

## **COSTRUZIONI E RINFORZI IN PLASTICHE FIBRORINFORZATE**

### **1. Rinforzi strutturali : materiali nuovi per recuperare il vecchio.**

Si fa nel seguito riferimento alla tecnologia SIKA Italia s.p.a. e al riferimento bibliografico: *Carotti A., Composti FibroRinforzati. Costruzioni e Rinforzi strutturali in CPFR, CLUP 2003 (da pag. 145 a pag. 174)*

Da qualche decennio hanno fatto la comparsa in settori non strettamente legati all'edilizia - automobilismo, aerospaziale, sportivo, etc.- i materiali compositi. Sotto tale nome si denominano tutti quei materiali composti, appunto, da fibre lunghe -quali vetro, carbonio, aramide, etc. - impregnate con resine sintetiche, nella maggior parte dei casi di natura epossidica.

I motivi più evidenti che spingono all'utilizzo di questi materiali sono le alte prestazioni meccaniche quali l'elevata resistenza a trazione (valore di rottura circa  $3000 \text{ N/mm}^2$ ), il modulo elastico calibrabile in funzione del tipo di struttura da riparare (dai  $160.000$  fino ai  $300.000 \text{ N/mm}^2$ ), nonché la bassa deformazione; il tutto unito ad un basso peso specifico tale da rendere i materiali compositi facili da posare con tempi di applicazione estremamente brevi e costi decisamente contenuti.

Tanto più importante questa nuova tecnologia, alla luce della recente normativa :

***CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione e il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati,***

che pone l'Italia in posizione di avanguardia tecnica nel settore.

In commercio si possono trovare -distribuiti da specifiche Case Produttrici di materiali chimici per l'edilizia-prodotti compositi sia in forma di lamine preformate -di varie geometrie e moduli elastici -ottenute da processo industriale di pultrusione, sia tessuti mono e bidirezionali caratterizzati da diverso peso specifico e grammatura per tutti gli altri interventi di rinforzo strutturale in cui si richieda la flessibilità del prodotto, quali cerchiature di pilastri, rinforzi a taglio, etc.

Per tutti i sistemi di rinforzo strutturale con composito, siano essi placcaggi con lamine pultruse oppure 'fasciature' con tessuti, gioca un ruolo fondamentale la "colla" per l'adesione, che deve essere esclusivamente di natura epossidica in quanto solo tale resina sintetica è in grado di garantire sia ottima adesione del composito al sottofondo sia scambio di tensioni tangenziali tra il composito stesso ed il sottofondo evitando pericolosi fenomeni di viscosità e scorrimento.

La posa di tali materiali è relativamente semplice.

Anche se è indispensabile seguire attentamente le indicazioni riportate sulle Schede Tecniche delle Case Fornitrici, nonché quelle indicate dal Capitolato dal Progettista. esistono comunque Società Applicatrici specializzate solo in questi tipi di interventi di recupero, alle quali ci si può rivolgere sia per l'aspetto progettuale (di grande importanza) sia per quello esecutivo.

L'inconveniente più diffuso che può manifestarsi durante la posa, se l'applicatore è inesperto, è il pericoloso fenomeno dell'inglobamento di aria nella resina epossidica che vanifica l'utilizzo del composito stesso.

**Compositi Fibrorinforzati per Consolidamento Statico**

Materiali compositi per il consolidamento e rinforzo di strutture civili: solitamente FRP fibrorinforzati a matrice polimerica e fibre continue. Generalmente si utilizzano resine termoindurenti (poliesteri insaturi, esteri vinili, resine epossidiche e fenoliche), meno viscosi di quelle termoplastiche (polipropilene, nylon, policarbonati, ecc.).

Si utilizzano lamine pultruse o fibre e tessuti impregnati in opera.

Il composito viene utilizzato unicamente per il rinforzo in trazione (es. lembo teso di trave inflessa).

### **Criteri di Progetto del Rinforzo**

Il progetto del sistema di rinforzo deve soddisfare requisiti di resistenza, di esercizio e di durabilità. In caso di incendio, la resistenza del rinforzo deve essere adeguata al tempo di esposizione da garantire.

