



**ANACI**

Associazione Nazionale Amministratori  
Condominiali e Immobiliari  
*Sezione provinciale di Cosenza*

CONVEGNO DI STUDIO: SINERGIE PER UN CONDOMINIO SICURO

# I MATERIALI INNOVATIVI PER LA RIQUALIFICAZIONE IMMOBILIARE

Dott. Ing. Saverio Spadea  
Dottore di Ricerca in Ingegneria delle  
Strutture e del Recupero Edilizio ed Urbano



# Impiego dei materiali compositi nell'Ingegneria Civile

- In Italia l'utilizzo dei Materiali Compositi Fibrorinforzati, comunemente denominati FRP (Fiber Reinforced Polymer), ha soprattutto interessato il settore della RIABILITAZIONE STRUTTURALE
- Le caratteristiche peculiari degli FRP, ne hanno incentivato lo sviluppo in Italia:
  - elevati rapporti rigidità/peso e resistenza/peso
  - elevata resistenza alla corrosione
  - rapidità delle applicazioni
- Gli FRP risultano competitivi in tutti quei casi in cui sia necessario limitare l'impatto estetico sulla struttura originaria o garantire un'adeguata reversibilità dell'intervento (edifici di interesse storico o artistico), ovvero in cui la limitatezza dello spazio a disposizione renderebbe difficile il ricorso a tecniche tradizionali.
- I maggiori costi dei materiali sono compensati da minori oneri in termini di organizzazione del cantiere, oltre che dall'estrema rapidità delle lavorazioni

## Quadro Normativo

- Nel recente D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC) non è avvenuto il riconoscimento auspicato dei materiali compositi, come materiali strutturali, il cui uso è stato invece subordinato al rilascio di uno specifico benestare tecnico da parte del Ministero delle Infrastrutture.
- Sono esclusi da tali procedure i soli impieghi per interventi su costruzioni esistenti purché rispettosi di normative e documenti di comprovata validità, come ad esempio le istruzioni e i documenti tecnici del CNR (§8.6 del DM 14/01/2008).

# Le Istruzioni del CNR

- DT 200/2004 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati. Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie«
- DT 201/2005 "Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni relative a Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Lignee mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati"
- DT 202/2005 "Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni per Interventi di Consolidamento Statico di Strutture Metalliche mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati"
- DT 203/2006 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo armato con barre di materiale composito fibrorinforzato«
- DT 204/2006 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato"
- DT 205/2007 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture realizzate con Profili Sottili Pultrusi di Materiale Composito Fibrorinforzato (FRP)"

# Tipologie di FRP disponibili in commercio

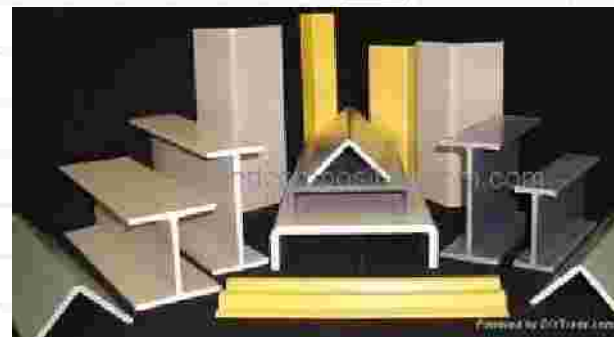
- I materiali compositi fibrorinforzati con fibre continue immerse in una matrice polimerica (FRP) sono materiali eterogenei ed anisotropi, caratterizzati da un comportamento prevalentemente elastico lineare fino a rottura.



Lamine Pultruse



Barre



Profili Pultrusi

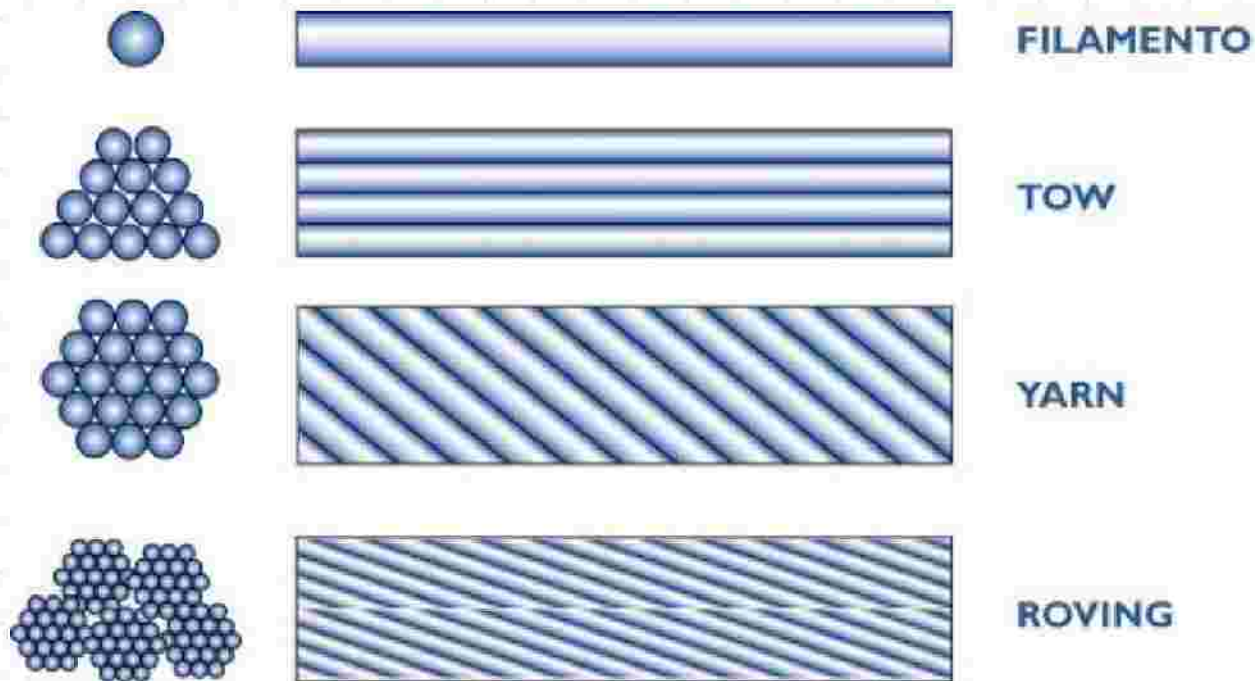
Tessuti



Fibre Corte

# Tipologie di fibra e tessitura dei filamenti

- Le fibre di più comune impiego sono quelle di vetro, di carbonio e di aramide: i corrispondenti compositi sono contrassegnati dagli acronimi GFRP, CFRP e AFRP.
- L'unità di misura della massa lineare è il Tex, equivalente ad 1 g per km di fibra.



