AETERNUM HTE INCRUDENTE APPRODA ALL'UNIVERSITÀ

Pubblicato il 21/12/2023

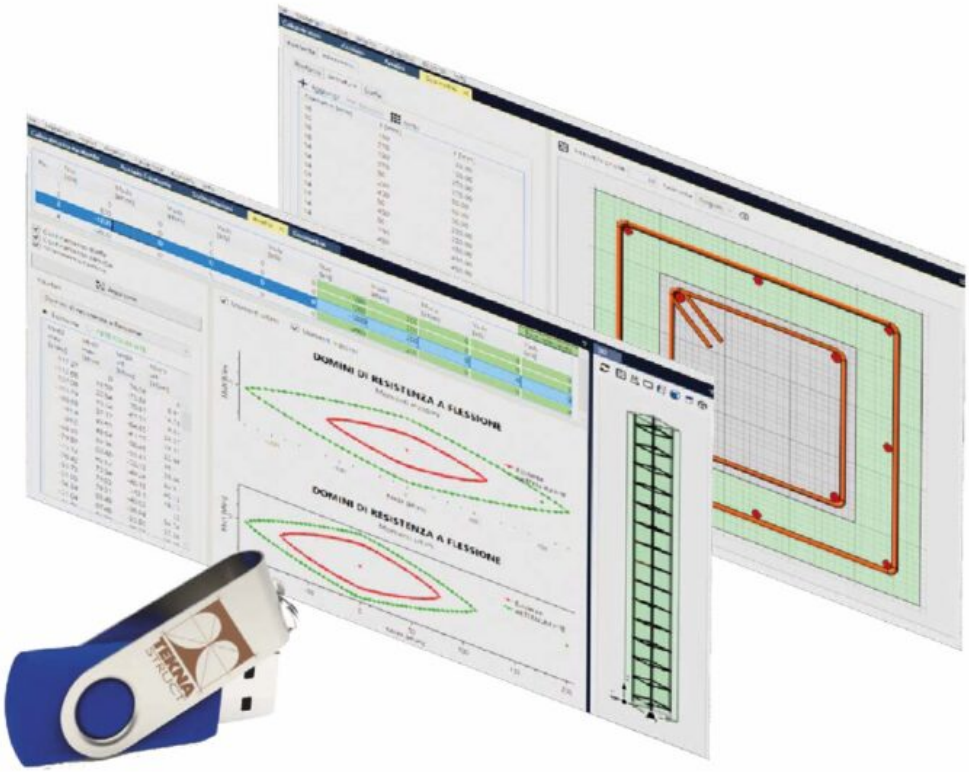
Tag: Aeternum HTE, Angelo Loggia, Antonio Vincis, Calcestruzzo, Enzo Siviero, Fausto Mistretta, Giovanni Fiordaliso, leStrade, Raffaele Pucinotti, ripristini, Silvio Cocco, Valeria Campioni

Il Geom. Silvio Cocco, Presidente dell'Istituto Italiano per il Calcestruzzo (I.I.C.) e CEO di Tekna Chem, non poteva che scegliere, da sardo, il palcoscenico della Sardegna, e più precisamente della Magnifica Aula Magna "Mario Carta" dell'Università di Ingegneria di Cagliari, per presentare i risultati frutto della continua ricerca dell'I.I.C.

L'istituto Italiano del Calcestruzzo si è fatto promotore, nella giornata formativa presso l'Aula Magna dell'Università degli Studi di Cagliari, di un seminario su uno degli argomenti scottanti che oggi insistono su tutte le infrastrutture italiane, ovvero le manutenzione ordinare e straordinarie su Ponti (e/o viadotti) Storici.

Il tema sollevato ed affrontato dall'Istituto durante lo svolgimento del seminario, il recupero delle opere d'arte sottoposte al vincolo storico, è stato accompagnato dalle relazioni di noti esperti del settore a livello nazionale ed internazionale: il Geom. Silvio Cocco (Presidente Istituto Italiano per il Calcestruzzo), il Dott. Ing. Antonio Vincis (Progettista restauro ponte e viadotti), la Dott.ssa Valeria Campioni (Direzione tecnica Istituto Italiano per il Calcestruzzo), il Prof. Ing. Raffaele Pucinotti (Tecnica delle costruzioni - Università Mediterranea di Reggio Calabria) ed il Dott. Ing. Giovanni Fiordaliso (Strutturista Tekna Chem Group). L'intero seminario è stato moderato, ed arricchito anche dalle sue preziose osservazioni, dal Prof. Ing. Fausto Mistretta (Università degli Studi di Cagliari) che ha inizialmente portato i saluti dell'Università insieme all'Ing. Angelo Loggia (Presidente Formazione OIC), entrambi gli enti patrocinanti dell'evento.

Non solo, durante il seminario vi è stato il collegamento del Prof. Enzo Siviero, attualmente Rettore Università telematica eCampus nonché ex Direttore di Dipartimento di Costruzioni dello IUAV di Venezia, denominato a livello internazionale "Bridgeman", l'uomo del ponte. Un parterre di tutto rispetto messo in piedi dal patron del gruppo Tekna Chem, ovvero dal Geom Silvio Cocco, che è riuscito a riunire diverse anime del mondo delle infrastrutture per poter addivenire ad una soluzione pratica che possa dare risposta alle esigenze architettoniche dettate dalla grande storia italiana nell'ambito delle costruzioni, e dalle esigenze manutentive delle opere che attualmente insistono lungo tutte le grandi vie di comunicazioni.



