rigidezza e resistenza del laminato riferite all'area netta delle fibre)

**VERIFICA DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE DELL'ADESIVO STRUTTURALE IMPIEGATO** (Resistenza del giunto adesivo- facoltativo)



# PROVA DI ACCETTAZIONE MATERIALI

## CLASSE 210C



Tabella 1 – Massa di tessuto secco per unità di area

L [mm]	H [mm]	$p_t$ [g]	$p_x$ [g/m <sup>2</sup> ]
313.0	210.0	21.5	327.10

Tabella 3 – Risultati delle prove di trazione su laminato FRP

	$P_u$ [N]	$E_f$ [MPa]	$E_{fib}$ [MPa]	$f_f$ [MPa]	$f_{fib}$ [MPa]	tipo rott
C1	29137	40714	267041	452	2962	RT
C2	32567	39208	267491	467	3186	RT
C3	29055	35314	240362	419	2850	RT
media	30253	38412	258298	446	2999	

Tabella 7 – Risultati delle prove su giunto adesivo con RESIN75

	$P_u$ [N]	$\tau_{med}$ [MPa]
SL1	10045	5.77
SL2	7055	4.16
SL3	10636	7.64
media	9245	5.86

# COMPITI E RESPONSABILITA'

---

## COLLAUDATORE

- VERIFICARE I CERTIFICATI DI PROVA E I CIT, DOP
- VERIFICARE ACCETTAZIONE DELLA D.L.
- VERIFICARE I RISULTATI DI PROVA RICHIESTI DALLA D.L
- COORDINARE CON LA D.L. PROVE SUPPLEMENTARIE OVE RICHIESTE

# **COMPITI E RESPONSABILITA'**

---

## **IMPRESA DI INSTALLAZIONE**

- **CONFORMITA' DEI MATERIALI, FIBRE, MALTE E ADESIVI, ALLE SPECIFICHE DI PROGETTO, SU BASE DOCUMENTALE ( CIT , MARCATURA, CERTIFICAZIONI). ESEGUIRE PROVE DI ACCETTAZIONI O ALTRI TESTS SU RICHIESTA DELLA D.L..**
- **ARCHIVIARE LA DOCUMENTAZIONE PER ANNI 10.**
- **AVERE COMPROVATA ESPERIENZA PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI CON COMPOSITI**
- **ESSERE EVENTUALMENTE IN POSSESSO DELL'ATTESTAZIONE DI LIVELLO 2 (par. 4.8 DT 200) RILASCIATA DA ENTI CERTIFICATI (CICPND Milano)**



## **COMPITI E RESPONSABILITA'**

---

### **FORNITORE**

- **FORNIRE I CERTIFICATI DI CONFORMITA' TECNICA DEI MATERIALI E LE RELATIVE MARCATURE (CIT, DOP, SDS)**
- **FORNIRE I MATERIALI IN CANTIERE CON IDENTIFICAZIONI RINTRACCIABILI**
- **FORNIRE MANUALI E PROCEDURE DI INSTALLAZIONE**
- **FORNIRE CERTIFICAZIONI SPERIMENTALI SU RICHIESTA DELLA D.L.**
- **ASSISTERE SU RICHIESTA DI IMPRESA E D.L. NELL'ESECUZIONE DELLE PROVE**
- **ARCHIVIARE LA DOCUMENTAZIONE PER ANNI 10.**

# NORMATIVA TECNICA MATERIALI STRUTTURALI

---

**5. L'impiego nelle opere di un prodotto da costruzione è soggetto, per i materiali e prodotti per uso strutturale, alle norme tecniche per le costruzioni adottate in applicazione dell'articolo 52 del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, e successive modificazioni, e per i materiali e prodotti per uso antincendio alle disposizioni adottate dal Ministro dell'interno ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139.**

## **8.6. MATERIALI**

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al Capitolo 12.

Nel caso di edifici in muratura è possibile effettuare riparazioni locali o integrazioni con materiale analogo a quello impiegato originariamente nella costruzione, purché durevole e di idonee caratteristiche meccaniche.

Inoltre, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopra elencati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per il tramite del Servizio Tecnico Centrale, predispone e pubblica, sentiti il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e l'Ente Italiano di Normazione (UNI), l'elenco dei documenti che costituiscono riferimento tecnico per le Norme tecniche per le costruzioni ai sensi del presente capitolo. Con analoga procedura sono anche predisposti e pubblicati gli aggiornamenti periodici a tale elenco, nonché gli aggiornamenti degli elenchi delle specifiche tecniche volon UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma.

## **COSA SONO GLI FRCM-SRG-CRM**

---

Trattasi di materiali compositi a matrice inorganica costituiti da reti in carbonio, basalto e vetro AR (FRCM), reti in vetro AR preformate GFRP, tessuti unidirezionali in acciaio UHTSS (SRG) immersi in uno strato di malta a base cementizia, pozzolanica e in calce idraulica di elevata resistenza meccanica e basso spessore.

Sono stati introdotti nel mercato da alcuni anni e sono particolarmente interessanti per il rinforzo delle murature e per gli edifici storici.

I compositi a matrice inorganica non sono attualmente normati (a differenza degli FRP) e pertanto il loro impiego nell'ambito del miglioramento sismico si basa principalmente su tests sperimentali condotti in ambito universitario al fine di definirne caratteristiche ed efficacia di impiego sulle strutture. Una specifica commissione ministeriale sta comunque concludendo i lavori nel 2018 al fine di emanare una linea guida per FRCM-CRM.

# **Linee Guida FRCCM-CRM in approvazione**

## **1) Linea Guida Cons. Sup. LLPP**

**per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di sistemi di rinforzo FRCCM**

**2) Linee guida CNR DT 215 per la progettazione, l'esecuzione e il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di sistemi di rinforzo FRCCM**

**3) Linea Guida Cons. Sup LLPP per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati a matrice inorganica (FRCCM) da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti**

**4) Linea Guida per la identificazione, la qualificazione ed il controllo di accettazione dei sistemi CRM a rete preformata in compositi fibrorinforzati da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti**



## **PRINCIPALI VANTAGGI DEGLI FRCM-SRG**

---

- **Euroclasse A1**
- **Resistenza al fuoco 60-90 min. con 2-3 cm di malta**
- **Applicabilità su fondi umidi**
- **Applicabilità su fondi irregolari con minori oneri**
- **Traspirabilità**
- **Reversibilità**
- **Ecosostenibilità LCA method ISO 14040 :2006**
- **Migliore accettabilità dalle Soprintendenze**

# RETI E TESSUTI FRM-SRG-TRM



**C-NET 170 -220BL**



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



**B-NET 350 BA**



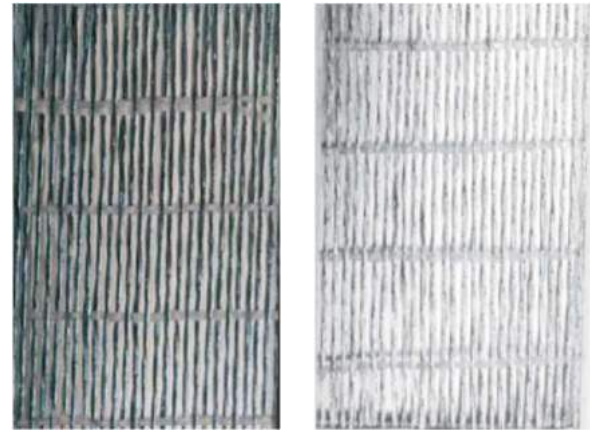
**G-NET 301 BAL**  
**G-NET 601 BAL**



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



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



**STEEL NET G e I304**

# MATRICI INORGANICHE PER FRCM

---

- a base cementizia per calcestruzzo, c.a., c.a.p.  
Classi R2-R3-R4 EN 1504-3
- a reattività pozzolanica per murature e cls  
Classe R2 o altre tipologie certificate
- in calce e pozzolana per murature storiche  
Classe M15 EN 998-2

## PRINCIPALI IMPIEGHI DEGLI FRCCM-SRG

---

I principali impieghi dei rinforzi FRCCM-SRG in matrice inorganica si hanno nei campi di:

- **Recupero e restauro Beni Culturali ed Edifici storici:** messa in sicurezza, ripristino e rinforzo di strutture murarie per miglioramento statico (aumento dei carichi di esercizio) e ripristino di situazioni di degrado; traspirabilità e reversibilità.
- **Miglioramento sismico:** aumento di resistenza e di duttilità di strutture murarie e c.a., realizzazione di interconnessioni tra maschi murari, cerchiature e controventature degli edifici.
- **Rinforzo di gallerie e strutture con rilevante resistenza al fuoco:** aumento della resistenza a bassi spessori, applicabilità su fondi umidi e irregolari con minori oneri.





NUOVO APPLICATIVO DI CALCOLO DELLE MURATURE RINFORZATE CON TECNOLOGIA FRCM

**L'APPLICATIVO CALCOLA LE STRUTTURE MURARIE RINFORZATE CON FRCM PER AZIONI FUORI DEL PIANO, NEL PIANO DEL PANNELLO E A CONFINAMENTO**

L'APPLICATIVO CALCOLA LE STRUTTURE MURARIE SULLA BASE DELLE ATTUALI LINEE GUIDA MINISTERIALI E CNR PER I RINFORZI FRCM

FRCM wall assieme ai già presenti FRPsoftWare e FRPnode sono stati sviluppati da G&P intech in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria del Politecnico di Milano.

FRCMwall è **TOTALMENTE GRATUITO** e **SCARICABILE** dal sito a partire dal 20 novembre 2018:

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

# Esempio di verifica strutturale

## Determinazione delle proprietà meccaniche di un pannello murario rinforzato mediante intonaco armato FRCM sulle due facce

### Muratura allo stato di fatto

La muratura allo stato di fatto è una muratura a conci sbozzati. Il calcolo dei parametri della muratura rinforzata si riferisce ad un pannello murario di spessore  $t_m = 50\text{cm}$  e avente le seguenti proprietà:

Muratura a conci sbozzati (Tipologia prevalente)

<b>Resistenza a compressione media</b>	<b><math>F_m = 166.66</math></b>	<b><math>\text{N/cm}^2</math></b>
<b>Resistenza a taglio media</b>	<b><math>T_0 = 2.86</math></b>	<b><math>\text{N/cm}^2</math></b>
<b>Modulo di elasticità normale</b>	<b><math>E = 984</math></b>	<b><math>\text{MPa}</math></b>
<b>Modulo di elasticità tangenziale</b>	<b><math>G = 328</math></b>	<b><math>\text{MPa}</math></b>
<b>Resistenza caratteristica a compressione della muratura</b>	<b><math>F_k = 116.66</math></b>	<b><math>\text{N/cm}^2</math></b>
<b>Coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a compressione della muratura</b>	<b><math>Y_M = 3</math></b>	

# **Esempio di verifica strutturale**

## **Determinazione delle proprietà meccaniche di un pannello murario rinforzato mediante intonaco armato sulle due facce**

---

### **Intervento progettuale**

L'intervento di rinforzo consiste nell'inserire sulle due facce del pannello un intonaco armato realizzato mediante:

- intonaco realizzato con malta M15
- spessore intonaco tint = 2.5 cm (su ambo i lati)
- armatura realizzata da 4 diversi tipi di reti e fibre di rinforzo come in seguito specificati

Si sono assunti i seguenti parametri:

- Modulo elastico dell'intonaco:  $E_{int} = 15000 \text{ MPa}$
- Resistenza a compressione media dell'intonaco:  $f_{int} = 15 \text{ MPa}$
- Resistenza a trazione media dell'intonaco:  $f_{t,int} = 1.0 \text{ MPa}$

# Esempio di verifica strutturale

## Determinazione delle proprietà meccaniche di un pannello murario rinforzato mediante intonaco armato sulle due facce

---

La malta nei casi considerati è sempre un base calce idraulica

**LIMECRETE M15** .

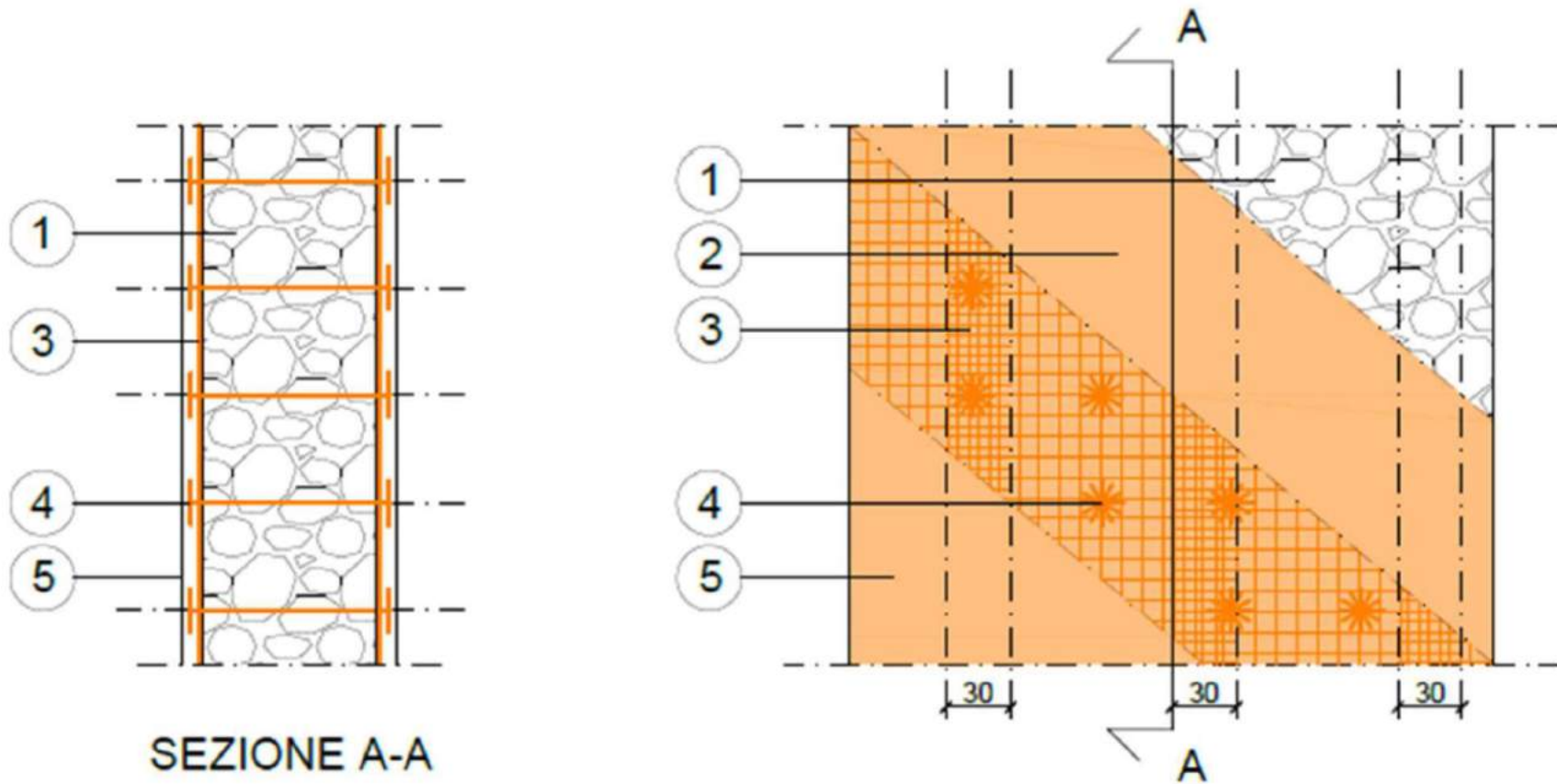
Il rinforzo è costituito da materiali diversi e rispettivamente:

- A- Rinforzo con rete in vetro alcali resistente, maglia 40x40 mm **G-NET 301 BAL**
- B- Rinforzo con rete in fibra di carbonio **C-NET 170 BL**
- C- Rinforzo con rete in fibra di basalto apprettata **B-NET 350 BA**
- D- Rinforzo con tessuto in fibra di acciaio galvanizzato UHTSS **STEEL NET G 220** per fasce verticali, **STEEL NET G 80** per fasce orizzontali



# Esempio di verifica strutturale

Determinazione delle proprietà meccaniche di un pannello murario rinforzato mediante intonaco armato sulle due facce



# Esempio di verifica strutturale

## Determinazione delle proprietà meccaniche di un pannello murario rinforzato mediante intonaco armato sulle due facce

---

Utilizzando le grandezze sopra riportate si ricava per il pannello rinforzato in questione secondo approccio CNR DT 200 :

Resistenza media a compressione

$$f_{cm} = \frac{f_m \cdot t_m + f_{int} \cdot 2t_{int}}{t_m + 2t_{int}}$$

Resistenza media a taglio

$$\tau_m = \tau_1 + \tau_2 = 0.9 \tau_0 + 0.54 \cdot \frac{2A_r \cdot f_r}{t \cdot p}$$

Modulo di elasticità normale equivalente

$$E_{eq} = \frac{E_m \cdot t_m + E_{int} \cdot 2t_{int}}{t_m + 2t_{int}}$$

Modulo di elasticità tangenziale equivalente

$$G_{eq} = 0.4 \times E_{eq} \text{ ( §11.10.3.4 - NTC 2008).}$$

Resistenza media a compressione = **287 N/cm<sup>2</sup>**

Modulo di elasticità normale equivalente  $E_m$  = **2258 MPa**

Modulo di elasticità tangenziale equivalente  $G_{eq}$  = **903 MPa**

# Esempio di verifica strutturale

## Determinazione delle proprietà meccaniche di un pannello murario rinforzato mediante intonaco armato sulle due facce

### “CONFRONTO DI RESISTENZA A TAGLIO TRA DIVERSE TIPOLOGIE DI RINFORZO DEL PANNELLO”

TIPOLOGIA DI MALTA DELL'INTONACO	TIPOLOGIA DI RETE/TESSUTO	RESISTENZA MEDIA A TAGLIO COME DA CNR DT-200/2004 (*)
A. Malta Limecrete M15	Rete in fibra di vetro alcali resistente AR G-NET 301BAL	11.1 N/cm <sup>2</sup> (2,86)
A. Malta Limecrete M15	Rete in fibra di carbonio C-NET 170 BL	15.9 N/cm <sup>2</sup> (2,86)
A. Malta Limecrete M15	Rete in fibra di basalto apprettata B-NET 350 BA	11.6 N/cm <sup>2</sup> (2,86)
A. Malta Limecrete M15	Tessuto in fibra di acciaio galvanizzato STEEL NET G 220 (verticale) + G80 (orizzontale) avente 30cm di larghezza e 90 cm di interasse.	11.3 N/cm <sup>2</sup> (2,86)

(\*) Tali valori devono essere ridotti mediante il coefficiente di sicurezza sul materiale ( $\gamma$ ,  $\eta$ ) e dal fattore di confidenza opportuno (FC).