Il sistema di rinforzo deve essere posizionato nelle zone in cui è necessario resistere a trazione. Non si deve fare affidamento sul composito fibrorinforzato per resistere a tensioni di compressione.

Per le verifiche di sicurezza della struttura rinforzata si fa riferimento alla vita utile che la struttura dovrebbe avere se fosse di nuova realizzazione. Ne consegue la prescrizione di adottare le stesse azioni di calcolo previste dalle Normative vigenti per le nuove costruzioni.

Le verifiche degli elementi rinforzati devono essere condotte sia nei riguardi degli stati limite di servizio (SLS) che nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU), come definiti dalla Normativa vigente

### **Rinforzo di Strutture in CIs Armato e in C.a.p.**

Meccanismi di rottura per delaminazione.

Nel rinforzo di elementi in cls armato mediante lamine o tessuti in materiale composito, il ruolo dell'aderenza tra calcestruzzo e composito assume grande importanza in quanto il meccanismo di rottura per delaminazione (perdita di aderenza) è di tipo fragile. Nel dimensionamento strutturale tale meccanismo di crisi non deve precedere il collasso per flessione o per taglio dell'elemento rinforzato

La perdita di aderenza tra composito e calcestruzzo può riguardare sia lamine (ovvero tessuti) applicati all'intradosso di travi in cls.a. per il rinforzo a flessione, sia tessuti applicati sulle facce laterali delle travi stesse se il problema è quello del rinforzo a taglio. La delaminazione può prodursi all'interno dell'adesivo, tra calcestruzzo ed adesivo, nel calcestruzzo o all'interno del rinforzo tra le lamine. Nel caso di rinforzi posti correttamente in opera, poiché la resistenza dell'adesivo è in genere molto più elevata di quella a trazione del calcestruzzo, la delaminazione avviene sempre all'interno di quest'ultimo con l'asportazione di uno strato di materiale, il cui spessore può variare da pochi millimetri fino ad interessare l'intero copriferro delle barre di armatura.

I metodi di collasso per delaminazione di lamine o tessuti utilizzati per il rinforzo a flessione possono essere classificati nelle seguenti quattro categorie

- delaminazione di estremità
- delaminazione causata da fessure per flessione nella trave
- delaminazione causata da fessure diagonali da taglio
- delaminazione causata da irregolarità e rugosità della superficie del cls