TEKNA Struct: un software innovativo frutto di una lunga ricerca nell'ambito del sistema di calcolo prodotto con l'ausilio di professionisti di prim'ordine ed un know-how acquisito negli anni da TEKNA CHEM. TEKNA Struct permette di progettare il dimensionamento del sistema FRC (Fiber Reinforced Concrete) mediante Aetemum HTE.

Le opere infrastrutturali, e non solo, oggi hanno la necessità di essere assolutamente sottoposte ad un piano di manutenzione non più ordinario ma straordinario. In particolare, le opere d'arte maggiori, che insistono lungo le grandi infrastrutture, risultano essere arrivate alla fine della loro vita utile e necessitano di una decisione da parte dell'Ente Gestore della stessa infrastruttura: demolizione dell'opera o recupero?

Ovviamente, risulterebbe facile addivenire ad una demolizione delle opere che oggi non rispondono agli standard di sicurezza in quanto il loro stato attuale è degradato e fatiscente. La demolizione di un'opera d'arte, sia essa un viadotto o un ponte, non è sempre possibile per diversi fattori legati al contesto in cui il manufatto è stato realizzato, tra questi vi è la normativa italiana. Fermiamoci solamente a tutte le opere opera realizzata da oltre 70 anni di autore non vivente che per definizione, ovvero Ponte Storico, è un bene culturale oggetto di tutela ai sensi del codice dei beni culturali e del paesaggio (art. 10 d .lgs. 22 gennaio 2004, n. 42).

"Ma tutta l'Italia è in bilico. Da un capo all'altro della Penisola, sono almeno 1.900 i ponti, sui 61mila osservati, con "altissimi rischi strutturali". E oltre 18mila viadotti presentano criticità e richiedono interventi di manutenzione. Questi dati allarmanti sono contenuti in uno studio condotto da Carlo Castiglioni e Alessandro Menghini del Politecnico di Milano, durante il convegno "Uno sguardo oltre il ponte" organizzato a Genova dalle società Bureau Veritas Nexta e Osmos . Più del 50% dei ponti hanno un'età superiore ai SO anni contro una media nei Paesi del G7 che si attesta fra i 20 e i 30 anni.
Lo scenario dei ponti e viadotti in Italia risulta essere allarmante, per una assodata carenza di manutenzione delle opere nel tempo, e contestualmente vincolato dalla storicità dell'opera, che non ne consente la loro immediata demolizione e ricostruzione.

Nei casi in cui un'opera, che necessita di un recupero strutturale, sia vincolata anche come un bene culturale, ai sensi art. 10 d.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42, si deve spaziare a tecniche di recupero di ultima generazione ed innovative.
Il progettista, incaricato dalla committenza, per il risanamento strutturale delle opere d'arte, specialmente se

datate nel tempo, si trova a dover far coesistere l'esigenza del recupero strutturale e quella della conservazione architettonica del manufatto. La conservazione delle linee geometriche di un'opera comporta univocamente di utilizzare materiali altamente resistenti e contemporaneamente versatili.
Appare quasi univoca la scelta del materiale da porre alla base di un recupero strutturale di un'opera di interesse architettonico, come sopra descritta, ovvero attraverso i rinforzi strutturali con Calcestruzzo Fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche (FRC).

Le NTC 2018, al Punto 11.1 lettera C, consentono l'impiego di calcestruzzi fibrorinforzato per uso strutturale purché in possesso di un "Certificato di Valutazione Tecnica" (CVT) rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sulla base di linee guida approvate dallo stesso CSLLPP.
Inoltre, le medesime NTC, par. 11.2.12 *CALECESTRUZZO FIBRO RINFORZATO (FRC)*, stabiliscono che "sia per la qualifica dei calcestruzzi fibrorinforzati che per la progettazione delle strutture in FRC, si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, rese attraverso apposti Linee Guida." per come di seguito riportato :

- Le procedure per l'identificazione, la qualificazione ed il controllo di calcestruzzi fibrorinforzati, denominati FRC (Fiber Reinforced Concrete), impiegati per la realizzazione di nuovi elementi strutturali e per il consolidamento di strutture
  esistenti deve essere condotto attraverso:
  Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (FiberReinforced Concrete) - Gennaio 2019
- Le procedure per la progettazione, l'esecuzione e il controllo nel caso di impiego di calcestruzzi fibrorinforzati, denominati FRC (Fibre Reinforced Concrete), per la realizzazione di nuovi elementi strutturali e per il consolidamento di strutture esistenti in cemento armato deve essere condotto attraverso:
  Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche. Edizione Maggio 2022.

Linee Guida per l'identificazione... (Gennaio 2019)

I calcestruzzi fibrorinforzati (FRC) sono costituiti da una matrice cementizia additivata con fibre corte discontinue (di acciaio o di materiale polimerico). La matrice cementizia di un FRC è costituita da un calcestruzzo o da una malta. Sono materiali compositi caratterizzati da un'elevata resistenza residua a trazione post-fessurazione, detta tenacità, dovuta alla capacità delle fibre di contrastare l'apertura progressiva delle fessure.