**Cantiere di Roio al Piano (AQ)**  
**Rinforzo di volte e murature con sistema FRCM rete in fibra di vetro AR**  
**G-NET 301 BAL e malta in calce LIMECRETE.**  
**Connettori in vetro GFIX 10 AR**

---





# MIGLIORAMENTO SISMICO ALLO 0,65 IsV CON FRM

## ISTITUTO APOSTOLE S.CUORE DI GESU'- AVEZZANO



**RINFORZO DEI PARAMENTI IN MURATURA  
CON IRRIGIDIMENTO DEI MASCHI MURARI  
CON INTONACI ARMATI CON RETE IN  
CARBONIO C-NET 220 BL, CONCRETE ROCK  
S E CONNETTORI AFIX 10**



**INSERIMENTO CONNETTORI AFIX 10**



# LA ROCCA- BRAIN ONLUS - ALTAVILLA VICENTINA





**Palazzo Chiarino (AQ)- Sisma 2009**  
**Rinforzo di volta in muratura con sistema FRM rete in fibra di carbonio**  
**C-NET 170 BL e malta a base calce naturale LIMECRETE. Connettori in**  
**carbonio CFIX 12**

---



**Cantiere di Roio Poggio (AQ) – Sisma 2009**  
**Rinforzo di volta in muratura con sistema FRCM rete in fibra di vetro AR G-NET 301 BAL e malta a reattività pozzolanica**  
**CONCRETE ROCK S. Connettori in vetro GFIX 10 AR**





**Cantieri Aggregati centro storico (AQ) – Sisma 2009**  
**Rinforzo di volte e murature con sistema SRG tessuti in acciaio UHTSS**  
**e malte in calce M15. Collegamento alle murature d'ambito**  
**con connettori in acciaio**

---



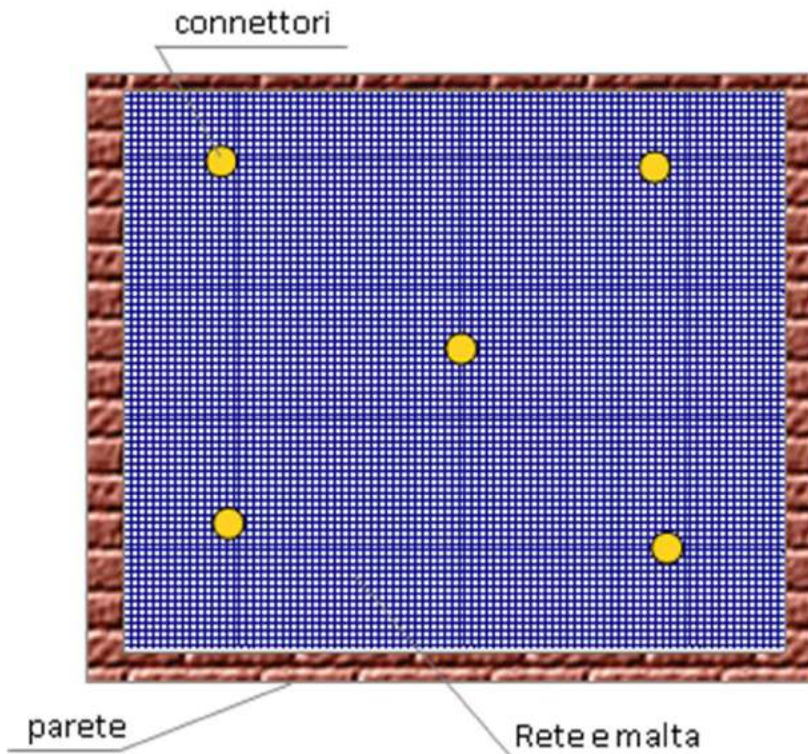
## Chiesa di San Giacomo- Piumazzo-Castelfranco Emilia - Sisma 2012

---

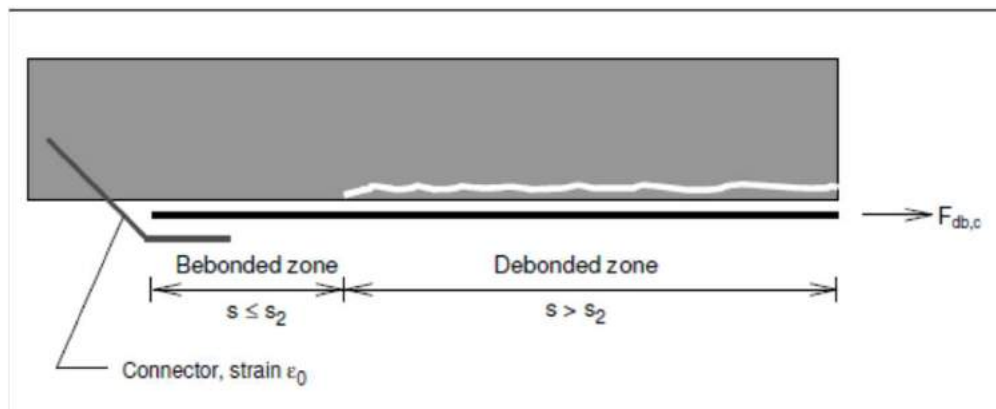




# RINFORZO PARAMENTO MURARIO CONTRIBUTO ANCORAGGIO



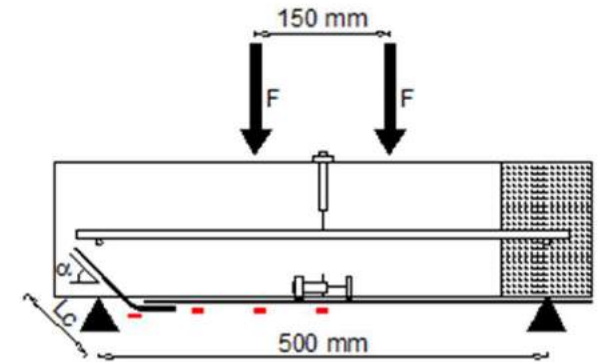
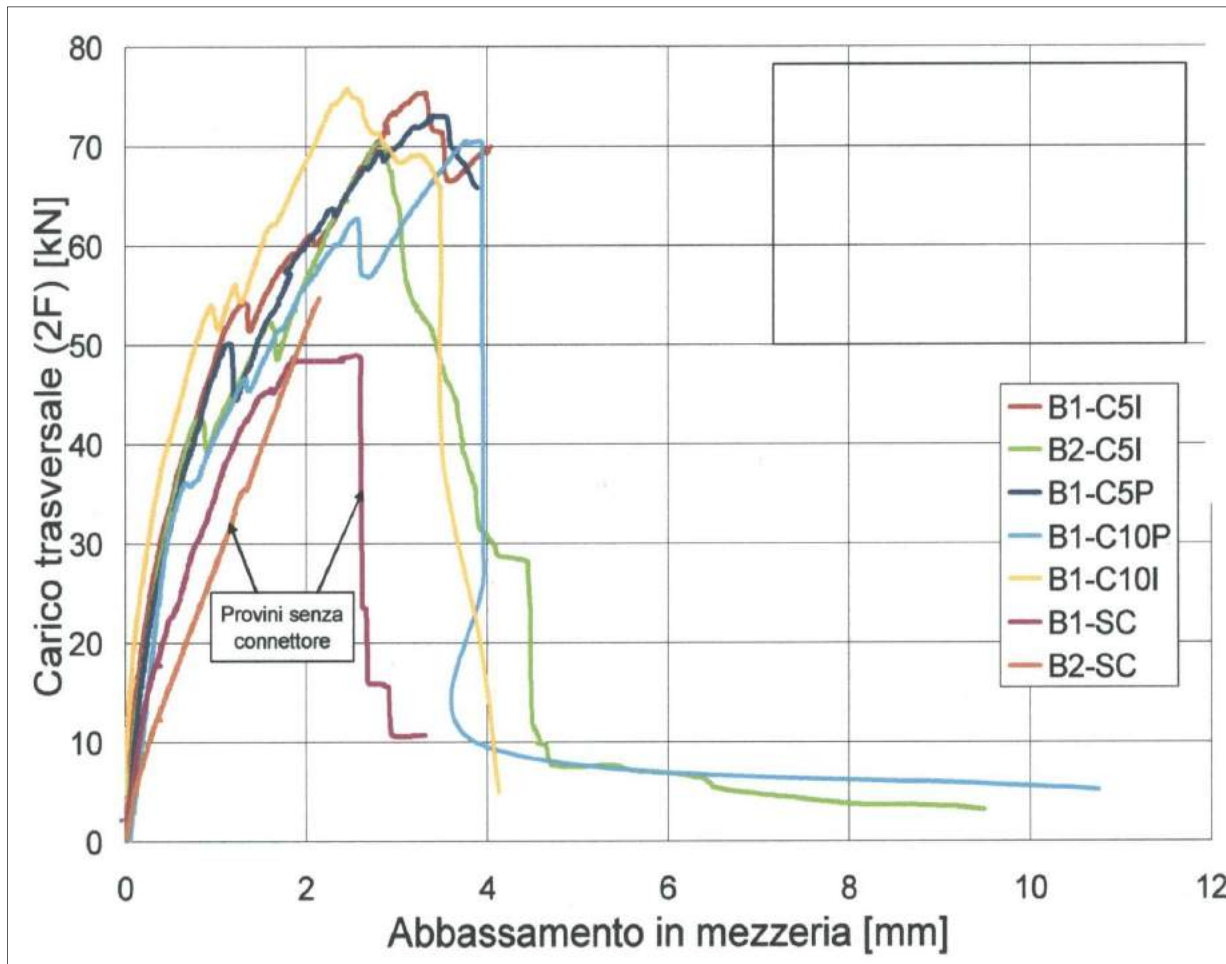
RINFORZO DEI PARAMENTI  
MURARI CON RETI- MALTE E  
CONNETTORI DI ANCORAGGIO



CONTRIBUTO DEL CONNETTORE ALLO SLU

$$F_{\max,c} = \sqrt{N_0^2 + 2b_f^2 E_f t_f \Gamma}$$

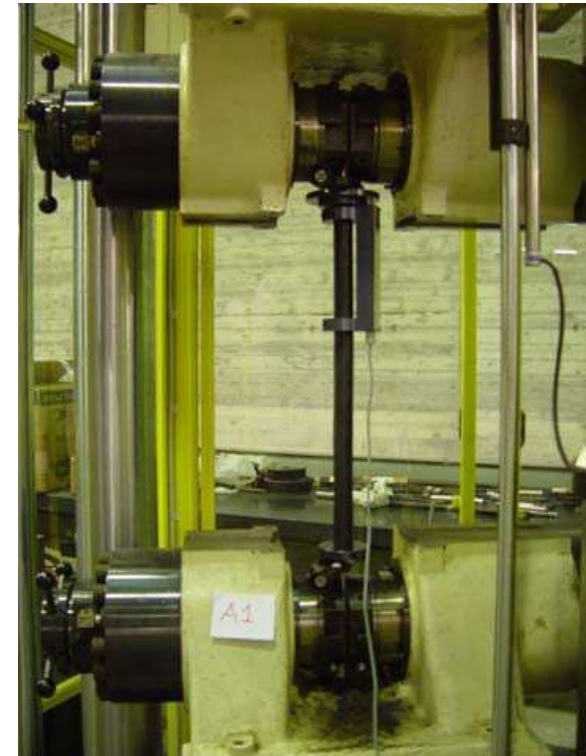
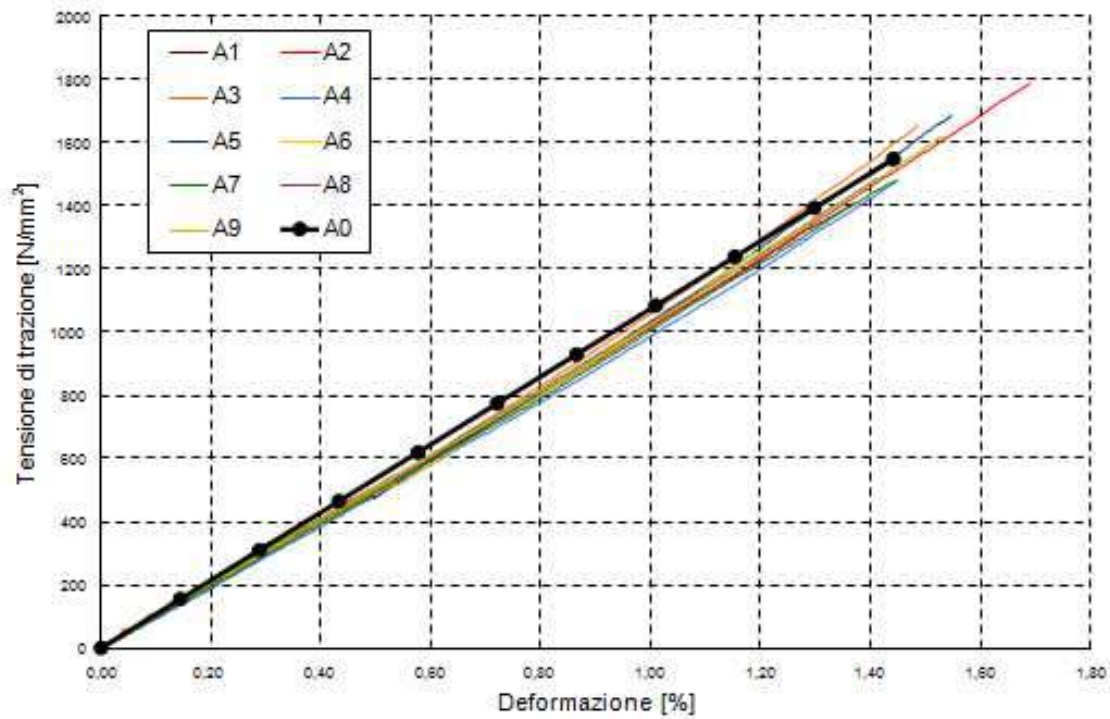
# TEST SU CONNETTORI IUAV VENEZIA



Shear test su connettori in AFRP



# TEST SU CONNETTORI IUAV VENEZIA



Legame costitutivo  $\sigma$ - $\epsilon$  per connettori in fibra aramidica

# VERIFICA CONNETTORI

**Connettore AFIX 10 - sezione di calcolo 33,49 mm<sup>2</sup>**

**Tensione a rottura : 1547 MPa - Mod. elastico 107 GPa**

**Deformazione limite media : 1,44%**

Da normativa tecnica la  $\epsilon$  limite è data da:

$$\epsilon = \min ( \eta * \epsilon_{fk} / \gamma ; \epsilon_{fd} )$$

dove  $\eta = 0,85$   $\gamma = 1,2$   $\epsilon_{fk} = 1,35\%$  ( derivante dal valore caratteristico della resistenza) -

$\epsilon_{fd} = 0,006$  (minimo sperimentale tra 0,006 e 0,009 risultante dai tests a shear) . Sulla base del DT 200:  $\epsilon_{fd} = 0,0062$

si ottiene:

$$\epsilon = \min ( 0,0095 ; 0,006 ) = 0,006$$

Pertanto la massima forza di calcolo di ancoraggio per connettore

è pari a  **$F_{max} = E * A * \epsilon = 107000 * 33,49 * 0,006 = 21,5 \text{ kN}$**

Va altresì ricordato che la lunghezza di ancoraggio è pari a 150 mm.





# RINFORZO A FLESSIONE CON CFRP INSERIMENTO CONNETTORI AFIX 10





# APPLICAZIONE DI ANCORAGGI

connettori in fibra aramidica



Colatura della resina nel foro precedentemente realizzato



Inserimento del connettore nel foro



Sfiocatura e impregnazione del fiocco sulle fasce precedentemente posate. Protezione del fiocco con una ulteriore fascia di tessuto.

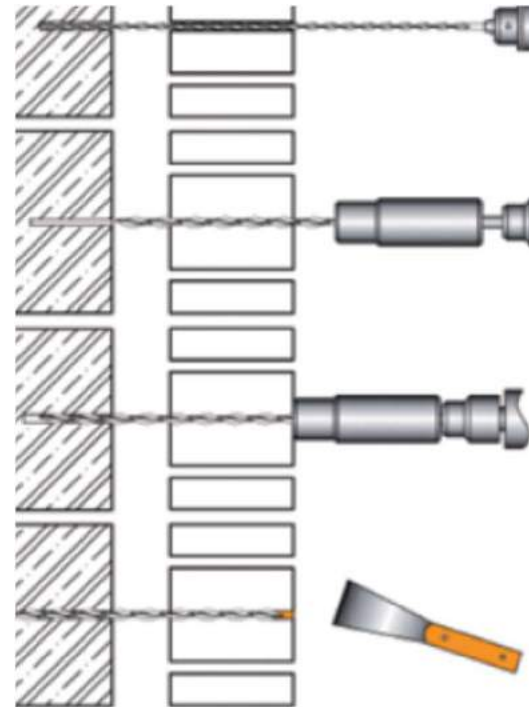


# MIGLIORAMENTO DEI COLLEGAMENTI

Cucitura e stilatura armata delle murature  
con barre elicoidali inox Steel Achorfix



Test di pull off su murature aquilane  
13 kN per barre  $\varnothing$  10 mm

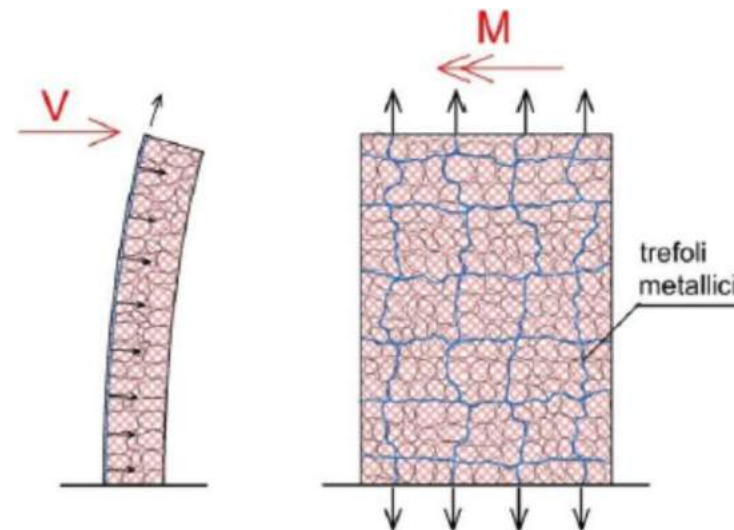
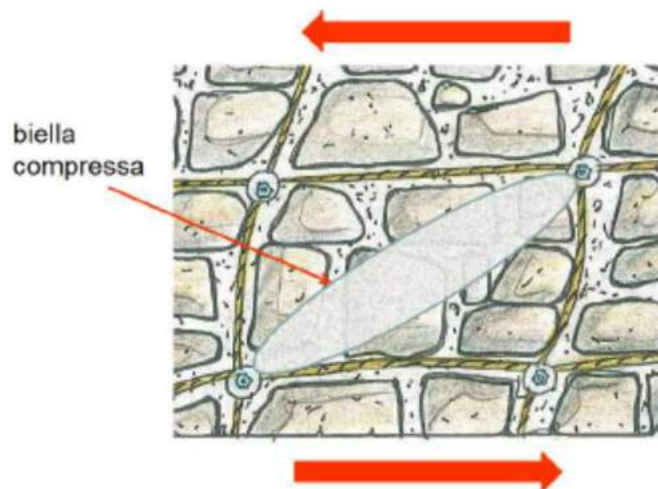
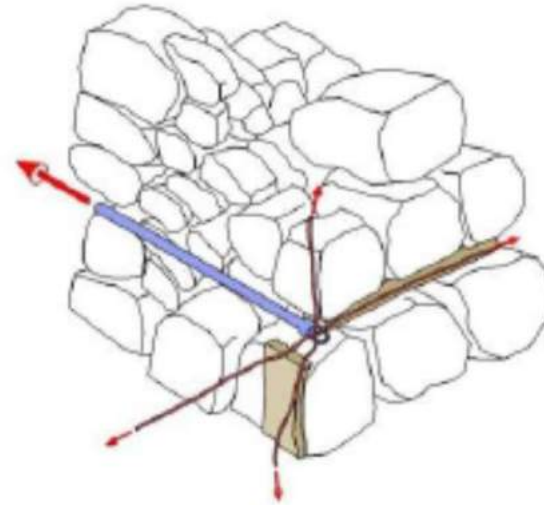
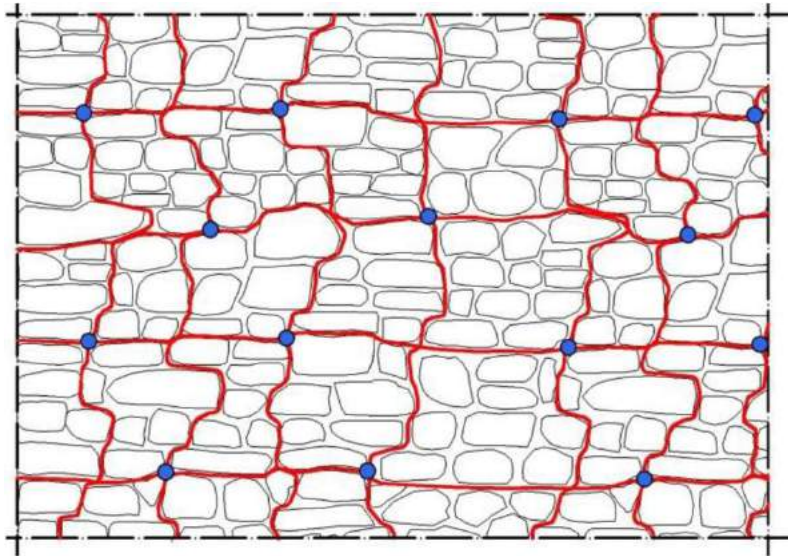