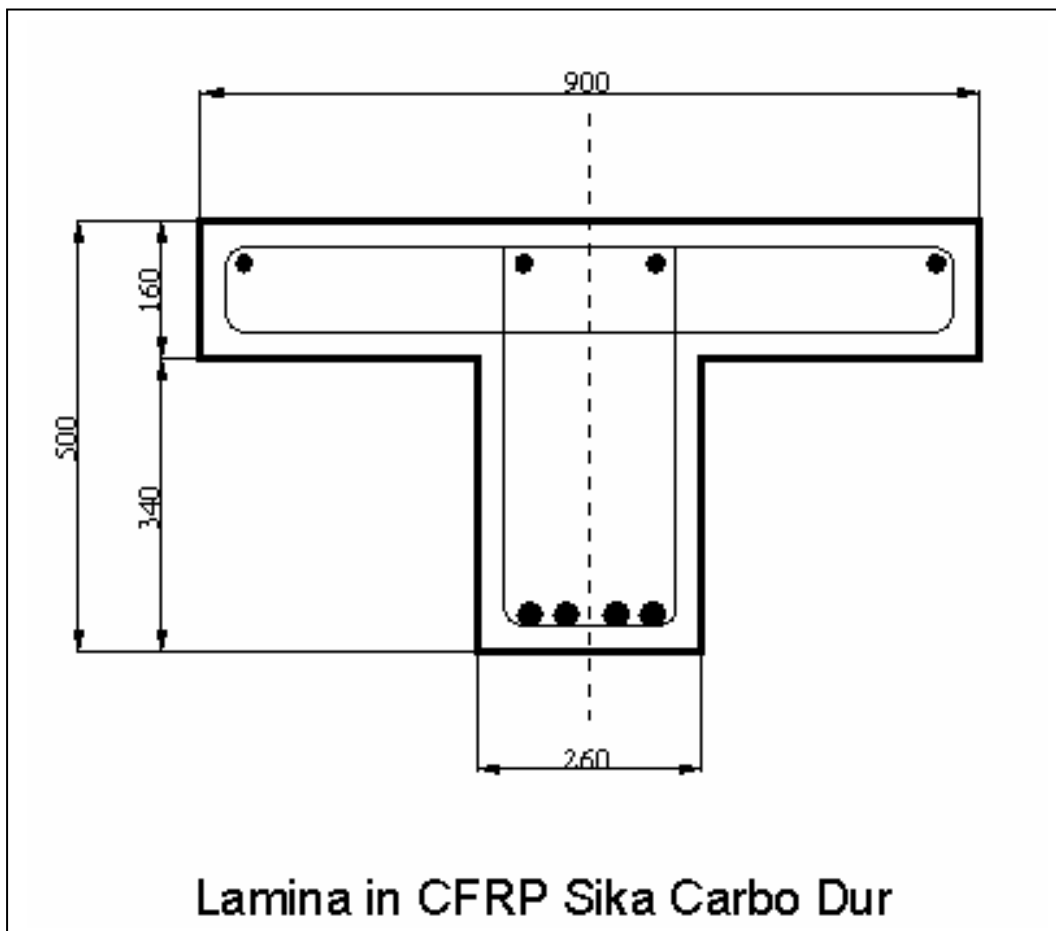
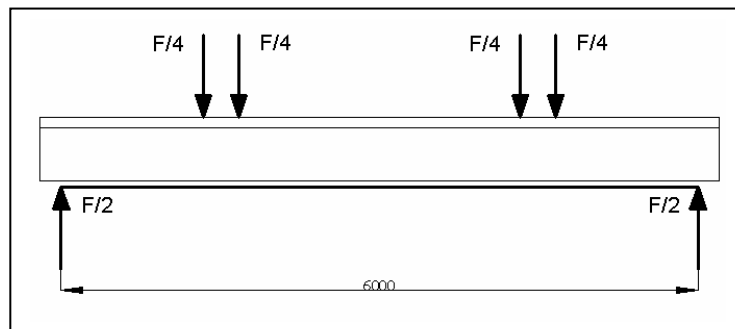
Si deve verificare, mediante il metodo dei coefficienti parziali, che, in tutte le situazioni di progetto, adottando i valori di calcolo delle azioni, delle sollecitazioni e delle resistenze, non sia violato alcuno stato limite. Deve cioè risultare:

$$E_d \leq R_d$$

Con  $E_d$  e  $R_d$  rispettivamente, i valori di calcolo del generico effetto preso in considerazione (domanda) e della corrispondente resistenza (capacità) per lo stato limite esaminato.

Di regola, per l'elemento rinforzato, non può essere considerato un incremento della capacità resistente di calcolo superiore al 100% di quella dell'elemento non rinforzato.

Il software **c\_cpfr\_1 ( a breve)** fornisce la freccia in mezzeria per una trave appoggiata (luce: 6m) sezione a T in cls armato al crescere del carico per i 4 casi a menù ( si fa riferimento alla **tecnologia SIKA CarboDur**) sotto elencati :



- senza rinforzo;
- con rinforzo a flessione nelle 3 opzioni:

- lamina CPFR senza precompressione;
- lamina in CPFR con precompressione al 50% del Pu;
- lamina CPFR con precompressione al 75% del Pu.

Il carico considerato cresce da 0 a 160 kN.

Il software **c\_cpfr\_2 (a breve)** calcola il rinforzo in CPFR (tecnologia SIKA CarboDur) a flessione e taglio di una trave continua, in cls armato, su 4 appoggi.