Le prestazioni richieste a un FRC sono le seguenti:

- classe di resistenza a compressione (non influenza fino al 1 %) ;
- classe di consistenza (le fibre riducono la lavorabilità);
- classe di esposizione (sono necessari ulteriori studi; le fibre possono ridurre l'apertura di fessura; possono essere adottate regole differenti.)
- limite di proporzionalità;
- classe di tenacità, (ovvero resistenza offerta dal materiale all'avanzamento del processo di frattura).

È inoltre necessario definire:

- dimensione massima dell'aggregato;
- caratteristiche geometriche della fibra;
- materiale utilizzato per la fibra.

Importante parametro progettuale per le strutture in FRC è la resistenza a trazione residua post-fessurativa, ed è significativamente influenzata dalla presenza delle fibre.
Il legame carico-spostamento a trazione di un FRC può presentare un ramo discendente (comportamento degradante) o un ramo incrudente grazie alla comparsa di una multi-fessurazione.
La classificazione del materiale FRC si basa sulle proprietà nominali riferite alla resistenza a razione post-fessurativa, determinabili sulla base di un test a flessione su un provino di dimensioni (b x h) 150x150 mm in sezione, lunghezza 550÷700 mm, intagliato centralmente, secondo UNI EN 14561.

La prova prevede la misura sperimentale del carico applicato (F) e dell'apertura di fessura alla bocca dell'intaglio (CMOD), il valore CMOD viene utilizzato come parametro di controllo della prova.
Con riferimento alla singola prova si determina:

- il limite di proporzionalità
  $f^f_{ct, L}=\frac{3F_LL}{2bh^2_{sp}}$
- la resistenza residua per valori di apertura della fessura alla bocca dell'intaglio (CMOD) pari a:

$$f_{R,j} = \frac{3F_jL}{2bh_{sp}^2}$$

  - 0.5 mm (fR,1); (SLE)
  - 2.5 mm (fR,3); (SLU)
  - rapporto $\frac{f_{R,3k}}{f_{R,1k}}$

Per classificare il comportamento post-fessurativo di un FRC si considerano due parametri:

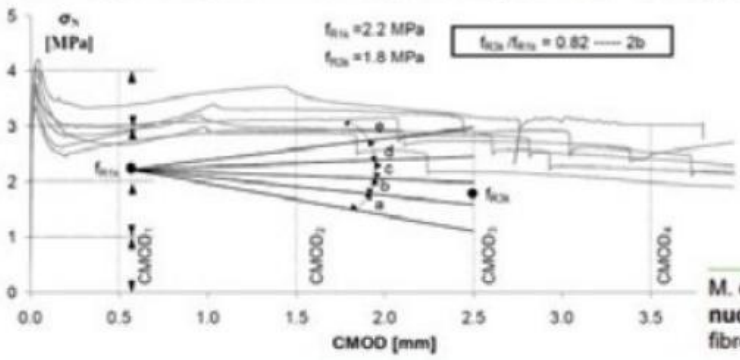
La resistenza nominale per f_{R1k}

La resistenza nominale per f_{R1k} è definita dal numero appartenente alla prima colonna delle Tabelle, immediatamente inferiore al valore di f_{R1k} determinato sperimentalmente:

Il rapporto f_{R3k} / f_{R1k}, che consentono di identificare la classe di tenacità.

Valore nominale	Valore sperimentale
1.0	$1.0 \leq f_{R1k} < 1.5$
1.5	$1.5 \leq f_{R1k} < 2.0$
2.0	$2.0 \leq f_{R1k} < 2.5$
2.5	$2.5 \leq f_{R1k} < 3.0$
3.0	$3.0 \leq f_{R1k} < 4.0$
4.0	$4.0 \leq f_{R1k} < 5.0$
5.0	$5.0 \leq f_{R1k} < 6.0$
6.0	$6.0 \leq f_{R1k} < 8.0$
8.0	$8.0 \leq f_{R1k} < 10.0$
10.0	$10.0 \leq f_{R1k} < 12.0$
12.0	$12.0 \leq f_{R1k} < 14.0$
14.0	$14.0 \leq f_{R1k}$

Il rapporto f_{R3k}/f_{R1k} viene invece indicato con una delle lettere *a, b, c, d, e,* ciascuna delle quali indica un intervallo di valori, come specificato nel seguito:



a per $0.5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0.7$

b per $0.7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0.9$

c per $0.9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1.1$

d per $1.1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1.3$

e per $1.3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$

M. di Prisco, G. Plizzari, L. Vandewalle; **Calcestruzzo fibrorinforzato nel nuovo codice modello fib**, https://www.ingenio-web.it/files/calcestruzzo-fibrorinforzato-nel-nuovo-codice-modello-fib-1.pdf

Il FRC può essere impiegato per la realizzazione di elementi strutturali:

• se la classe di resistenza a fR3 compressione è conforme a quanto previsto dalle NTC per un calcestruzzo privo di fibre

• se sono rispettate le condizioni:

$f_{R, 1k} / f^f_{ct, Lk} > 0.4$

$f_{R, 3k} / f_{R, 1k} > 0.5$

$f^f_{ct, Lk}$, $f_{R, 1k}$ e $f_{R, 3k}$ i valori caratteristici dei parametri $f^f_{ct, L}$, $f_{R, 1}$ e $f_{R, 3}$

Linee Guida per la progettazione... (Edizione Maggio 2022)

Il calcestruzzo fibrorinforzato per impieghi strutturali deve essere qualificato in accordo al caso C) di cui al§ 11.1 delle vigenti NTC ed in conformità alla "Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)".
I calcestruzzi fibrorinforzati possono essere preparati nello stabilimento del Fabbricante e forniti in cantiere come prodotto pronto per l'impiego, oppure forniti in cantiere come prodotto secco premiscelato, al quale va aggiunta l'acqua in cantiere.
In ogni caso il Direttore dei Lavori può accettare soltanto prodotti in possesso della qualificazione di cui alle Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica (CVT) ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati (FRC).