# SISTEMA DI MIGLIORAMENTO SISMICO MURATURE FACCIA A VISTA – IL RETICOLO





# SISTEMA DI MIGLIORAMENTO SISMICO MURATURE FACCIA A VISTA – IL RETICOLO



# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

## RINFORZO DELLE MURATURE CON SISTEMA A RETICOLO

---





# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

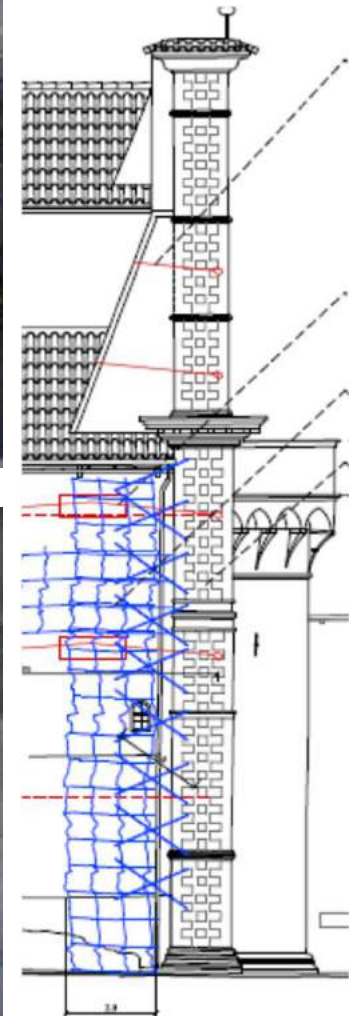
## RINFORZO DELLE MURATURE CON SISTEMA A RETICOLO





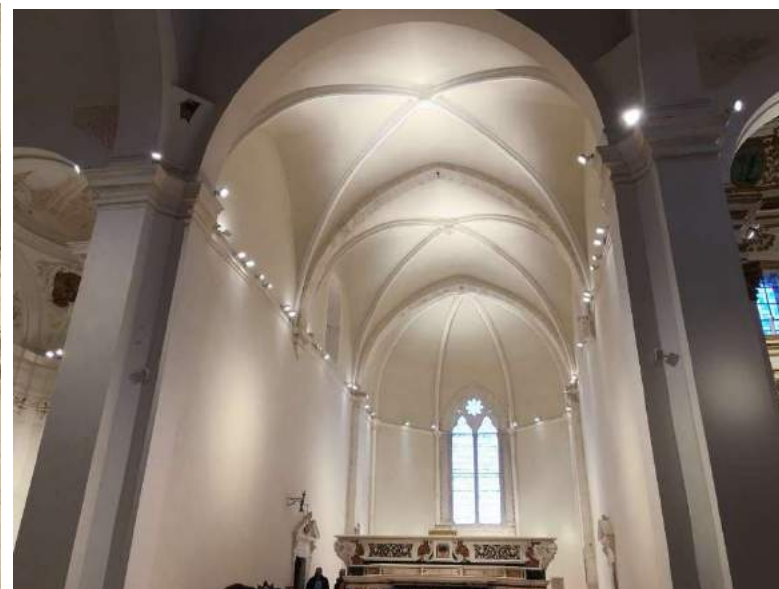
# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

## RINFORZO DELLE MURATURE CON SISTEMA A RETICOLO



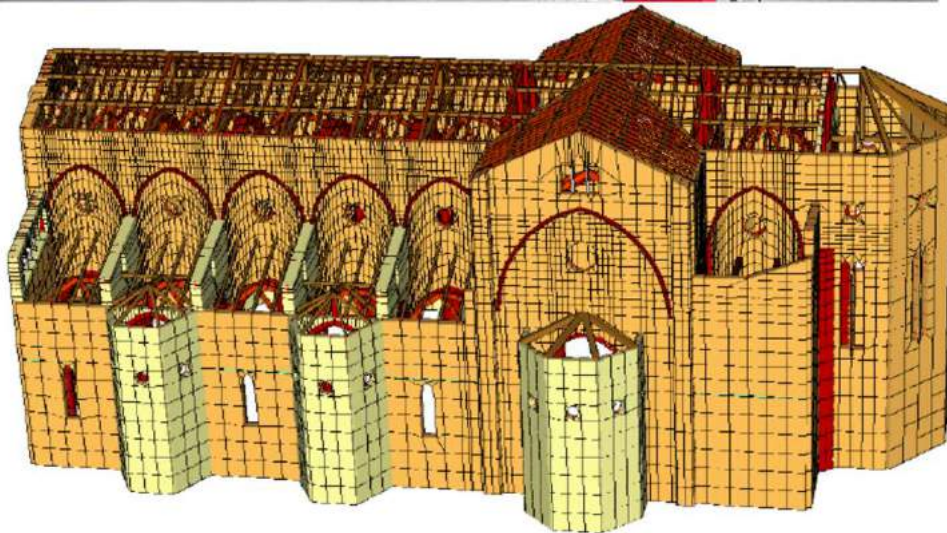
# BASILICA DI SANTA MARIA DI COLLEMAGGIO (AQ)

## INAUGURAZIONE 20 DICEMBRE 2017





# DUOMO DI CREVALCORE (BO)





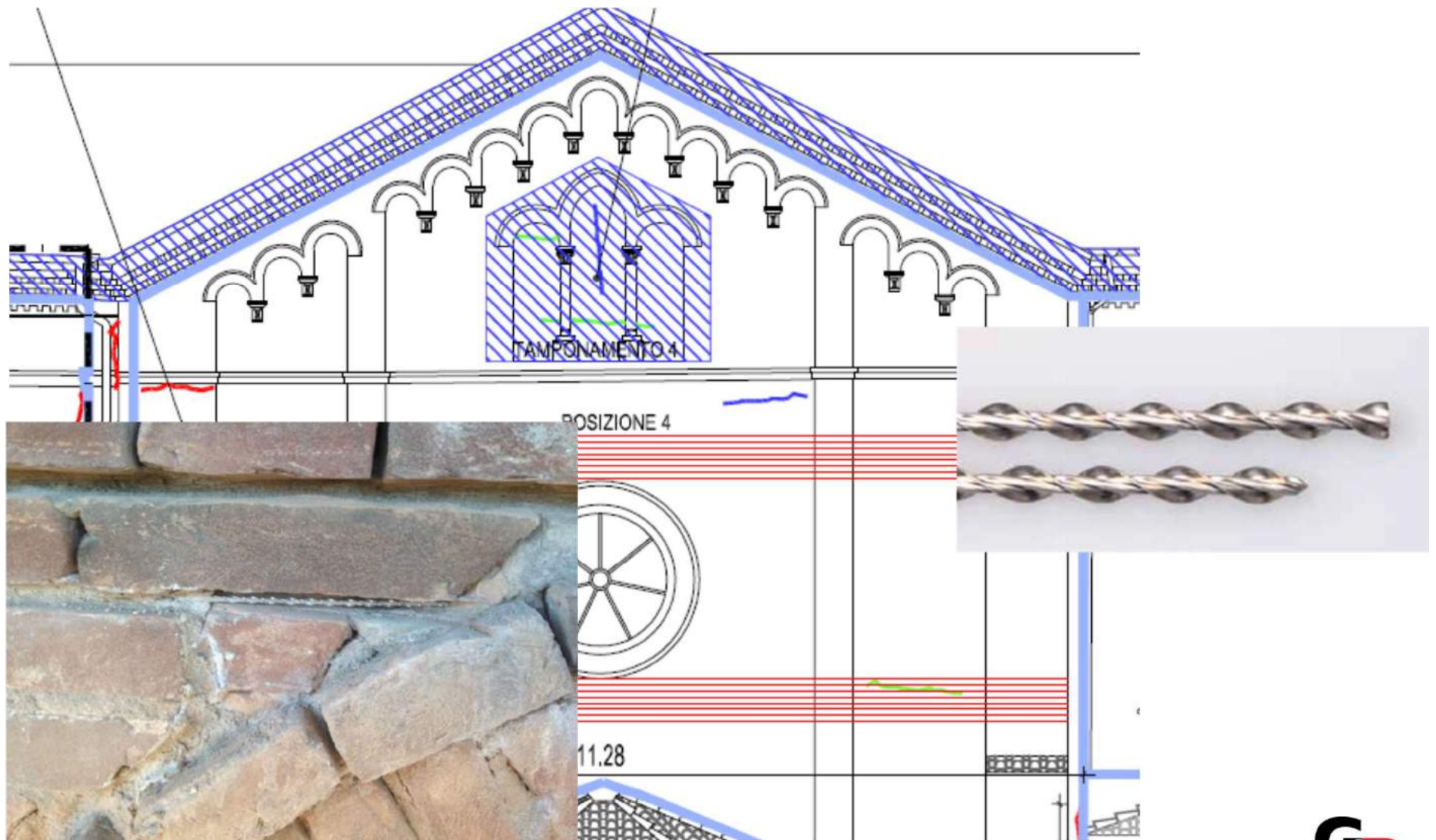
## **DUOMO DI CREVALCORE (BO)**

---

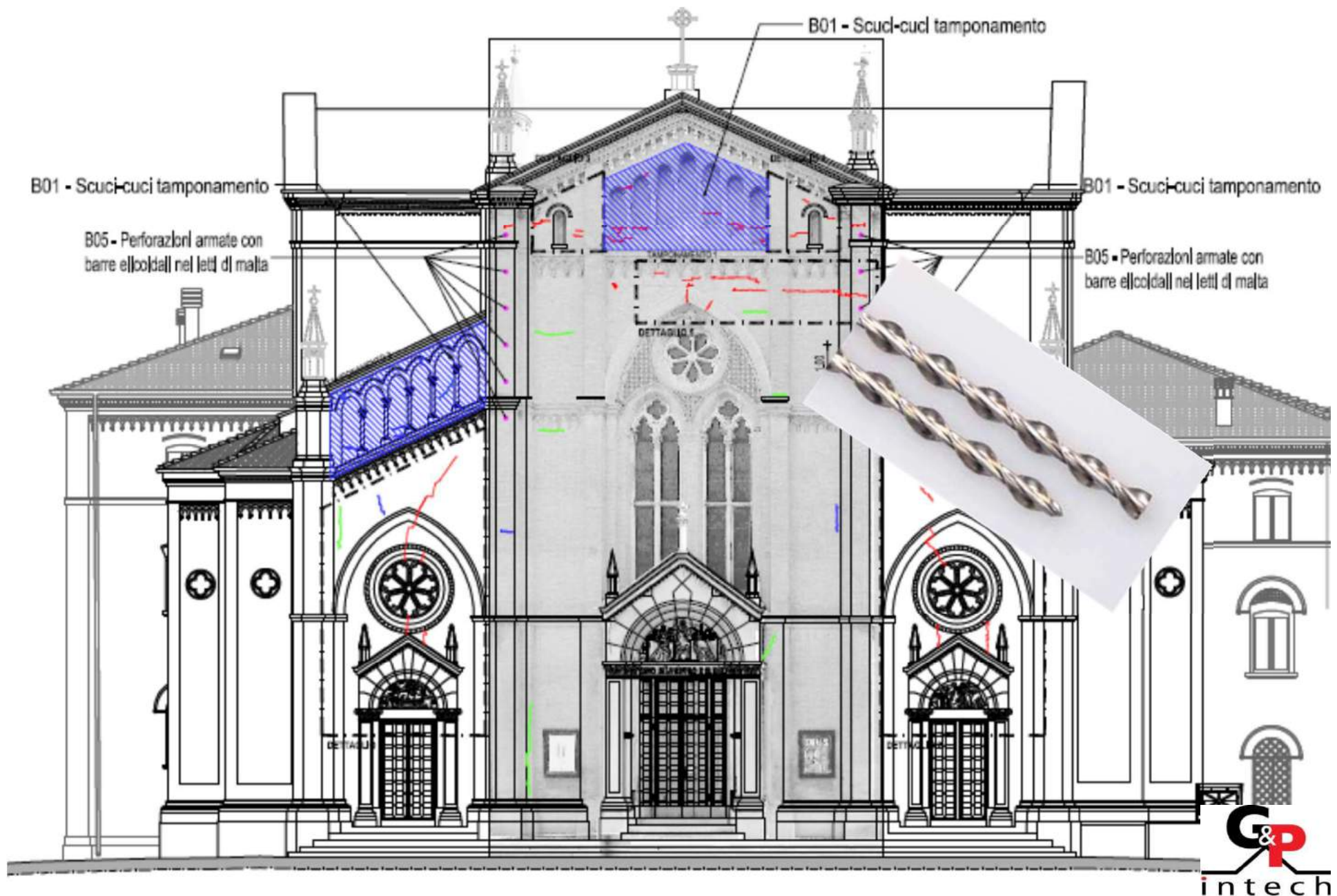


**RINFORZO VOLTE CON RETE IN BASALTO B-NET 350 BA**

# DUOMO DI CREVALCORE (BO) - SISTEMA DI STILATURE ARMATE NEI GIUNTI DI MALTA CON BARRE ELICOIDALI INOX STEEL ANCHORFIX



# DUOMO DI CREVALCORE (BO) - SISTEMA DI CUCITURE ARMATE CON BARRE ELICOIDALI INOX STEEL ARCHORFIX





# SISTEMI DI INTERVENTO PER ADEGUAMENTO E MIGLIORAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE



Soluzioni



Aumento della resistenza e della duttilità FRP-FRCM

Isolamento sismico  
Div. HIRUN ENGINEERING

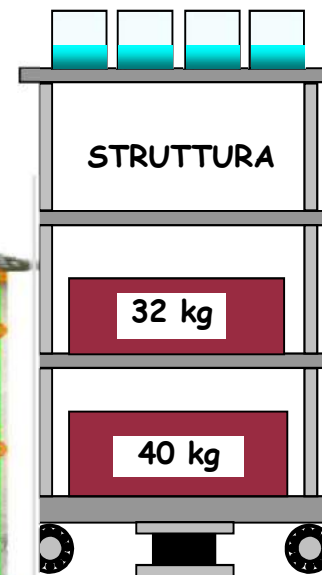
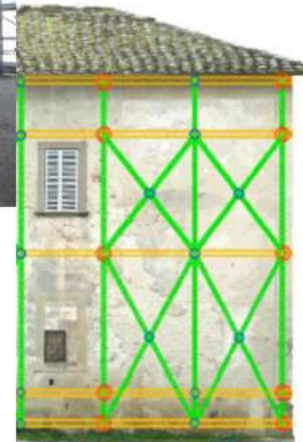
PILASTRI, NODI, MURATURE

Spostamenti orizzontali/  
rotazioni

Aumento della duttilità

Confinamento per azioni  
fuori dal piano

Rinforzo per azioni nel  
piano e a taglio





## G&P intech – Divisione Hirun Engineering

**La protezione sismica di una struttura esistente ai sensi delle nuove norme nazionali NTC8-NTC18 può essere ottenuta rinforzando la struttura per es. con materiali compositi (incremento della capacità) oppure isolando sismicamente la struttura con specifici dispositivi (riduzione della domanda).**

**In particolare tali dispositivi sono particolarmente importanti per le nuove strutture strategiche (ospedali, scuole, prefetture, difesa), per gli impianti ad elevato rischio ambientale ed in particolare nelle aree ad elevata criticità sismica (zone 1 e 2).**

**I dispositivi possono inoltre essere impiegati anche per la messa in sicurezza di strutture esistenti con la tecnica del retrofit (Beni Culturali, impianti, edifici strategici ).**



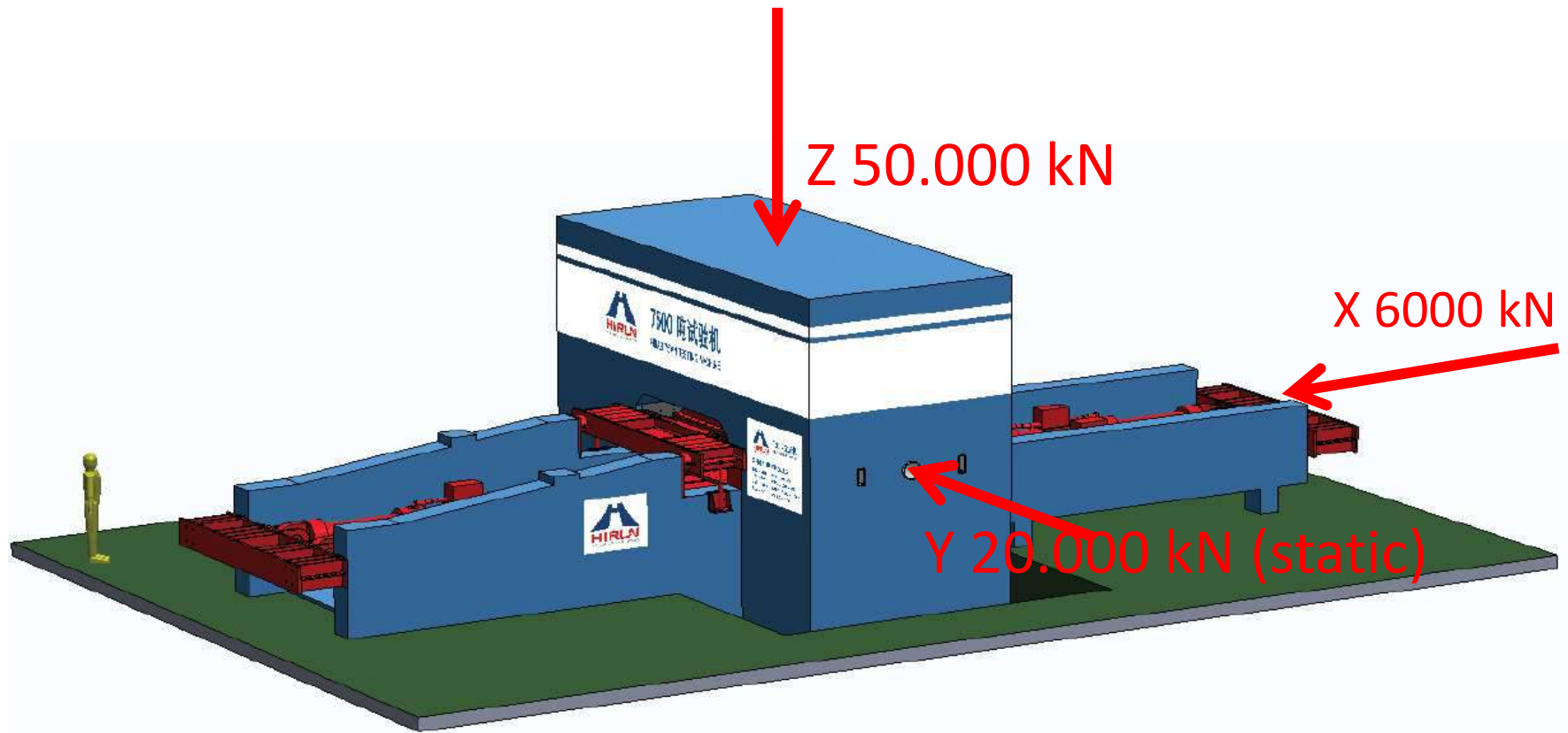
## Divisione Hiron Engineering

### Il nostro partner HIRUN ENGINEERING

Partner principale per la produzione dei dispositivi sismici, 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. L'azienda opera in regine di qualità ISO 9000 certificata da CQC membro di IQNET, con i più severi controlli di qualità dalle materie prime al prodotto finito ai sensi della EN 1090. 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.