## Caratteristiche Tecnologiche degli FRP

- In generale i materiali compositi presentano le seguenti caratteristiche:
  - ∨ sono costituiti da due o più materiali (fasi) di natura diversa, "macroscopicamente" distinguibili tra di loro;
  - ∨ almeno due delle fasi sono caratterizzate da proprietà fisiche e meccaniche "sufficientemente" diverse tra loro, in modo da impartire al composito proprietà differenti da quelle dei costituenti.
- I compositi fibrorinforzati a matrice polimerica soddisfano entrambe le suddette caratteristiche essendo costituiti da una matrice polimerica di natura organica e da fibre di rinforzo.

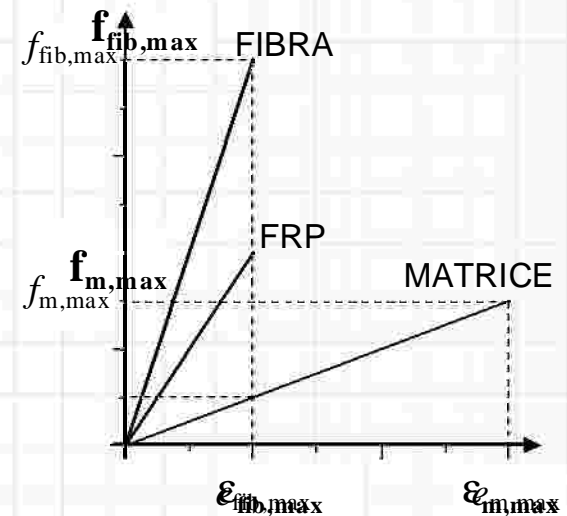
# Comparazione tra FRP e acciaio

	Modulo di elasticità normale	Resistenza a trazione	Deformazione a rottura	Coefficiente di dilatazione termica	Densità
	[GPa]	[MPa]	[%]	[10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]
Fibre di vetro E	70 – 80	2000 – 3500	3.5 – 4.5	5 – 5.4	2.5 – 2.6
Fibre di vetro S	85 – 90	3500 – 4800	4.5 – 5.5	1.6 – 2.9	2.46 – 2.49
Fibre di carbonio (alto modulo)	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8	-1.45	1.85 – 1.9
Fibre di carbonio (alta resistenza)	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73	-0.6 – -0.9	1.75
Fibre aramidiche	62 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5	-2	1.44 – 1.47
Matrice polimerica	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2	30 – 54	1.10 – 1.25
Acciaio da costruzione	206	250 – 400 (snervamento) 350 – 600 (rottura)	20 – 30	10.4	7.8



# FRP e loro componenti

- Matrice = continuo isotropo.
- Rinforzo = materiale anisotropo (proprietà differenti nelle varie direzioni).
- Contribuiscono a definire il rinforzo:
  - ✓ la geometria: forma e dimensioni;
  - ✓ la disposizione: orientazione delle fibre rispetto agli assi di simmetria del materiale;
  - ✓ la concentrazione: frazione in volume delle fibre;
- Le matrici più utilizzate per la fabbricazione dei compositi fibrorinforzati sono quelle polimeriche a base di resine termoindurenti. Tra queste ultime le più diffuse nel settore civile sono le resine epossidiche.
- Nei compositi fibrorinforzati le fibre svolgono il ruolo di elementi portanti sia in termini di resistenza che di rigidità, mentre la matrice, oltre a proteggere le fibre, è l'elemento di trasferimento degli sforzi tra le varie fibre nonché tra queste ultime ed il substrato.



*Legami costitutivi di fibre, matrice e corrispondente composito*

## Concetti Basilari del Rinforzo con FRP

- Il sistema di rinforzo deve essere posizionato nelle zone in cui è necessario resistere a sforzi di trazione. Al composito non devono essere affidati sforzi di compressione, a meno che non si tratti di elementi ben confinati (inglobati nelle sezioni), ovvero di pultrusi adeguatamente rigidi sia estensionalmente che flessionalmente.
- Si assume che la vita utile di una struttura rinforzata sia la stessa dell'analogia struttura di nuova realizzazione. Conseguentemente, i coefficienti parziali da adottare per le azioni di calcolo sono i medesimi di quelli previsti dalla Normativa vigente per le nuove costruzioni.

# Interventi su Strutture di Calcestruzzo Armato

- incrementare la resistenza a flessione semplice o a pressoflessione
- migliorare la capacità deformativa globale della struttura:
  - incrementando la capacità rotazionale delle potenziali cerniere plastiche senza variarne la posizione;
  - rilocalizzando le potenziali cerniere plastiche nel rispetto del criterio della gerarchia delle resistenze
- eliminare tutti i meccanismi di collasso di tipo fragile:
  - crisi per taglio
  - crisi nei pilastri per perdita di aderenza delle barre nelle zone di sovrapposizione
  - crisi nei pilastri per svergolamento delle barre longitudinali compresse
  - crisi per trazione dei pannelli dei nodi trave-pilastro
- eliminare tutti i meccanismi di collasso di piano (“piano soffice”)

# Rinforzo a Flessione

- Elementi Strutturali => Travi e Solai
- Modalità di Intervento  
Applicazione di una o più lamine, ovvero uno o più strati di tessuto, al lembo teso dell'elemento da rinforzare con le fibre disposte parallelamente all'asse della trave.