Controlli di Accettazione, sono obbligatori e devono essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità el Direttore dei Lavori:

- Le prove saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura T = 20 ± 2 °C e UR ± 95%, entro 45 giorni dal prelievo;
- Per la verifica della classe di resistenza a compressione e della classe di consistenza valgono le stesse regole previste dalle NTC per il calcestruzzo privo di fibre.

In aggiunta ai Controlli di Accettazione:

- per ogni miscela omogenea è obbligatorio fare almeno un prelievo di due campioni ogni 100 m^3 di getto, da sottoporre a PROVA DI FLESSIONE secondo la EN 14651.

Verifiche di resistenza

Il valore caratteristico della resistenza a compressione va definito analogamente alle modalità previste per i calcestruzzi privi di fibre. La resistenza residua a trazione, in accordo con la Linea Guida per la qualificazione, è definita attraverso i valori caratteristici delle resistenze f_{Rlk} e f_{R3k}, da valutare a partire dalla classe di resistenza riportata nel CVT e non direttamente sulla base di prove sperimentali, riferendosi alla progettazione di nuovi elementi strutturali.

Per un numero di prelievi inferiore a 15	Per un numero di prelievi uguale o superiore a 15
$f_{R,1m} / f^{f}_{ct,Lm} > 0,4$	$f_{R,1k} / f^{f}_{ct,Lk} > 0,4$
$f_{R,1m} > 1,3 f_{R,1k}$	$f_{R,1m} > f_{R,1k} + 1,48s$
$f_{R,1min} > 0,7 f_{R,1k}$	$f_{R,1min} > 0,7 f_{R,1k}$

$f_{R,3m} > 1,3 f_{R,3k}$

$f_{R,3min} > 0,7 f_{R,3k}$

$f_{R,3m} > f_{R,3k} + 1,48s$

$f_{R,3min} > 0,7 f_{R,3k}$

Lunghezza Caratteristica

Per ogni elemento si può definire una lunghezza caratteristica strutturale che coincide con la distanza tra le fessure in caso di multi-fessurazione o con l'altezza della sezione in assenza di multi-fessurazione.

$l_{cs} = min \{s_{rm},h\}$

$\varepsilon = w / l_{cs}$

$s_{rm} = 1,5 \cdot c + (k_{fl} \cdot k_{b}) / 7,2 \cdot \Phi / \rho_{p,eff} \cdot (1- \alpha_{f})$

La distanza media tra le fessure S_{rm} tiene conto:

1. della resistenza residua in esercizio
2. della resistenza media a trazione
3. del rapporto geometrico di armature
4. dell'area efficace di calcestruzzo tesa
5. dei diametri dell'armat. lenta e dell'armat. da precompressione

Fattori di efficacia strutturale

Il comportamento del materiale evidenziato dai test condotti per la qualificazione {EN 14651) può differenziarsi anche significativamente dal comportamento del FRC nell'elemento strutturale.
Di ciò se ne tiene conto attraverso l'impiego di due coefficienti:

- KG = fattore geometrico (tiene conto dell'area della sezione coinvolta nel processo di frattura)
  $KG = 1 + 0.5 A_{ct} \leq 1.25$
- K0 = coefficiente di orientamento delle fibre, per una distribuzione isotropa ed omogenea di fibre orientate nelle tre direzioni, oscillante tra 0.85 e 0.95

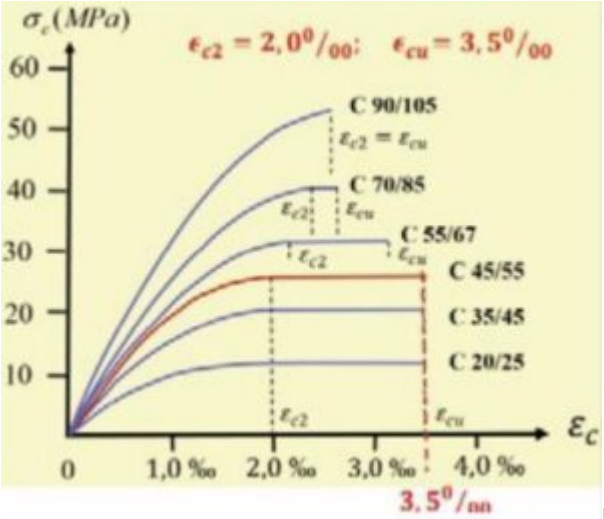
Verifiche di resistenza - Trazione Uniassiale - SLU

La resistenza post-fessurativa a trazione degli elementi in FRC può essere considerata attraverso uno dei legami costitutivi semplificati (sforzo-apertura di fessura) :

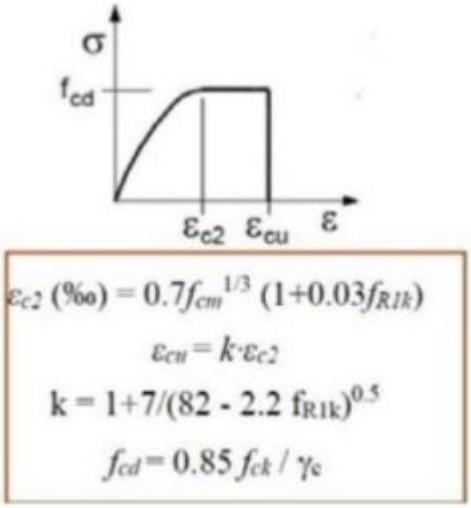
- un modello lineare che può essere incrudente o degradante;
- un modello rigido-plastico.