## Impianto di test



# Divisione Hiron Engineering

## PRINCIPALI DISPOSITIVI

**Isolatori a pendolo scorrevole per costruzioni nuove ed esistenti HISLIDE**



**Isolatori elastomerici in gomma e acciaio (HDRB) e in piombo (LRB) HIDAMP**



**Dissipatori sismici HIFLUID fluodinamici VDD e shock transmitter LUD**

**Appoggi per ponti e viadotti HIFLOW e HIPOT**





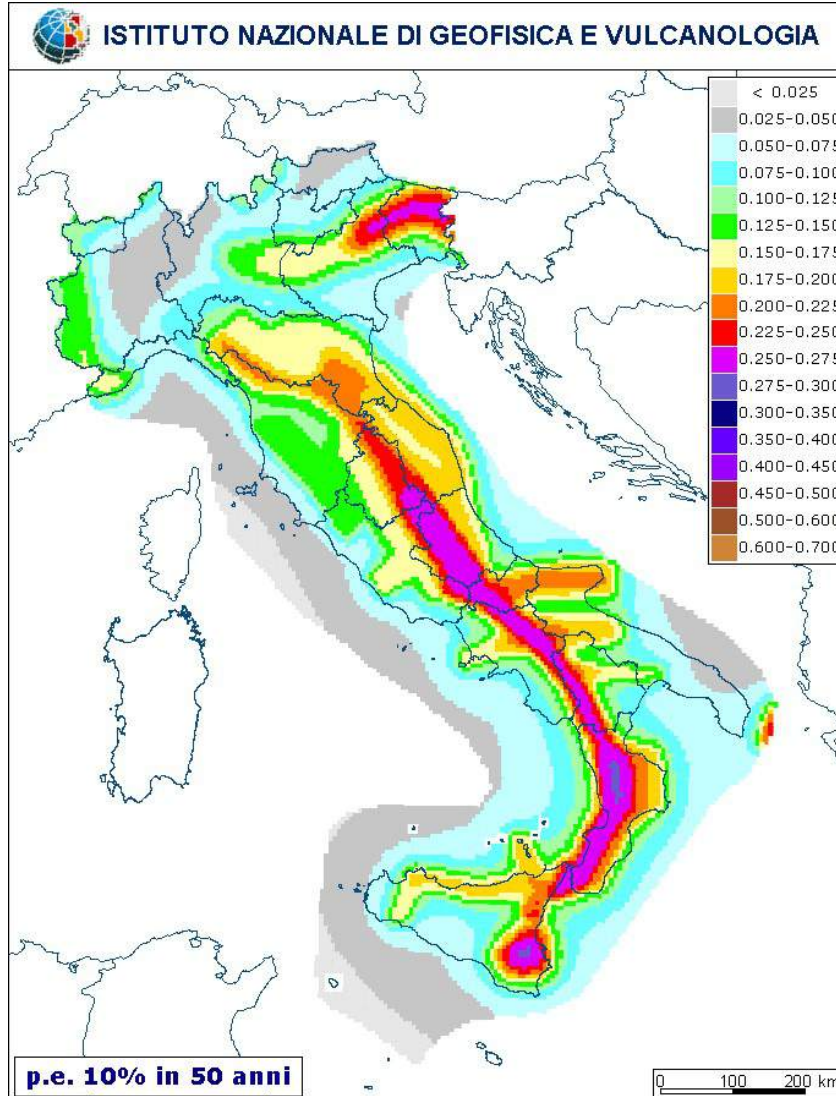
# Presentazione del problema



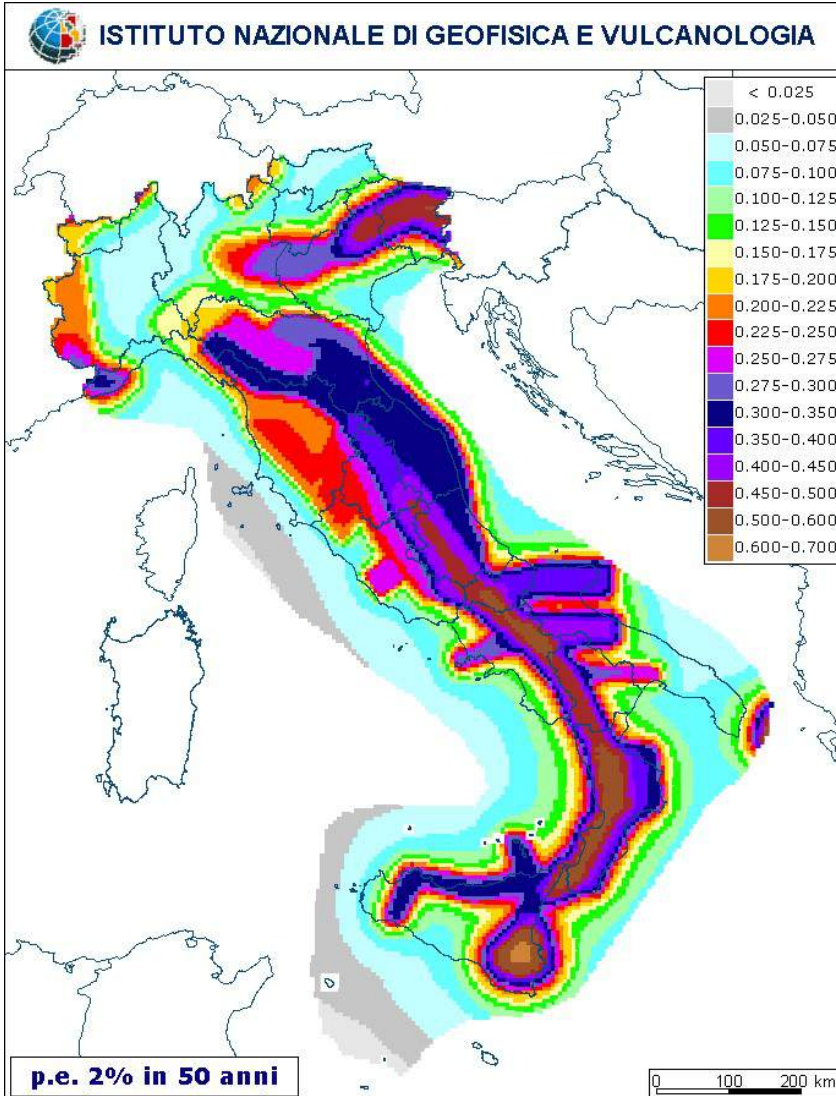
## Azione del sisma sulle strutture

Nelle metodologie di modellazione e progettazione moderne l'azione sismica è rappresentata da uno strumento fondamentale: lo spettro elastico di risposta che dà l'accelerazione subita dalla struttura in funzione del periodo proprio e dei seguenti parametri:

- Coordinate geografiche (sismicità del luogo)
- Periodo di ritorno del terremoto
- Tipo di terreno
- Configurazione morfologica del terreno
- Smorzamento viscoso equivalente (capacità di dissipare energia) della struttura



Periodo ritorno  
475 anni

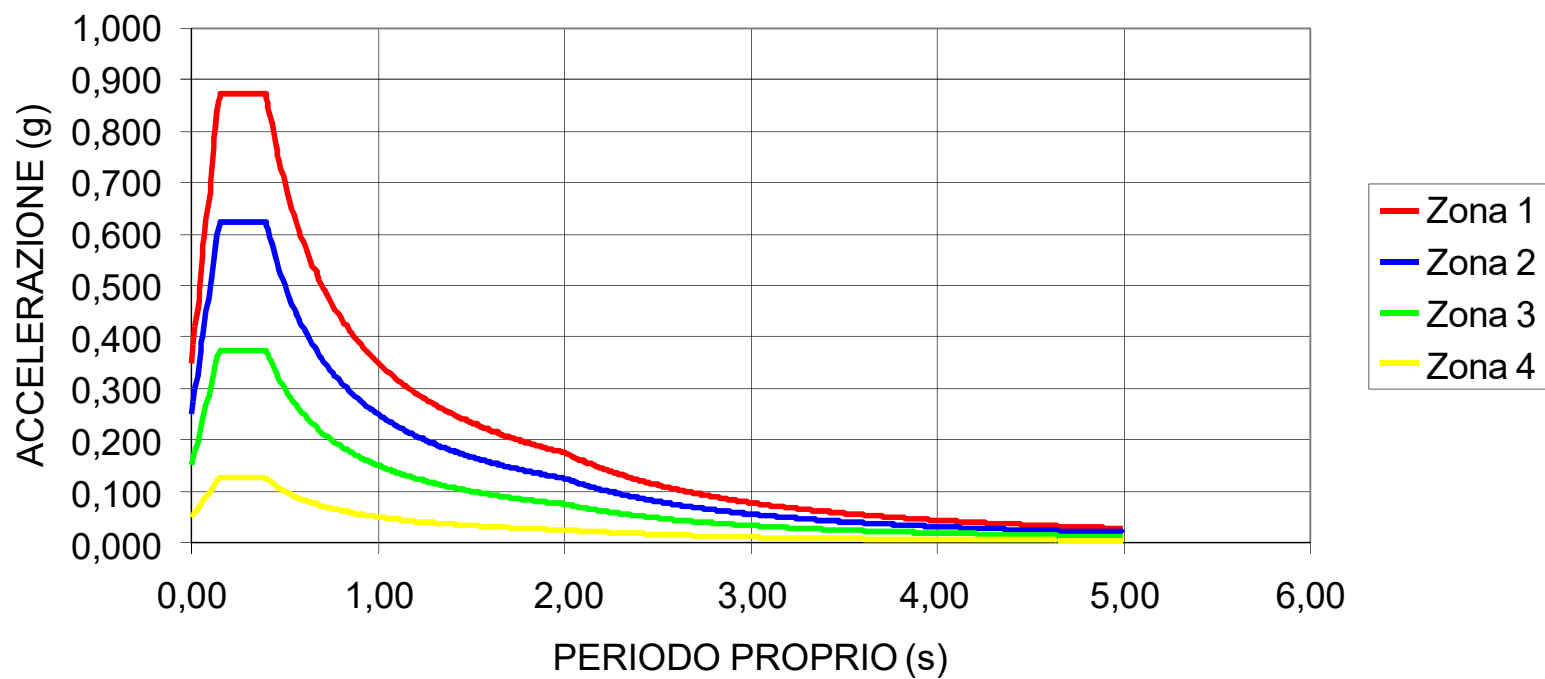


Periodo ritorno  
2475 anni



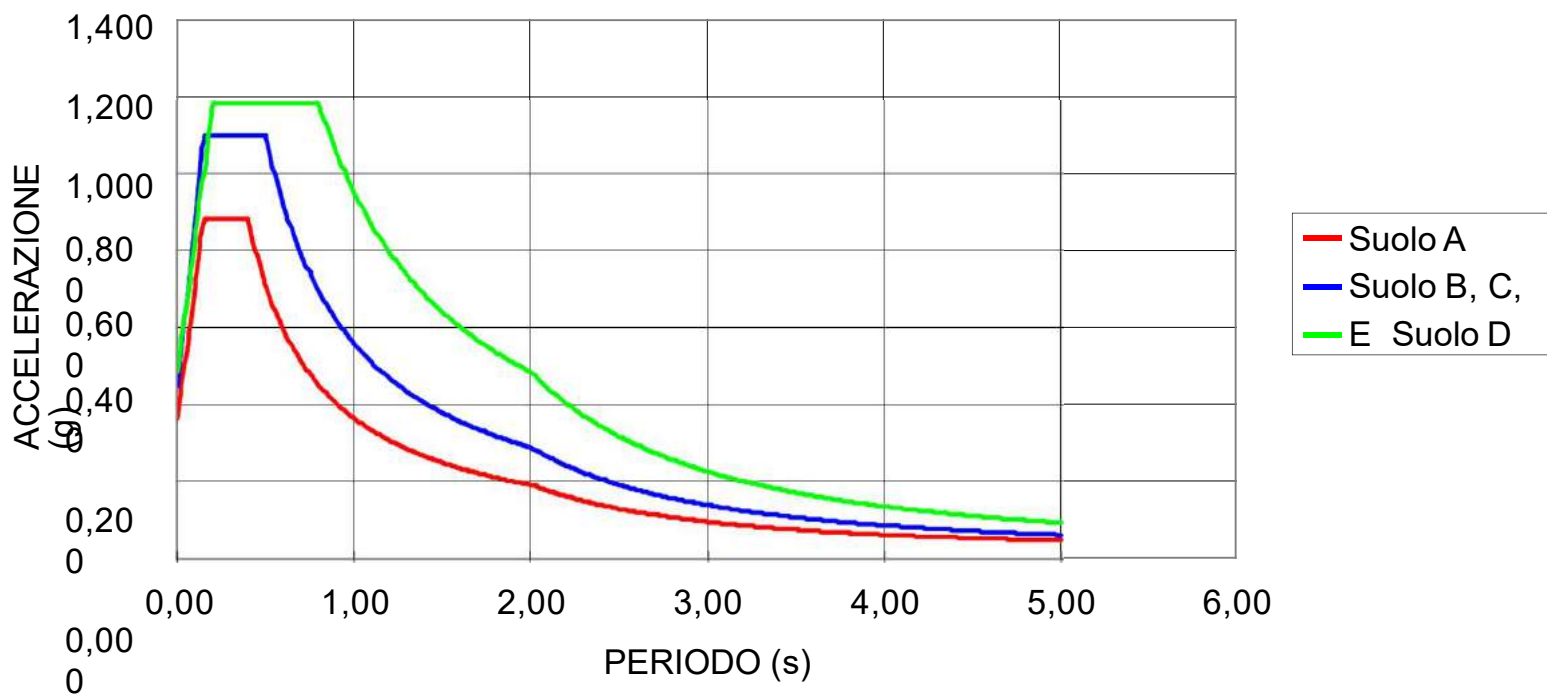
## AZIONE SISMICA- ZONE OPCM 3274

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO PER SUOLO A



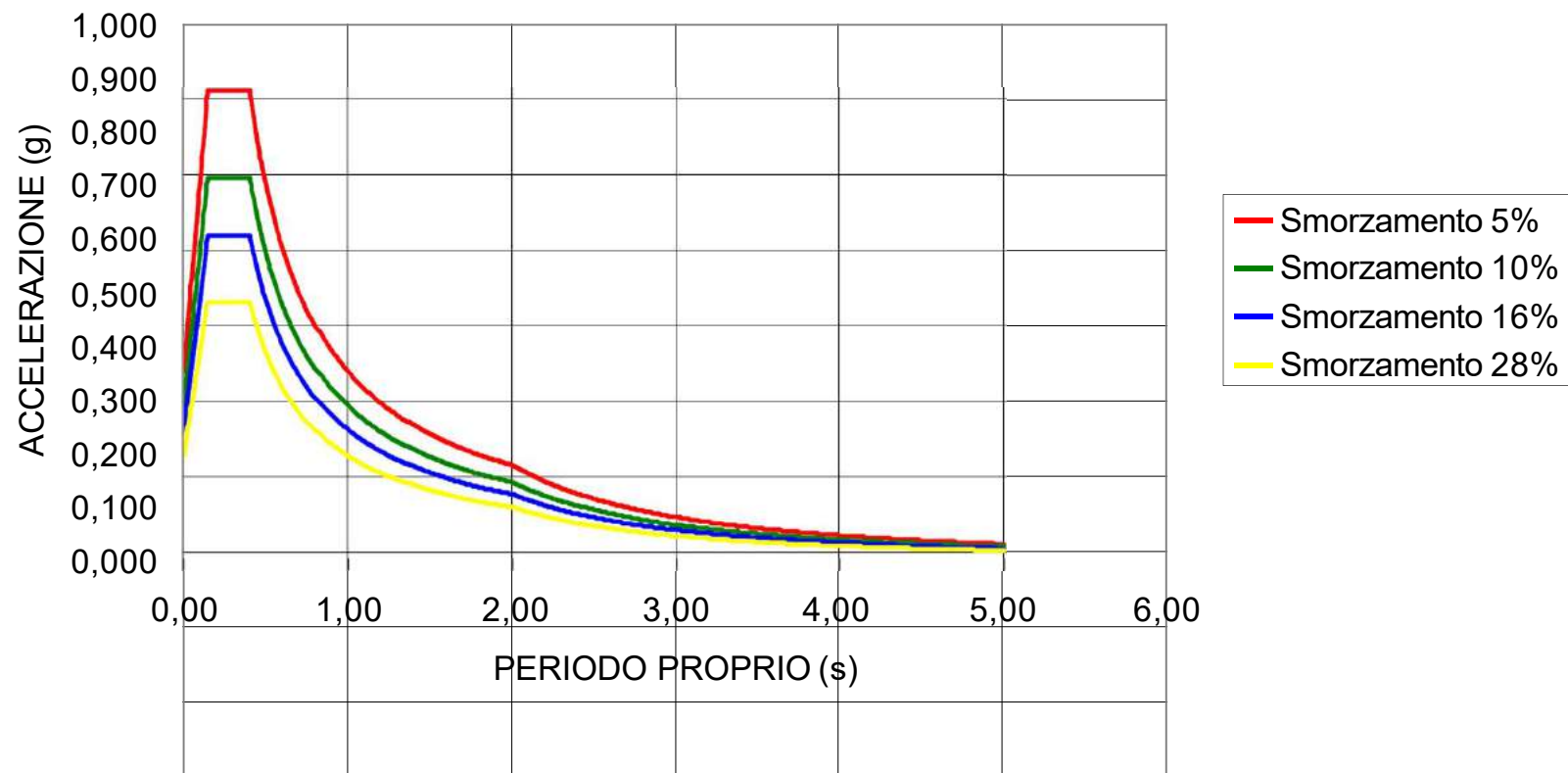
# AZIONE SISMICA - CATEGORIE DI SUOLO

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ZONA 1



# AZIONE SISMICA - SMORZAMENTO

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ZONA 1 TERRENO A



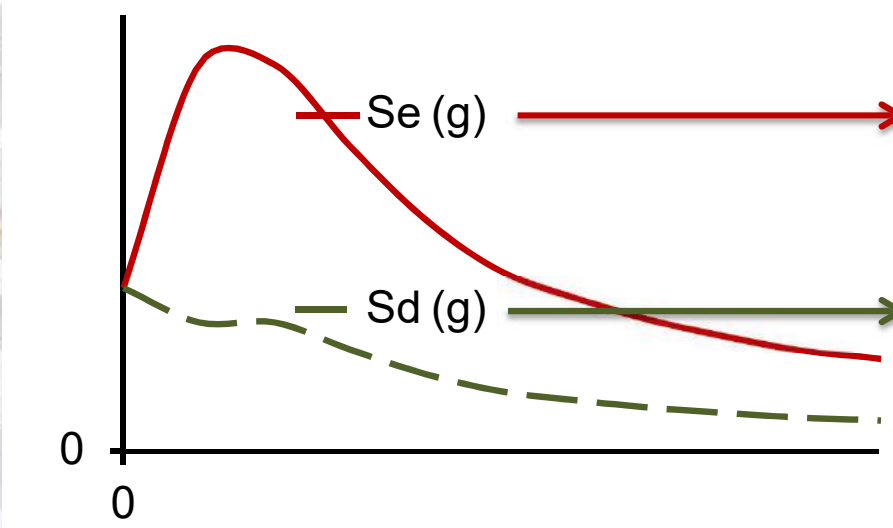
# PROGETTAZIONE ANTISISMICA

**Scopo:** assicurare che in caso di evento sismico

- sia protetta la vita umana
- siano limitati i danni
- rimangano funzionanti le strutture essenziali (Prot.Civ.)