# Rinforzo a Taglio

- Elementi Strutturali => Travi e Pilastri
- Modalità di Intervento  
Applicazione di una o più lamine, ovvero uno o più strati di tessuto, con fibre disposte ortogonalmente all'asse della trave

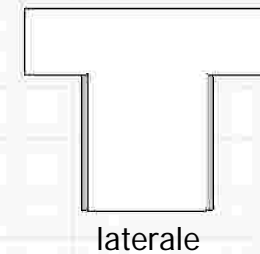
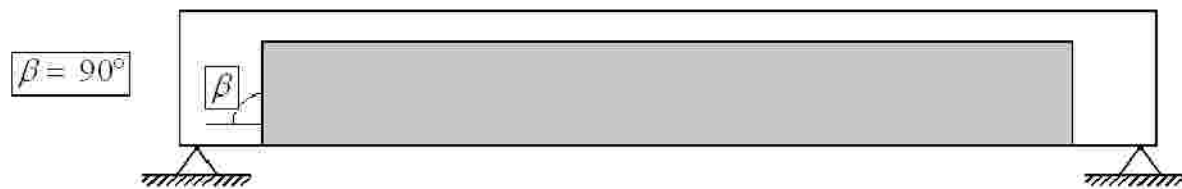


# Configurazioni per il rinforzo a Taglio

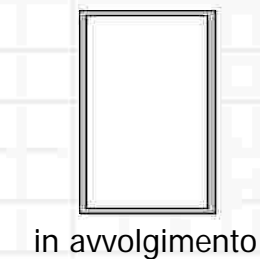
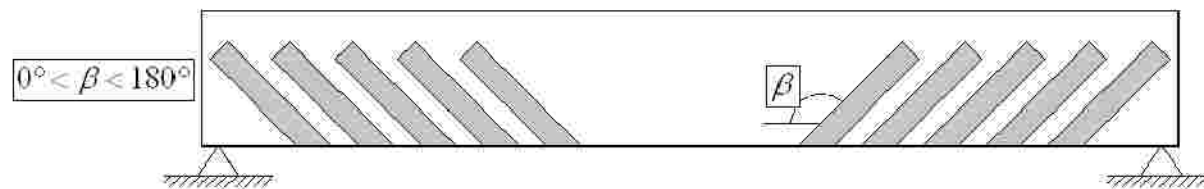
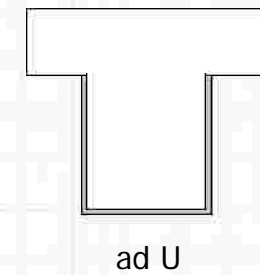
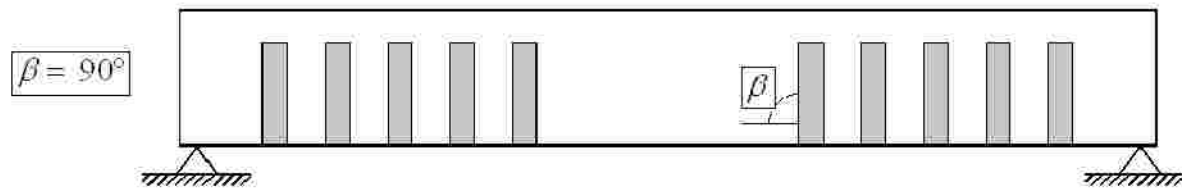
In Lunghezza

In Sezione

Rinforzo continuo



Rinforzo discontinuo



# Confinamento

- Elementi Strutturali => Pilastri e Setti
- Modalità di Intervento  
tessuti o lamine di FRP disposti sul contorno in modo da costituire una fasciatura esterna continua (ricoprimento) o discontinua (cerchiatura).



## Effetti del Confinamento

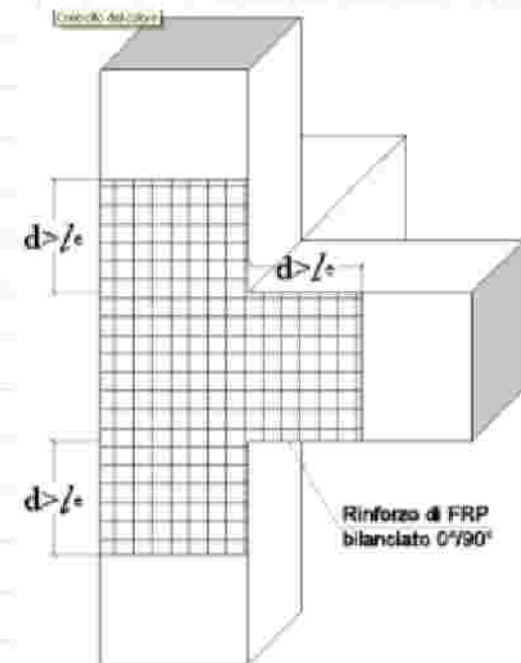
- Un adeguato confinamento degli elementi di c.a. può determinare un miglioramento delle prestazioni dell'elemento strutturale, consentendo di incrementare:
  - la resistenza ultima e la corrispondente deformazione ultima di elementi sollecitati da sforzo normale centrato o con piccola eccentricità;
  - la duttilità e, congiuntamente all'impiego di rinforzi longitudinali, la resistenza ultima di elementi pressoinflessi.
- Un sistema confinante a base di FRP (elastico fino a rottura), a differenza di un sistema di acciaio (elasto-plastico), esercita una pressione laterale sempre crescente, in senso stretto, all'aumentare della dilatazione trasversale dell'elemento confinato.



## Nodi Trave-Pilastro

- Incremento della resistenza a trazione dei pannelli dei nodi

L'intervento è efficace solo se le estremità del rinforzo sono perfettamente ancorate attraverso l'adozione di opportuni particolari costruttivi. In caso contrario il rinforzo non può essere ritenuto efficace.



## Rinforzo di Strutture Murarie

- In zona sismica l'applicazione dei rinforzi su strutture murarie è principalmente finalizzato al raggiungimento dei seguenti obiettivi:
  - incremento della resistenza a flessione e taglio di pannelli murari assicurando la trasmissione di sforzi di trazione all'interno di singoli elementi o tra elementi contigui;
  - eliminazione di spinte e forze applicate ortogonalmente ai paramenti murari;
  - collegamento tra elementi che collaborano a resistere alle azioni orizzontali in modo da ottenere un comportamento scatolare della costruzione;
  - irrigidimento di solai nel proprio piano per ottenere un funzionamento a diaframma rigido;
  - limitazione dell'apertura di fessure per migliorare la dissipazione di energia;
  - confinamento di colonne per incrementare la resistenza e la duttilità del materiale.

