



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA



ordine degli **architetti**
pianificatori paesaggisti conservatori
della provincia di **caserta**



Seminario

Interventi di rinforzo strutturale con sistemi FRP, FRCM e CRM, le certificazioni CVT e le nuove certificazioni ETA CE

11 Novembre 2025

Grand Hotel Vanvitelli, Viale Carlo III - 81100 Caserta

IMPIEGO DEI MATERIALI COMPOSITI NEL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE: EVOLUZIONE STORICA E SVILUPPI FUTURI

Prof. Ing. Antonio Formisano



Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base, Università di Napoli Federico II



INTRODUZIONE

PRINCIPALI VULNERABILITA' STRUTTURALI

- Edifici in muratura
- Edifici in calcestruzzo armato

TECNICHE DI RETROFIT STRUTTURALE

I MATERIALI COMPOSITI

- Definizione dei materiali compositi
- Evoluzione storica dei materiali compositi

CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

- Sistemi FRP e FRCM per il consolidamento di strutture in muratura
- Sistemi FRP per il consolidamento di strutture in c.a.

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

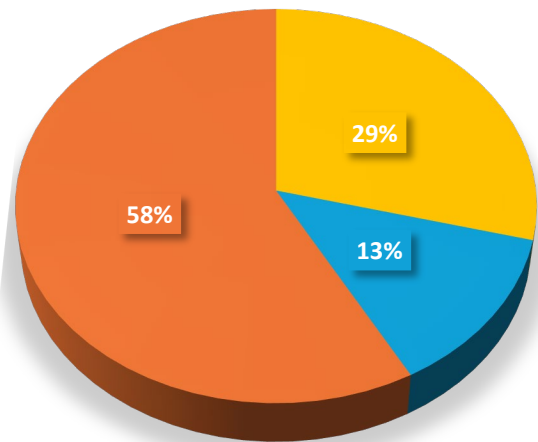
- L'uso di fibre naturali per sistemi compositi

CONCLUSIONI

TIPOLOGIE STRUTTURALI

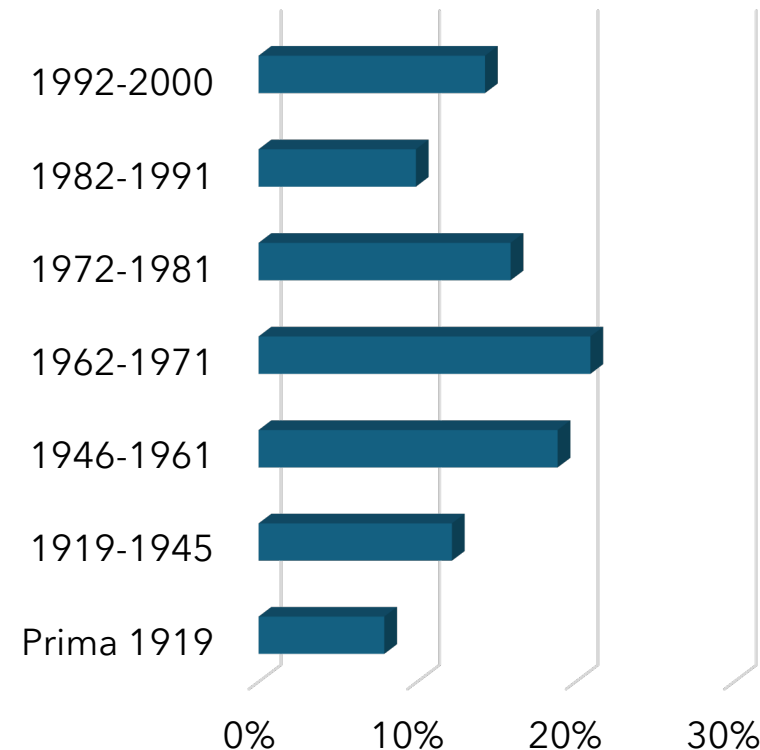
Il 15° Censimento ISTAT della popolazione e delle abitazioni individua 3 tipologie costruttive che caratterizzano il patrimonio edilizio esistente:

- **Muratura portante**
- **Calcestruzzo armato**
- **Altri materiali (Acciaio, legno)**



EPOCA DI COSTRUZIONE

Gran parte degli edifici esistenti è stata realizzata prima degli anni '80 del XX secolo

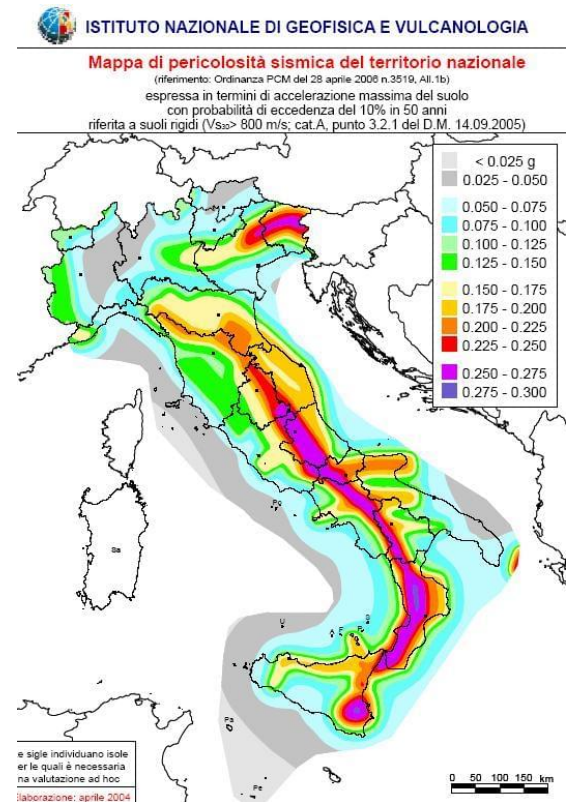


1974 → prima normativa sismica applicata su scala nazionale alle zone sismiche
2003 → estensione della classificazione sismica a tutto il territorio nazionale



CRITERI PROGETTAZIONE

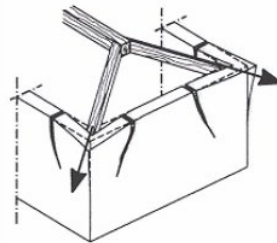
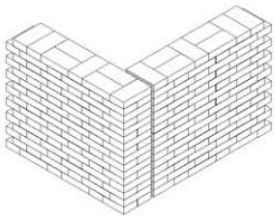
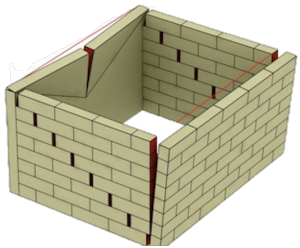
La maggior parte di edifici è stata progettata per soli carichi verticali, senza considerare le azioni sismiche



Una larga percentuale degli edifici esistenti si trova nelle zone a sismicità più elevata (dorsale appenninica)

EDIFICI IN MURATURA

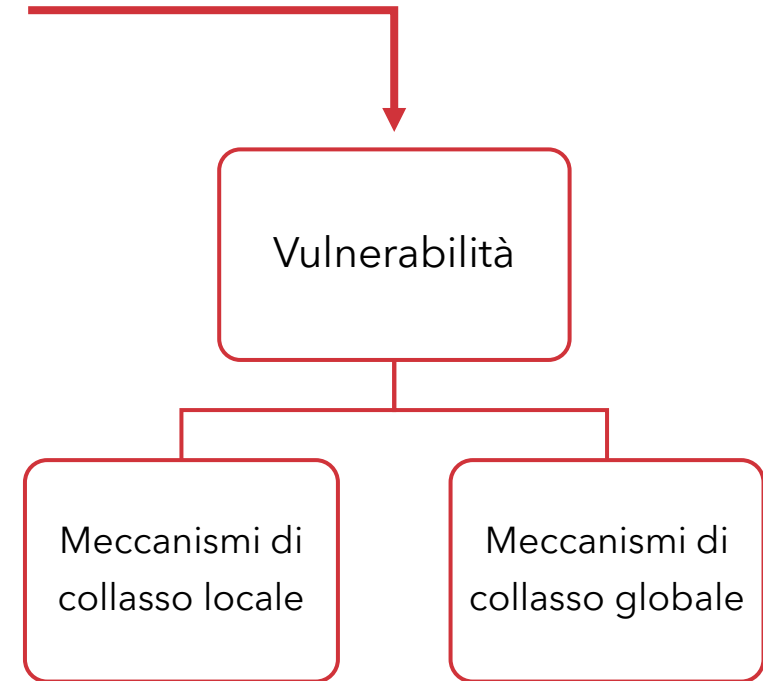
- ❑ Scarsa qualità muraria
- ❑ Paramenti murari di elevato spessore non connessi
- ❑ Scarsa attenzione alla realizzazione di dettagli costruttivi
- ❑ Assenza di ammorsamenti
- ❑ Pochi incatenamenti
- ❑ Appoggi travi insufficienti
- ❑ Carichi elevati
- ❑ Spinte di volte ed archi non contrastate
- ❑ Coperture spingenti



Assenza di comportamento scatolare

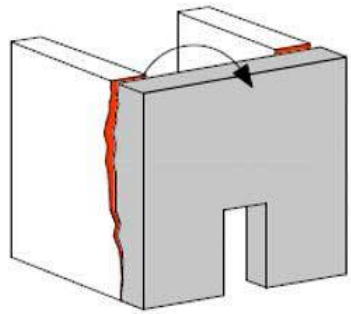


L'edificio non è in grado di comportarsi come un unico insieme di sistemi strutturali orizzontali e verticali, collegati tra loro, capaci di sopportare le sollecitazioni provenienti da eventi sismici.



EDIFICI IN MURATURA

MECCANISMI LOCALI



Meccanismi fuori piano - I modo

Meccanismi di primo modo
Cinematismi fuori piano di singole pareti o di porzioni di struttura.
Fenomeni di ribaltamento e flessione che portano a collasso la struttura per perdita di equilibrio.

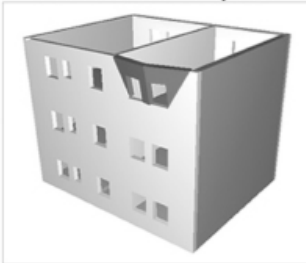
Ribaltamento semplice di parete



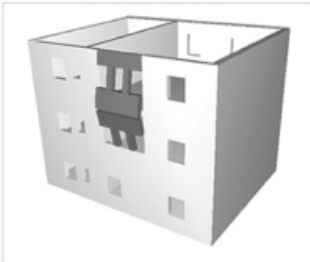
Ribaltamento composto di parete



Flessione orizzontale di parete



Flessione verticale



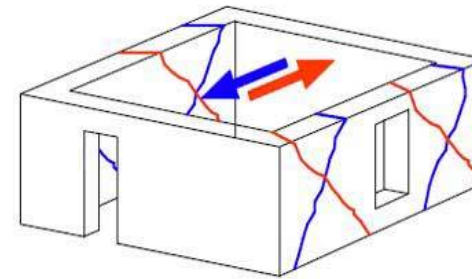
Ribaltamento del cantonale



Sfondamento del timpano



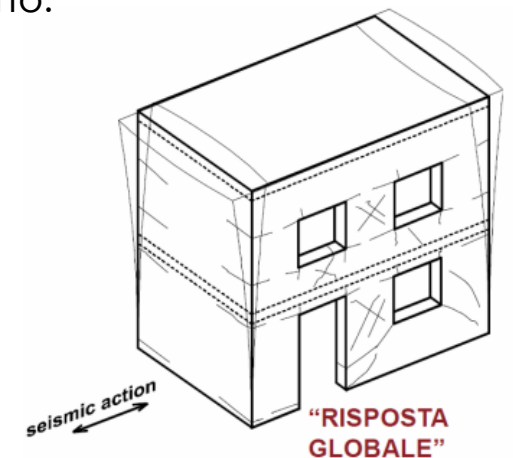
MECCANISMI GLOBALI



Meccanismi nel piano - II modo

Meccanismi di secondo modo
Risposta della parete nel proprio piano, con tipici **danneggiamenti per taglio e presso-flessione**.
Tali cinematismi si attivano in strutture in grado di sviluppare una risposta globale alla sollecitazione sismica ovvero quando sono impediti i meccanismi di collasso locali fuori dal piano.

Il **buon ammortamento** delle pareti e l'efficace vincolo tra pareti e orizzontamenti scongiurano fenomeni di ribaltamento e flessione fuori del piano.



EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO

MECCANISMI LOCALI

Dipendono dal singolo elemento e possono non inficiare il comportamento globale se interessano solo una piccola aliquota di elementi

Meccanismi duttili = tipicamente flessionali

Meccanismi fragili = tipicamente a taglio

- Eccessivo interasse tra le staffe
- Ancoraggio insufficiente delle barre longitudinali o delle staffe
- Presenza di barre di armatura lisce
- Calcestruzzi scadenti
- Assenza o insufficienza di armatura trasversale nel nodo
- **Influenza di elementi non strutturali: tamponature**

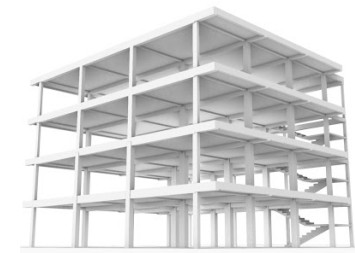
MECCANISMI GLOBALI

Interessano la struttura nel suo complesso e inficiano la resistenza di tutta la struttura, pur non coinvolgendo necessariamente tutti gli elementi

Meccanismi duttili = trave debole - pilastro forte

Meccanismi fragili = trave forte - pilastro debole

- Eccessive variazioni di rigidezza e resistenza in elevazione
- Irregolarità in pianta
- Presenza di elementi strutturali rigidi eccentrici
- Assenza di telai nelle due direzioni principali



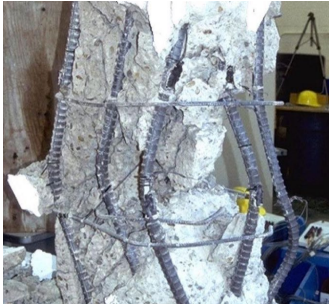
EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO

PILASTRI

Compressione



Pressoflessione



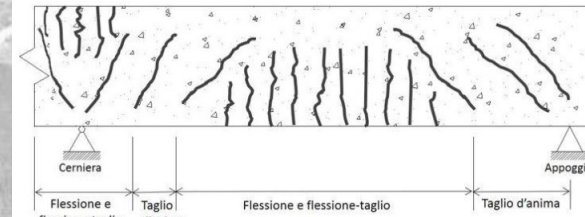
Taglio



Flessione



TRAVI

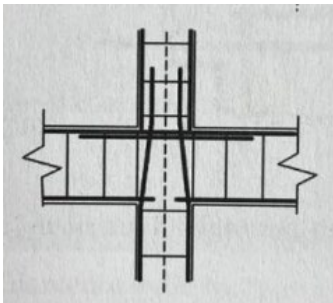


Taglio



NODI

Interruzione armature longitudinali inferiori delle travi (pull-out)



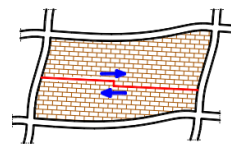
Assenza o insufficienza di staffe



Rottura fragile

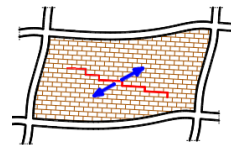
Instabilità barre

TAMPONATURE

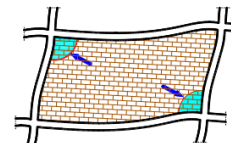


Nel piano

Scorrimento orizzontale

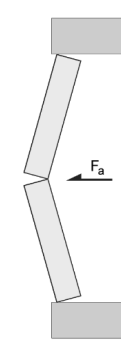


Trazione diagonale

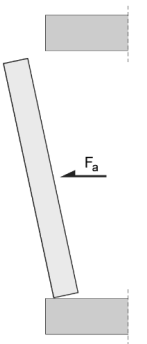


Schiacciamento

Fuori piano



Flessione verticale



Ribaltamento

INTERVENTI DI TIPO LOCALE

EDIFICI IN MURATURA

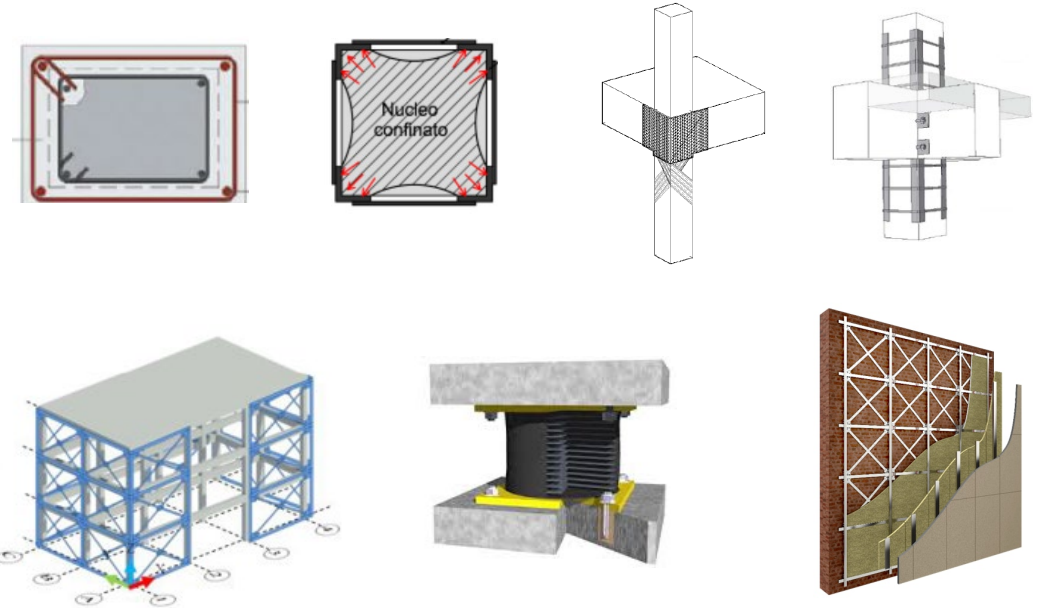
- Inserimento di tiranti e/o catene
- Scuci-cuci
- Iniezioni consolidanti
- **Rinforzi con sistemi FRP (Fibro-rinforzati a matrice polimerica)**
- **Rinforzi con malte fibro-rinforzate (FRCM)**
- Metodo CAM (Cucitura Attiva dei Manufatti)

EDIFICI IN C.A.

- Incamiciatura in c.a. o in acciaio (Calastrellature)
- Esoscheletri esterni in acciaio
- **Rinforzi con sistemi FRP (Fibro-rinforzati a matrice polimerica)**
- **Rinforzi con malte fibro-rinforzate (FRCM)**

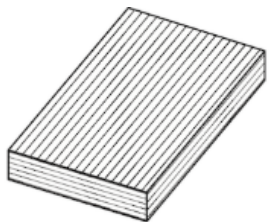
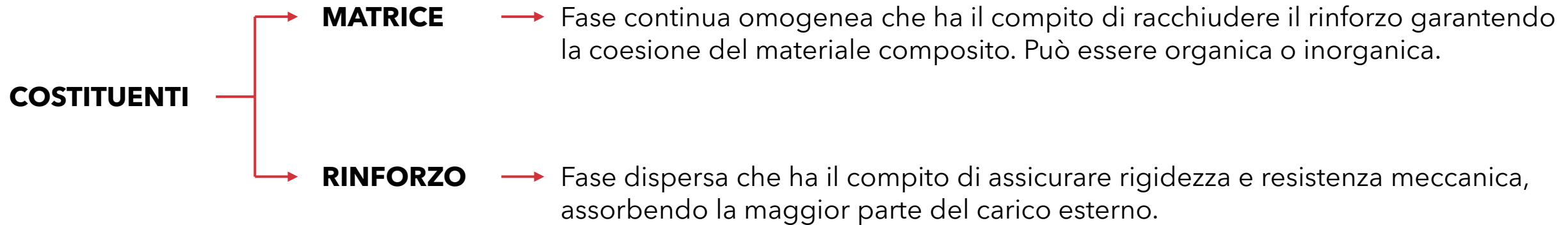
INTERVENTI DI TIPO GLOBALE

- Riduzione delle irregolarità dell'edificio
- Introduzioni di nuovi elementi strutturali
- Riduzione della domanda

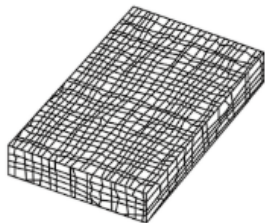


DEFINIZIONE DEI MATERIALI COMPOSITI

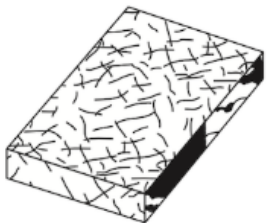
Materiali eterogenei costituiti da due o più fasi con proprietà fisiche differenti, le cui proprietà sono migliori rispetto a quelle delle fasi che li costituiscono.



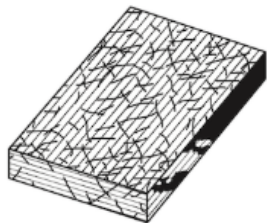
Composito a fibre continue



Composito a fibre avvolte



Composito a fibre discontinue



Composito ibrido

A seconda del tipo di rinforzo, i materiali compositi si suddividono in:

- Compositi particellari
- Compositi rinforzati con fibre
- Compositi strutturati

I compositi fibrorinforzati sono a loro volta classificati in base alla disposizione delle fibre al loro interno:

- Compositi a fibre continue (o lunghe)
- Compositi a fibre discontinue (o corte) allineate tra loro
- Compositi a fibre discontinue (o corte) disposte in maniera casuale

EVOLUZIONE STORICA DEI MATERIALI COMPOSITI

La tecnologia del rinforzo di materiali mediante l'uso di fibre risale a tempi molto antichi con diverse testimonianze.

6000 AC

Il sistema wattle-and-doub (legno e argilla) è uno dei più antichi. Pareti realizzate con intreccio di rami o canne + rivestimento con impasto di argilla, fango e paglia.



3000 AC

Gli Egizi da un impasto di paglia ed argilla hanno creato mattoni da costruzione più resistenti di quelli composti di solo fango.



2000 AC

I Maya inserirono fibre nelle loro ceramiche per prevenire la fessurazione quando l'argilla veniva rapidamente essiccata al sole.

- Ancora oggi ci sono vaste regioni del mondo in cui si usano tecniche del tutto simili; in genere si tratta di aree povere in Africa, Sudamerica ed Asia.
- Anche nei paesi più ricchi si assiste ad una riscoperta di questi sistemi grazie al filone della bioarchitettura.

EVOLUZIONE STORICA DEI MATERIALI COMPOSITI

1850

- Introduzione del cemento armato nel settore delle costruzioni.
- Realizzazione della macchina per la produzione di cemento-amianto.



1940-1950

Primi usi di plastiche rinforzate (es. costruzione barca in vetroresina) successivamente impiegate in campo aeronautico e missilistico.



1960

Introduzione delle prime fibre di carbonio e boro ad alta resistenza in ambito aeronautico.

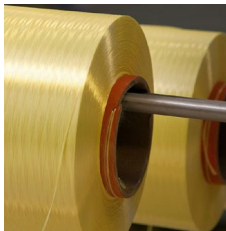


EVOLUZIONE STORICA DEI MATERIALI COMPOSITI

1970-1980

- Compositi con matrici metalliche in boro/alluminio introdotti in campo aeronautico, automobilistico e biomedico.
- Nel 1973 la Dupont sviluppa le fibre aramidiche

DUPONT™



1980-1990

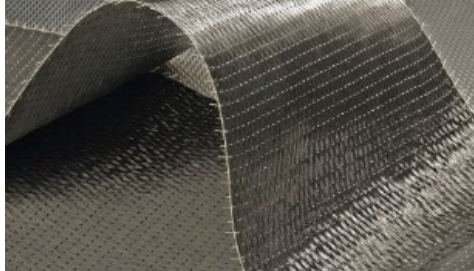
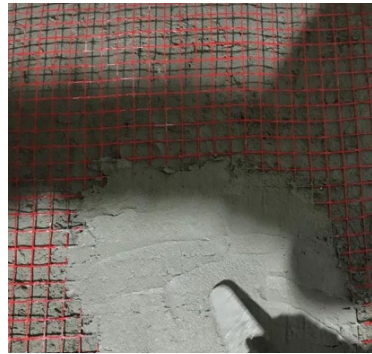
Diffusione dell'impiego di **FRC** e **FRP** anche in ambito edile per il retrofit di edifici esistenti.



1990-2000

- Diffusione in ambito edile anche di **FRCM** e **CRM**.
- Dagli anni 2000 si è avviata anche la ricerca sui nanocompositi.

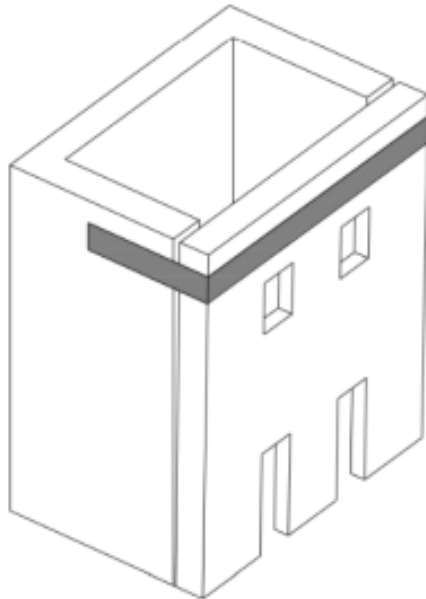
MATERIALI COMPOSITI MODERNI PER IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

Sistema	Matrice	Rinforzo	
FRP Fiber Reinforced Polymer	Polimerica di natura organica	Fibra lunga e continua Carbonio, Vetro, Aramide, Acciaio, PBO	 
FRCM Fiber Reinforced Cementitious Matrix <u>sp = 1-2 cm</u>	Inorganica (malta di calce o cementizia)	Reti di rinforzo in fibra Carbonio, Vetro, Basalto, Acciaio, PBO	 
CRM Composite Reinforced Mortar <u>sp = 3-5 cm</u>	Inorganica (malta di calce o cementizia)	Reti di rinforzo in fibra Vetro	

SISTEMI FRP E FRCM PER IL CONSOLIDAMENTO DI STRUTTURE IN MURATURA

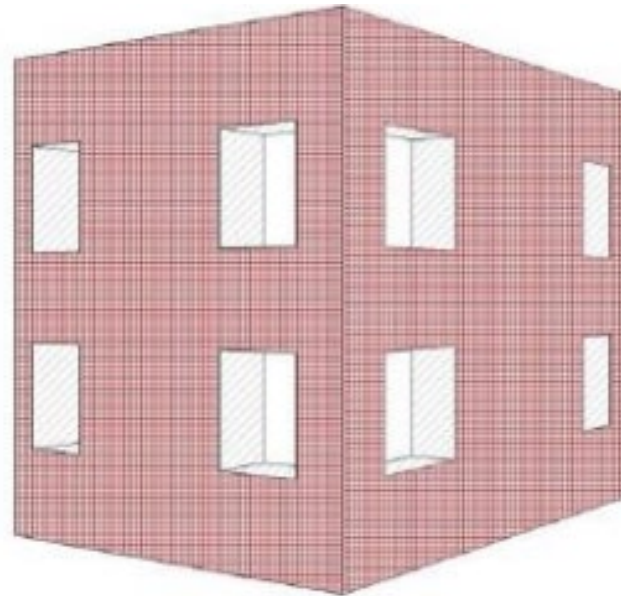
PANNELLI IN MURATURA - FRP

- Rinforzo dei pannelli in muratura con fasce sommitali per contrastare ribaltamenti e fenomeni di collasso locali



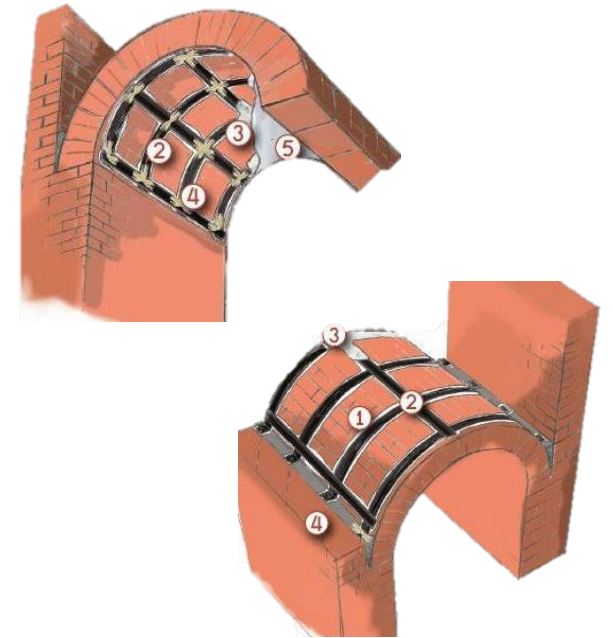
PANNELLI IN MURATURA - FRCM

- Rinforzo a pressoflessione e a taglio dei pannelli in muratura con reti in FRCM



VOLTE ED ARCHI

- Rinforzo con FRP o FRCM all'estradosso o all'intradosso della struttura



SISTEMI FRP PER IL CONSOLIDAMENTO DI STRUTTURE IN C.A.