**Sisma di media intensità:** sopportarlo senza danni evidenti

**Terremoto violento:** non crollare, pur danneggiandosi anche irreparabilmente



**Spettro elastico =**  
accelerazioni effettive

**Spettro di progetto =**  
accelerazioni ridotte  
attraverso il  
**Fattore di comportamento q**

“**q**” dipende dalla capacità della struttura di dissipare energia durante l’evento:  
danneggiamento controllato, che coinvolga molti elementi



# PROGETTAZIONE NON SOSTENIBILE

## La progettazione tradizionale:

- **Non è economicamente sostenibile !!** ▶ **Costi di ricostruzione**
- **Non garantisce gli scopi prefissi:**
  - ✓ **Limitazione dei danni** (strutture a rischio di incidente rilevante)
  - ✓ **Operatività strutture strategiche / essenziali** (di protezione civile, ponti, ospedali, caserme, ecc.)

## TECNOLOGIE INNOVATIVE

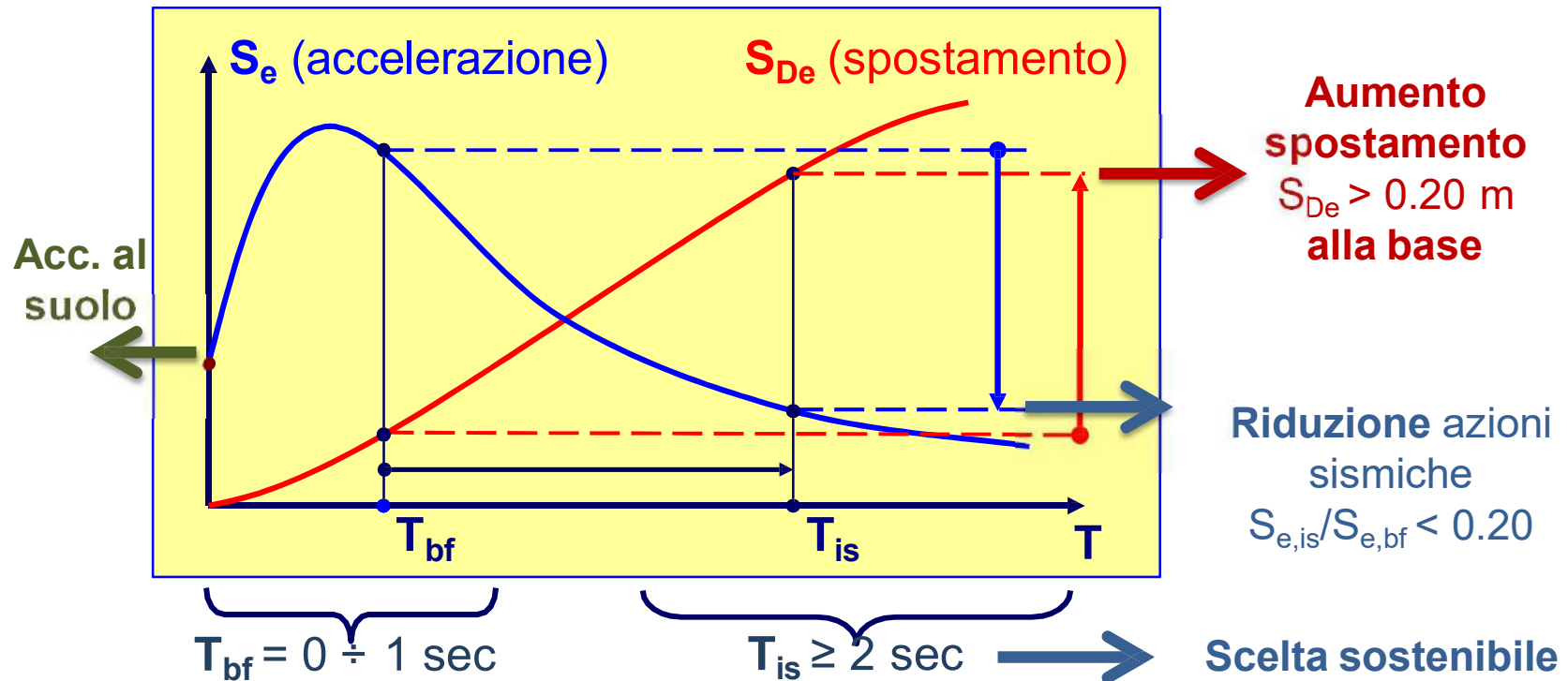
si basano sulla drastica riduzione delle forze sismiche agenti, anziché affidarsi alla resistenza

**Isolamento sismico**  
Incremento del periodo  
fondamentale di vibrazione

**Dissipazione di energia**  
Incremento di smorzamento

# INTRODUZIONE ALL'ISOLAMENTO SISMICO

Spettro di risposta elastico = massima accelerazione  $S_e$  nella struttura in funzione del suo periodo fondamentale di vibrazione  $T$



Disaccoppiamento tra moto della struttura e del terreno

È possibile progettare in campo elastico

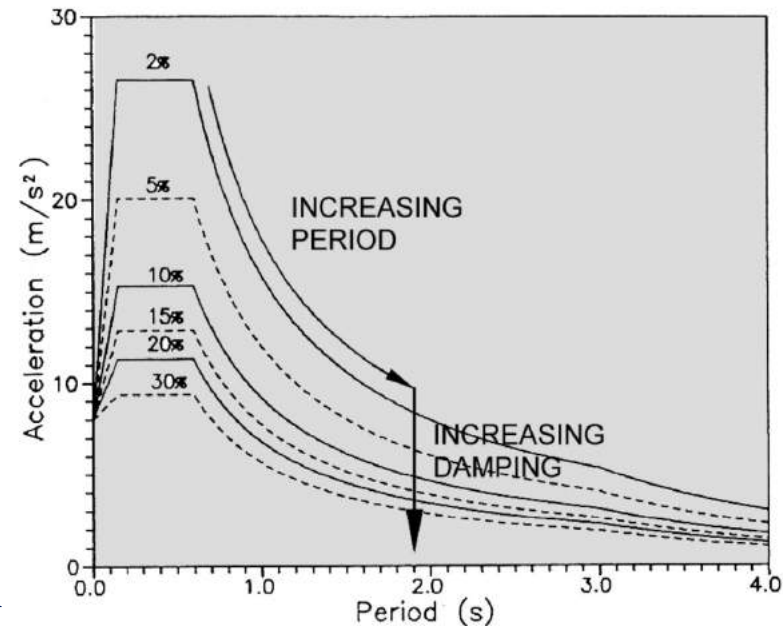
*Spettro di risposta per un determinato sito ed un particolare tipo di terreno, in  
funzione dello smorzamento sismico*

A partire dallo spettro  
di risposta e' facile  
capire cosa poter fare  
per poter aumentare la  
capacita' sismica della  
struttura

**FORTE RIDUZIONE DELLA  
SOLLECITAZIONE SISMICA  
MEDIANTE:**

**Incremento del periodo proprio**

**Aumento dello smorzamento**



## Metodi di progettazione antisismica

Progettazione tecnologicamente avanzata ovvero riduzione della sollecitazione sismica tramite tecnologie di isolamento e smorzamento

- ⇒ La stabilità è ottenuta riducendo la risposta sismica
- ⇒ L'energia sismica e' in grandissima parte dissipata o trasformata in energia cinetica
- ⇒ Eventuali danni sono concentrati nei dispositivi mentre la struttura ed il suo contenuto sono protetti dai danni



# Isolamento sismico. Vantaggi

**Riduzione domanda:**

- Abbattimento delle forze di inerzia e quindi delle sollecitazioni
- Riduzione degli spostamenti di interpiano

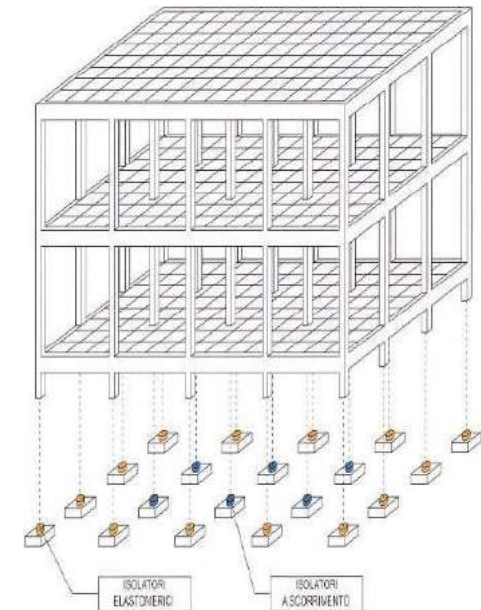
**Danno e funzionalità:**

- No danni a elementi strutturali e non strutturali
- Elevata protezione del contenuto
- No interruzione d'uso (funzionalità post sisma)
- Ridotta percezione del sisma da parte degli occupanti

**Costi:** Maggiori costi iniziali compensati da assenza di costi di riparazione e manutenzione

**Vantaggi accessori:**

- Eliminazione possibili effetti da cause torsionali
- Possibilità di svincolarsi dalla regolarità = maggiore libertà compositiva  
(comportamento da corpo rigido della sovrastruttura)



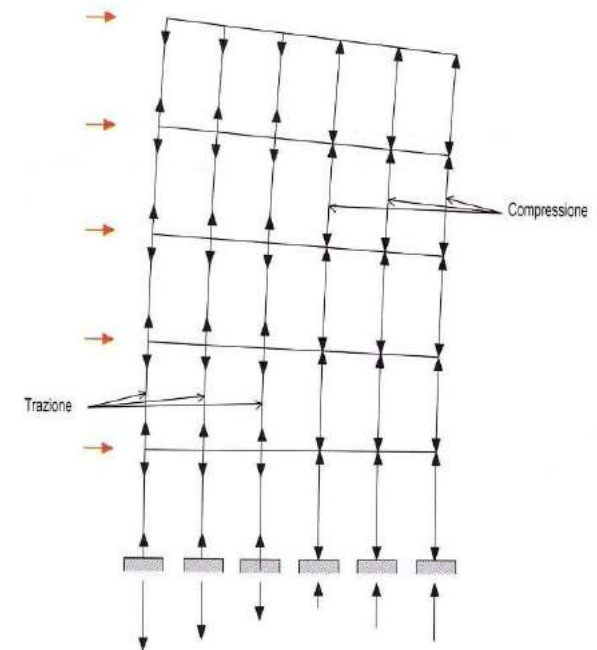
# Quando conviene impiegare l'isolamento sismico ?

Efficacia sistema di isolamento sismico funzione del rapporto di isolamento:  $T_{BI}/T_{BF} = 3 \div$

con  $T_{BI} < 3s$  Verifica iniziale: stima di  $T_{BF}$  (efficacia SI diminuisce all'aumentare di  $T_{BF}$ )

## Condizionamenti strutturali

- **da dimensioni geometriche e sistema resistente.** Edifici medio bassi. Schemi a telaio fino a 8÷10 piani; schemi con pareti di taglio fino a 12÷15 piani.
- **da azioni parassite (trazioni).** Trazioni in combinazione sismica per  $H/B$  elevati. Trazioni da dettagli strutturali: scale con travi a ginocchio, sistemi misti telaio-parete accoppiati con travi rigide, sistemi a telaio con campate a luce assai diversa con travi rigide, ecc.
- **da azioni non sismiche.** Adeguata rigidezza contro azioni orizzontali non sismiche (frequente attivazione in esercizio). Carichi laterali di servizio  $\leq 5\%W$



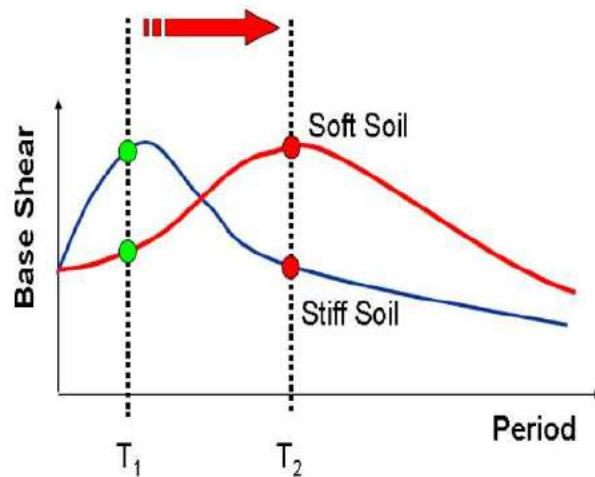
# Quando conviene impiegare l'isolamento sismico ?

## Condizionamenti di sito

- Convenienza economica si riduce al ridursi della pericolosità sismica ed alla Classe d'uso

## Condizionamenti geotecnici

- Caratteristiche geotecniche locali del suolo (accoppiamento periodo dominante suolo-struttura).
- Ridotta efficacia in condizioni "near fault" (elevate componenti verticali, elevati spostamenti orizzontali)



## Condizionamenti costruttivi

- Realizzazione adeguato giunto sismico perimentrale
- Tubazioni flessibili di accomodamento spostamenti relativi sovra sotto struttura
- Accessi per ispezioni, manutenzione, sostituzione dispositivi

## CONDITIO SINE QUA NON

**Sovrastruttura rigida:  $T_{bf} \ll T_{is}$**

La sovrastruttura non deve amplificare le azioni trasmesse attraverso il sistema di isolamento

**Terreno non molto soffice (ossia con T elevato)**

Il suolo non deve amplificare le componenti con T vicini a  $T_{is}$

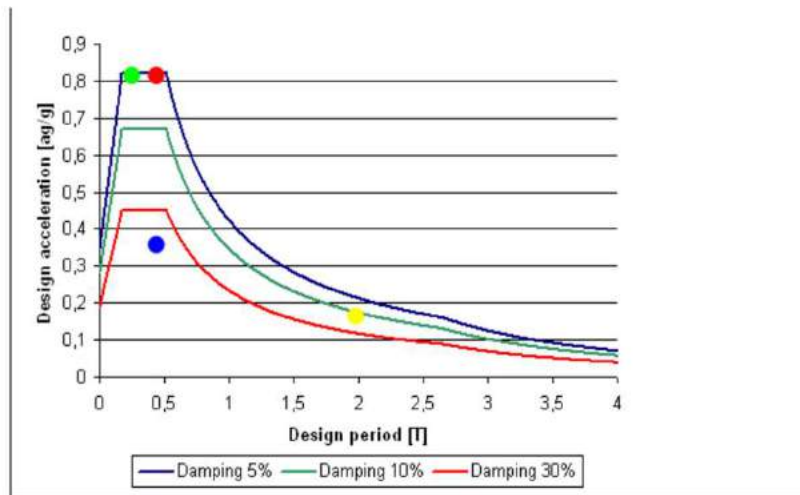
**Giunti laterali realizzabili (per consentire gli spostamenti dovuti al sistema di isolamento)**

Rispettare la compatibilità con le strutture adiacenti

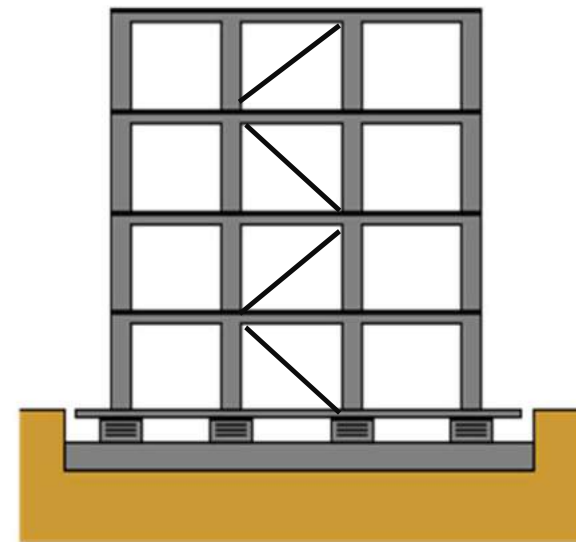
**In alternativa si possono utilizzare sistemi di dissipazione dell'energia**