# Rinforzo di Strutture Murarie nel Piano

- Pressoflessione

Applicazione di rinforzi di FRP verticali disposti simmetricamente sulle due superfici esterne del pannello, in zona tesa.

- Taglio

Applicazione di rinforzi di FRP diagonali, disposti a croce di Sant'Andrea, seguendo le direzioni principali di trazione nel caso di taglio nel piano del pannello murario.

- Confinamento

Fasciatura di colonne e pannelli Murari



# Rinforzo di Strutture Murarie fuori piano Piano

- Ribaltamento semplice
- Flessione Verticale
- Flessione Orizzontale

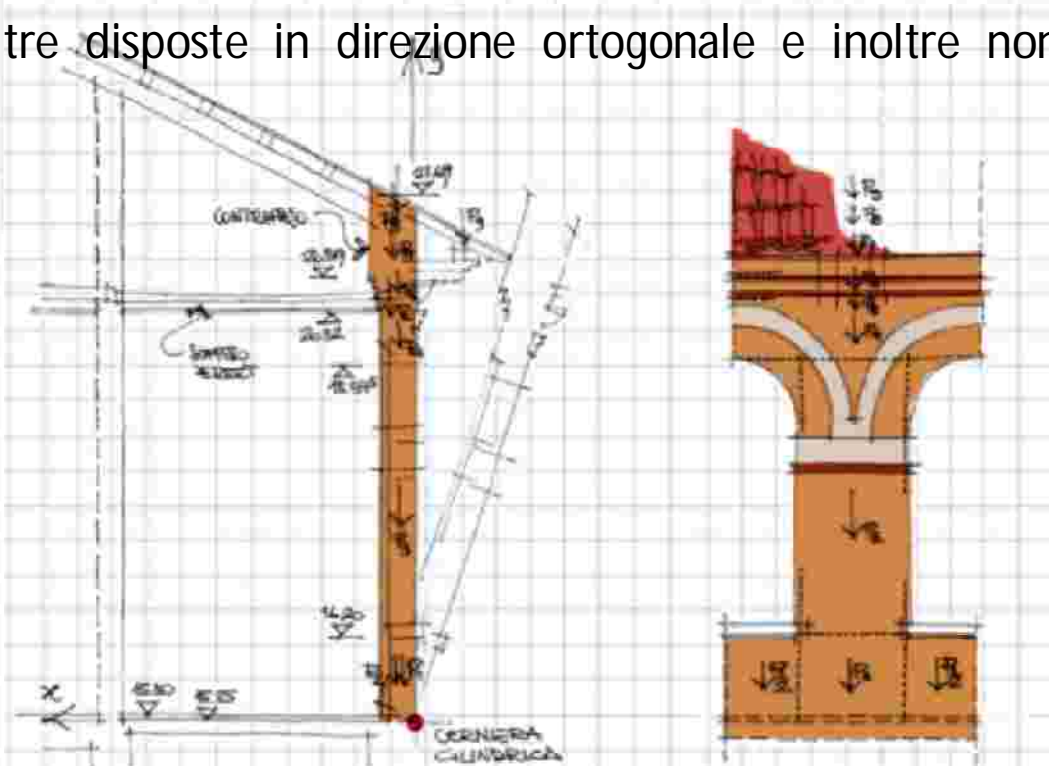
# Edifici in Muratura: Ribaltamento semplice

- Modalità di crisi

Il cinematismo di collasso consiste in un ribaltamento per rotazione intorno ad una cerniera cilindrica alla base del pannello murario

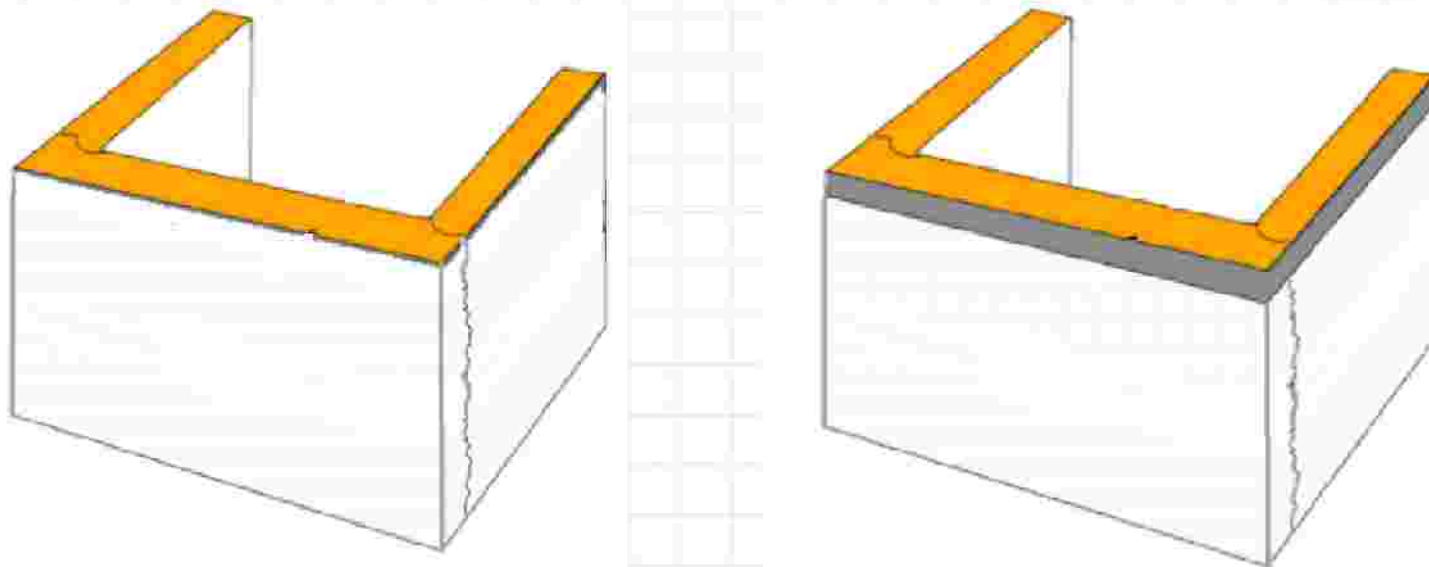
- Causa

pareti non ammassate ad altre disposte in direzione ortogonale e inoltre non trattenute in sommità



## Edifici in Muratura: Ribaltamento semplice

- Modalità di intervento:
  - Inserimento di uno o più strisce orizzontali di tessuto incollate alla sommità della parete in oggetto, risvoltate sulle pareti ortogonali di estremità ed ancorate ad esse.
  - Introduzione di catene in barre di materiale composito fibrorinforzato
  - Cerchiatura totale del manufatto (solo in caso di torri)



#### Descrizione dell'edificio

Si tratta di una villa privata costruita all'inizio del secolo scorso e caratterizzata da una torretta che si erge sopra il piano di copertura, costituito da un tetto a falde.

