



Rinforzo strutturale e adeguamento sismico con materiali compositi fibrorinforzati a matrice polimerica FRP

Leggerezza e resistenza al servizio della riqualificazione edilizia

“I materiali fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) a fibre continue cui fa riferimento il presente documento sono materiali compositi, eterogenei e anisotropi che mostrano un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso. Essi trovano largo impiego nel consolidamento e nel rinforzo delle strutture civili. I vantaggi degli FRP sono molteplici: leggerezza, elevate proprietà meccaniche, caratteristiche anticorrosive.”

La precedente citazione, tratta dalla premessa del documento tecnico CNR DT 200 R1/2013 REV.15/05/2014, descrive in estrema sintesi le caratteristiche dei materiali utilizzati per i rinforzi strutturali con tecnologia FRP, tracciandone sommariamente i tratti morfologici, meccanici e le possibilità di utilizzo. Tuttavia per il professionista che si affaccia a questo mondo per la prima volta spesso risulta poco immediato associare la propria problematica strutturale ad una soluzione di rinforzo con materiali FRP, dal momento che il CNR citato non è una trattazione didattica ma, appunto, un documento tecnico con istruzioni di calcolo dedicate a chi già conosce le possibili applicazioni di questa tecnologia, sebbene esso presenti un ampio capitolo descrittivo delle caratteristiche dei materiali che compongono il sistema di rinforzo.

I materiali compositi FRP: cosa sono e a cosa servono

I materiali compositi, inizialmente impiegati come materiali strutturali nei settori aeronautico e aerospaziale, fin dalla metà del secolo scorso si sono progressivamente diffusi in altri settori fino ad essere largamente impiegati anche in ambito sportivo, navale e in ultimo civile. Dalla fine degli anni settanta sono cominciate le applicazioni dei materiali compositi nell'edilizia civile.

Ma in cosa consistono i materiali compositi FRP? I materiali compositi FRP (Fiber Reinforced Polymer) consistono in fibre continue di opportuni materiali immerse in una matrice polimerica che li tiene insieme e li fissa alla struttura da rinforzare. La fibra ha il compito di sopportare le sollecitazioni, la matrice invece ha il compito di proteggere le fibre di rinforzo e di trasferire loro il carico esterno. Le fibre più utilizzate per la produzione di materiali compositi sono quelle in **carbonio, aramide, vetro e basalto**.

Perché sono così efficaci

I materiali compositi FRP funzionano esclusivamente se sollecitati a trazione e sono estremamente resistenti: **la fibra di carbonio ad esempio ha una resistenza a trazione 10 volte superiore all'acciaio**.

La possibilità di poter orientare le fibre di rinforzo e la loro percentuale nelle effettive direzioni secondo cui agiscono le sollecitazioni, consente la realizzazione di materiali compositi caratterizzati da un elevatissimo rapporto peso-prestazione che consentono realizzazioni inimmaginabili con i materiali tradizionali.

Per ottenere un rinforzo efficace però, non è sufficiente utilizzare fibre ad alta resistenza: è anche indispensabile garantire una buona adesione tra il supporto e il rinforzo stesso per una corretta trasmissione delle tensioni.



L'adesione viene realizzata mediante **l'impiego di resine strutturali applicate in strati molto sottili sulla superficie delle fibre e sul supporto** preventivamente trattato con un promotore di adesione.

I principali impieghi dei rinforzi FRP si hanno nei campi di:

- **edilizia civile / industriale:** ripristino e rinforzo di strutture in c.a., muratura e legno per adeguamento alle normative vigenti (aumento dei carichi di esercizio) e ripristino di situazioni di degrado;
- **adeguamento sismico:** aumento di resistenza e di duttilità di strutture in c.a., realizzazione di interconnessioni tra maschi murari, cerchiature e controventature degli edifici, nel rispetto delle prescrizioni delle N.T.C. (D.M. 14-01-2008);
- **ponti e viadotti:** rinforzo a flessione e taglio di travi e impalcati di ponti, per riqualificazione funzionale e/o adeguamento a nuova categoria. Normativa di riferimento: CNR DT 200 R1/2013 nella versione del 15/05/2014.

L'aggiunta di FRP modifica anche sostanzialmente lo stato tensionale della struttura su cui è applicato, per questo è importante sottolineare che **i materiali FRP sono a tutti gli effetti elementi strutturali**, e pertanto **devono essere dimensionati e verificati da un tecnico abilitato** (solitamente un ingegnere, meglio se strutturista).