PILASTRI

- Confinamento e rinforzo a taglio
- Rinforzo a pressoflessione



Continuo



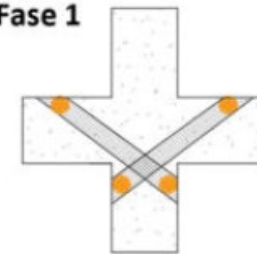
Discontinuo



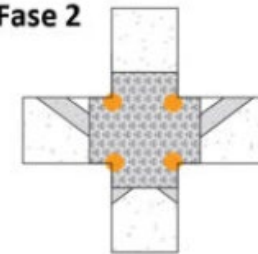
NODI TRAVE - PILASTRO

- Nodo perimetrale

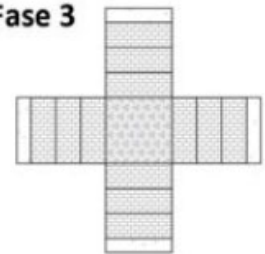
Fase 1



Fase 2

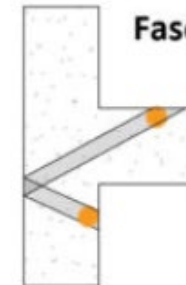


Fase 3

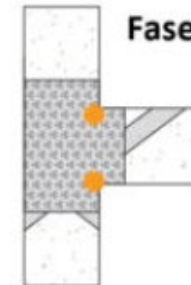


- Nodo d'angolo

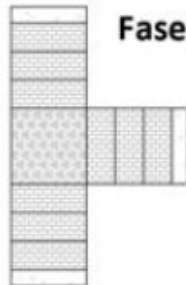
Fase 1



Fase 2



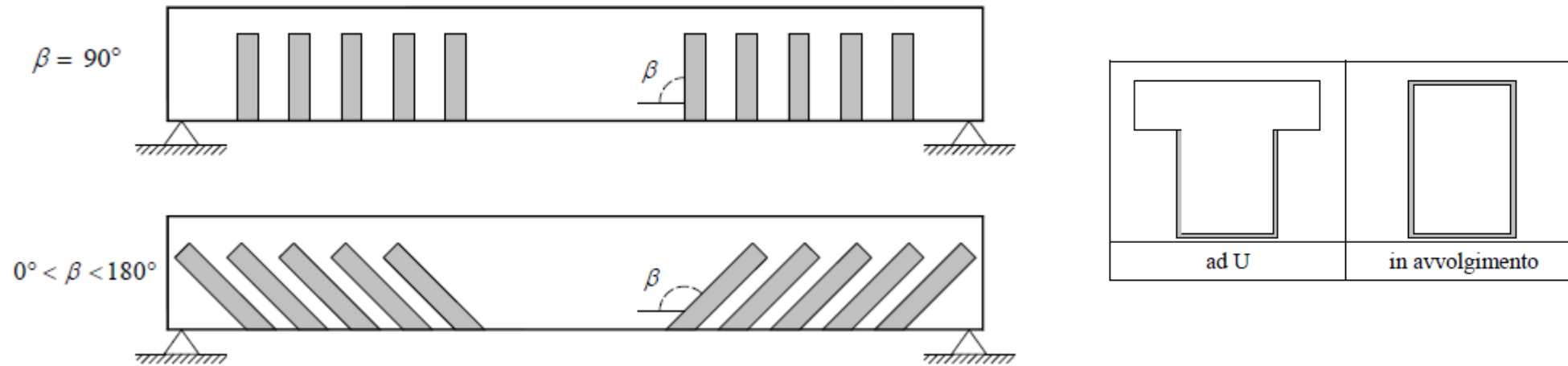
Fase 3



SISTEMI FRP PER IL CONSOLIDAMENTO DI STRUTTURE IN C.A.

TRAVI

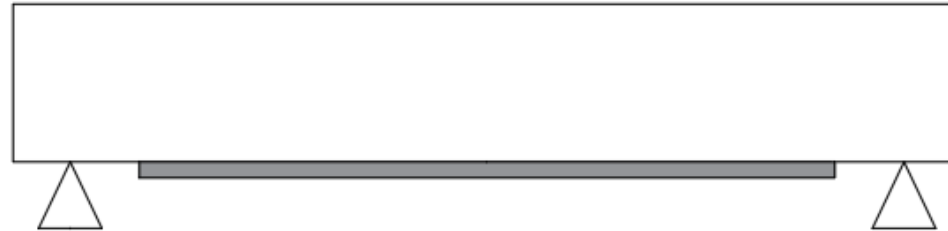
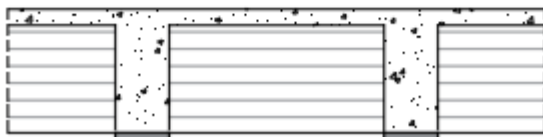
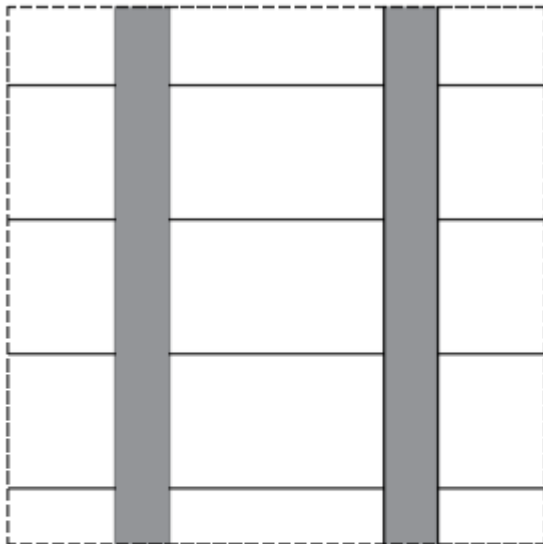
- Rinforzo a taglio



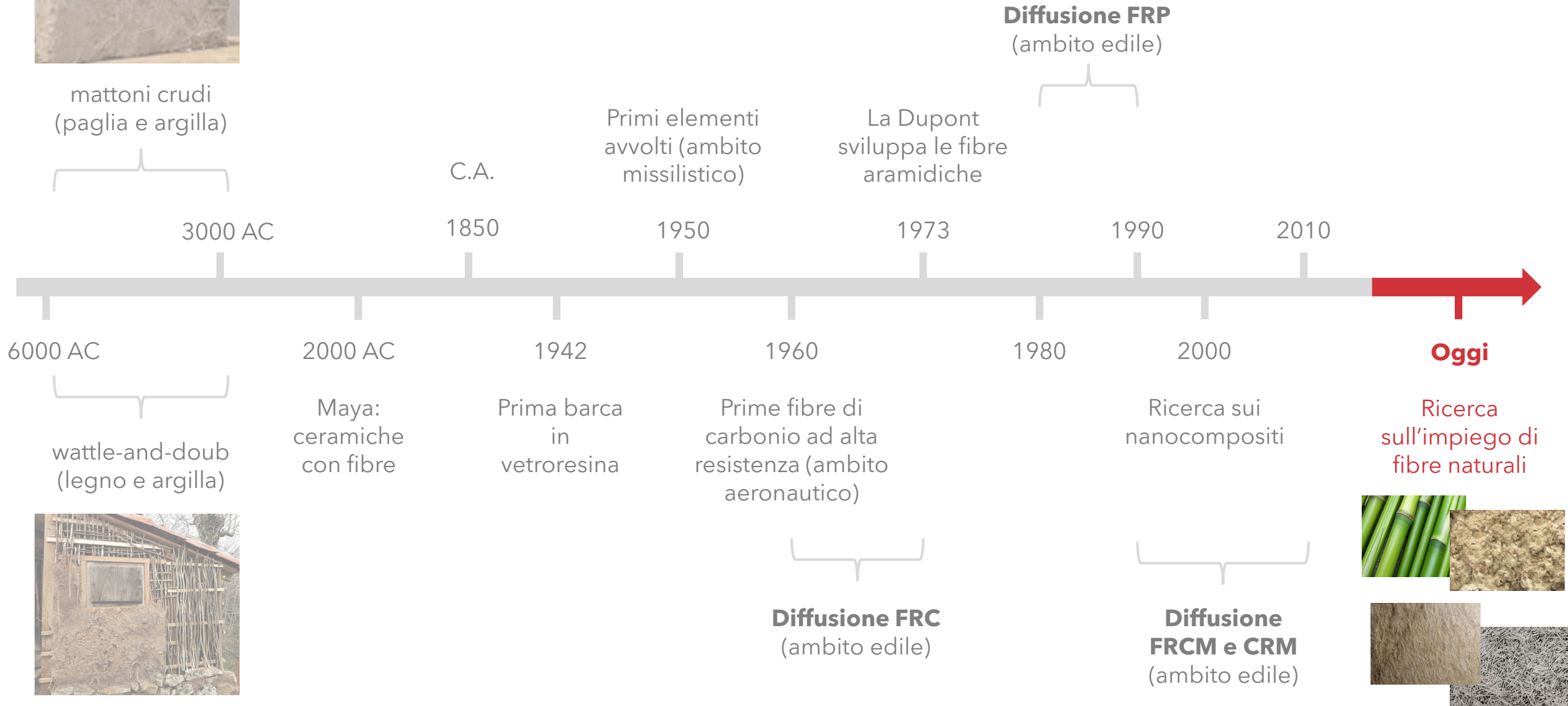
SISTEMI FRP PER IL CONSOLIDAMENTO DI STRUTTURE IN C.A.