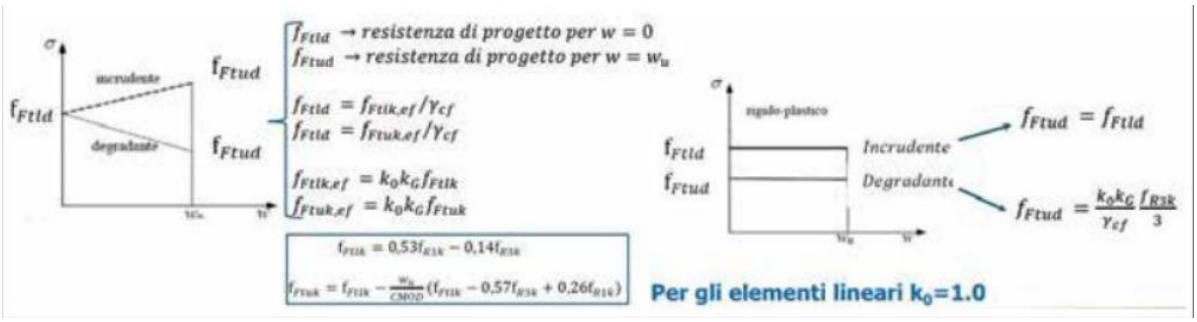
Verifiche di resistenza - Compressione Uniassiale - SLU

Per calcestruzzi fibrorinforzati con resistenza residua a flessione fRlk inferiore a 5 MPa.



Per calcestruzzi fibrorinforzati con resistenza residua a flessione fRlk superiore a 5 MPa





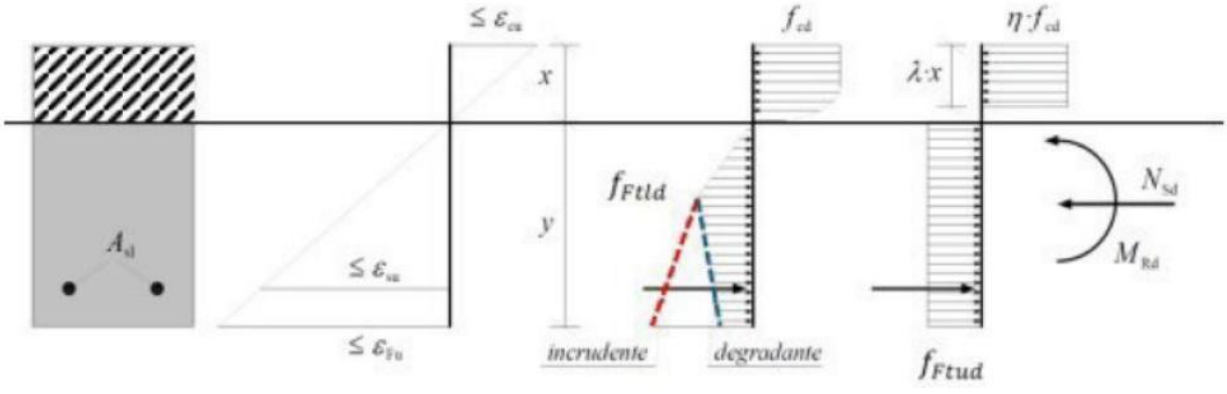


Figura 7. Stato limite ultimo per pressoflessione: utilizzo dei legami semplificati (stress-block con coefficienti η e λ secondo le NTC 2018)

Verifiche di resistenza - Flessione composta SLU

- La rottura si verifica quando si verifica una delle seguenti condizioni:
  - raggiungimento della massima deformazione di compressione, εcu, nel FRC;
  - raggiungimento della massima deformazione di trazione, εsu, nell'acciaio d'armatura (ove presente);
  - raggiungimento della massima deformazione di trazione, εfu, nel FRC.
- Per modello degradante, la massima deformazione a trazione, εfu, è il 2%
- Nel caso di legame costitutivo di tipo incrudente, la deformazione massima di trazione, Efu, è assunta pari all'l % (sia con il modello lineare, sia con il modello rigido-plastico).