SINOTTICO ANALITICO DEI SISTEMI DI RINFORZO STRUTTURALE:



PRETENSIONAMENTO

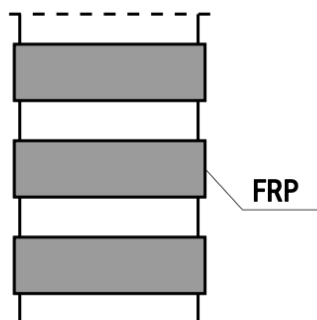
Per strutture e opere d'arte quali ponti, viadotti e impalcati soggetti a forti sollecitazioni e fatica la tecnica di pretensionamento delle lamelle in fibra di carbonio risulta essere una possibile soluzione in quanto un quantitativo ridotto di area resistente delle lamelle può soddisfare delle grosse esigenze di carico con un generale miglioramento dell'efficienza dell'impiego del carbonio sotto l'aspetto tecnico-economico.

Nelle travi rinforzate con questa tecnologia si osserva un incremento notevole della resistenza a flessione e un decremento della freccia in mezzera con un incremento della rigidità, un forte miglioramento della duttilità ed un più generale consistente miglioramento allo stato di esercizio. Si riportano di seguito alcune foto delle fasi applicative.

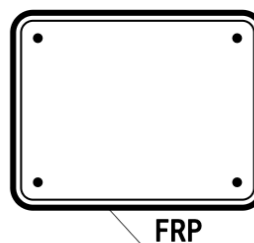


CONFINAMENTO DEI PILASTRI

Il confinamento di elementi di c.a. può essere realizzato con tessuti di FRP disposti in avvolgimento sul perimetro in modo da costituire una fasciatura esterna continua (ricoprimento) o discontinua (cerchiatura). Esso consente di incrementare la resistenza ultima per elementi sollecitati da sforzo normale centrato o con piccola eccentricità.



Dettaglio cerchiatura con tessuti FRP



Sezione pilastro rinforzato con tessuti FRP

Quanto descritto nelle seguenti schede non può prescindere dalla corretta preparazione del supporto, allo scopo di ottenere la migliore superficie di incollaggio possibile e la massima durabilità dell'intervento, rimuovendo tutti le possibili cause di degrado della struttura oggetto dell'intervento.



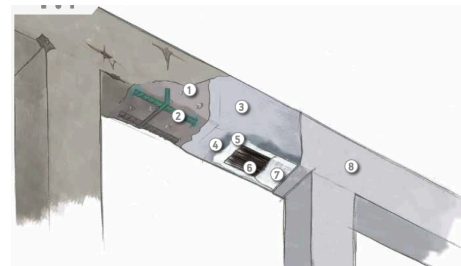
TRAVE IN C.A.

IL PROBLEMA

La trave presenta carenze di armatura longitudinale a flessione per mutate condizioni di carico o per degrado dei materiali con conseguente riduzione delle prestazioni iniziali.

LA SOLUZIONE

L'armatura longitudinale può essere integrata mediante l'utilizzo di tessuti unidirezionali in fibra di carbonio, con fibre poste parallelamente all'asse della trave, e incollate direttamente all'intradosso ripristinato della trave stessa.



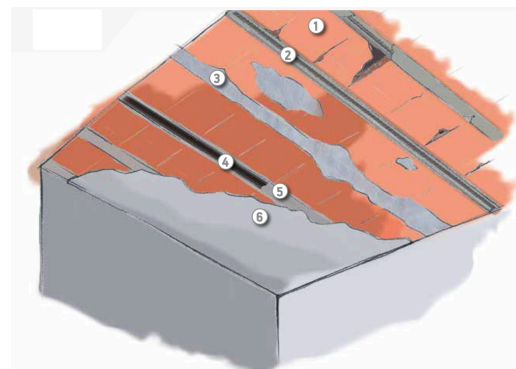
SOLAIO IN LATERO CEMENTO

IL PROBLEMA

Il solaio presenta carenze di armatura longitudinale a flessione per mutate condizioni di carico (cambio di destinazione d'uso) o per degrado dei materiali (dovuto a umidità, incendio, ecc.).