TRAVI, SOLAI E SOLETTE

- Rinforzo a flessione



EVOLUZIONE STORICA DEI MATERIALI COMPOSITI

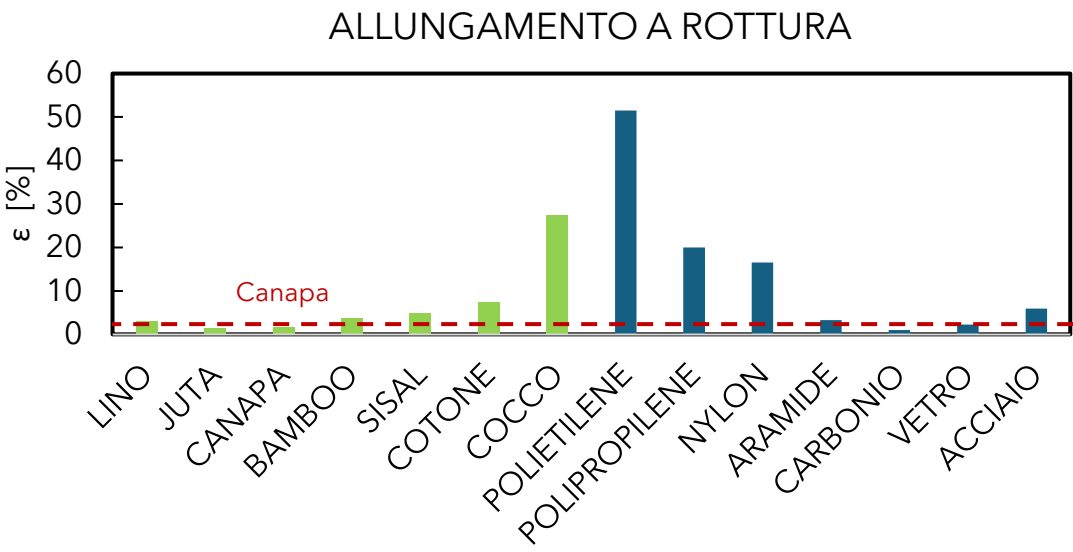
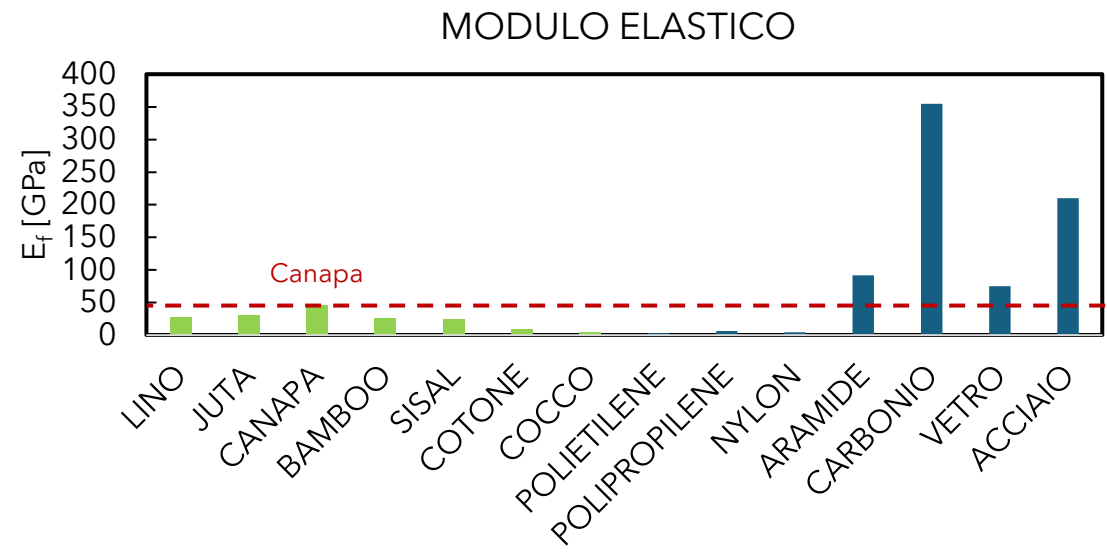
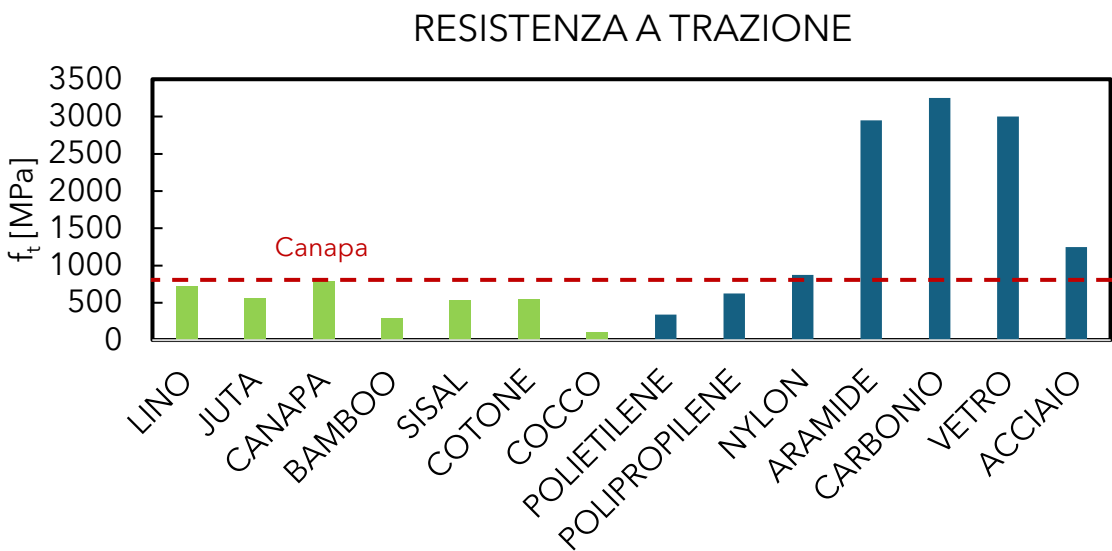
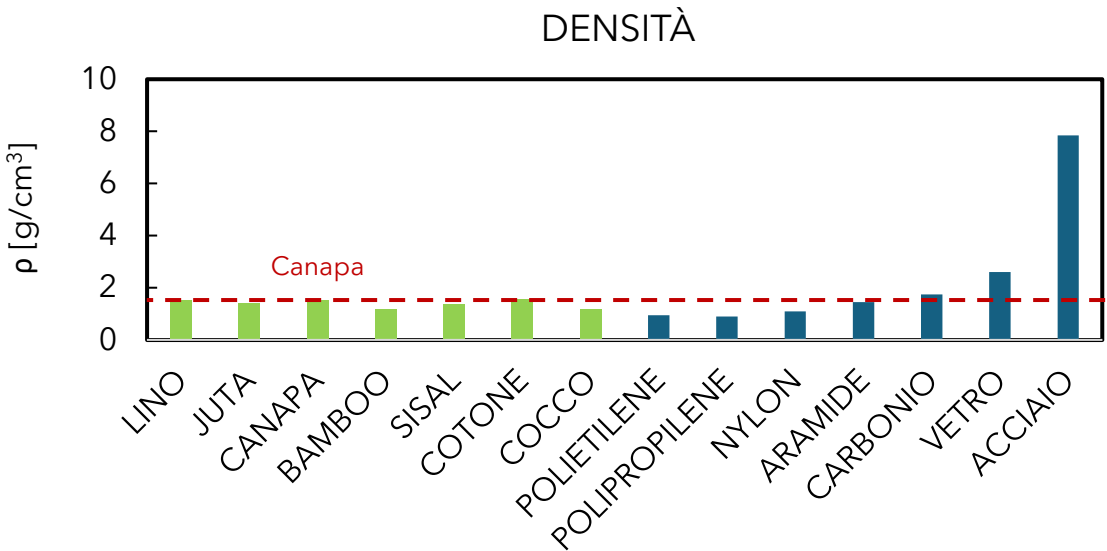


TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

IMPIEGO DI FIBRE NATURALI PER SISTEMI COMPOSITI

N
A
T
U
R
A
L
I

A
R
T
I
F
I
C
I
A
L
I



TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

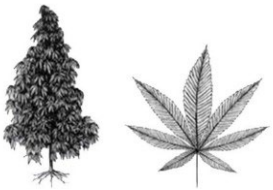
IMPIEGO DI FIBRE NATURALI PER SISTEMI COMPOSITI

CANNABIS SATIVA CANAPA INDUSTRIALE



- **FOGLIE:** In ciascun nodo del fusto, opposte, picciolate palmate con segmenti lanceolati e acuminati
- **SEMI:** frutto secco (achenio) di forma ovoidale con lunghezza di 3-5 mm
- **STELO:** ha un'altezza massima di circa 4 metri ed è costituito da fibra e canapulo

CANNABIS INDICA



CANNABIS RUDERALIS

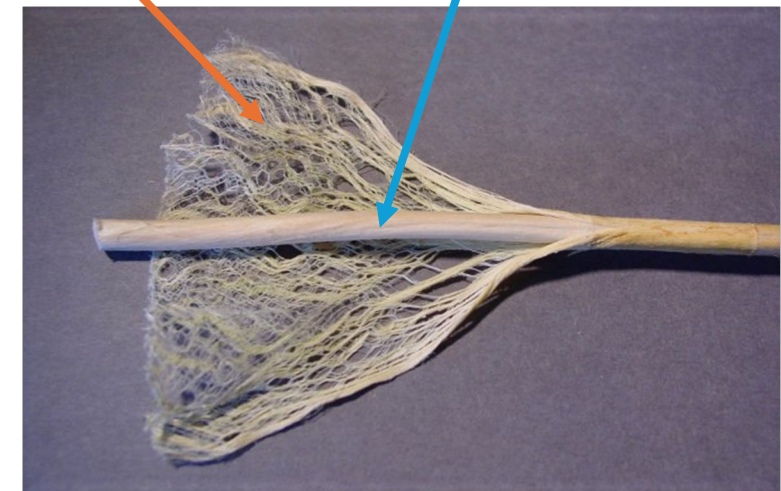


BENEFICI AMBIENTALI

- **Si adatta a tutti i terreni:** coltivazione dinamica che si adegua al cambiamento stagionale
- **Non ha bisogno di insetticidi o pesticidi:** non è soggetta all'attacco di insetti e roditori
- **È carbon-negative:** un ettaro di canapa assorbe una quantità di anidride carbonica 4 volte maggiore di una foresta della stessa area

30% Fibra

70% Canapulo



TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

IMPIEGO DI FIBRE NATURALI PER SISTEMI COMPOSITI

Caratterizzazione meccanica di sistemi FRCM in fibra di canapa

- Materiali impiegati
- Prove preliminari sulle reti
- Prove di trazione diretta su reti
- Prove di compressione sulla matrice
- Prove di trazione diretta su provini FRCM

Prove di compressione su pannelli in muratura rinforzati con FRCM in fibra di canapa

- Materiali impiegati
- Prova a trazione su trecce di canapa
- Preparazione dei campioni
- Prove di compressione

Casi studio di edifici rinforzati con sistemi compositi in fibra di canapa

- Analisi pushover di un edificio in c.a. rinforzato con FRP in fibra di canapa
- Analisi pushover di un edificio in muratura rinforzato con FRCM in fibra di canapa

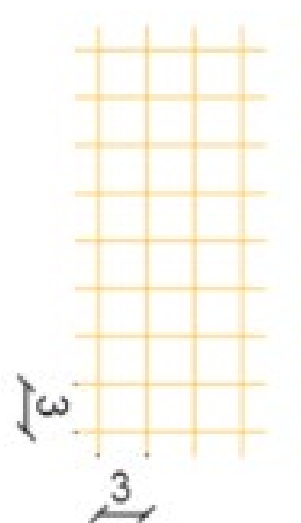
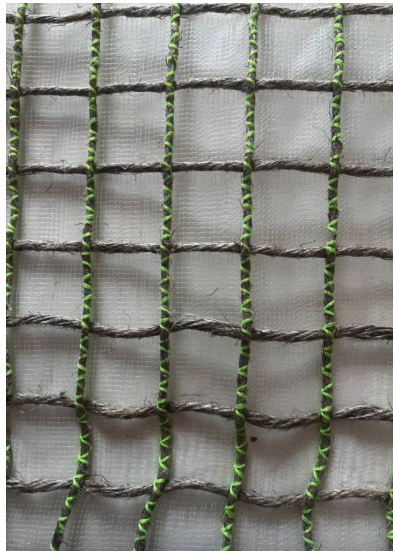
TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

MATERIALI IMPIEGATI

COMPONENTE FIBROSO

- Rete in fibra di canapa
- Maglia 3 cm x 3 cm



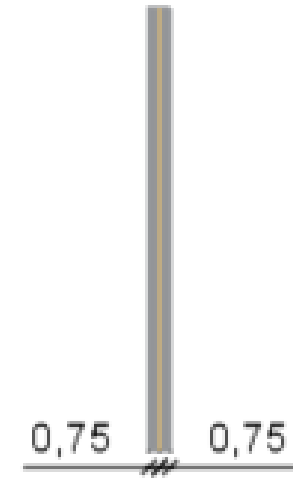
MATRICE INORGANICA

- NHL 3,5 (EN 459-1)
- **M15** (EN 998-2)



SISTEMA COMPOSITO

- Rete inserita tra due strati di malta di calce

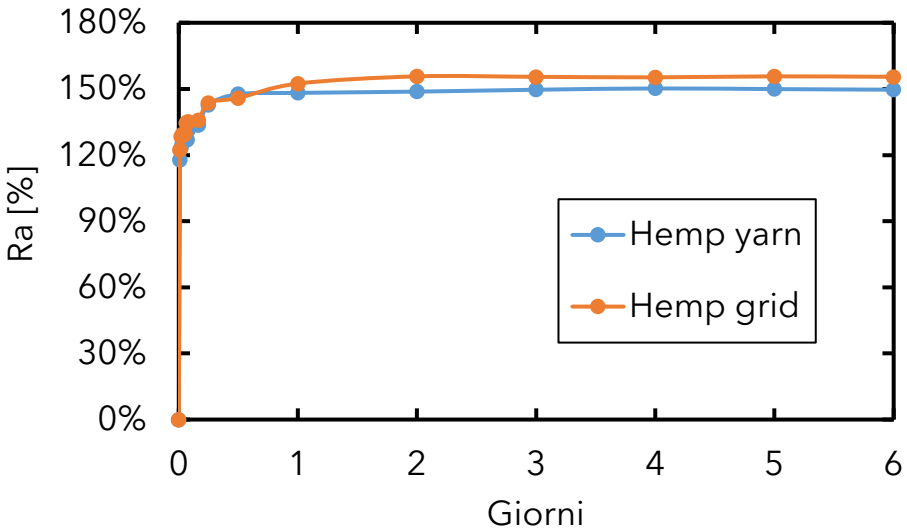


TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

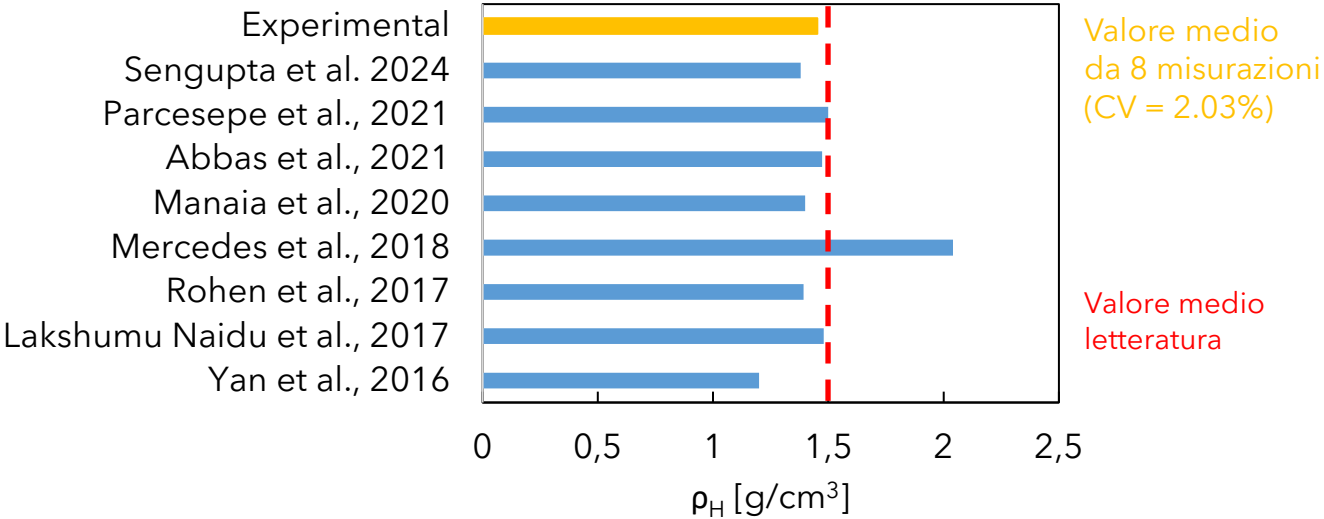
CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO D'ACQUA

- Peso iniziale del campione secco W_i
- Immersione in acqua
- Peso finale del campione saturo W_f
- $R_a = \frac{W_f - W_i}{W_i} \cdot 100 \text{ [%]}$



DENSITÀ

- Peso secco della rete (W_H)
- Calcolo della massa d'acqua spostata dalla rete in un cilindro graduato (m_{DL})
- Calcolo volume della rete $V_H = \frac{m_{DL}}{\rho_L}$
- Calcolo densità della rete $\rho_H = \frac{W_H}{V_H} = 1.45 \text{ g/cm}^3$



TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

SPESSORE EQUIVALENTE

Calcolo grammatura delle rete



21 cm

GSM [kg/m²]