Verifiche di resistenza - Taglio senza e con armatura trasversale

I limiti, ad oggi imposti dai calcestruzzi tradizionali, relativamente al far coesistere il recupero strutturale di un'opera con le proprie linee geometriche originarie, come nel caso dei ponti storici soggetti al vincolo di beni culturali, è stato bene affrontato dalla nuova normativa, che affida nelle mani del progettista uno strumento utile ed efficace ovvero
i microcalcestruzzo armati (calcestruzzo fibrorinforzato per impieghi strutturali FRC).
La Tekna Chem S.p.A., sempre nella linea AETERNUM, ha formulato, tra tutti i suoi prodotti, un microcalcestruzzo fibrorinforzato High Tech Evolution ad alta resistenza e durabilità per il recupero delle opere civili ed infrastrutturali esistenti. Il microcalcestruzzo fibrorinforzato prende il nome di Aeternum HTE che risulta essere un ottimo alleato per il contrasto del deterioramento dei manufatti, capace di dare nuova vita alle strutture.
Aeternum HTE, è un microcalcestruzzo micro-armato incrudente, ad alta duttilità (Tenacità), determinata dalla classe di tenacità (14d), il quale può essere applicato, sia nella realizzazione di nuove parti d'opere che nel recupero strutturale dei manufatti esistenti, senza l'armatura tradizionale.

5.1.1.2.1 Taglio in elementi senza armatura trasversale

Il valore di progetto della resistenza a taglio in elementi con armature longitudinale e senza armature trasversale è data da (in N):

$$V_{RFd} = \left\{\frac{0.18}{\gamma_c} k \left[100\rho_l \left(1 + 7.5\frac{f_{Ftuk,ef}}{f_{ctk}}\right) f_{ck}\right]^{1/3} + k_1\sigma_{cp}\right\} b_w d$$

con

$$V_{RFd} \geq V_{Rd,min} = \left(v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\right) \cdot b_w \cdot d$$

dove $v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$

5.1.1.2.2 Taglio in elementi con armatura longitudinale e trasversale

La resistenza a taglio di elementi in *FRC* con armatura trasversale è data da:

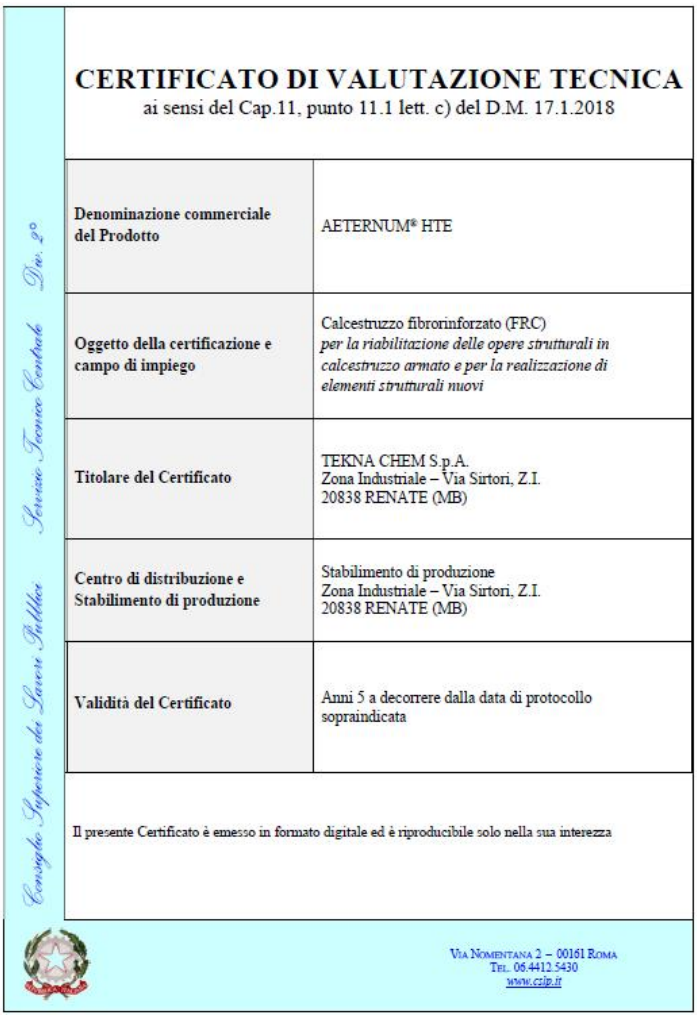
$$V_{Rd} = \min(\max(V_{Rsd}\,;\, 0.75\, V_{Rsd} + f_{Ftud} b_w d);\; V_{Rcd})$$

dove:

V_{Rsd} è la resistenza a taglio dovuta all'armatura trasversale data dalle vigenti norme tecniche.

V_{Rcd} è la resistenza a taglio dovuta al calcestruzzo data dalle vigenti norme tecniche.

Negli ultimi anni l'attenzione verso le strutture esistenti è aumentata in maniera esponenziale, alla luce della ormai improcrastinabile necessità di adeguarle agli standard normativi attuali. Le peculiari caratteristiche (reologiche, meccaniche e di durabilità) dell'Aeternum HTE lo rendono particolarmente adatto alla realizzazione di interventi di riabilitazione strutturale, dai semplici interventi locali ai più complessi interventi di miglioramento/adeguamento sismico.Aeternum HTE ha una sua naturale applicazione sui ripristini corticali di basso spessore, per il ri pristino ed il rafforzamento di elementi strutturali quali pilastri, travi, nodi, solai. Il prodotto, dal punto di vista reologico, si presenta con aggregati di piccolo diametro ed una elevata lavorabilità.