LA SOLUZIONE

L'armatura longitudinale può essere integrata mediante l'utilizzo di lamelle pultruse in fibra di carbonio, con fibre poste parallelamente all'asse del travetto, e incollate direttamente all'intradosso ripristinato di ciascun travetto costituente il solaio. Tale intervento necessita della demolizione del fondello in laterizio poiché il rinforzo deve essere fissato direttamente all'elemento resistente.



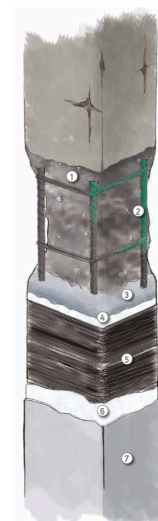
PILASTRO IN C.A.

IL PROBLEMA

Il pilastro semplicemente compresso presenta resistenza del calcestruzzo inferiore alle aspettative, oppure è necessario incrementare la resistenza a compressione del calcestruzzo per aumentare la duttilità della sezione.

LA SOLUZIONE

Fasciando il pilastro con nastri di tessuto unidirezionale è possibile aumentare la resistenza a compressione del calcestruzzo. L'aumento di resistenza a compressione è ottenibile in funzione della geometria della sezione, del materiale base e della disposizione delle fasciature di cerchiatura, e determina anche un aumento della deformazione ultima a compressione del calcestruzzo, in altre parole ne aumenta la duttilità.





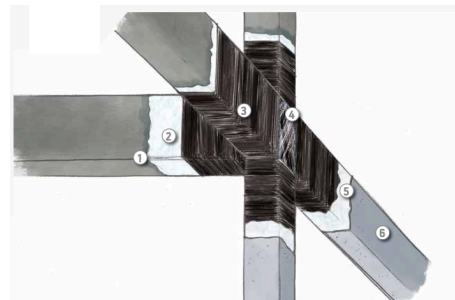
NODO TRAVE PILASTRO

IL PROBLEMA

È necessario incrementare le resistenze a taglio della trave e del pilastro nel punto di convergenza, in modo da ripristinare la corretta gerarchia delle resistenze tra gli elementi.

LA SOLUZIONE

Fasciando la trave a taglio e cerchiando il pilastro entrambi con fasce di tessuto unidirezionale è possibile aumentare la resistenza a taglio di trave e pilastro nonché la duttilità del calcestruzzo del pilastro. In tal modo si migliora anche la capacità dissipativa del nodo alle azioni sismiche. Per rinforzare il pannello nodale è buona norma incollare un foglio di tessuto quadriassiale, con opportuno prolungamento sulle anime di trave e pilastro e conseguenti risvolti.



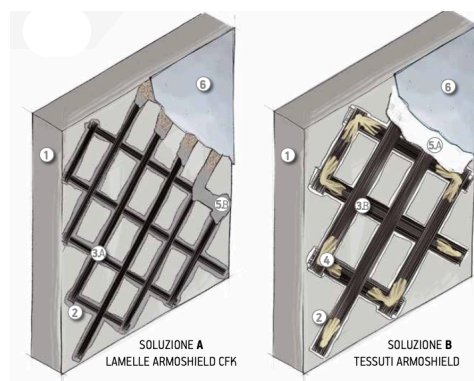
SETTI IN C.A.

IL PROBLEMA

Si vuole migliorare il comportamento a taglio di setti in c.a. per miglioramento o adeguamento alle azioni sismiche da normativa.

LA SOLUZIONE

Si crea un controventamento a croce di Sant'Andrea con fasce unidirezionali di fibra di carbonio posate sulle due facce del pannello, collegate tra loro da connettori passanti a doppio fiocco sugli incroci.



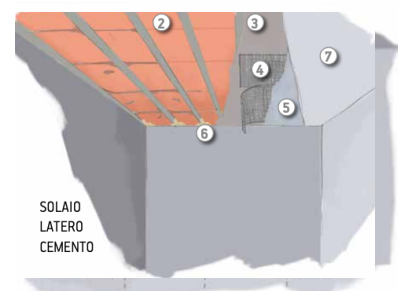
TAMPONAMENTI E SOLAI

IL PROBLEMA

Si teme la formazione di un cinematisma consistente nel collasso e ribaltamento dei tamponamenti in muratura e alla caduta di elementi di alleggerimento in laterizio dal solaio.