21 cm

Calcolo spessore equivalente

$$t_{eq} = 1000 \cdot \frac{GSM}{\rho} [mm]$$

Direction	GSM [kg/m ²]	ρ [kg/m ³]	t_{eq} [mm]
warp	0.164	1452.7	0.11
weft	0.164	1452.7	0.11

AREA RESISTENTE DEL SINGOLO YARN

Campioni = 9 spezzoni di yarn di lunghezza $L = 200$ mm

Peso degli spezzoni di yarn (W)

Calcolo area resistente del singolo yarn

$$A_{fy} = 1000 \cdot \frac{W}{L \cdot \rho} [mm^2]$$

Valore medio A_{fy}	2.35 mm²
Deviazione Standard	0.04
Coefficiente di Variazione	1.6%

Area resistente della rete composta da n yarns

$$A_{fy} = n \cdot A_{fy} [mm^2]$$

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE DI TRAZIONE SU YARNS E RETI

Preparazione dei campioni

Prova a controllo di spostamento 0.5 mm/min

Diagramma forza - spostamento (F- δ)

Calcolo resistenza a trazione della rete

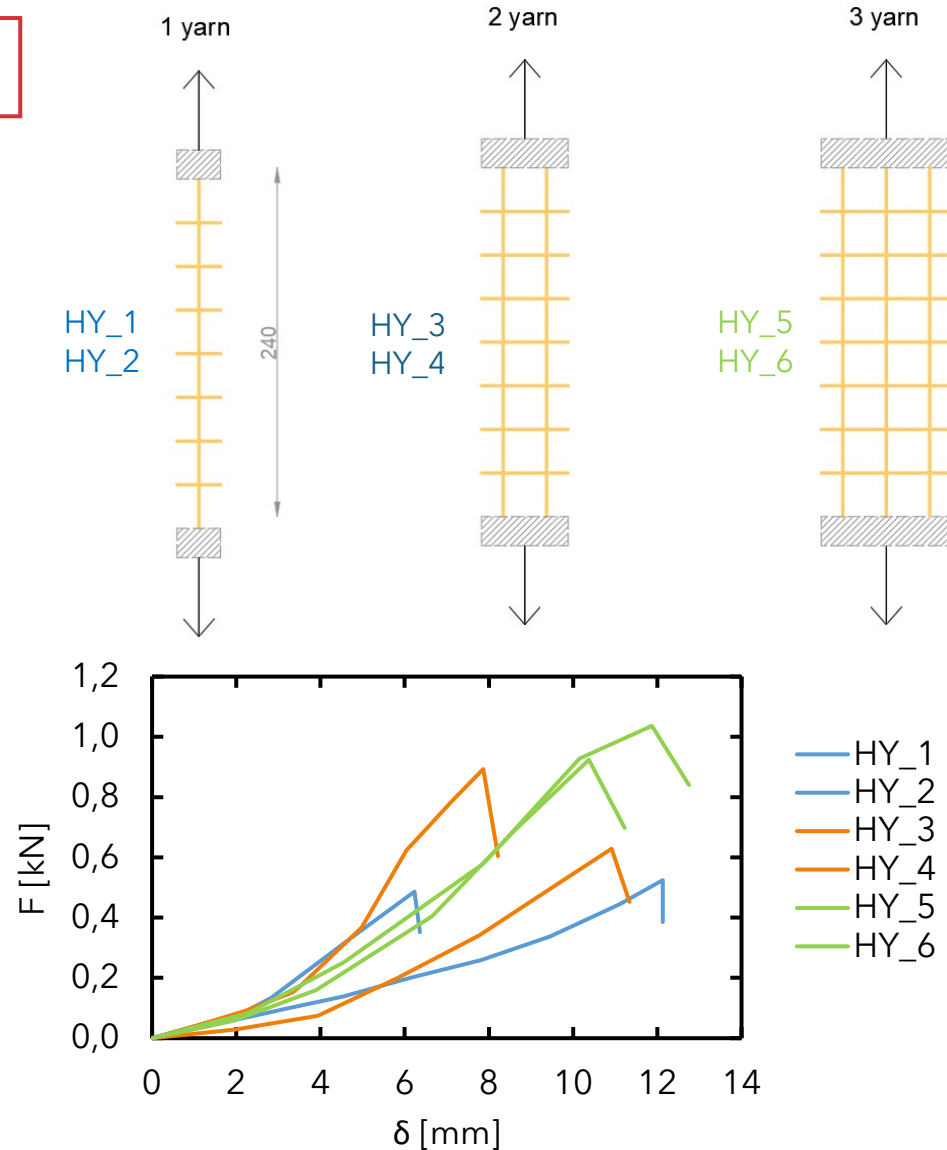
$$\sigma_{u,f} = \frac{F_{max}}{n \cdot A_{fy}}$$

Calcolo modulo elastico a trazione della rete

Modulo secante tra due valori di tensione:

$$\sigma_1 = \frac{F_{max}}{10 \cdot n \cdot A_{fy}}$$

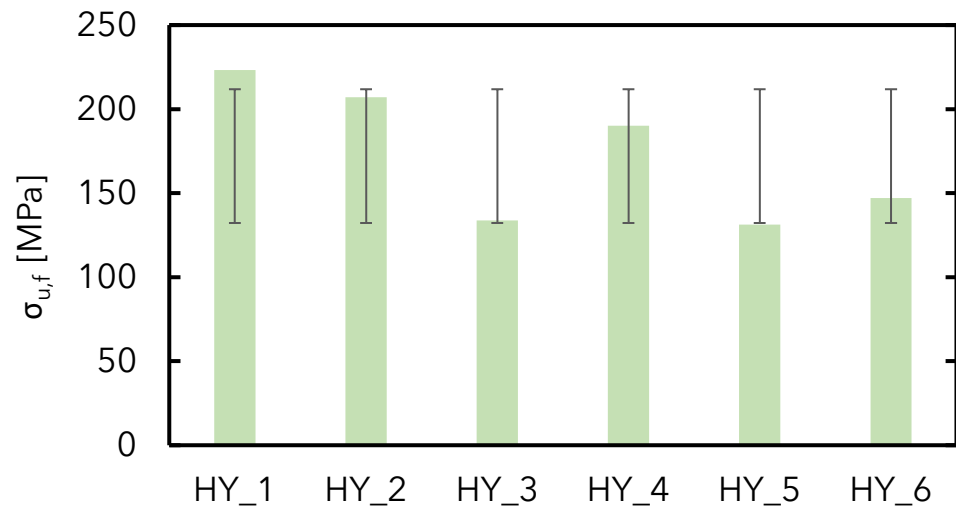
$$\sigma_2 = \frac{F_{max}}{2 \cdot n \cdot A_{fy}}$$



TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

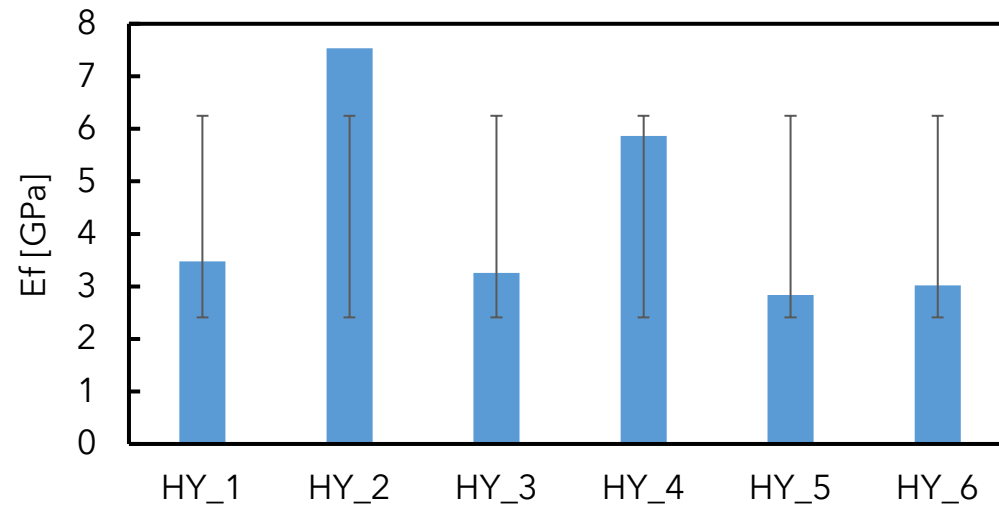
CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

RESISTENZA A TRAZIONE DELLA RETE



$$\sigma_{u,f} = 172.1 \text{ MPa} (CV = 23.1\%)$$

MODULO ELASTICO DELLA RETE



$$E_f = 4.3 \text{ GPa} (CV = 44.3\%)$$



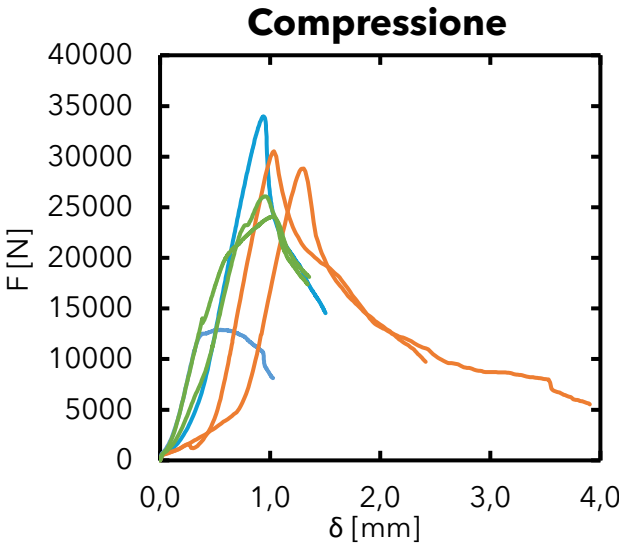
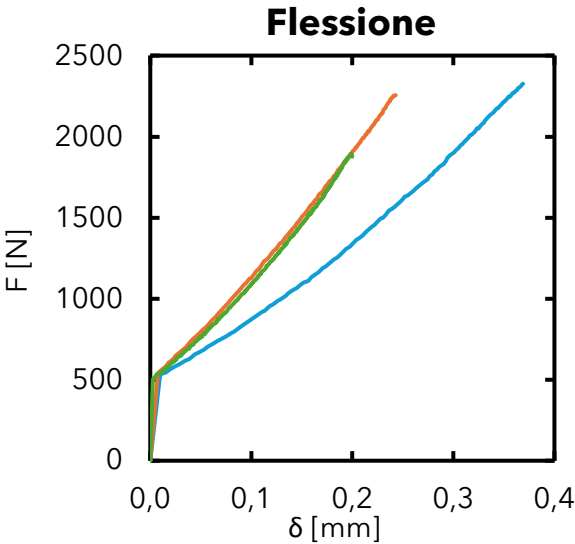
TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE MECCANICHE SULLA MATRICE

Prove eseguite a 28 giorni di stagionatura

- Preparazione di tre provini 40x40x160 mm
- Prova a flessione su tre punti su provini 40x40x160 mm
- Rettifica provini
- Prova di compressione su provini 40x40x40 mm



$f_{c, \text{mean}} [MPa]$	17.9
CV	13.4%
$f_{t, \text{mean}} [MPa]$	5.1
CV	10.7%

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

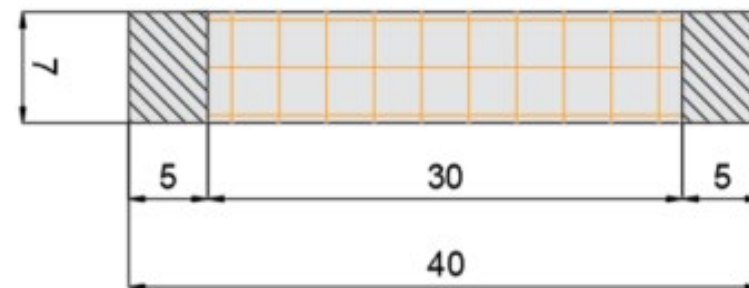
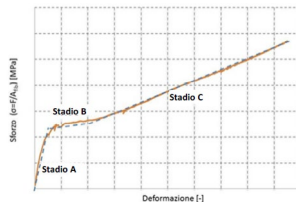
CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE A TRAZIONE SU PROVINI FRCM

Prove eseguite a 28 giorni di stagionatura

- Preparazione dei campioni
- Prova a controllo di spostamento 0.2-0.5 mm/min
- Diagramma forza - spostamento (F-δ)
- Calcolo resistenza a trazione del sistema FRCM
- Calcolo deformazione ultima a rottura del sistema FRCM
- Calcolo modulo elastico a trazione nello stadio A

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{n \cdot A_{fy}}$$



- malta sp. 1.5 cm
- piatti sp. 2 mm
- rete

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DI SISTEMI FRCM IN FIBRA DI CANAPA

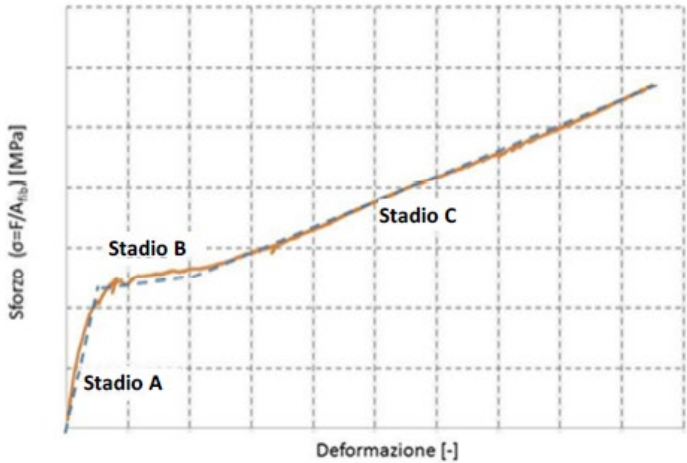
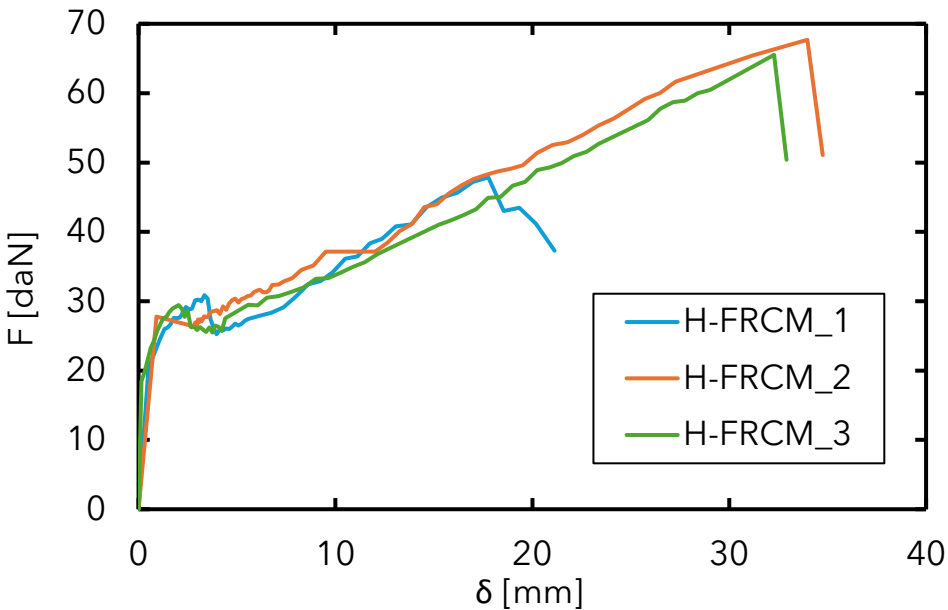
PROVE A TRAZIONE SU PROVINI FRCM