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici — Servizio Tecnico Centrale — Doc. 2°

CERTIFICATO DI VALUTAZIONE TECNICA

ai sensi del Cap.11, punto 11.1 lett. c) del D.M. 17.1.2018

Denominazione commerciale del Prodotto	AETERNUM® HTE
Oggetto della certificazione e campo di impiego	Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) *per la riabilitazione delle opere strutturali in calcestruzzo armato e per la realizzazione di elementi strutturali nuovi*
Titolare del Certificato	TEKNA CHEM S.p.A. Zona Industriale – Via Sirtori, Z.I. 20838 RENATE (MB)
Centro di distribuzione e Stabilimento di produzione	Stabilimento di produzione Zona Industriale – Via Sirtori, Z.I. 20838 RENATE (MB)
Validità del Certificato	Anni 5 a decorrere dalla data di protocollo sopraindicata

Il presente Certificato è emesso in formato digitale ed è riproducibile solo nella sua interezza

Via Nomentana 2 – 00161 Roma
Tel. 06.4412.5430
www.cslp.it

La Tekna Chem S.p.A. già in possesso del certificato di conformità del controllo della produzione in fabbrica

(FPC) N. 1305-CPR-1282 "*Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture di calcestruzzo*" ai sensi delle EN 1504-2:2004, EN 1504-3:2005, EN 1504-4:2004 e EN 1504-6:2006, per il Prodotto AETERNUM HTE ha ottenuto la Marcatura CE per cui lo stesso è coperto da DoP N° IT0900/HTE ai sensi della EN 1504-3 come "*Malta cementizia (R4-CC) per riparazione strutturale*"; inoltre il prodotto, ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 - punto 11.1 - lettera c), ha ottenuto il Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) , per il campo di impiego: "*Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) per la riabilitazione delle opere strutturali in calcestruzzo armato e per la realizzazione di elementi strutturali nuovi*."

Il Servizio Tecnico Centrale, nel CVT, ha classificato, nel paragrafo campo d'impiego, la malta incrudente come: "*Il prodotto Aeternum HTE è un micro-calcestruzzo fibrorinforzato per la riabilitazione delle opere strutturali in calcestruzzo armato e per la realizzazione di elementi strutturali a sezione sottile*".

Applicazioni

Le principali applicazioni sono:

- fabbricazione di elementi strutturali leggeri a sezione sottile;
- ripristini strutturali con colaggio in cassero od in ambienti confinati;
- recupero e rinforzo strutturale a basso spessore su solai, travi, pilastri;
- riparazione di pavimentazioni strutturali con necessità di resistenza ad elevate sollecitazioni statiche e dinamiche.

Le caratteristiche delle componenti dell'Aeternum HTE nonché del prodotto sono riportate nella Tabella 1.

I risultati consentono di classificare il materiale Aeternum HTE incrudente con classe di tenacità 14d.

Tali caratteristiche permettono di realizzare attività di risanamento in prossimità degli estradossi degli impalcati e solette in genere, nonché getti in cassero, per il rinforzo di pilatri, travi, nodi, trasversi, pulvini, baggioli, giunti e cordoli laterali.
I materiale si presta all'applicazione per le strutture "ordinarie", ovvero edifici in e.a., ed è candidato ad essere protagonista nell'ambito dei rinforzi di pere infrastrutturali quali ponti e viadotti.
L'argomento della valutazione della sicurezza dei ponti della rete infrastrutturale italiana negli ultimi anni è un argomento di grande attenzione per gli enti controllori e gestori delle arterie stradali ed autostradali, anche in virtù dei diversi casi di collasso di strutture, purtroppo anche in esercizio, che hanno causato diverse vittime.
Aeternum HTE, per le sue caratteristiche meccaniche, trova il suo naturale impiego nelle manutenzioni ordinarie e straordinarie di ponti e viadotti, sia stradali che ferroviari.

L'utilizzo di Aeternum HTE con spessori moderati determina nei rispristini strutturali corticali (pile, pulvini, baggioli, ritegni, travi, trasversi, solette, cordoli laterali e giunti) e di conseguenza un modesto aumento delle dimensioni (e delle masse) si ottengono aumenti delle resistenze degli elementi strutturali con una forte protezione dagli agenti degradanti poiché il materiale, per come certificato dal CVT ministeriale, ha una permeabilità pari a O mm di penetrazione nell'elemento protetto.
La manutenzione, sia essa ordinaria che straordinaria, sulle parti d'opera, che compongono un'opera d'arte maggiore in una infrastruttura (ponte o viadotto), con l'applicazione dell'Aeternum HTE determina dei benefici rilevanti:

- Pulvini e travi - aumento della resistenza al taglio;
- Baggioli - aumento della resistenza al carico puntuale per compressione ed agli agenti degradanti;
- Giunti - aumento alla resistenza delle aggressioni atmosferiche;
- Solette impalcati e cordoli laterali - interventi con materiale senza l'applicazione dell'armatura tradizionale, in quanto già vi è nel prodotto una armatura micro-diffusa.

L'Aeternum HTE è anche capace di andare in soccorso degli impalcati che, a causa del passare del tempo e degli agenti atmosferici, hanno perso la propria capacità strutturale per i quali erano stati originariamente progettati.

Case history

Il caso studio, che andremo di seguito a esaminare, è quello della creazione di un "esoscheletro" all'impalcato di un ponte con sezione trasversale rappresentata da 5 travi in e.a ., di altezza differente a seconda del tratto considerato.