LA SOLUZIONE

Miglioramento del comportamento sismico di tamponamenti in muratura e solai con sistema antiribaltamento che previene le fessurazioni e contiene il rischio di crolli e ribaltamento.





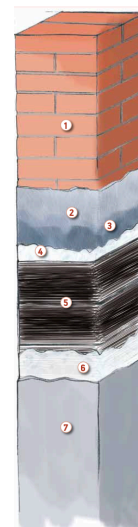
PILASTRO IN MURATURA

IL PROBLEMA

Il pilastro semplicemente compresso presenta resistenza a compressione inferiore alle richieste progettuali, oppure è necessario incrementare la deformazione ultima ad esempio nel caso di incremento dei carichi sulla struttura o di ampliamento.

LA SOLUZIONE

Fasciando il pilastro con nastri di tessuto unidirezionale è possibile aumentare la resistenza a compressione della muratura. L'aumento di resistenza a compressione ottenibile è funzione della geometria della sezione, del materiale base e della disposizione delle fasciature di cerchiatura, e determina anche un aumento della deformazione ultima a compressione della muratura, in altre parole ne aumenta la duttilità.



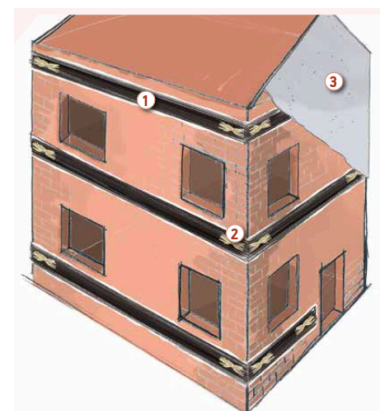
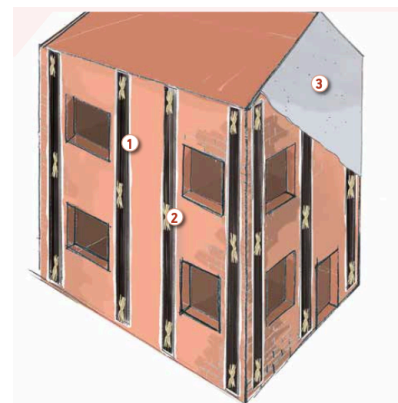
PANNELLI MURARI PERIMETRALI

IL PROBLEMA

Per un pannello di muratura ben vincolato al piede ed in sommità, soggetto ad azioni orizzontali, si teme il collasso per effetto delle sollecitazioni di flessione che si instaurano in esso. Il collasso avviene per formazione di tre cerniere: una al piede, una in sommità e la terza posizionata ad una certa altezza del pannello.

LA SOLUZIONE

Applicando sulle pareti del pannello fasce di materiale composito FRP con fibre verticali, si realizza 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.





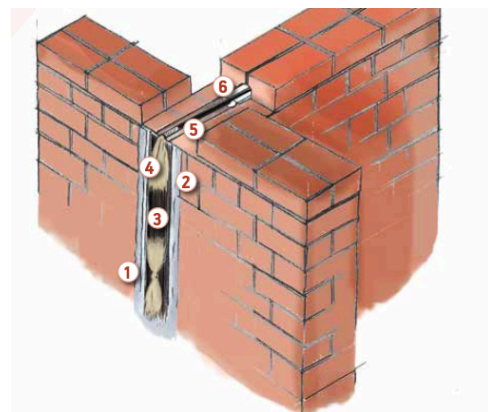
INTERCONNESSIONE PARETI

IL PROBLEMA

Pareti ortogonali ed entrambe resistenti alle azioni orizzontali si presentano scarsamente ammassate tra loro, questo comporta un pessimo comportamento sismico del fabbricato.

LA SOLUZIONE

L'applicazione di barre in fibra di carbonio unitamente a fasciature verticali FRP conferisce un ancoraggio continuo tra le murature così connesse.



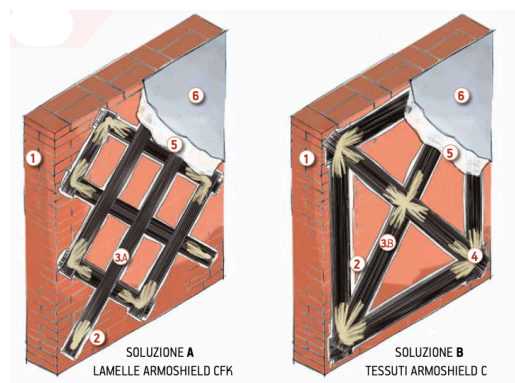
PARETI SOGGETTE A TAGLIO

IL PROBLEMA

Si vuole rinforzare un pannello murario all'azione tagliante.