Media su 3 provini

Valore	σ_u [MPa]	ϵ_u [%]	E_1 [GPa]
Medio	85.7	9.3%	3.55
CV	18.0%	31.8%	102%

Media su 2 provini (ID: 2, 3)

Valore	σ_u [MPa]	ϵ_u [%]	E_1 [GPa]
Medio	94.6	11%	5.20
CV	2.3%	3.6%	71.9%



Linea Guida 2018

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM IN FIBRA DI CANAPA

M
U
R
E
T
T
I



Mattoni pieni

12x25x5.5 mm

$f_c = 38.15 \text{ MPa}$



Malta per muratura

$f_c = 18.17 \text{ MPa}$

$f_t = 1.44 \text{ MPa}$

I
N
T
O
N
A
C
O



Malta di calce

NHL 3.5

M15

$f_c > 15 \text{ MPa}$

R
I
N
F
O
R
Z
O

Malta di calce



M15

Trecce di canapa



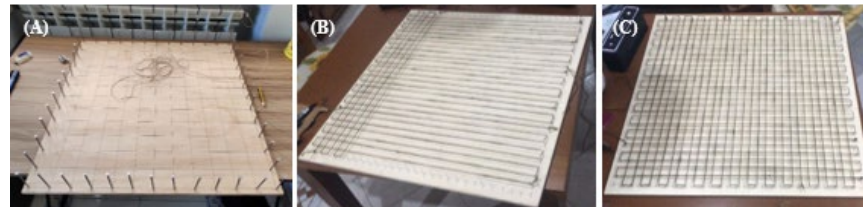
$D = 2 \text{ mm}$

Collante



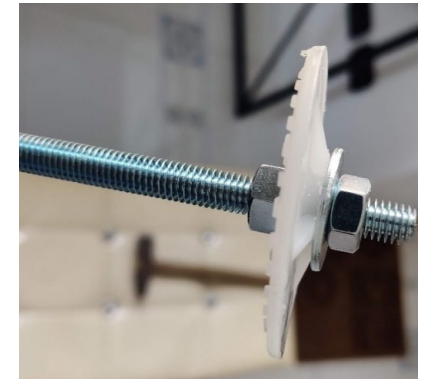
Per formare
la rete

Assemblaggio rete



Rete 20x20 mm

Ancoraggi passanti



Collegamento del
rinforzo sulle due facce

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE A TRAZIONE SULLE TRECCHE



Lunghezza 70 mm

($l_0 = 50$ mm)

Provini:

D = 1 mm

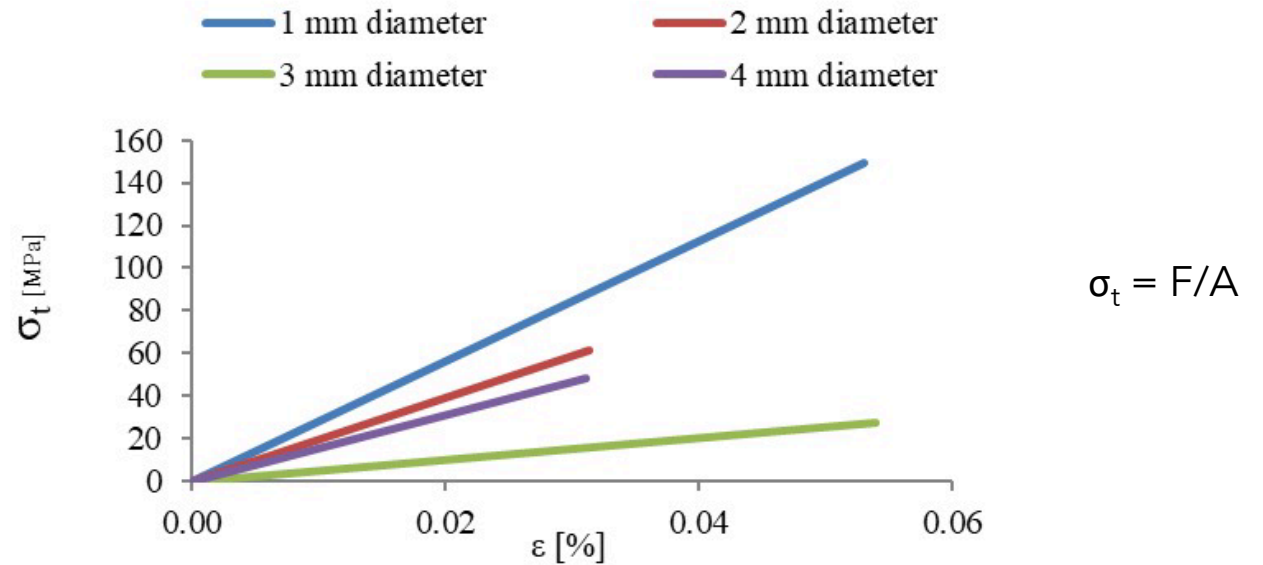
D = 2 mm

D = 3 mm

D = 4 mm



Macchina universale a controllo di spostamento (ASTM C1557)



Il criterio di collasso per ciascun test è la rottura del primo filo della treccia.

La treccia da 2 mm ha una resistenza a trazione media di 62 Mpa

$$D = 2 \text{ mm} \rightarrow F = 235 \text{ kN} \rightarrow \sigma_t = 62 \text{ MPa}$$

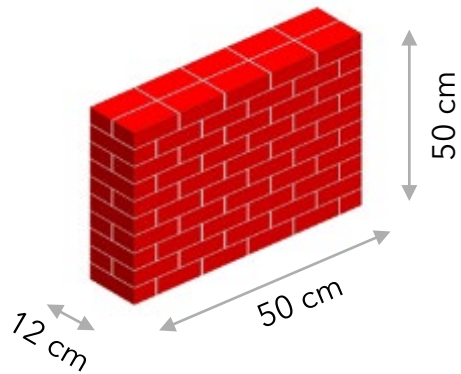
$A = 3.8 \text{ mm}^2$

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

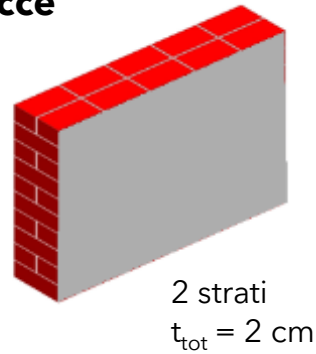
PROVE DI COMPRESSIONE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PANNELLO NON RINFORZATO (URM)

1) Muretto

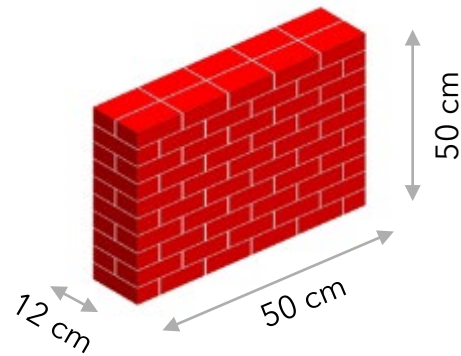


2) Intonaco su entrambe le facce

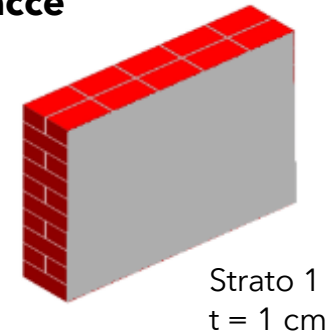


PANNELLO RINFORZATO (REINF)

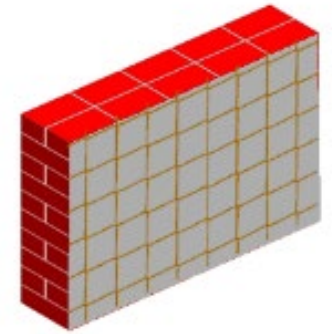
1) Muretto



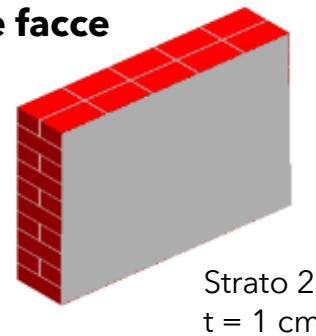
2) Intonaco su entrambe le facce



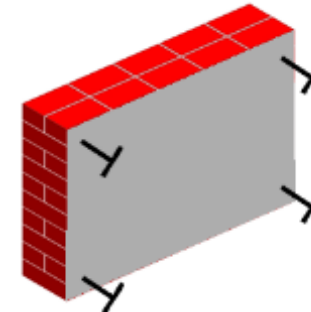
3) Rete in canapa



4) Intonaco su entrambe le facce



5) Ancoranti



TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE A COMPRESSIONE SUI PANNELLI IN MURATURA

URM

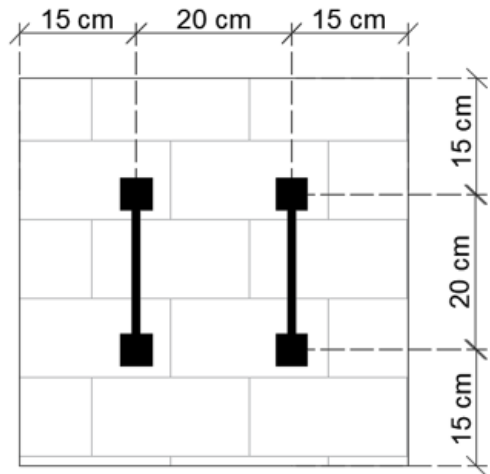
REINF



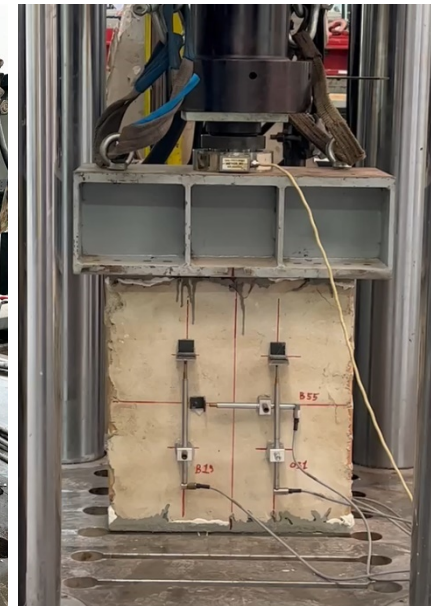
Due strati di malta sono stati applicati per regolarizzare le sezioni a contatto con la macchina di prova.



Malta fibrorinforzata
e a ritiro controllato
R4 (RN 1504-3)



Per leggere gli spostamenti in direzione del carico sono stati posizionati **due trasduttori su ciascuna faccia** del pannello



500 kN MTS 810
Macchina Universale

UNI EN 12390-3:2019

Gradiente di carico
50 N/s

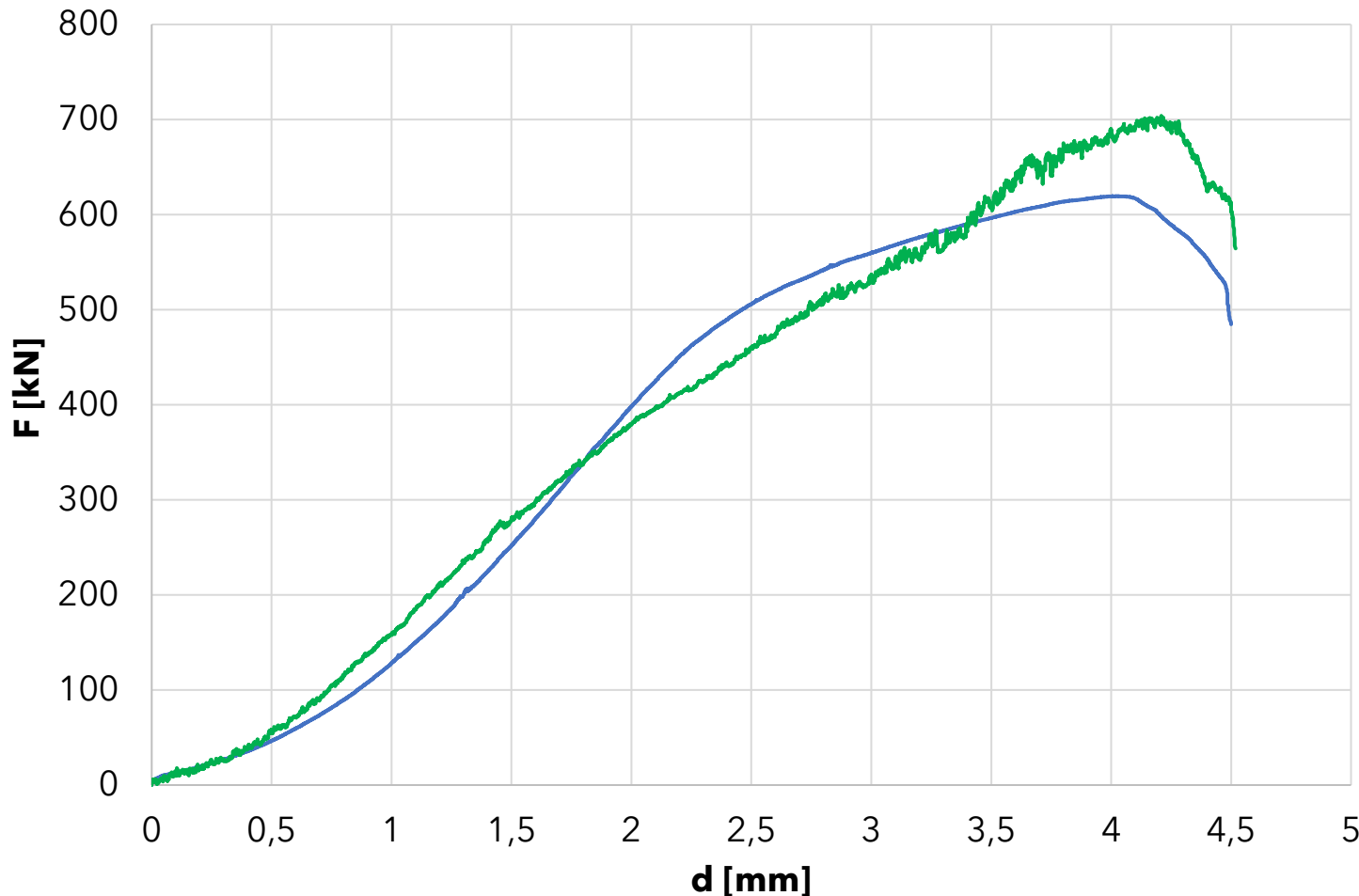
$$\sigma = F/A$$

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE A COMPRESSIONE SUI PANNELLI IN MURATURA