A causa delle azioni di spinta della copertura, le murature perimetrali dell'elemento architettonico tendono a ruotare verso l'esterno.

Si rende quindi indispensabile un intervento di consolidamento che renda solidali le parti, ristabilendo il comportamento "scatolare" dell'edificio.

Villa privata  
Modena

Rinforzo strutturale  
della torretta

descrizione dell'edificio



#### Descrizione dell'intervento

L'intervento di rinforzo riguarda l'intero perimetro della torretta ed è costituito da una fasciatura eseguita in sommità, appena sotto la quota del cornicione.

Il rinforzo viene eseguito con l'applicazione di una fasciatura in fibre di carbonio unidirezionali applicata con resina epossidica, dopo opportuna preparazione del supporto. Le giunzioni dei nastri in carbonio sono state realizzate con una sovrapposizione minima di 15 centimetri.

# Edifici in Muratura: Flessione Verticale

- Modalità di crisi

Il collasso avviene per formazione di tre cerniere: una al piede, una in sommità e la terza posizionata ad una certa altezza del pannello.

- Causa

pannelli particolarmente alti e/o vincolati a maschi murari ortogonali molto distanti tra loro. Sono particolarmente sensibili a tale tipologia di collasso, sotto azioni sismiche, quei pannelli sui quali gravano, da parti opposte, solai ubicati a quote differenti per la presenza di interpiani di diversa altezza



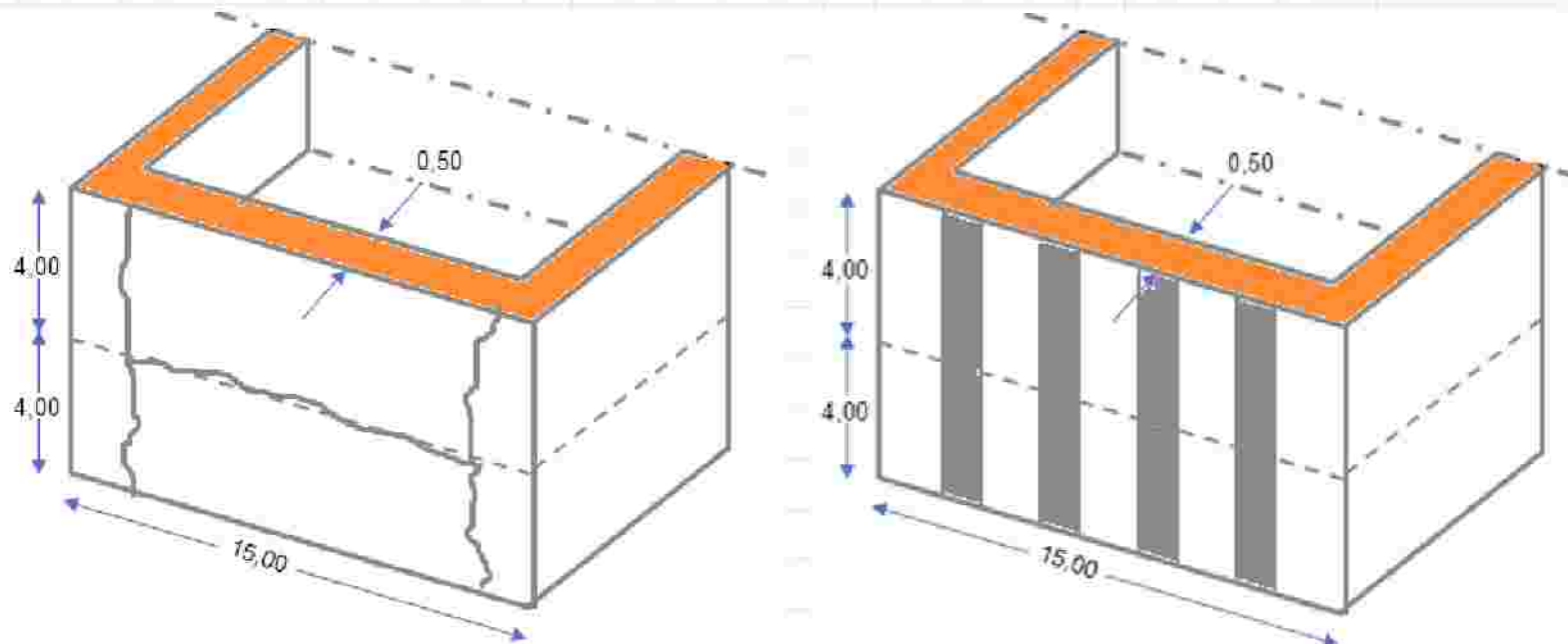
Fig. 1.2 – Meccanismi di flessione verticale  
(Foto da: MEDEA - Zuccaro, Papa - 2003, DPC)



## Edifici in Muratura: Flessione Verticale

- Modalità di intervento:

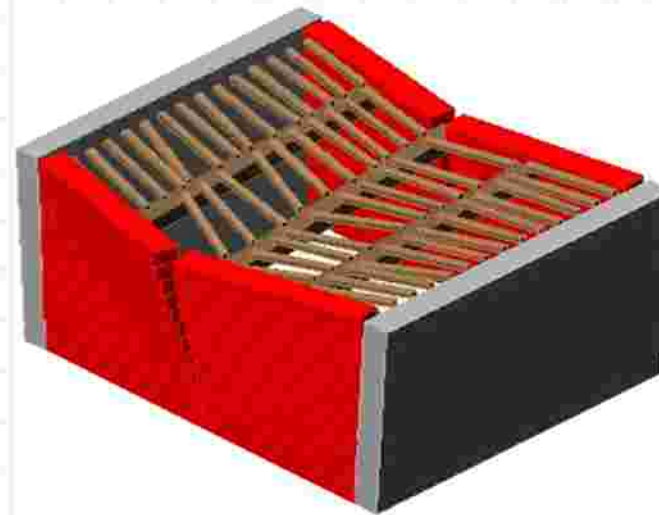
applicazione sulle pareti del pannello di compositi con fibre verticali, realizzando così una "muratura armata con FRP" nella quale gli sforzi di compressione associati alla flessione sono assorbiti dalla muratura e quelli di trazione dal rinforzo di FRP.