LA SOLUZIONE

Si possono applicare fasciature su ambo le facce esterne del pannello in modo da creare un sistema atto ad attivare un comportamento secondo lo schema a traliccio.



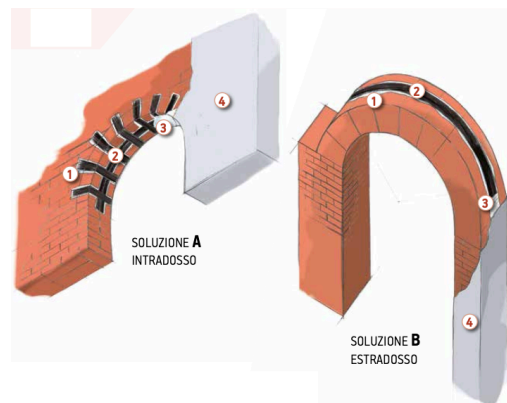
ARCHI

IL PROBLEMA

Si vuole rinforzare un arco intervenendo all'intradosso (A) o all'estradosso (B).

LA SOLUZIONE

Si possono applicare fasciature all'intradosso, opportunamente ancorate, in modo da aumentare l'eccentricità ammissibile della risultante di compressione nello spessore dell'arco e aumentare di conseguenza i carichi che portano alla formazione delle cerniere plastiche che determinano il meccanismo di collasso.





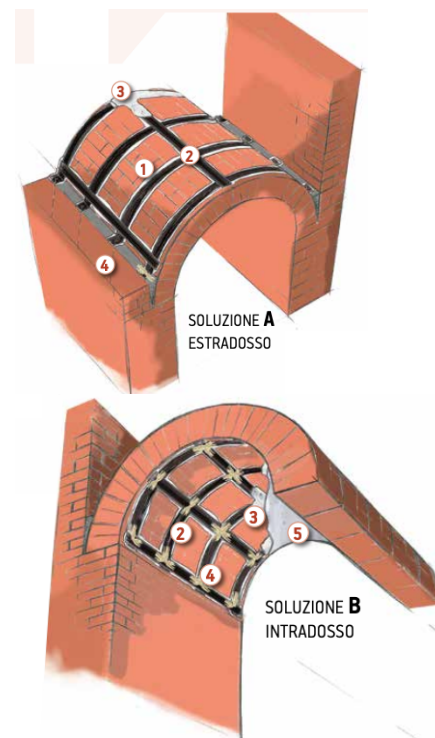
VOLTE A BOTTE

IL PROBLEMA

Si vuole rinforzare una volta a botte intervenendo all'estradosso (A) o all'intradosso (B).

LA SOLUZIONE

Si possono applicare fasciature all'estradosso o all'intradosso, in quest'ultimo caso opportunamente ancorate meccanicamente con connettori, in modo da aumentare l'eccentricità ammissibile della risultante di compressione nello spessore della volta permettendo di aumentare i carichi che portano alla formazione della cerniera plastica.



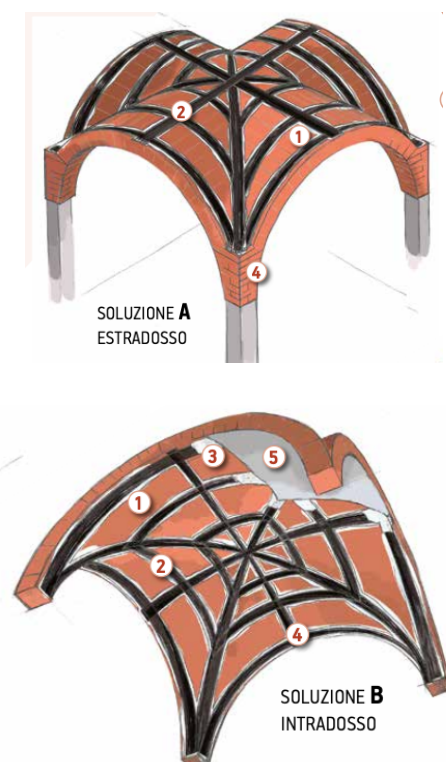
VOLTE A CROCIERA

IL PROBLEMA

Si vuole rinforzare una volta a crociera intervenendo all'estradosso (A) o all'intradosso (B).