La teoria a supporto e la guida di calcolo è nel citato riferimento :

*Carotti A., Composti FibroRinforzati. Costruzioni e Rinforzi strutturali in CPFR, CLUP 2003 (da pg. 112 a pg 116)*

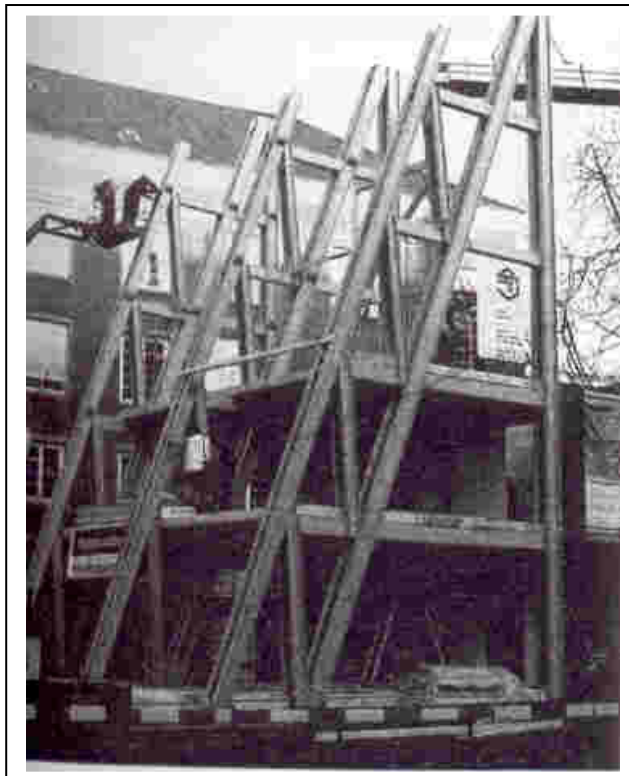
## **2. Costruzioni in profilati pultrusi in plastica rinforzata con fibre di vetro (Glass Reinforced Plastics, GRP)**

La teoria e il manuale profilarlo è nel citato testo [*Carotti, CLUP 2003, 1° Capitolo*] cui si rimanda.

Il software **c\_grp\_1 (a breve)** analizza le principali caratteristiche strutturali dei profilati pultrusi GRP impiegati in una piccola costruzione multipiano a telaio (foto).

Il supporto bibliografico è il citato testo *Carotti A., Composti FibroRinforzati. Costruzioni e Rinforzi strutturali in CPFR, CLUP 2003 (Cap. 1°, pgg 31-34)*

in cui si fa riferimento alla **tecnologia della ditta Fiberline Composites A/S.**



Con riferimento alla stessa Ditta e stesso Riferimento bibliografico (pgg 26 e 27),

il software **c\_grp\_2** (a breve) analizza le principali caratteristiche geometriche e meccaniche di una passerella