## Edifici in Muratura: Flessione Orizzontale

- Causa

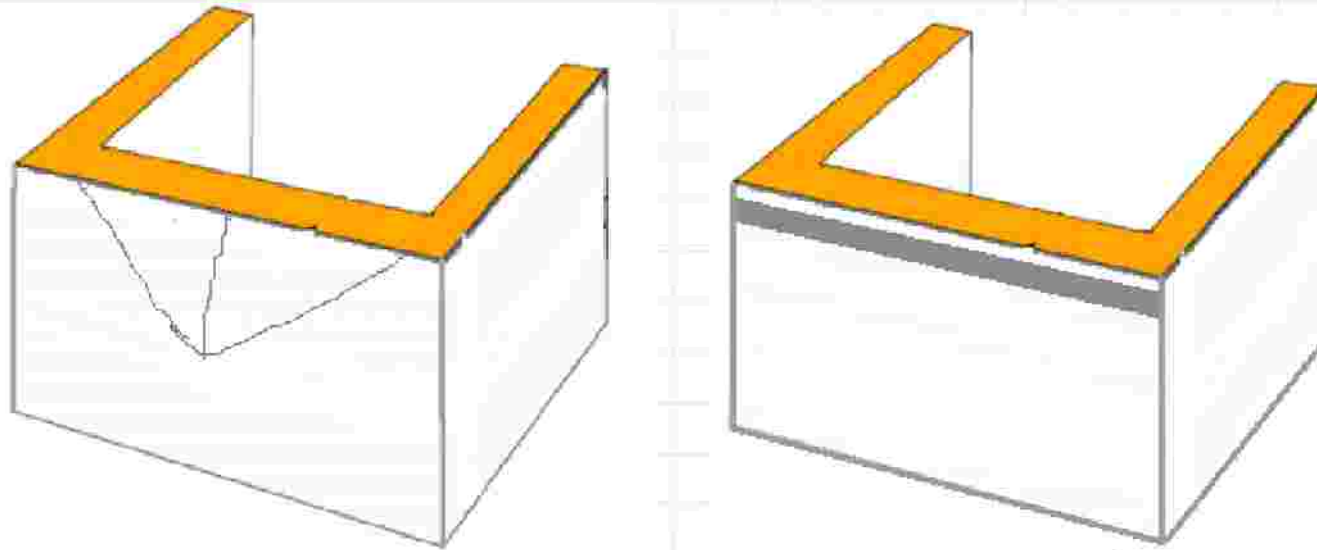
pannelli murari efficacemente vincolati alle pareti di spina ma non trattenuti superiormente da apposite strutture, come cordoli o solette armate ma piuttosto sottoposti all'azione di orizzontamenti/tetti di tipo spingente



## Edifici in Muratura: Flessione Orizzontale

- Modalità di intervento:

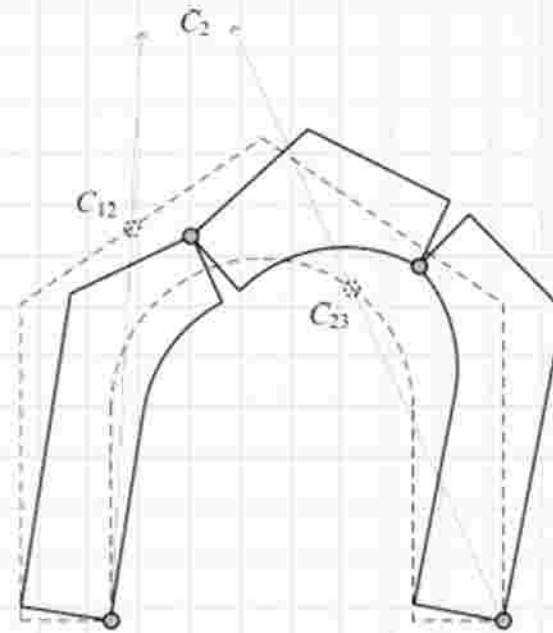
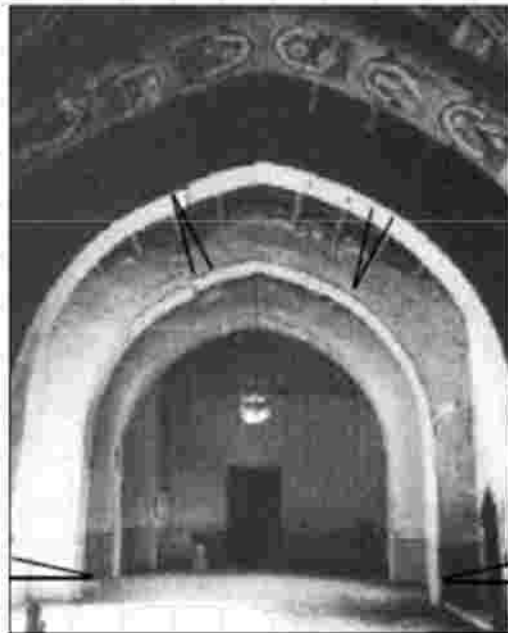
applicazione sulle pareti del pannello di compositi con fibre orizzontali, realizzando così una "muratura armata con FRP" nella quale gli sforzi di compressione associati alla flessione sono assorbiti dalla muratura e quelli di trazione dal rinforzo di FRP.



# Consolidamento di archi

- Modalità di crisi

Il collasso avviene per formazione di cerniere che innescano un cinematismo della struttura.