LA SOLUZIONE

Si possono applicare fasciature all'estradosso o all'intradosso, in quest'ultimo caso opportunamente ancorate meccanicamente con connettori, in modo da aumentare l'eccentricità ammissibile della risultante di compressione nello spessore della volta permettendo di aumentare i carichi che portano alla formazione della cerniera plastica.





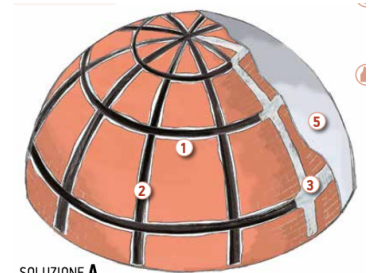
CUPOLE

IL PROBLEMA

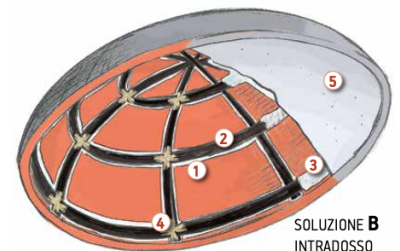
Si vuole rinforzare una cupola o una volta a vela intervenendo all'estradosso (A) o all'intradosso (B).

LA SOLUZIONE

Si possono applicare fasciature all'estradosso o all'intradosso, in quest'ultimo caso opportunamente ancorate meccanicamente con connettori, in modo da aumentare l'eccentricità ammissibile della risultante di compressione nello spessore della volta, permettendo di aumentare i carichi che portano alla formazione della cerniera plastica.



SOLUZIONE A
ESTRADOSSO



SOLUZIONE B
INTRADOSSO

ANCORAGGI

IL PROBLEMA

La lunghezza di ancoraggio delle fibre è superiore allo spazio disponibile; sono presenti delle concavità che provocherebbero il distacco del rinforzo quando esso va in trazione.

LA SOLUZIONE

È possibile ancorare il rinforzo FRP (tessuto o lamella) con inghisaggi in materiale fibroso (aramide o carbonio) in modo da garantire la continuità del trasferimento degli sforzi e l'omogeneità del materiale anche oltre la sezione terminale del rinforzo, oppure per realizzare un ancoraggio intermedio di tipo meccanico.





STRUTTURE IN LEGNO

Il presente capitolo tratta la descrizione delle principali e più ricorrenti problematiche di rinforzo strutturale degli elementi lignei portanti. Verranno dunque presi in esame i rinforzi FRP applicati a miglioramento della resistenza di elementi strutturali prevalentemente inflessi. Il legno è un materiale naturale, non omogeneo che può presentare elevata variabilità nella tipologia e nella diffusione di difetti che contraddistinguono ogni singolo elemento. È per questo che nell'esecuzione e nella progettazione di rinforzi strutturali di elementi lignei risulta di fondamentale importanza effettuare un'analisi accurata della componente legno, mediante adeguate indagini e prove al fine di stabilire lo stato di fatto dell'elemento e determinare il corretto intervento da eseguire in relazione alla problematica specifica riscontrata. Tanto più accurata sarà la valutazione preliminare dello stato di fatto, tanto più accurati saranno i risultati delle analisi di progetto del rinforzo.

Lo scopo del rinforzo con FRP di strutture lignee, è quello di conferire maggiore resistenza e rigidità agli elementi strutturali, soprattutto nell'ambito delle strutture esistenti, in quanto tale sistema permette la conservazione dell'esistente con la minima invasività. Particolarmente indicato è l'impiego degli FRP nell'ambito di strutture decorate e nell'ambito della conservazione dei Beni Culturali. I campi d'applicazione sono molteplici fra cui il principale è quello del rinforzo di elementi lignei inflessi.

Tipologie di rinforzi flessionali

Si riportano qui di seguito alcune tipologie di rinforzo in zona tesa di elementi lignei con lamelle o tessuti usati più comunemente:



Essendo il taglio che viene eseguito estremamente ridotto (pochi mm), l'intervento finale risulta essere quasi invisibile e quindi adatto nel caso di solai storici decorati a vista.