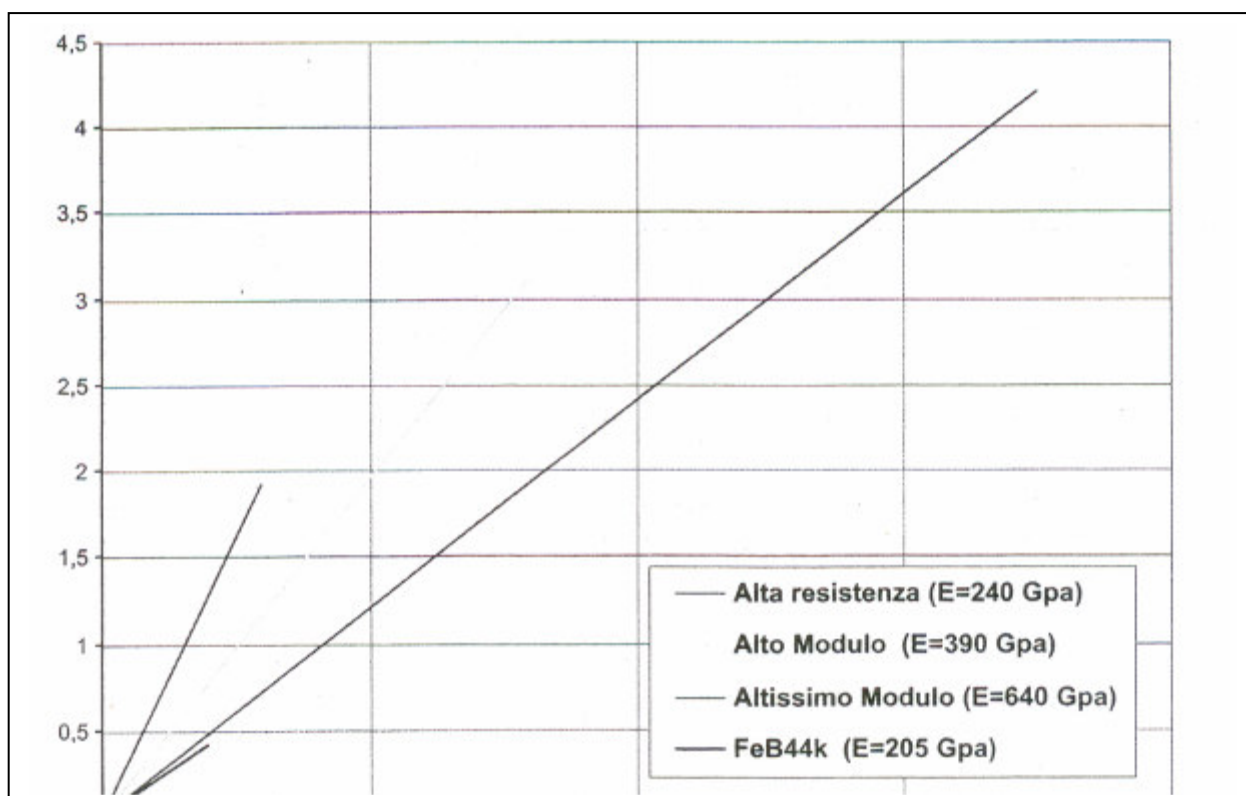


pedonale in profilati pultrusi GRP (foto). Successivamente verrà sviluppato un Sw che implementerà un trade-off di costi per la realizzazione della passerella in 3 diverse tecnologie : GRP/acciaio/cls armato.

### 3. RINFORZI STRUTTURALI IN PLASTICHE FIBRO RINFORZATE.

Un cenno alle recenti:

<< Istruzioni CNR – DT 200/2004 (luglio 2004), per la progettazione e l'esecuzione e il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati>>



Scopo delle Istruzioni è quello di fornire, nell'ambito delle attuali Norme vigenti, un documento orientativo per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati. Le Istruzioni, per loro genesi e natura, non sono norme cogenti ma rappresentano esclusivamente un aiuto per i tecnici a filtrare con discrezione la ponderosa bibliografia, nazionale ed internazionale, che la letteratura specifica mette a disposizione, lasciando comunque ad essi la responsabilità finale delle scelte operate.

Il documento tratta dei seguenti argomenti:

- Materiali;
- Concetti basilari del rinforzo con FRP e problematiche speciali;
- Rinforzo di strutture in c.a. e in c.a.p., -Rinforzo di strutture murarie.

Nell'ambito del rinforzo delle strutture in c.a. e in c.a.p e di quelle murarie sono fornite specifiche indicazioni concernenti le costruzioni in zona sismica, in linea con i più recenti orientamenti recepiti nelle Normative nazionali ed internazionali.

La trattazione del primo argomento è affrontata con un intento anche informativo e comprende un'Appendice nella quale sono riportate alcune nozioni meccaniche, ritenute basilari per un uso consapevole dei materiali compositi in campo strutturale. In essa sono evidenziate le differenze peculiari che tali materiali presentano rispetto agli usuali materiali da costruzione di tipo isotropo, con particolare riguardo ai legami costitutivi ed alle verifiche di resistenza. Per la loro specificità i capitoli 2 e 6 contenenti gli argomenti su indicati sono supportati da una bibliografia essenziale con la quale gli interessati potranno arricchire le informazioni fornite nel documento.

Gli altri argomenti sono impostati secondo lo stile usuale dei documenti tecnici pubblicati dal CNR e recanti istruzioni in campo strutturale. Per essi viene seguito l'approccio, ampiamente condiviso degli Eurocodici: le diverse proposizioni sono distinte in *Principi* e *Regole di Applicazione*; ciascuna proposizione è contraddistinta da un numero d'ordine; in particolare i principi sono contrassegnati dall'ulteriore etichetta (P).