# Consolidamento di archi

- Modalità di intervento:
  - per impedire il meccanismo caratterizzato dalla formazione delle quattro cerniere, di cui due all'estradosso e due all'intradosso, si può intervenire incollando tessuti o lamine di FRP all'estradosso ovvero all'intradosso;
- Di norma è preferibile:
  - eseguire interventi completi sull'estradosso o sull'intradosso;
  - preferire alle lamine di FRP i tessuti, che meglio si adattano alla geometria del supporto murario;
  - applicare, se possibile, il rinforzo sull'estradosso dell'arco; infatti in tal caso, per effetto della curvatura, si mobilitano all'interfaccia arco-FRP tese tensioni normali di compressione; al contrario, nel caso di un rinforzo teso applicato all'intradosso dell'arco, insorgono all'interfaccia interazioni di trazione, che deprimono la resistenza alla delaminazione.

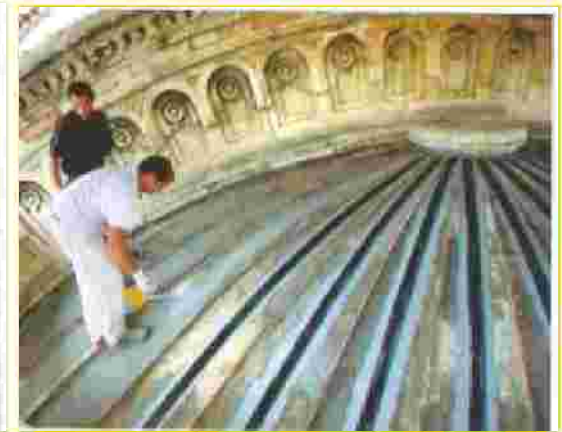


Ponte di San Giacomo dell'Orio, Venezia.

L'intervento di rinforzo è stato realizzato con lamine di CFRP incollate all'estradosso dell'arco

## Consolidamento di volte

- In situazioni frequenti, lo studio di una volta a botte è riconducibile a quello di un arco di profondità unitaria il cui profilo corrisponde alla curva direttrice della volta. Ne consegue che le volte a botte possono essere rinforzate mediante tessuti applicati lungo la direttrice, sia all'estradosso che all'intradosso. Per soddisfare i requisiti di sicurezza, il rinforzo deve essere disposto in maniera diffusa lungo tutto lo sviluppo longitudinale della volta (direzione della generatrice);
- Per cupole a singola o doppia curvatura la disposizione del rinforzo deve seguire la consueta logica della ricerca delle direttrici di Trazione.





## Chiesa di S. Croce in Cascina (Pisa)

L'intervento di rinforzo è stato realizzato con lamine e tessuti di CFRP incollate all'estradosso della volte



## Rinforzo a Flessione di strutture Lignee

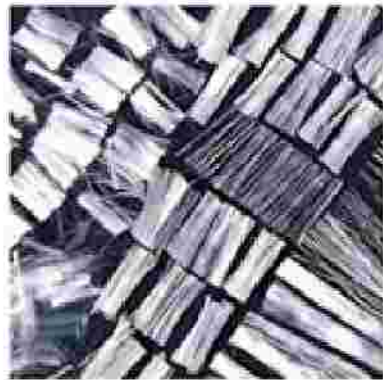


## Rinforzo a Flessione di strutture Metalliche



## Calcestruzzi e Malte fibrorinforzati

- Fibre di Acciaio
- Fibre di Vetro / Carbonio / Arammide
- Fibre PET da riciclo



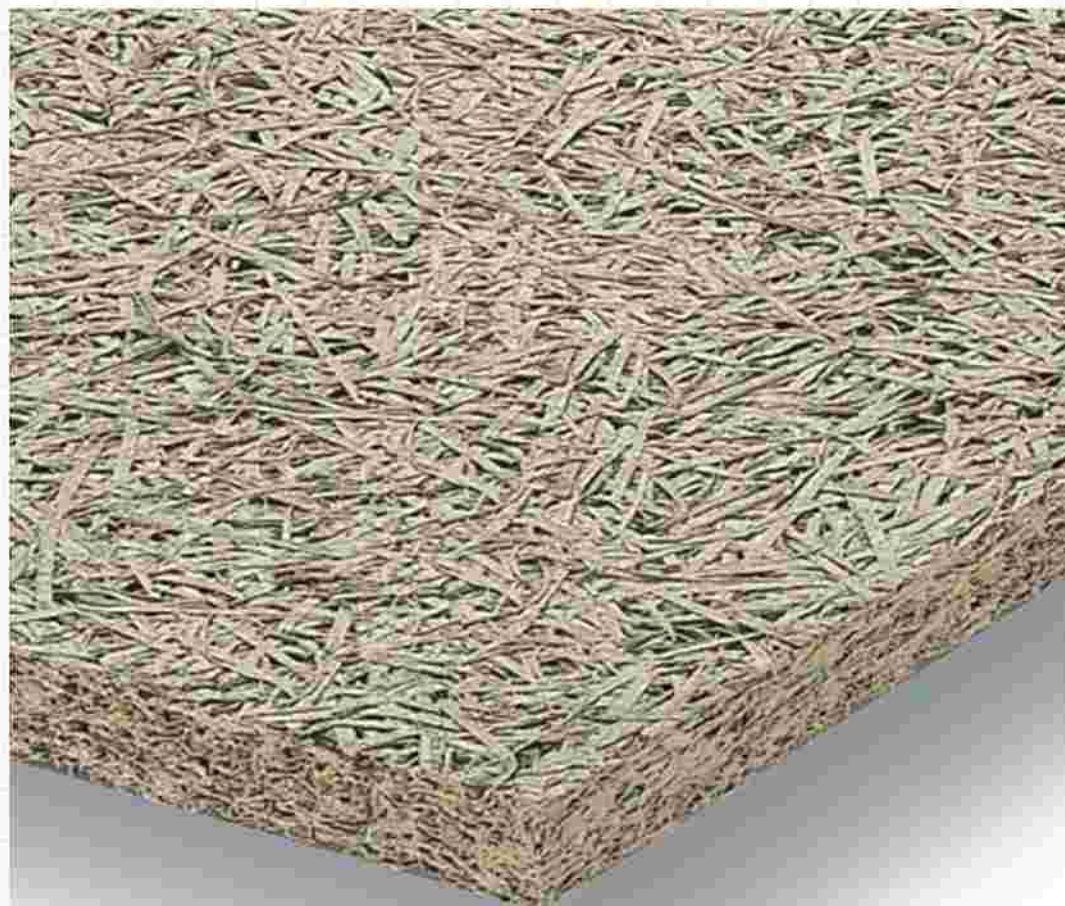
## Interventi di Ricostruzione e Ripristino di elementi strutturali esistenti