Forza - Spostamento



Rispetto al pannello non rinforzato, il pannello rinforzato ha mostrato:

- Un incremento di forza massima e rigidezza iniziale di circa il 15%
- Un incremento di spostamento al icco di forza di circa il 5%
- Lo stesso valore di duttilità (2)

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

PROVE DI COMPRESSIONE SU PANNELLI IN MURATURA RINFORZATI CON FRCM IN FIBRA DI CANAPA

PROVE A COMPRESSIONE SUI PANNELLI IN MURATURA

MODALITÀ DI COLLASO

URM



- Espulsione degli strati di intonaco
- Formazione di lesioni verticali
- Rottura dei mattoni

REINF



- Nessuna lesione significativa nei mattoni o nel rinforzo
- Lesioni capillari diffuse
- Nessuna espulsione di intonaco

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN C.A.

Edificio scolastico

Istituto Paritario Garden House - Marano di Napoli (NA)



Rinforzo di pilastri mediante FRP in fibra di canapa

EDIFICIO IN MURATURA

Edificio scolastico

Istituto Massaia - San Giorgio a Cremano (NA)



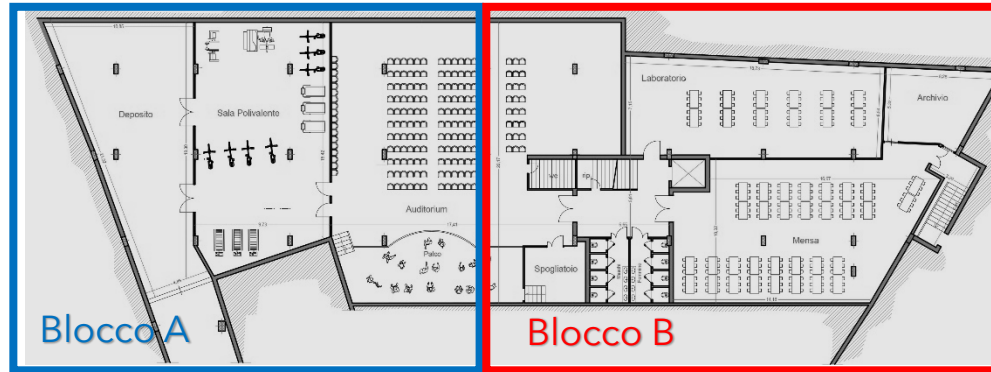
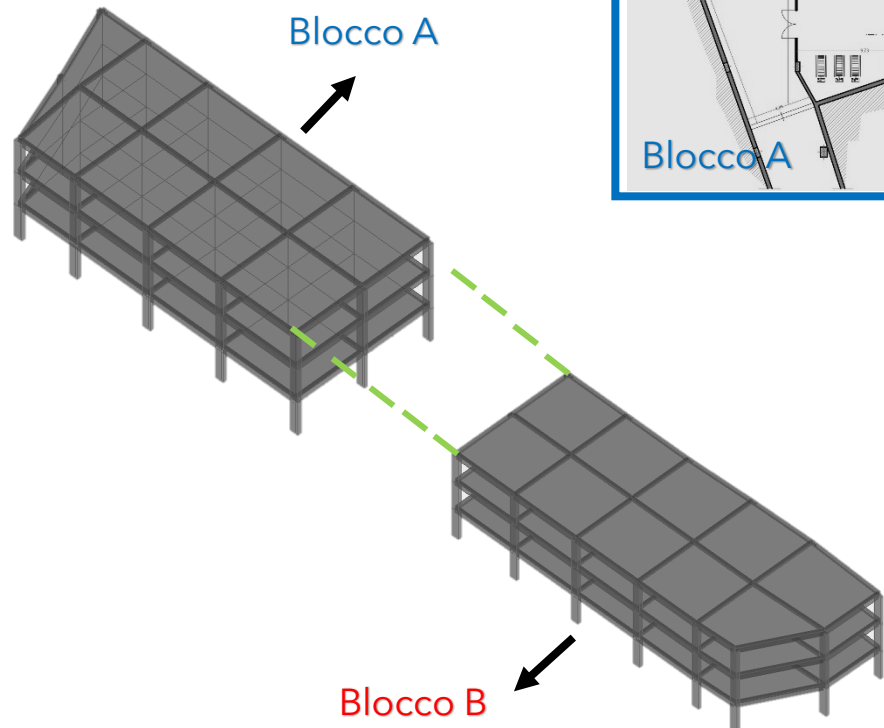
Rinforzo di maschi murari mediante FRCM in fibra di canapa

Rinforzo di maschi murari mediante FRP in fibra di canapa

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

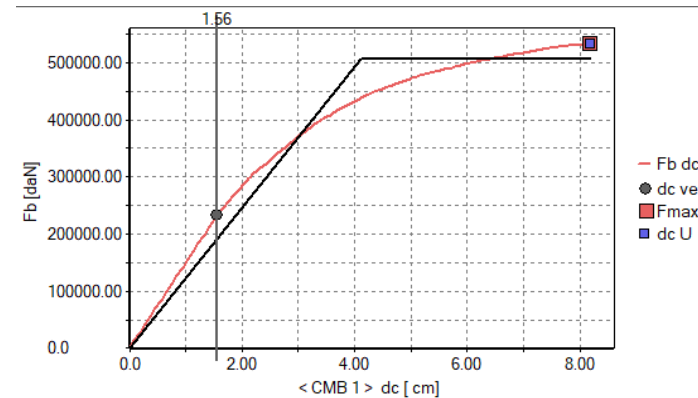
EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN C.A.

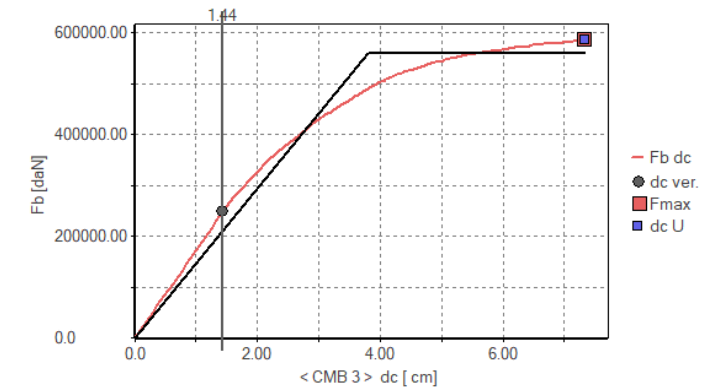


Blocco A

Blocco B



$$\zeta_E = 0.50$$



$$\zeta_E = 0.50$$

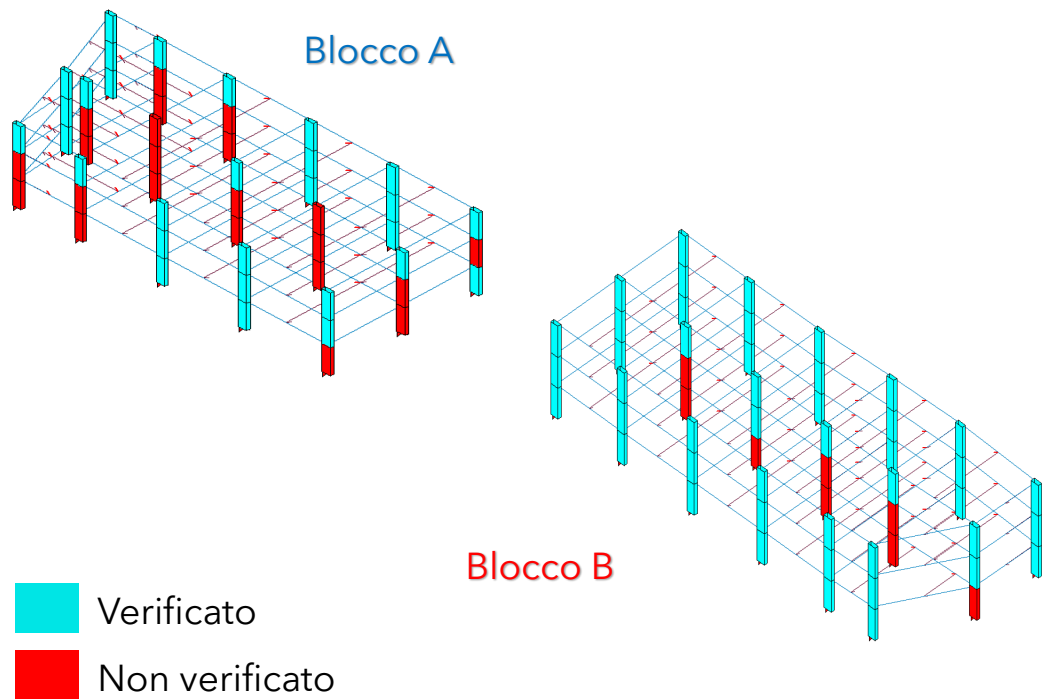
TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN C.A.

Obiettivo: miglioramento sismico (incremento ζ_E di almeno 0.10 e comunque superiore a 0.60 per edifici scolastici)

Verifiche SDF per livello di sicurezza target (60%) → Scelta della tipologia di rinforzo per i pilastri non verificati



FRP in fibra di canapa

- Tensione a rottura = 136.34 MPa
- Deformazione = 1,77%
- Modulo elastico = 11558.31 MPa

(dati provenienti dalla letteratura)

Inserimento caratteristiche del rinforzo nel software di calcolo

ID	Sigla	Spessore	E	eps r %	Direzione	Tipo appli...	Esposizione	Fibra	eta a	Lunghezza...	Larghezza...	Passo fasc...	r raggio co...
n. 5	canapa	0.14	115583.10	1.77	uniassiale	tipo B	interna	altro	0.75	200.00	200.00	200.00	20.00

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

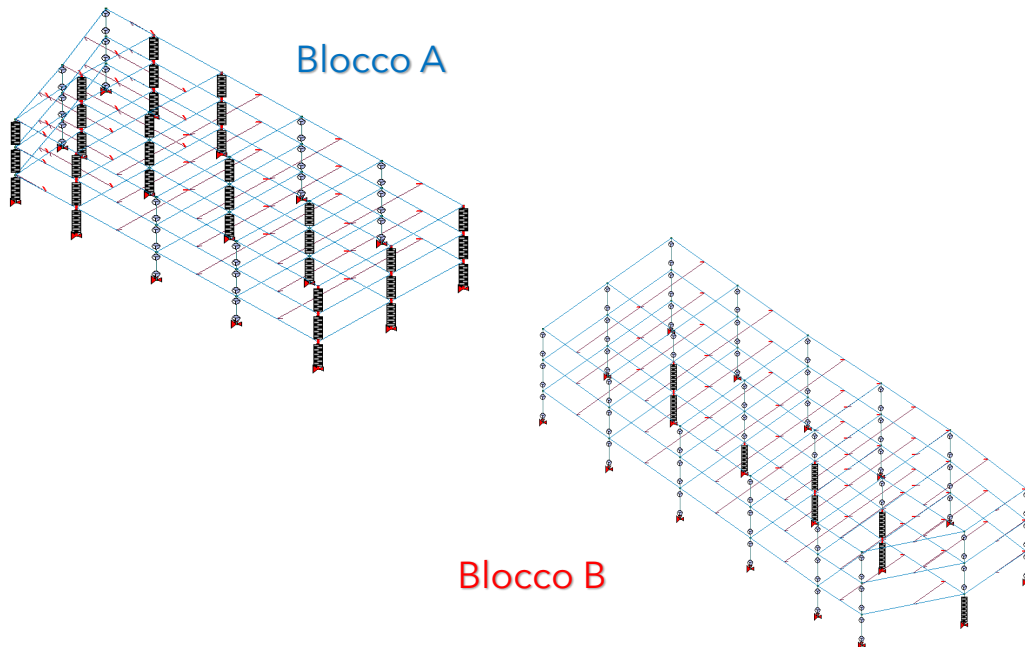
EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN C.A.