## Tipologie di Dispositivi Antisismici in base alle loro prestazioni (in base alla EN 15129)



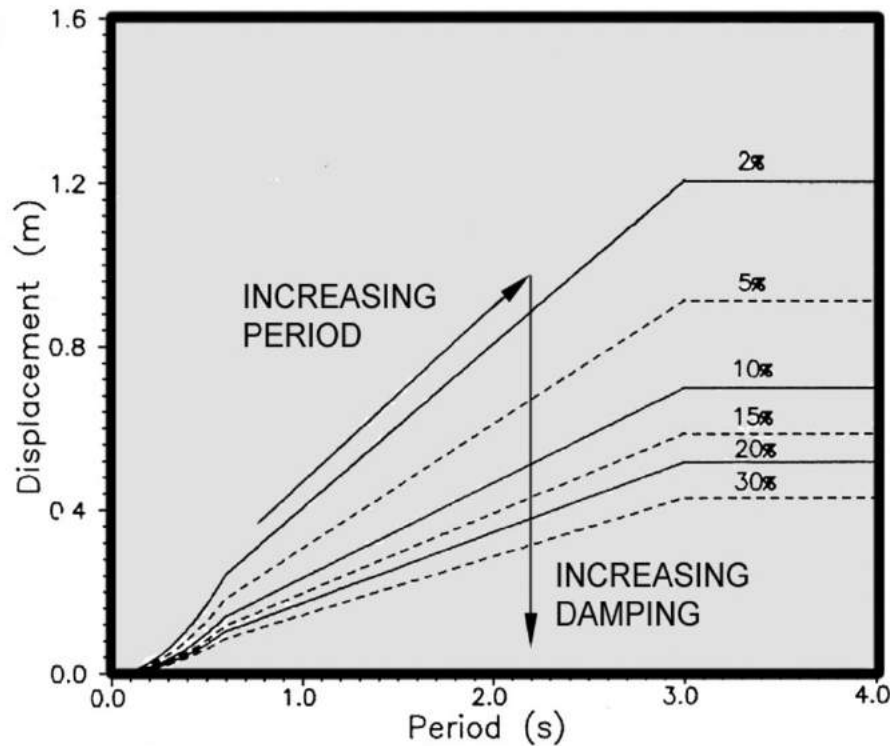
- Situation of the ordinary structure
- Apply of a structural reinforcement system
- Apply of a brace reinforcement system
- Apply of an isolation system



(a)

I dispositivi possono o essere inseriti alla base della struttura combinandi dissipazione e isolamento o all'interno della struttura come dissipatori semplici

## Conseguenza da gestire per aver inserito un sistema tecnologicamente avanzato per la protezione sismica della struttura

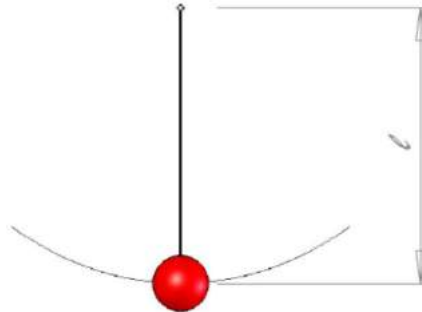


A causa dell'inserimento di sistemi elastici si creano, localmente, spostamenti locali elevati mentre con lo smorzamento e' comunque possibile limitarli

## Strategie per la riduzione dell'azione sismica

Per aumentare il periodo e' necessario inserire fra la struttura e le fondazioni un oscillatore che forzi la struttura ad oscillare prevalentemente secondo il periodo proprio dell'oscillatore stesso

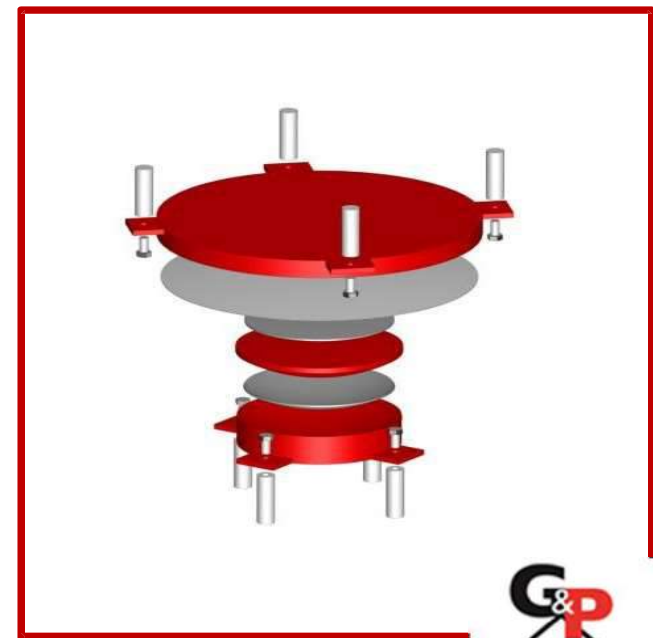
- Pendolo di lunghezza **!**



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

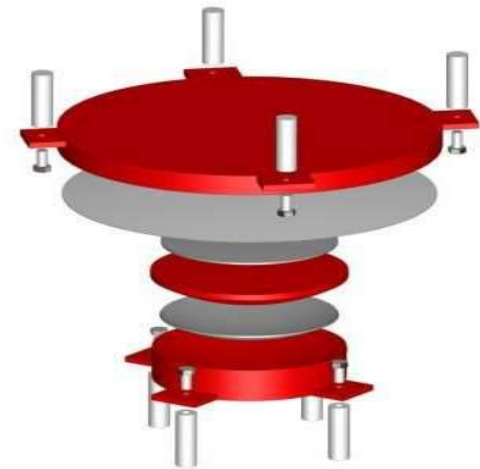
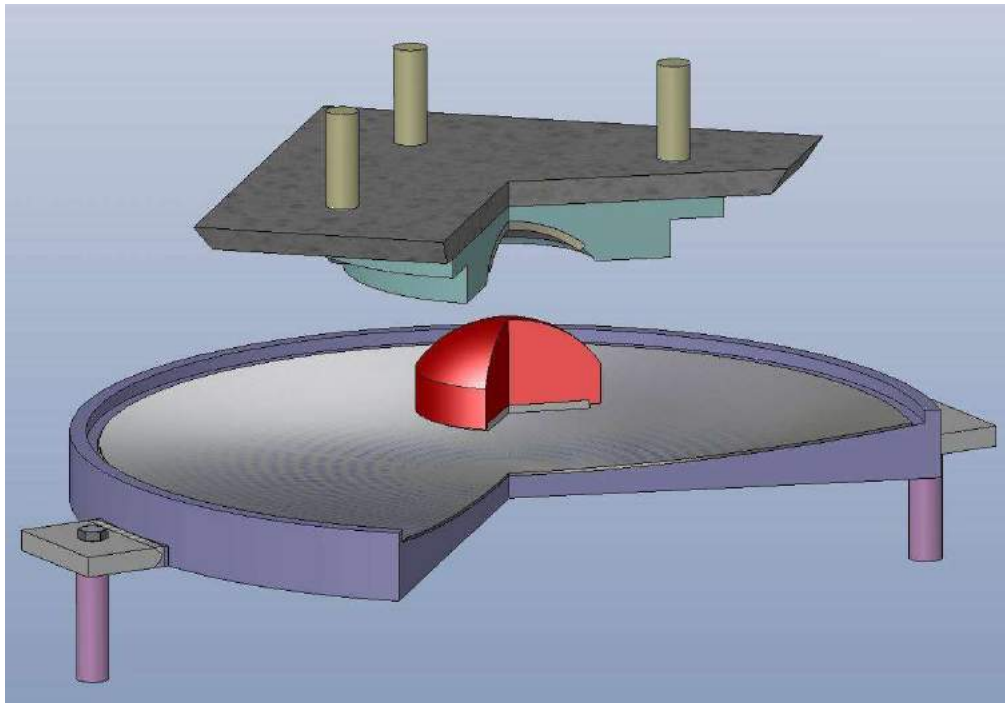
## I principali tipi di isolatori sismici

- Isolatori a pendolo scorrevole
  - L'effetto molla è dato dall'accumulo di energia potenziale
  - La dissipazione di energia è data dall'attrito del materiale di scorrimento

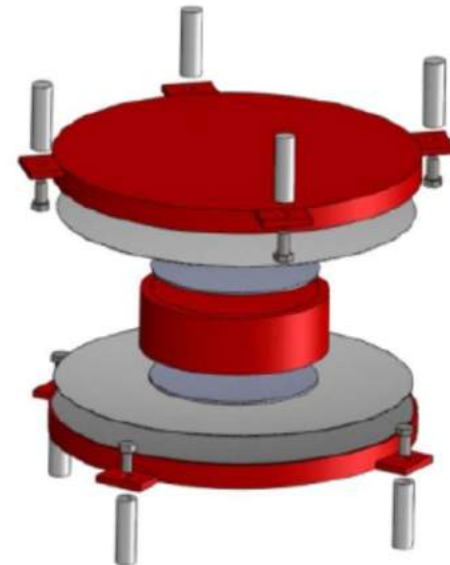
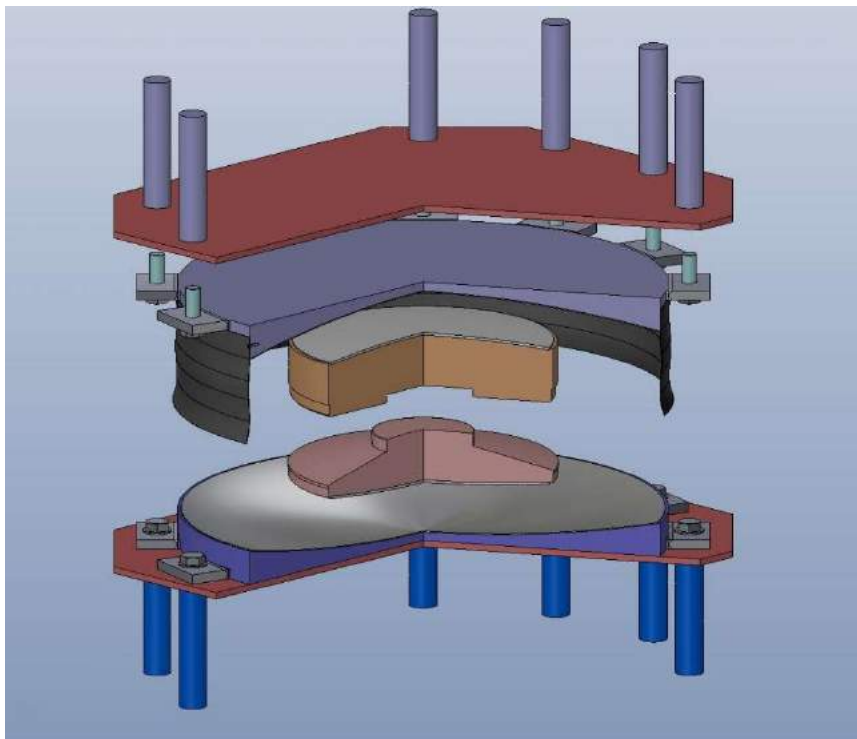




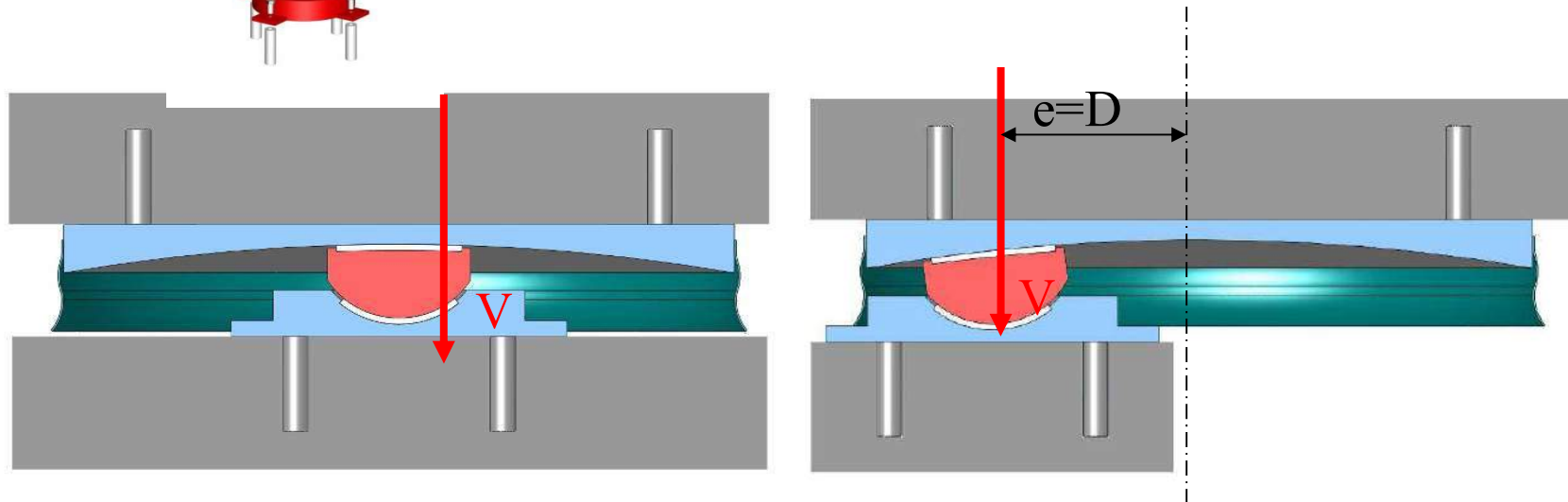
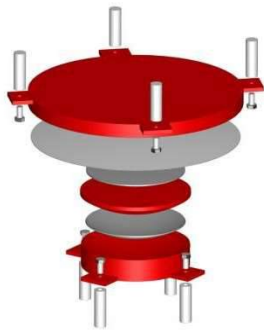
# Isolatori a pendolo scorrevole ad una superficie di scorrimento



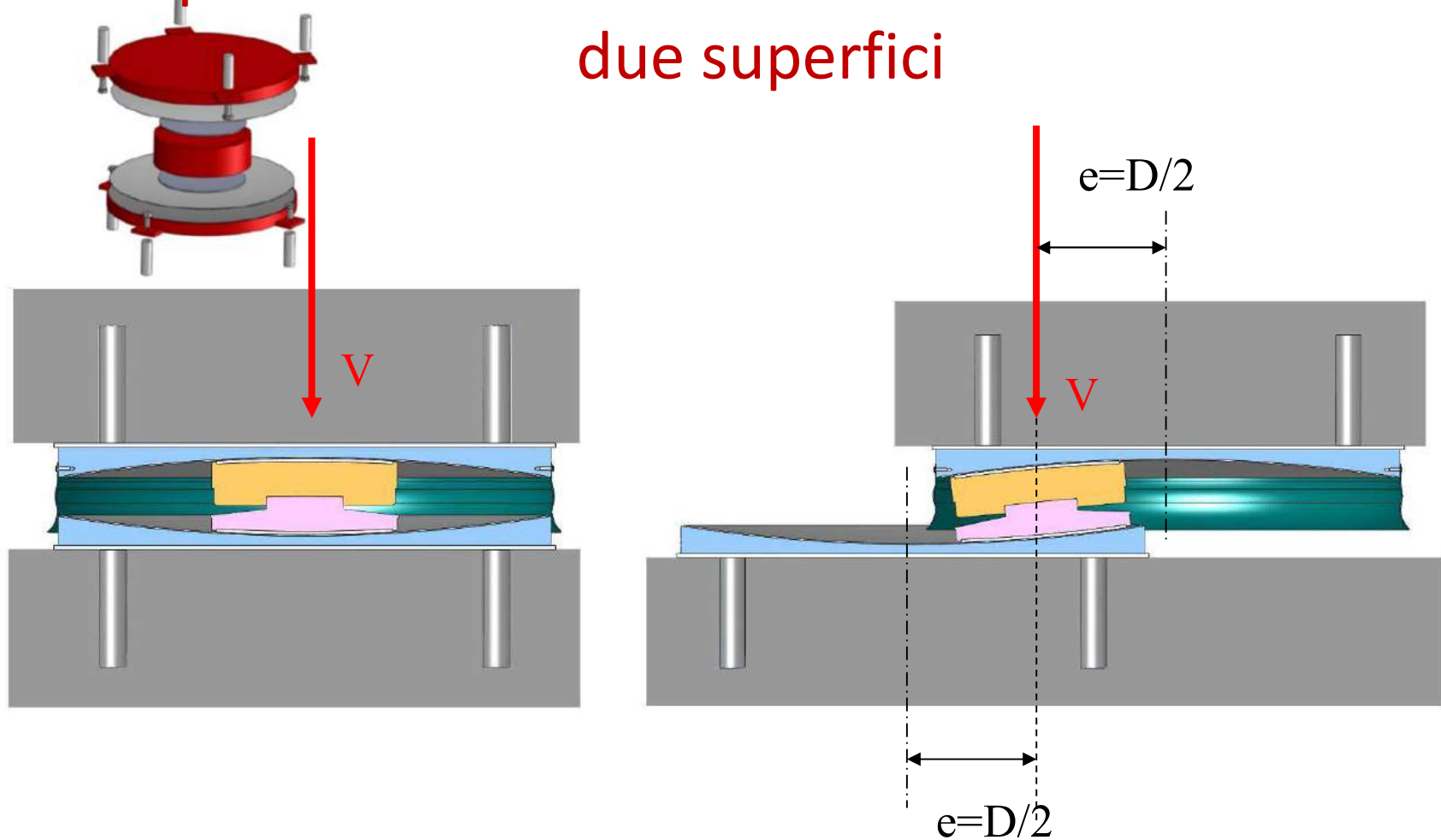
## Isolatori a pendolo scorrevole con due superfici di scorrimento



# Spostamento della risultante con isolatori ad una superficie sferica



# Spostamento della risultante con isolatori a due superfici





## Sono caratterizzati dalle seguenti proprietà peculiari:

- Permettono lo spostamento relativo della struttura rispetto alle fondazioni secondo una o due superfici sferiche
- Il raggio di curvatura della o delle superfici sferiche determina il periodo proprio di vibrazione della struttura
- Il periodo proprio è indipendente dalla massa della struttura
- L'attrito della superficie di scorrimento determina lo smorzamento viscoso equivalente
- Il baricentro delle masse coincide sempre col baricentro delle rigidezze



# Isolatori a pendolo scorrevole

## Modellazione matematica

- $\mu$  Coefficiente di attrito dinamico
- $W$  Carico verticale
- $R$  raggio di curvatura della o delle superfici di scorrimento
- $V$  forza orizzontale
- $D$  spostamento di progetto ( $\mu \times R$ )
- $h$  distanza superfici di scorrimento/centro dell'articolazione (dispositivi a 2 superfici)

# Isolatori a pendolo scorrevole

## Modellazione matematica

Trascurando l'attrito si  
ottengono i  
seguenti valori

- $K = W/R$  rigidezza
- Per gli isolatori a una superficie
- Per gli isolatori a due superfici

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2(R-h)}{g}}$$



# Isolatori a pendolo scorrevole

## Modellazione matematica

Tenendo conto

dell'attrito si ottiene:

- Rigidezza  
effettiva

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

- Periodo  
effettivo

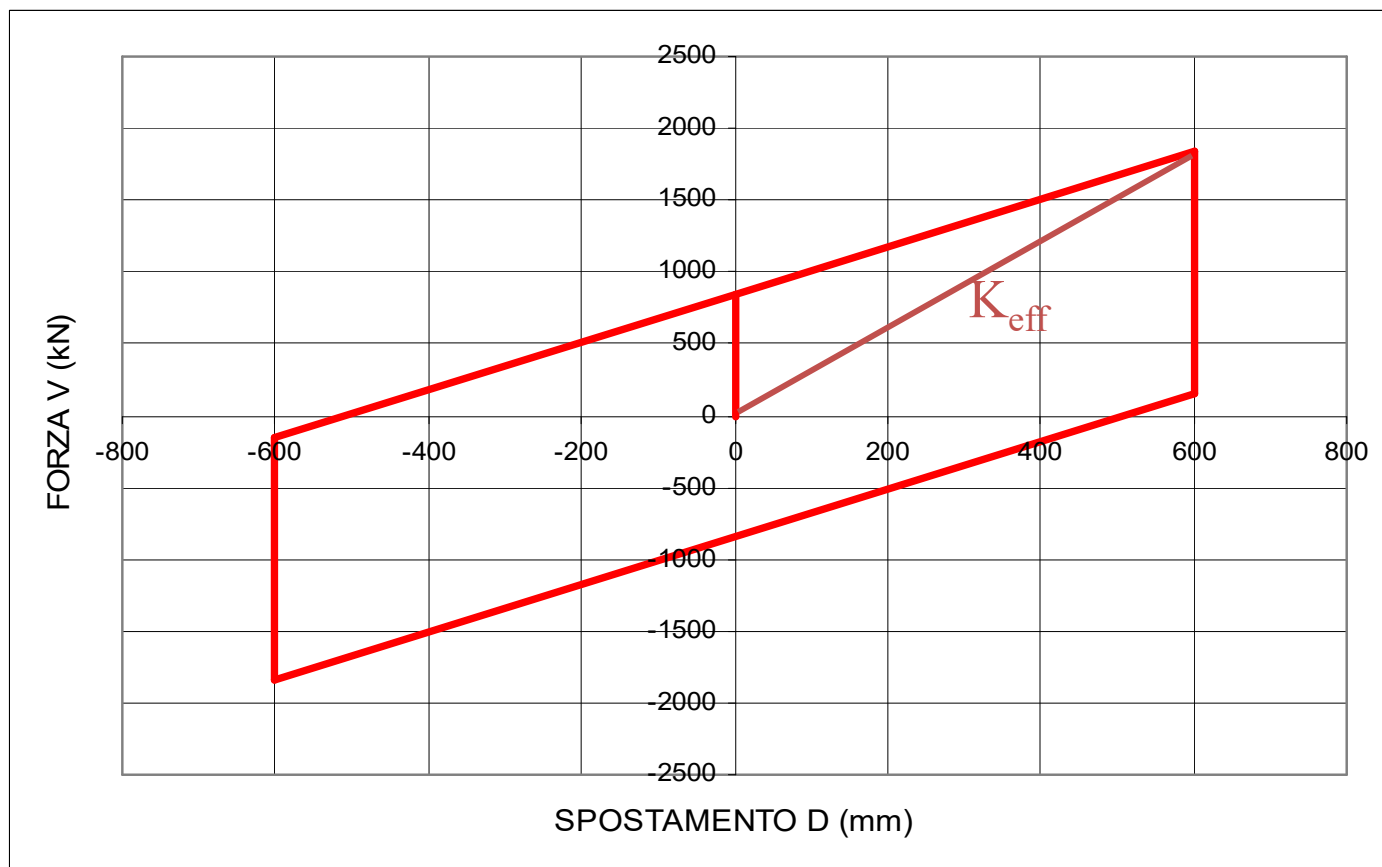
$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff}g}} = 2\pi \sqrt{\frac{RD}{(D + \mu R)g}}$$

- Smorzamento

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

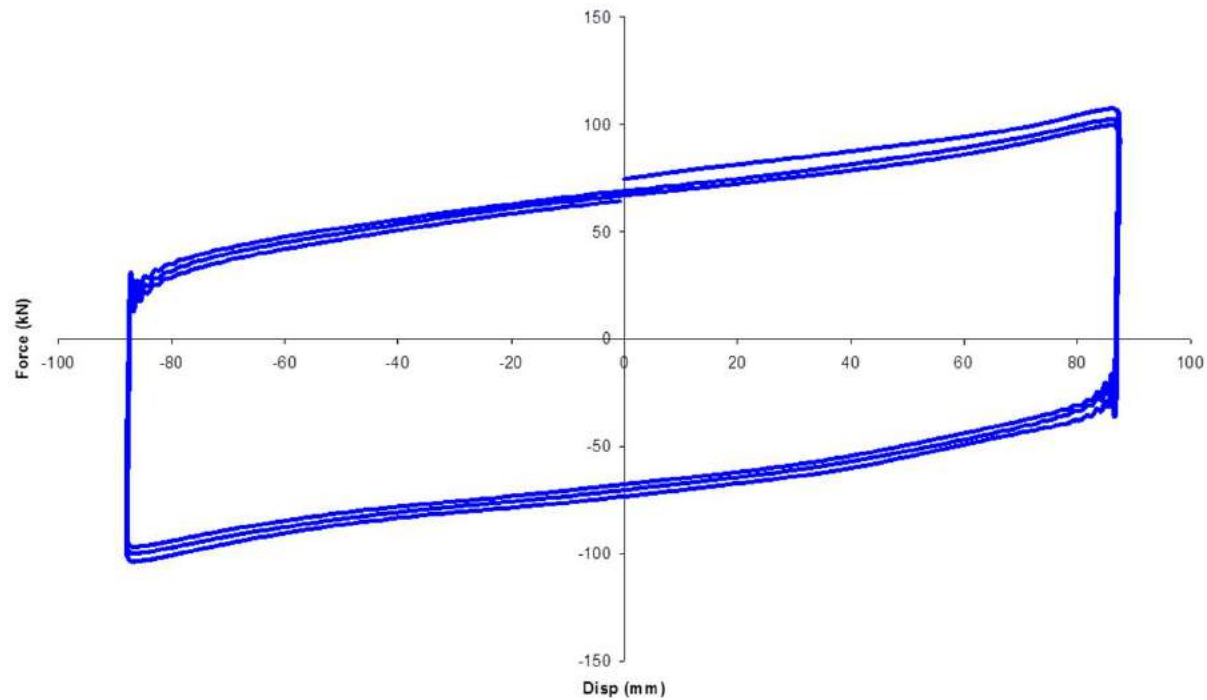
# Isolatori a pendolo Hislide

## Modellazione matematica



# Prove dinamiche su un isolatore HISLIDE

## Diagramma forza-spostamento



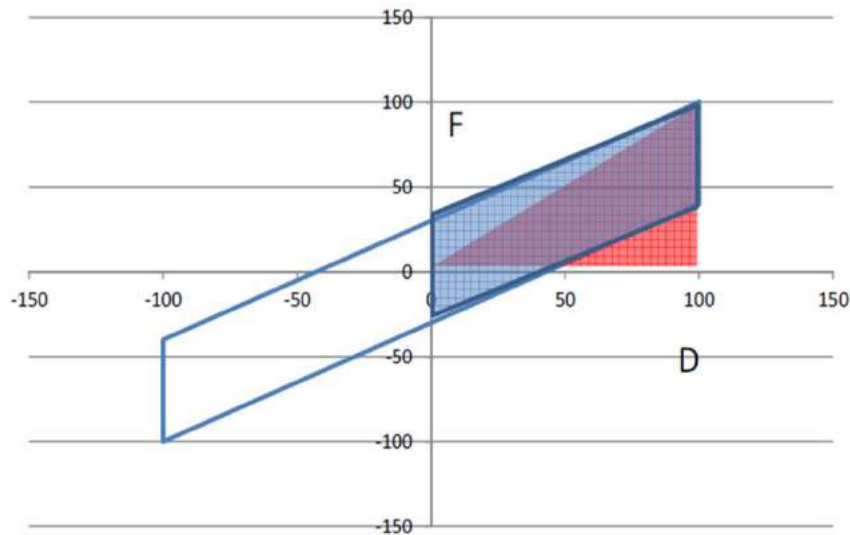
## Ricentraggio EN 15129

$$E_s \geq 0,25E_h$$

DOVE:

$E_s$  è l'energia immagazzinata in forma reversibile o elastica

$E_H$  è l'energia dissipata in forma isteretica



$$E_s = \frac{FD}{2} = \frac{VD^2}{2R}$$

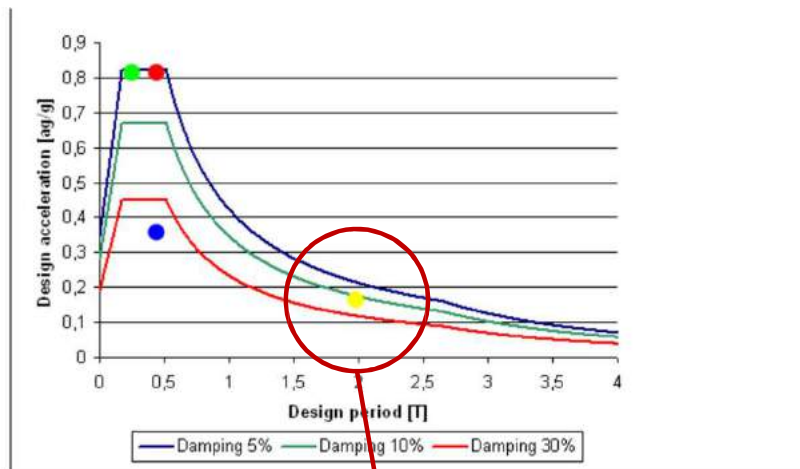
$$E_h = 2FD = 2\mu VD$$

La disuguaglianza:  $E_s \geq 0,25E_h$

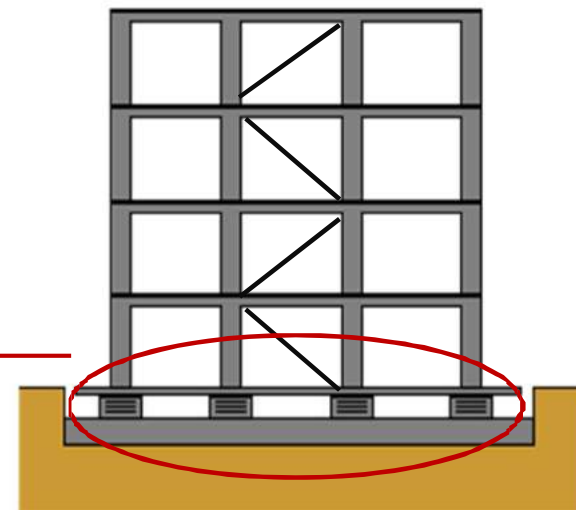
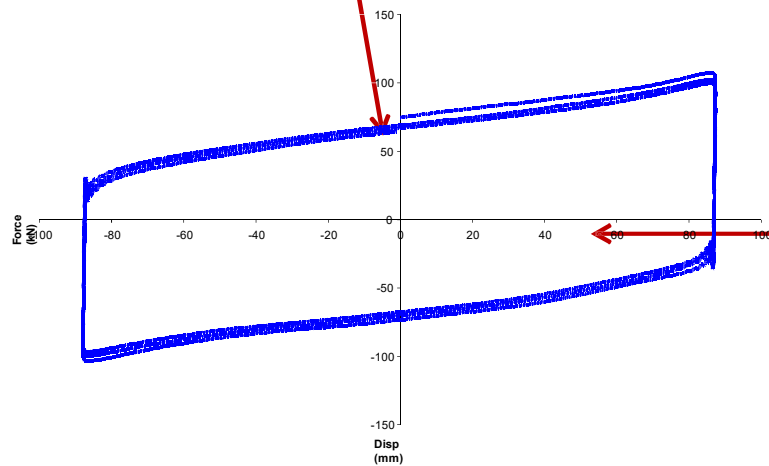
Equivale a:  $\mu \leq \frac{D}{R}$



# Comportamento dei dispositivi a pendolo scorrevole



- Situation of the originary structure
- Apply of a structural reinforcement system
- Apply of a brace reinforcement system
- Apply of an isolation system



(a)

## Movimenti indesiderati e ricentraggio

### Evitare o limitare azioni di trazione negli isolatori

- **Carico verticale  $V \geq 0$** 
  - ✓ a tal fine si può agire sugli interassi della maglia strutturale
- Se dall'analisi  $V < 0$ :
  - ✓ **isolatori elastomerici**: tensione di trazione  $< \min(2G, 1.0 \text{ MPa})$
  - ✓ **isolatori di altro tipo**: prove sperimentali a trazione oppure opportuni dispositivi in grado di assorbire integralmente la trazione

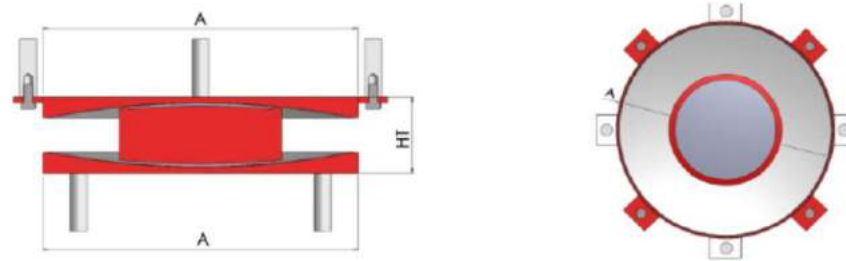
### Minimizzare le differenze di comportamento degli isolatori

- tensioni di compressione per quanto possibile uniformi

### Ricentraggio dei dispositivi

- **Vanno previsti adeguati sistemi di contrasto** per eliminare spostamenti residui incompatibili con la funzionalità dell'edificio e/o con il corretto comportamento del sistema d'isolamento

# HISLIDE HP2 a doppia superficie di scorrimento



$V_k$ kN	$V_d$ kN	D ± mm	A mm	HT mm
1000	1400	± 250	440	108
2000	2800	± 250	520	122
3000	4200	± 250	580	132
4000	5600	± 250	630	139
5000	7000	± 250	680	147
6000	8400	± 250	720	154
7000	9800	± 250	750	160
8000	11299	± 250	790	167
9000	12600	± 250	820	170
10000	14000	± 250	850	189
11000	15400	± 250	880	194
12000	16800	± 250	910	199
13000	18200	± 250	930	203
15000	21000	± 250	980	212
17500	24500	± 250	1040	220
20000	28000	± 250	1100	230
25000	35000	± 250	1200	247
30000	42000	± 250	1290	263
40000	56000	± 250	1440	289
50000	70000	± 250	1590	312
60000	84000	± 250	1710	334

## Posa in opera

- getto della sottostruttura fino ad un livello più basso di alcuni centimetri di quello degli isolatori, prevedendo fori di alloggiamento delle zanche di ancoraggio di diametro almeno doppio di quello delle stesse;
- posizionamento degli isolatori al livello di progetto con la superficie di scorrimento piane orizzontali e correttamente orientate secondo le indicazioni riportate sulla superficie superiore dell'isolatore;
- regolazione del livello altimetrico e della perfetta orizzontalità del dispositivo con impiego di cunei e viti di livellamento; l'errore massimo consentito sulla planarità deve essere inferiore a 0.003 radianti (0,3%) e comunque nel rispetto della EN 1337.
- costruzione di una cassaforma di dimensioni leggermente più grandi dell'isolatore e più alta di circa un centimetro del livello inferiore dello stesso;
- allettamento con malta epossidica o cementizia antiritiro, secondo indicazioni di progetto, per uno spessore consigliato tra i 2 e i 5 cm;
- approntamento della cassaforma superiore che deve adattarsi con assoluta precisione alla piastra superiore dell'isolatore;
- posizionamento dell'armatura lenta della sovrastruttura ed esecuzione del getto in c.a.





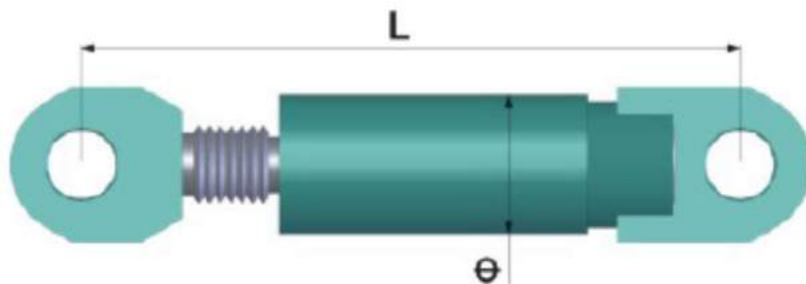
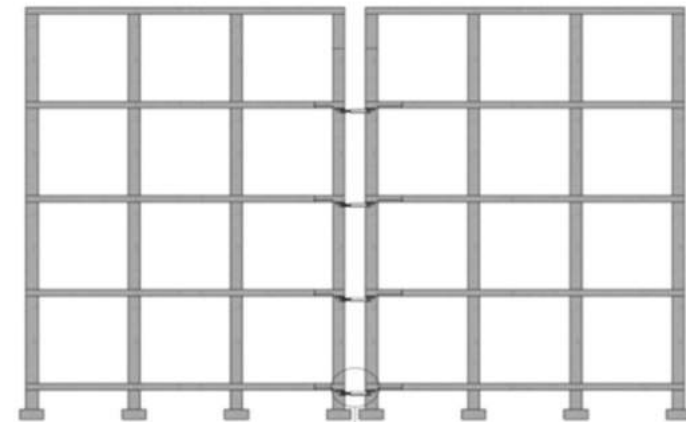


## Esempi di installazione



## LUD (Lock-up device) per giunti strutturali

- Uno dei problemi più diffusi tra gli edifici in caso di sisma è il martellamento, ovvero il movimento asincrono che due edifici limitrofi possono avere in caso di terremoto.
- La normativa impone per tutte le costruzioni un giunto strutturale con determinate larghezze, oppure vi sono dispositivi tipo LUD.

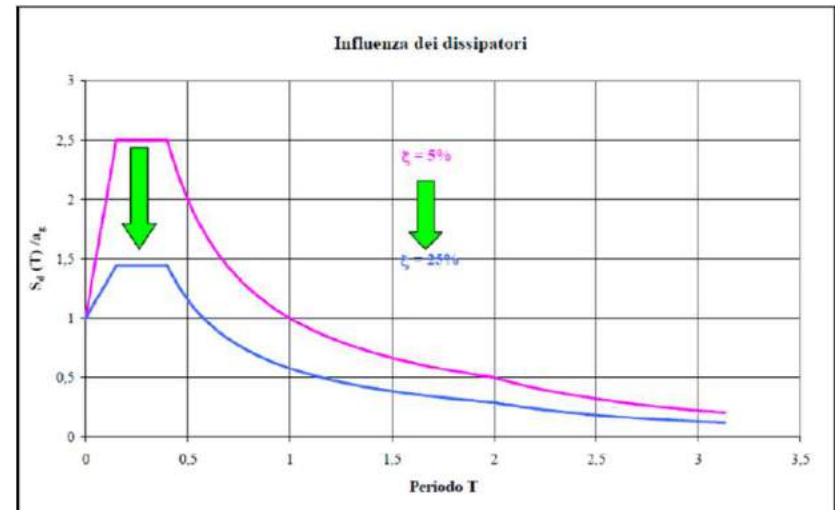


## Esempio applicativo LUD



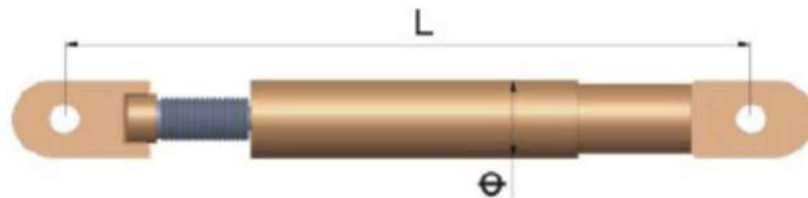
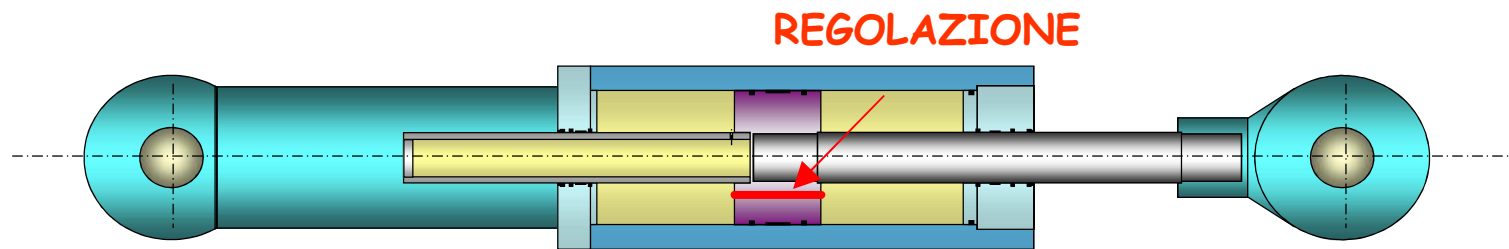
## Dissipazione dell'energia sismica VDD

- L'uso di controventi dissipativi con dispositivi elastoplastici nelle pareti di un edificio è molto utilizzato nell'adeguamento sismico in quanto è molto efficace ed economico anche su strutture in muratura esistenti.
- Ha due svantaggi:
  - Sostituzione, se necessario, del dispositivo dopo un sisma
  - A volte sussistono problemi architettonici causa presenza di finestre e/o porte.