- Migliori proprietà meccaniche nei confronti di
  - Resistenza a Trazione
  - Duttilità
- Sensibile riduzione della Fessurazione  
=> Durabilità
- Ottime proprietà isolanti dal punto di vista
  - Termico
  - Acustico

## Interventi di Ricostruzione e Ripristino di elementi strutturali esistenti

- Migliori proprietà meccaniche nei confronti di
  - Resistenza a Trazione
  - Duttilità
- Sensibile riduzione della Fessurazione  
=> Durabilità
- Ottime proprietà isolanti dal punto di vista
  - Termico
  - Acustico

## Pannelli in Legno-cemento



# Controlli di produzione, in fase di accettazione e di collaudo

- Analogamente a quanto avviene per i materiali tradizionali da costruzione, gli FRP utilizzati a scopo strutturale devono essere soggetti sia ad un processo di qualificazione iniziale che a controlli sistematici di produzione e di accettazione in cantiere.
- Pertanto, essi devono essere:
  - identificabili per poter risalire univocamente al Produttore;
  - qualificati e controllati secondo procedure ben definite ed applicabili al processo di produzione in fabbrica, nonché verificati con regolarità eventualmente anche da un ente terzo di ispezione abilitato;
  - accettati dal Direttore dei Lavori a seguito della verifica della documentazione e delle prove di accettazione.
- Una volta che l'intervento di rinforzo sia stato realizzato, è necessario procedere al suo controllo ai fini del collaudo ed, in seguito, al suo eventuale monitoraggio nel tempo. In entrambi i casi, è possibile ricorrere sia a prove non distruttive che a prove parzialmente distruttive

## Requisiti di durabilità

- Il rinforzo deve essere progettato in modo che il degrado atteso nel corso della vita utile della struttura rinforzata non ne riduca le prestazioni al di sotto di quelle previste tenendo conto:
  - delle condizioni ambientali
  - del programma di manutenzione

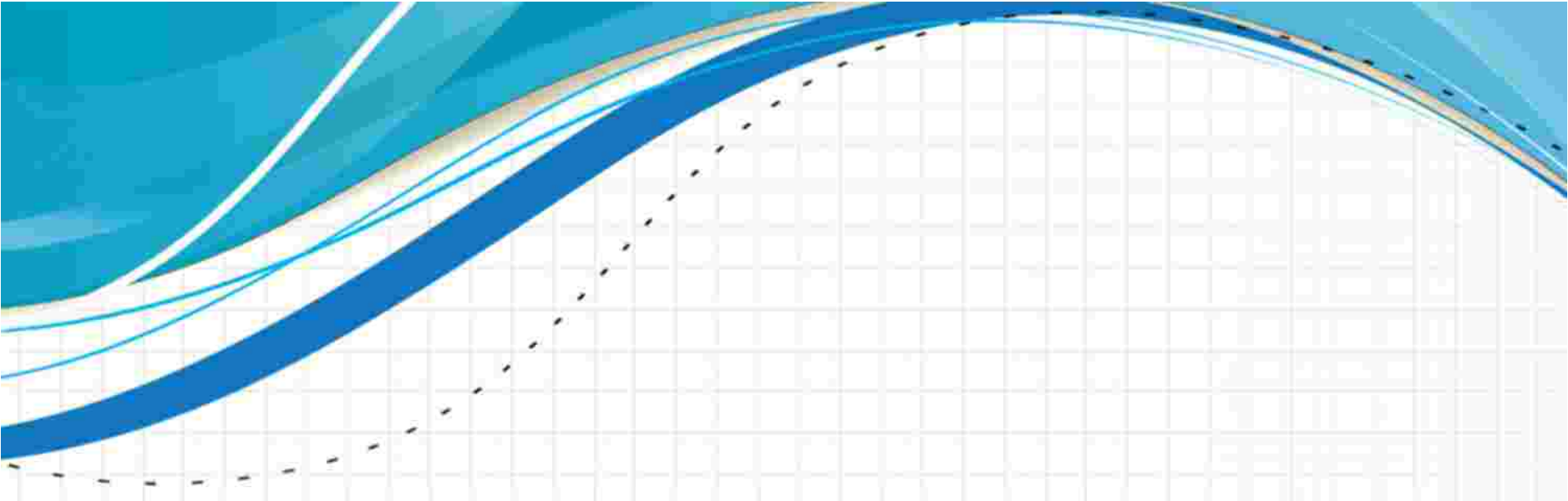


## Quando scegliere i Materiali Compositi?

- L'utilizzo di Materiali Compositi Fibrorinforzati per la **RIABILITAZIONE STRUTTURALE** può essere particolarmente utile nei casi in cui:
  - si debba operare in maniera poco invasiva dal punto di vista estetico sul manufatto esistente (beni di particolare pregio storico e architettonico)
  - sia necessario operare un intervento senza causare un aumento delle dimensioni degli elementi costruttivi
  - sia fondamentale limitare il periodo di inoperatività del manufatto

# Avvertenze

- Diffidare da Imprese esecutrici che vi propongono di effettuare interventi miracolosi senza le dovute fasi di:
  - Conoscenza della struttura
  - Accettazione e verifica dei materiali
  - Analisi Strutturale e dimensionamento dell'InterventoDa effettuarsi da professionisti iscritti agli Albi professionali.
- I materiali compositi fibrorinforzati non costituiscono un semplice Nastro Adesivo pronto per l'uso, ma piuttosto un delicato e complesso Bisturi che, se usato senza cognizione di causa, può essere poco efficace o addirittura instaurare regimi tensionali maggiormente penalizzanti negli elementi strutturali interessati dall'intervento



Grazie per l'attenzione

DOMANDE?

- Si ringraziano i colleghi Ingg. Alberto Avossa, Valentino Berardi e Antonella Giordano per aver gentilmente fornito alcune delle immagini riportate in questa presentazione.
- Si rende noto che il presente documento è stato redatto a scopo divulgativo e presenta argomentazioni di carattere informativo piuttosto che prettamente tecnico.