Solo a scopo di completezza, si ricorda che i primi comprendono:

- *affermazioni generali e definizioni per le quali non esiste alternativa;*
- *esigenze e modelli analitici per i quali non è ammessa alternativa, se non specificamente stabilito;*

mentre le seconde sono *regole generalmente riconosciute, che seguono i Principi e ne soddisfano esigenze.*

Il sw **c\_pfr\_tr** (in preparazione) progetta in modo generale il rinforzo di una trave in cls. armato che, a seguito di una ristrutturazione, vede modificato il proprio regime statico (varianti nelle condizioni di vincolo di luce, e nelle condizioni di carico).

**Sono in preparazione altri sviluppi didattici e moduli sw sulla materia.**

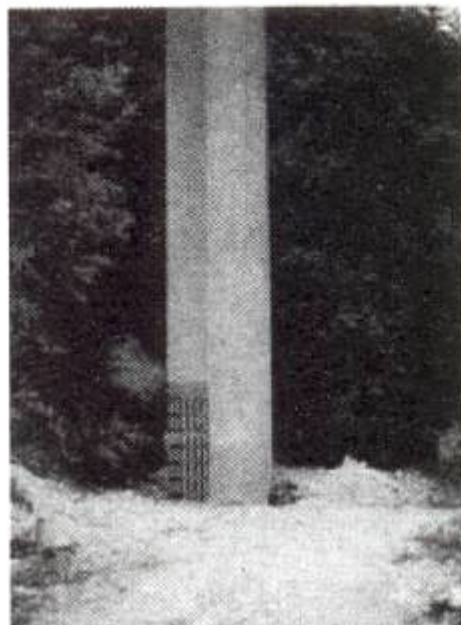
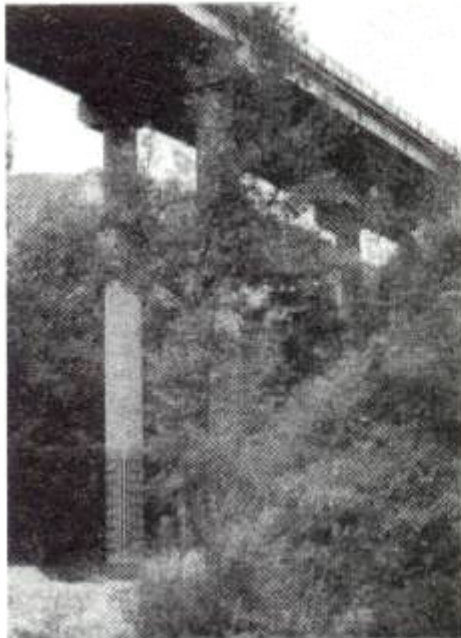
Nelle pagine seguenti sono date 2 schede tecniche di applicazioni di rinforzo strutturale in tecnologia SIKA S.p.A;

sono descritte in:

*Carotti A., Compositi Fibro Rinforzati. Costruzioni e rinforzi Strutturali in CPFR, Clup 2003.*

## RINFORZO ANTISMICO DI PILE DA PONTE IN CALCESTRUZZO ARMATO SULLA STRADA STATALE VICINO A FABRIANO (MARCHE).

- **PROBLEMA:** occorre (dopo il sisma del 1997) effettuare un collegamento strutturale tra plinti di fondazione e pile.
- **SOLUZIONE:** tale problema venne risolto effettuando una cerchiatura esterna in lamine in carbonio tipo 51012 sia trasversale che radiale, collegate per mezzo di opportuni ancoraggi con i plinti di fondazione.



## RINFORZO DOPO UN FENOMENO SISMICO DI UNA SERIE DI TRAVI E PILASTRI DI UN EDIFICIO A GUALDO TADINO (PG, UMBRIA)

- **PROBLEMA:** rinforzo dopo un fenomeno sismico di una serie di travi e pilastri di un edificio a Gualdo Tadino;
- **SOLUZIONE:** applicazione sui nodi del telaio in calcestruzzo armato di una serie di tessuti monodirezionali tipo SIKA Wrap.