Particolare attenzione dovrà infine essere prestata alle condizioni ambientali in cui si trova ad operare la struttura, dal momento che il materiale legno è sensibile alle condizioni di umidità, le quali provocano dilatazioni e contrazioni nel materiale base che potrebbero innescare distacchi del rinforzo o, viceversa, potrebbero determinare stati coattivi dannosi per via delle dilatazioni/contrazioni impediti dal rinforzo stesso. Anche in questo caso la superficie di incollaggio dovrà essere adeguatamente preparata per ricevere l'adesivo e garantire una corretta trasmissione delle tensioni, e dovrà presentarsi pulita, priva di polvere, di vernice e di elementi oleosi o grassi.



ISO 9001

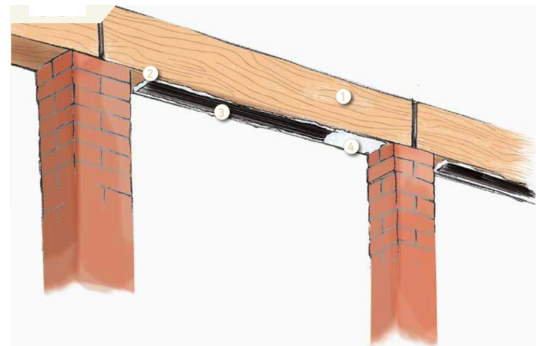
TRAVE IN LEGNO

IL PROBLEMA

La trave lignea presenta carenza a flessione per mutate condizioni di carico o per degrado delle prestazioni iniziali dei materiali.

LA SOLUZIONE

La trave può venire armata in zona tesa mediante l'utilizzo di tessuti unidirezionali in fibra di carbonio, con fibre poste parallelamente all'asse della trave, e incollate direttamente all'intradosso della trave stessa.



IL PROBLEMA

La trave lignea presenta carenza a flessione per mutate condizioni di carico o per degrado delle prestazioni iniziali dei materiali.

LA SOLUZIONE

La trave può essere armata in zona tesa mediante l'utilizzo di lamelle pultruse in fibra di carbonio, con fibre poste parallelamente all'asse della trave, e inserite in fessura sulle pareti laterali o all'intradosso. Tale intervento risulta particolarmente vantaggioso quando esso non debba risultare visibile o si sia in presenza di travi decorate.





DGR 6-887 del 30 dicembre 2019

“Aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte”

Il Piemonte è in un'unica zona sismica: il territorio regionale è suddiviso in zone 2, 3 e 4.

La classificazione ufficiale è definita dalla Regione Piemonte con la DGR 6-887 del 30 dicembre 2019, che recepisce i criteri nazionali di pericolosità sismica.

Suddivisione sintetica

Zona 2 (sismicità medio-alta)

Aree con pericolosità significativa.

Coinvolge principalmente:

- parte della provincia di Cuneo
- alcune zone dell'Appennino alessandrino

Zona 3 (sismicità medio-bassa)

È la zona più diffusa in Piemonte.

Comprende:

- Torino e gran parte della sua provincia
- buona parte di Asti, Alessandria, Biella, Novara, Vercelli

Zona 4 (sismicità bassa)

Aree a minore pericolosità sismica.

Cosa significa per il Sismabonus?

Il Sismabonus è ammesso nelle zone 1, 2 e 3.

In Piemonte quindi:

- ✓ Zona 2 → ammesso
- ✓ Zona 3 → ammesso
- ✗ Zona 4 → non ammesso

Decreto legge 4 giugno 2013, n. 63 (c.d. “Decreto Sismabonus”)

- È la norma fondamentale che ha istituito il Sismabonus, ovvero le detrazioni fiscali per gli interventi antisismici, attraverso l'art. 16, commi da 1-bis a 1-septies.
- Offre detrazioni fiscali IRPEF/IRES paramtrate alle spese sostenute per interventi di miglioramento e adeguamento sismico sugli edifici.



Articolo 16, commi 1-bis a 1-septies (Sismabonus)

- Commi 1-bis e 1-ter: detrazioni per interventi antisismici sulle singole unità immobiliari e livelli di detrazione basati su caratteristiche e obiettivi dell'intervento.
- Comma 1-quinquies: incentivi per interventi su parti comuni di condomini.
- Comma 1-septies: "Sismabonus acquisti", ovvero agevolazioni per acquirenti di immobili sottoposti ad adeguamento sismico tramite demolizione e ricostruzione.