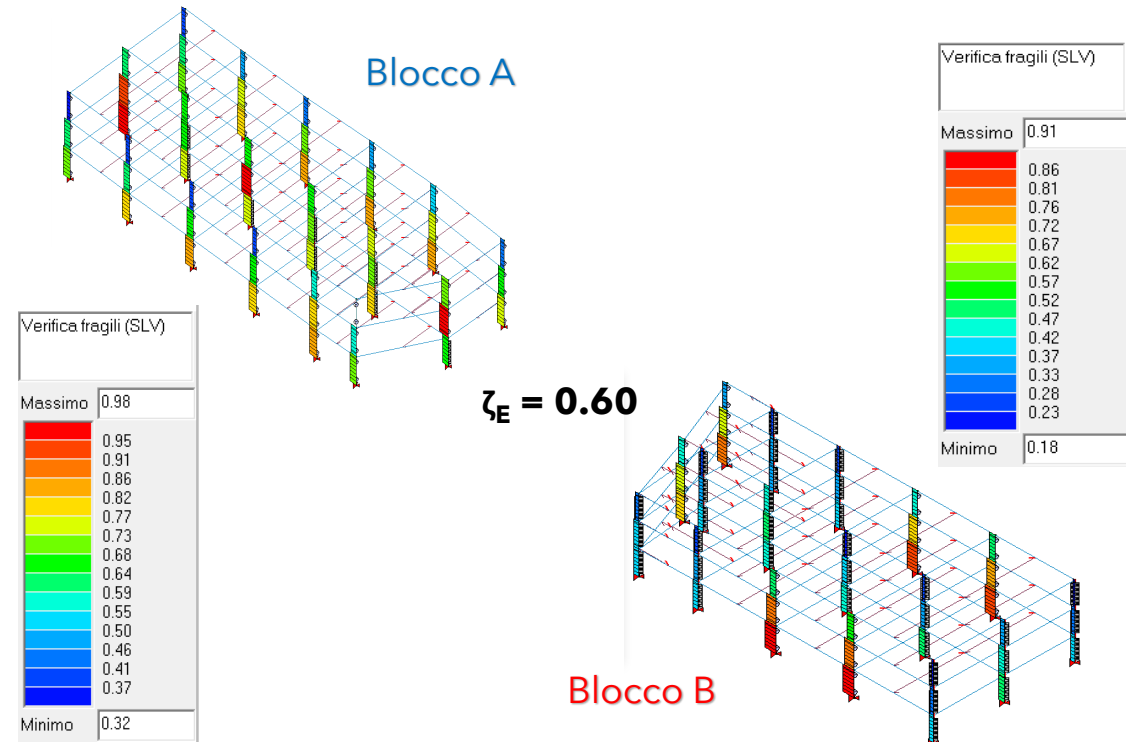
Obiettivo: miglioramento sismico (incremento ζ_E di almeno 0.10 e comunque superiore a 0.60 per edifici scolastici)

Applicazione del rinforzo ai pilastri non verificati →

Verifiche SDP per livello di sicurezza target (60%)



Pilastri rinforzati con FRP in canapa



TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

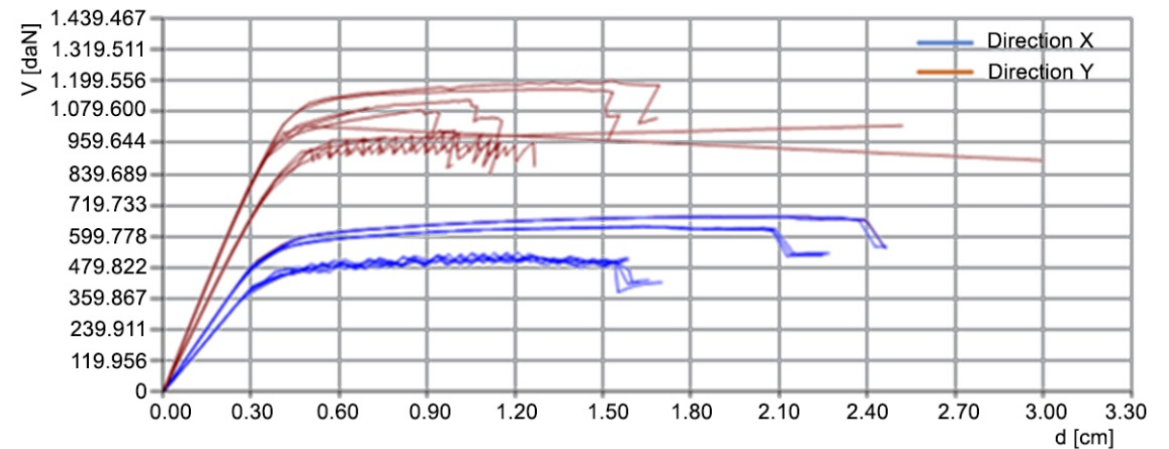
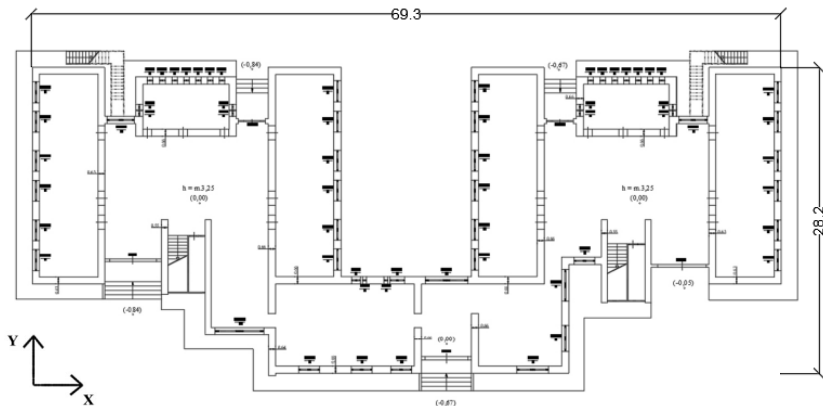
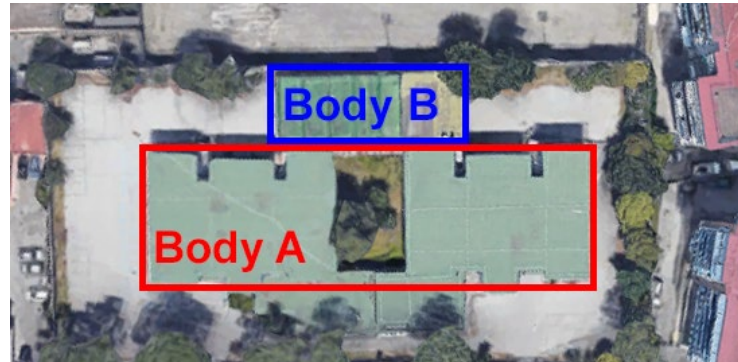
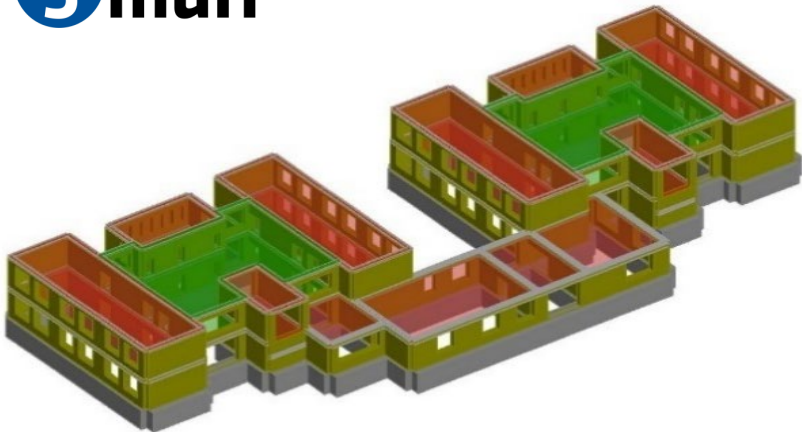
EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN MURATURA

3muri

Body A - muratura

Body B - c.a.



$\zeta_E = 0.59$ - Classe di rischio sismico C

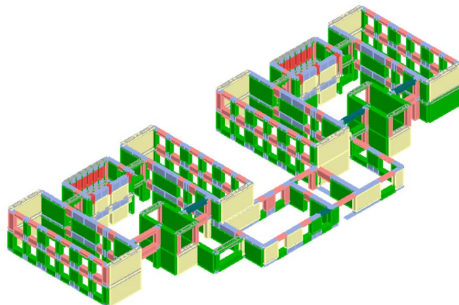
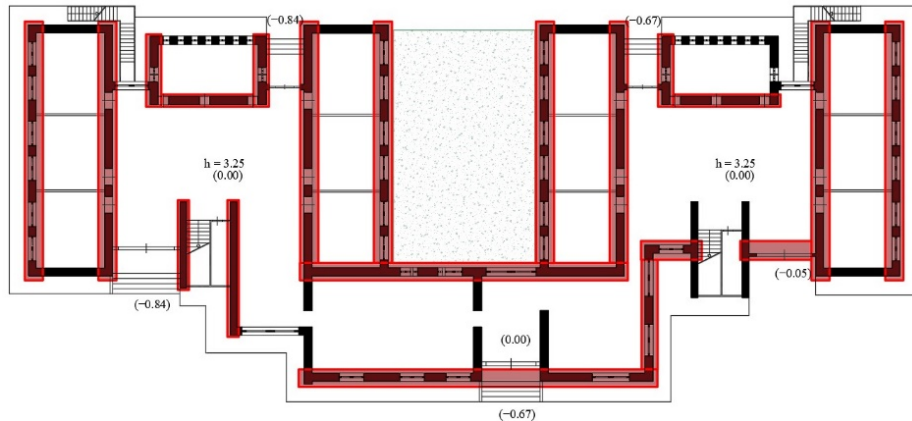
TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN MURATURA

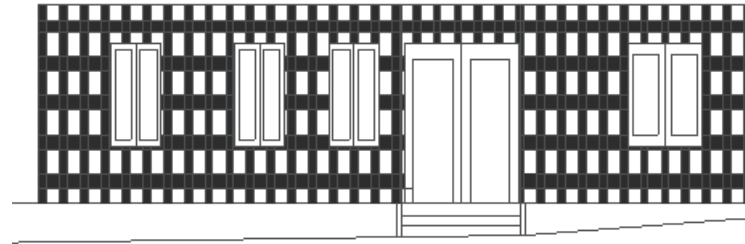
Obiettivo: miglioramento sismico (incremento ζ_E di almeno 0.10 e comunque superiore a 0.60 per edifici scolastici)

Individuazione delle pareti da rinforzare



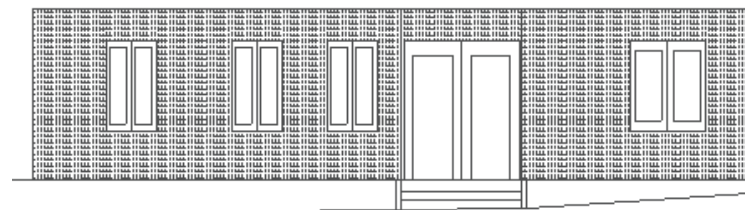
Scelta della tipologia di rinforzo

FRP in fibra di canapa (H-FRP)



- Resistenza a trazione = 83.5 MPa
- Deformazione ultima = 1.7%
- Modulo elastico = 42290 MPa

FRCM in fibra di canapa (H-FRCM)



- Resistenza a trazione = 71.8 MPa
- Deformazione ultima = 1.8%
- Modulo elastico = 11558 MPa

TENDENZE E SVILUPPI FUTURI

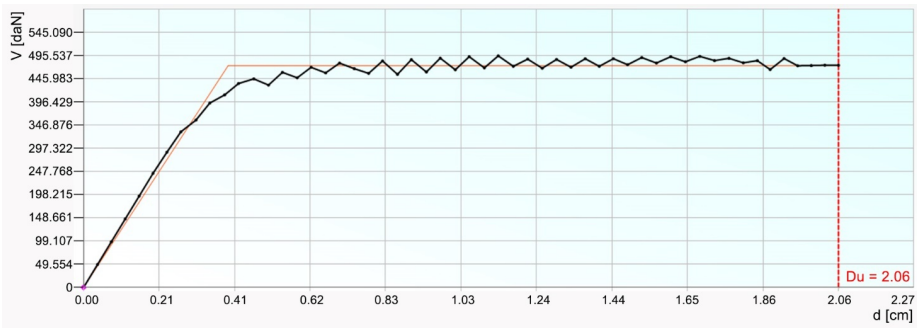
EDIFICI ESISTENTI RINFORZATI CON SISTEMI COMPOSITI IN FIBRA DI CANAPA

EDIFICIO IN MURATURA

Obiettivo: miglioramento sismico (incremento ζ_E di almeno 0.10 e comunque superiore a 0.60 per edifici scolastici)

Analisi edificio rinforzato

FRP in fibra di canapa (H-FRP)

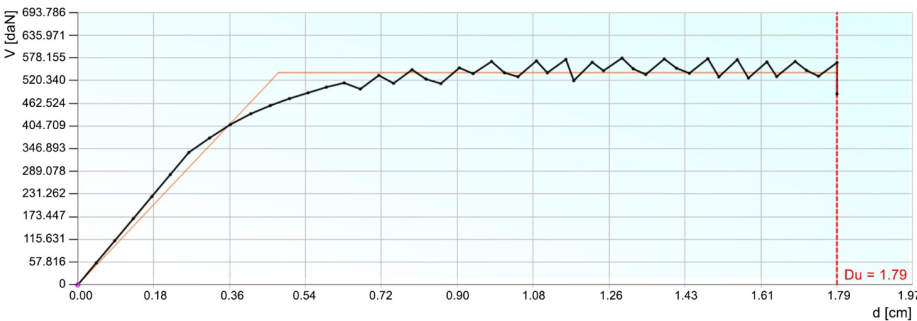


$\zeta_E = 0.59 \rightarrow$ miglioramento sismico (+0.13 rispetto allo SDF)

Classe di rischio sismico C $\rightarrow$ nessuna variazione di classe

Modello	ζ_E dir. X	ζ_E dir. Y
Stato di Fatto	0.59	0.62
Rinforzato con FRP in canapa	0.72	0.86
Rinforzato con FRCM in canapa	0.64	0.71

FRCM in fibra di canapa (H-FRCM)



$\zeta_E = 0.64 \rightarrow$ non c'è miglioramento sismico (+0.05 rispetto allo SDF)

Classe di rischio sismico C $\rightarrow$ nessuna variazione di classe



ORDINE DEGLI
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA
DI CASERTA



ordine degli **architetti**
pianificatori paesaggisti conservatori
della provincia di **caserta**



GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE

Prof. Ing. Antonio Formisano

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base, Università di Napoli Federico II