## Principio di funzionamento VDD



HIRUN può produrre  
valvole per qualsiasi  
esponente  $\alpha$  da 0 a 2

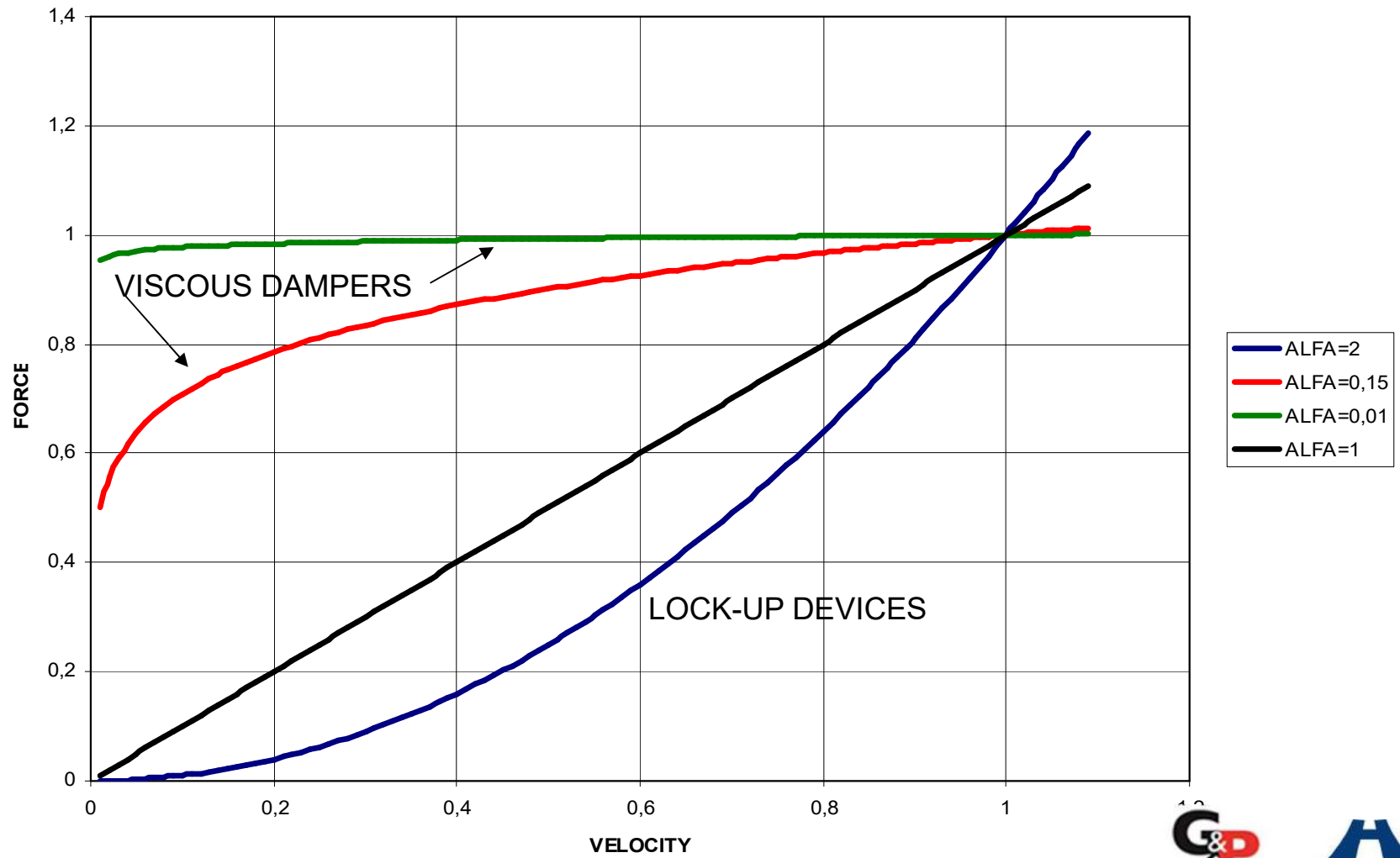
## Dispositivi idraulici VDD

- La forza  $F$  generata da questi dispositivi può essere descritta dall'equazione

$$F = C \cdot V^{\alpha}$$

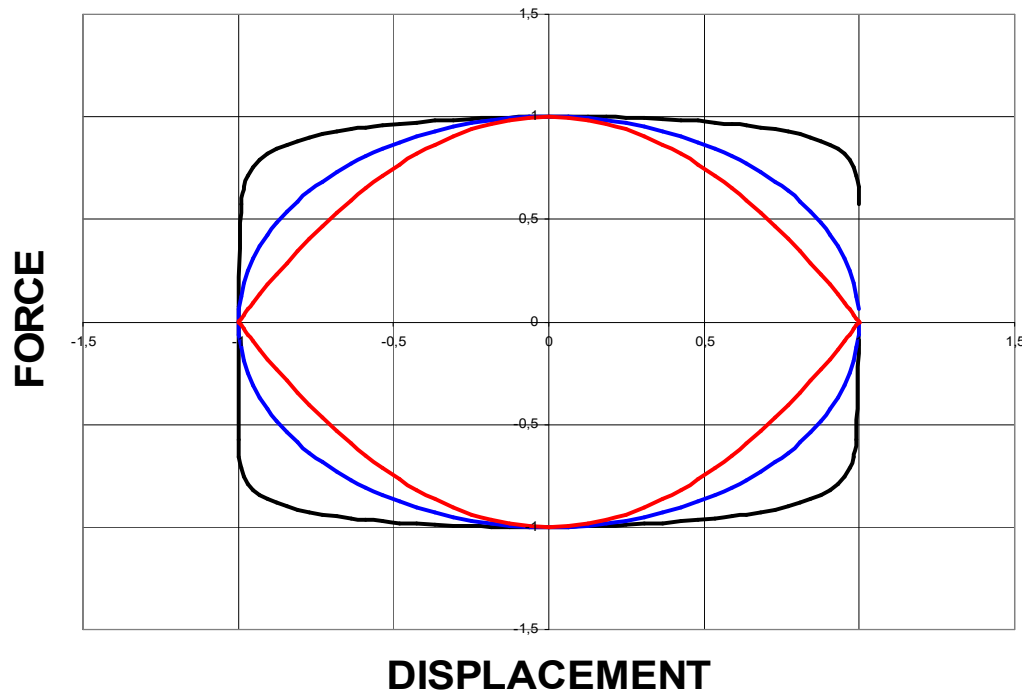
- Dove  $C$  è una costante
- $V$  è la velocità applicata al pistone
- $\alpha$  è un esponente che può variare da 0 a 2 a seconda del circuito idraulico

# Leggi costitutive di dispositivi idraulici



## Dispositivi idraulici

• Diagrammi forza-spostamento per dispositivi con differenti valori di  $\alpha$  con velocità impressa sinusoidale:



- $\alpha=2$  (in rosso) per accoppiatori idraulici
- $\alpha=0,1$  (in nero) per smorzatori viscosi. In questo caso l'energia dissipata per ciclo è massimizzata



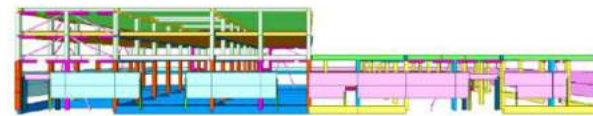
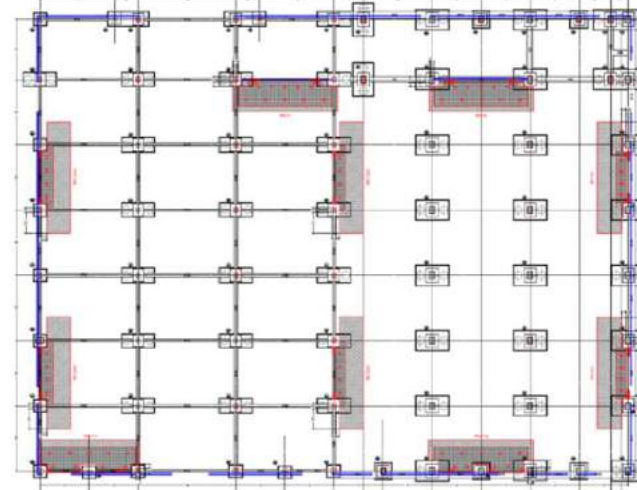
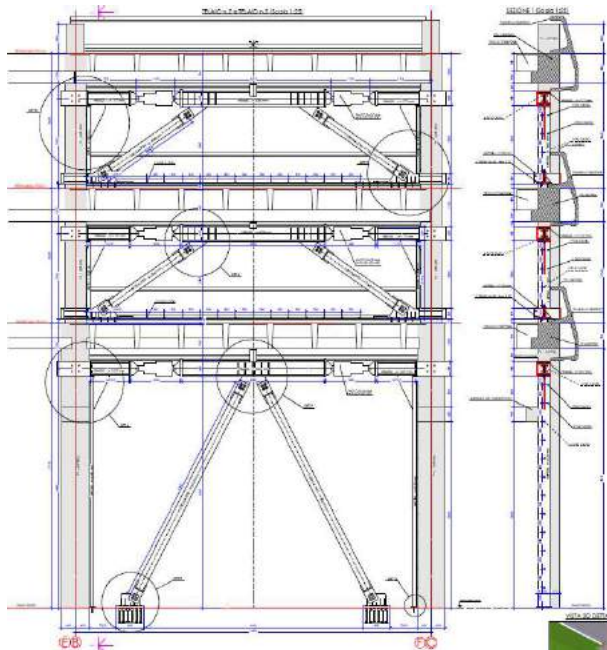
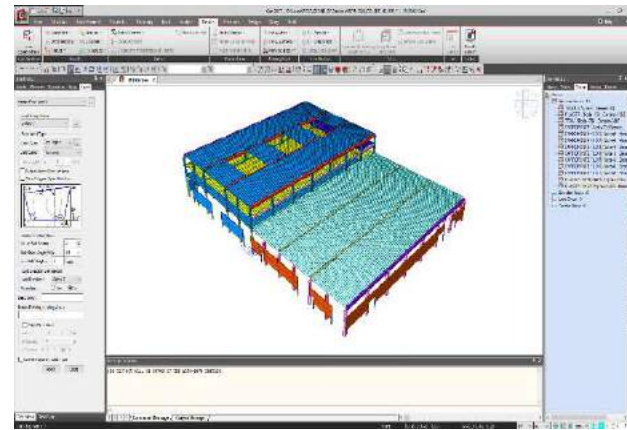
## Accoppiatori Idraulici

- La scelta di un esponente  $\alpha=2$ :
  - ⇒ Minimizza la reazione del dispositivo per effetti lenti (ritiro, fluage ed effetti termici)
  - ⇒ Massimizza la reazione del dispositivo per effetti dinamici (frenatura e terremoto)

## Ammortizzatori Viscosi VDD (Viscous Dampers)

- La scelta di un esponente  $\alpha$  circa = 0:
  - ⇒ Permette i movimenti lenti (fluage, ritiro ed effetti termici) con reazione trascurabile
  - ⇒ Rende massima la dissipazione di energia per azioni dinamiche (terremoto)

# Sistemi dissipativi VSD per edifici industriali – Pescara



Le prove di laboratorio necessarie per la fornitura di dispositivi di isolamento e di dissipazione

**Le normative vigenti che regolano le prove da effettuare sui vari dispositivi sono:**

***Normativa italiana: NTC2008/18***

***Normativa europea: EN15129***

**Dalla comune interpretazione di tali norme si evince:**

- **Tutti i dispositivi forniti devono essere marcati CE e pertanto le prove di qualificazione devono essere rigorosamente conformi in quantita' e numero alla norma EN15129**
- **Tutti i dispositivi devono essere conformi alle norme vigenti sul territorio nazionale che, nell'ottica di garantire la qualita' delle opere realizzate, governa il quantitativo di prove di accettazione da eseguire.**

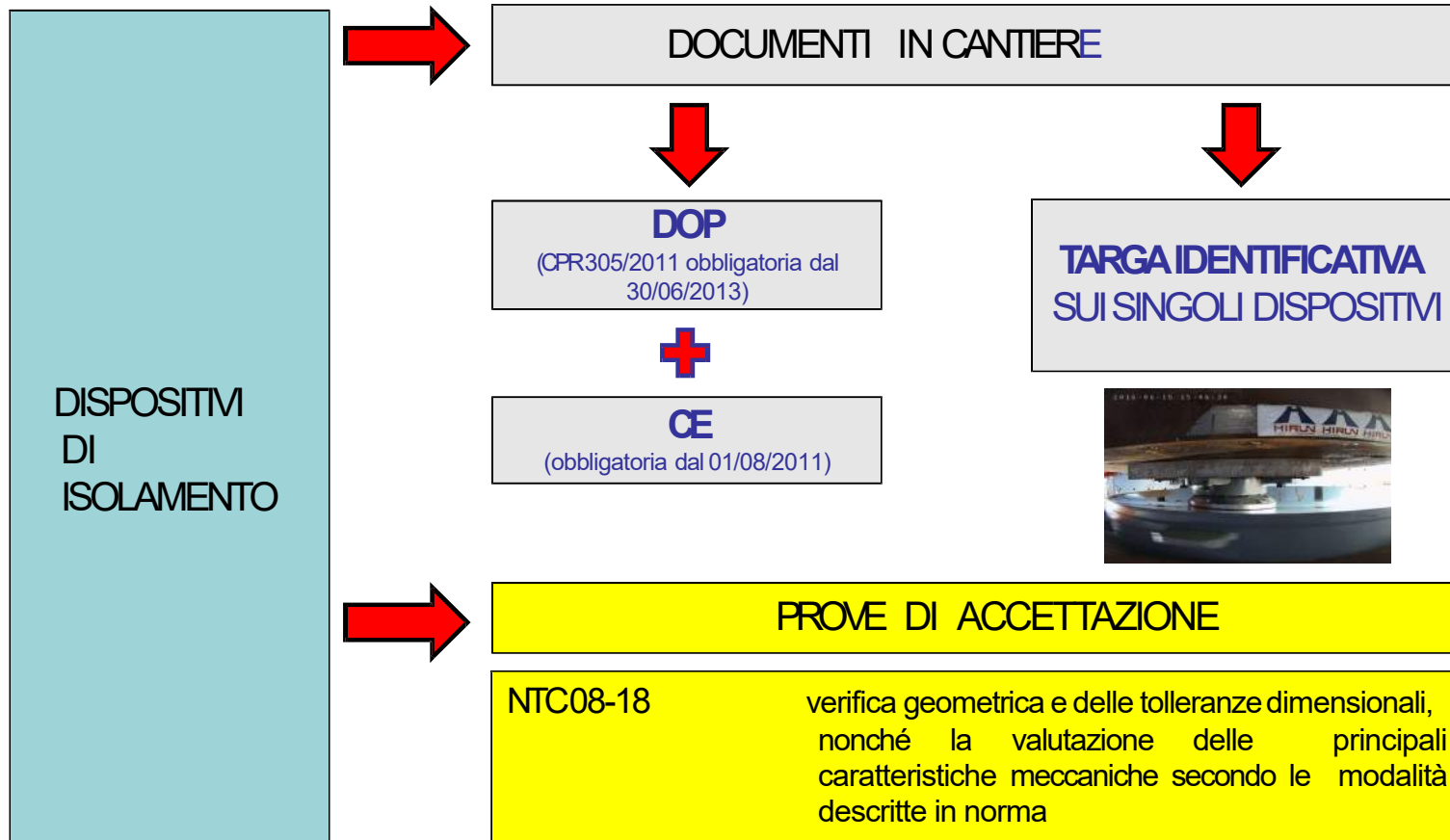


## Le prove di laboratorio necessarie per la fornitura di dispositivi di isolamento e di dissipazione

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

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

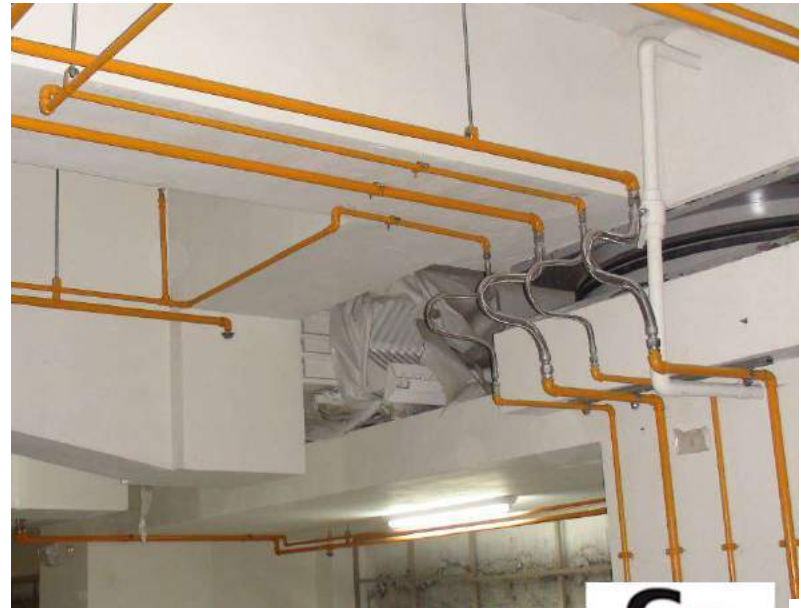
**Prove di accettazione per ogni fornitura**



## Dettagli costruttivi



- protezione al fuoco
- passaggio cavi
- copri-fenditura





**Grazie per l'attenzione!**



[info@gpintech.com](mailto:info@gpintech.com)  
**WWW.GPINTECH.COM**