Agenzia delle Entrate – Guida alla normativa

- L'Agenzia delle Entrate ha pubblicato una guida operativa con i dettagli applicativi per beneficiare delle detrazioni fiscali Sismabonus (modalità, documentazione, limiti).

2. Principali caratteristiche del Sismabonus (aggiornato al 2025/2026)

Detrazione fiscale

- Il bonus nel 2025 si applica fino al 36 % per le spese sostenute per interventi antisismici (limite €96.000 per unità immobiliare), senza distinzione tra interventi minori o migliorativi.
- A partire dal 2026 e 2027, l'aliquota scende progressivamente a 30 % (e per abitazioni principali fino al 36 %).
- La detrazione deve essere ripartita in 10 quote annuali di pari importo.

Soggetti beneficiari

Possono usufruire del Sismabonus:

- persone fisiche IRPEF (anche non residenti);
- società, enti e imprese (soggetti IRES) per edifici ad uso non residenziale in ambito produttivo;

La detrazione riguarda opere su edifici esistenti, non nuove costruzioni.

Ambito territoriale e obblighi tecnici

- L'agevolazione si applica solo su immobili situati nei Comuni classificati nelle zone sismiche 1, 2 e 3 come individuate dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile (e recepite in Piemonte con apposite deliberazioni regionali).
- Interventi devono essere asseverati da tecnico abilitato e documentati con la corretta modulistica fiscale (bonifici, asseverazioni tecniche, attestazioni).

3. Normativa regionale in Piemonte

Deliberazione della Giunta Regionale n. 6-887 del 30/12/2019

- Definisce la classificazione sismica del territorio piemontese ai fini dell'edilizia e dell'accesso alle agevolazioni; recepisce i criteri per l'identificazione delle zone sismiche in Regione.

D.G.R. 26 novembre 2021, n. 10-4161 (attuazione regionale)



- Procedura di gestione e controllo delle attività edilizie in zona sismica in Piemonte, aggiornata e integrata con D.D. 12 gennaio 2022, n. 29 e successive modifiche e determinazioni.

Aggiornamenti regionali 2024–2025

- Vari Decreti Dirigenziali regionali (es. DD n. 410 del 26/02/2024) e Ordinanze aggiornano le procedure tecniche di prevenzione del rischio sismico e la modulistica per l'avvio dei lavori.

Legge Regionale n. 7 del 31 maggio 2022

- Prevede semplificazioni urbanistiche ed edilizie, compresi aspetti legati all'efficientamento energetico e approccio semplificato alle procedure edilizie (alcuni commi sono stati oggetto di pronunce di illegittimità costituzionale nel 2024–2025).

4. Altri riferimenti utili

- ✓ Normativa edilizia nazionale (Testo Unico Edilizia) – D.P.R. 380/2001: disciplina le procedure edilizie da rispettare per interventi strutturali in zona sismica, integrato a livello regionale.
- ✓ Ordinanze e aggiornamenti commissariali per aree terremotate – se relative a zone colpite da eventi sismici specifici (es. Sisma 2012), con possibilità di ulteriore proroga o ampliamento delle agevolazioni superbonus fino a fine 2025.

5. Come accedere agli sgravi Fiscali

Per fruire delle agevolazioni fiscali per interventi antisismici devi generalmente:

1. Verificare la classificazione sismica del Comune dove si trova l'immobile (zone 1–3).
2. Far redigere progetto tecnico e asseverazioni da un tecnico abilitato.
3. Utilizzare bonifici parlanti e conservare tutta la documentazione tecnica e fiscale per la dichiarazione dei redditi.
4. In caso di interventi complessi o lavori su condomini, può essere utile coordinare tramite un professionista esperto in bonus edilizi.

Condizioni tecniche fondamentali

Per essere valido:

- ✓ Edificio esistente (non nuova costruzione)
- ✓ Immobile in zona sismica 1-2-3
- ✓ Progetto redatto da tecnico abilitato
- ✓ Asseverazione miglioramento sismico
- ✓ Deposito pratica strutturale presso Regione Piemonte
- ✓ Pagamenti con bonifico parlante
- ✓ Conservazione documentazione



Aspetti importanti 2026–2027

- Aliquota prevista: 30%
- Nessuna cessione del credito generalizzata (salvo casi particolari)
- Ripartizione sempre in 10 anni