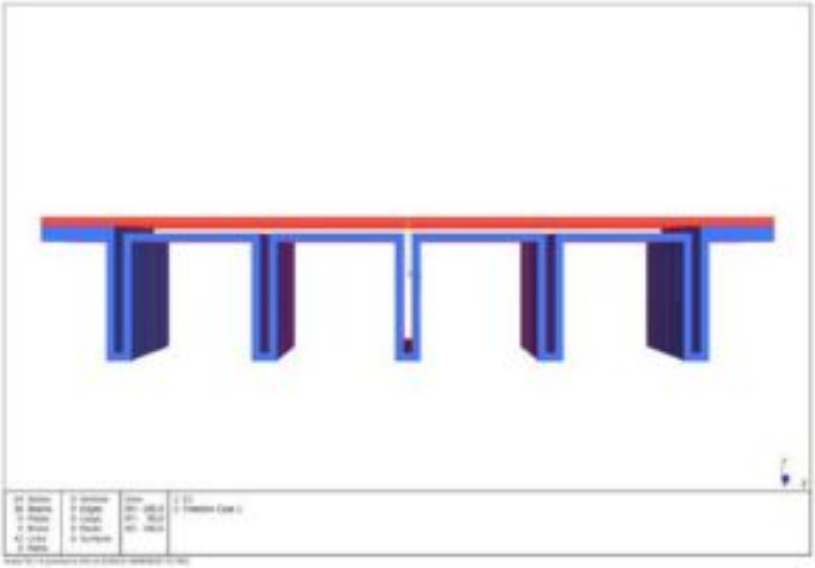


Figura 1. Intervento proposto

In via preliminare considereremo solo le travi corrispondenti alle luci massime (conci di approccio all'arcata centrale), che in mezzeria sono alte 1,22 m (al netto della soletta di spessore 18 cm).
L'intervento proposto prevede le seguenti lavorazioni:

- demolizione corticale della soletta superiore per uno spessore di 5 cm, sia all'intradosso che all'estradosso;
- demolizione corticale delle travi in e.a. per uno spessore di 8 cm;
- ringrosso della sezione esistente con 8 cm di Aeternum HTE, in modo da realizzare una sorta di esoscheletro che inglobi la sezione esistente.

La Figura 1 illustra sinteticamente l'intervento. Le parti del rinforzo inferiore e superiore saranno collegate tra loro in corrispondenza dei cordoli laterali.
Inoltre, è prevista la realizzazione di 4 asole nella soletta esistente tra le 5 travi dell'impalcato. Tali asole hanno dimensione $15 cm \times 100 cm$ (asole dirette longitudinalmente) con passo 2 m nella direzione del viadotto, ed hanno la duplice funzione di permettere il passaggio del getto e di connettere le suddette porzioni di rinforzo inferiore e superiore.
Sono inoltre da prevedere le connessioni tra le pareti di ringrosso verticale mediante la realizzazione di asole sulle travi esistenti indicativamente di dimensioni 10 cm x 20 cm con passo 80 cm nella zona dell'appoggio e passo maggiore in campata.

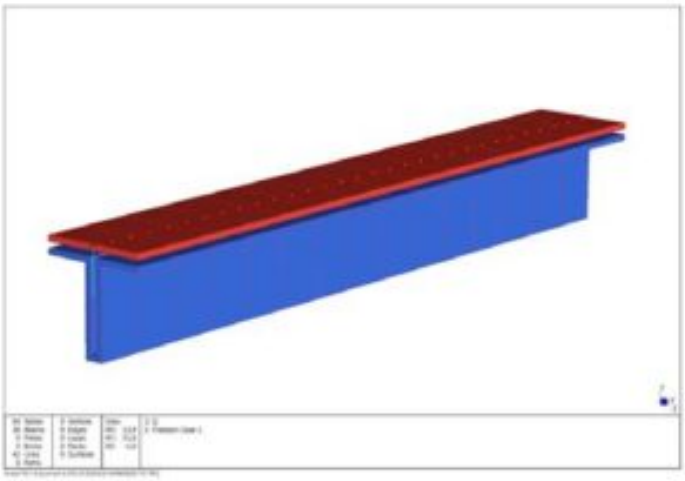


Figura 2. Modello FEM

Di seguito si illustrano le analisi FEM eseguite su una singola trave del viadotto. A vantaggio di sicurezza, date le malsane condizioni del materiale esistente, è stato trascurato il contributo della sezione esistente e il suo peso è stato considerato come un carico permanente non strutturale G2.
La trave analizzata ha una luce pari a 10 me risulta vincolata con vincoli in grado di realizzare un vincolo di incastro parziale alla rotazione (vincoli cerniera e molle rotazionali di rigidezza pari a 6*109 kNmm/rad, tale da generare momenti positivi in
campata dello stesso ordine di grandezza di quelli negativi in appoggio). Nella Tabella 2 si riportano i carichi considerati nell'analisi.

Tabella 2

G1 (kg/m)	760	Rinforzo inferiore
G1 (kg/m)	284	Soletta di rinforzo superiore
G2 (kg/m)	555	Struttura esistente
G2 (kg/m)	912	Pavimentazione ed elementi marginali
Q (kg/m)	1278	9 kN/m^2

In base alle diverse combinazioni di carico si sono determinati i contur delle tensioni sull'esoscheletro, effettuato unicamente con materiale incrudente micro-armato, come riportato da Figura 3 e Figura 4.

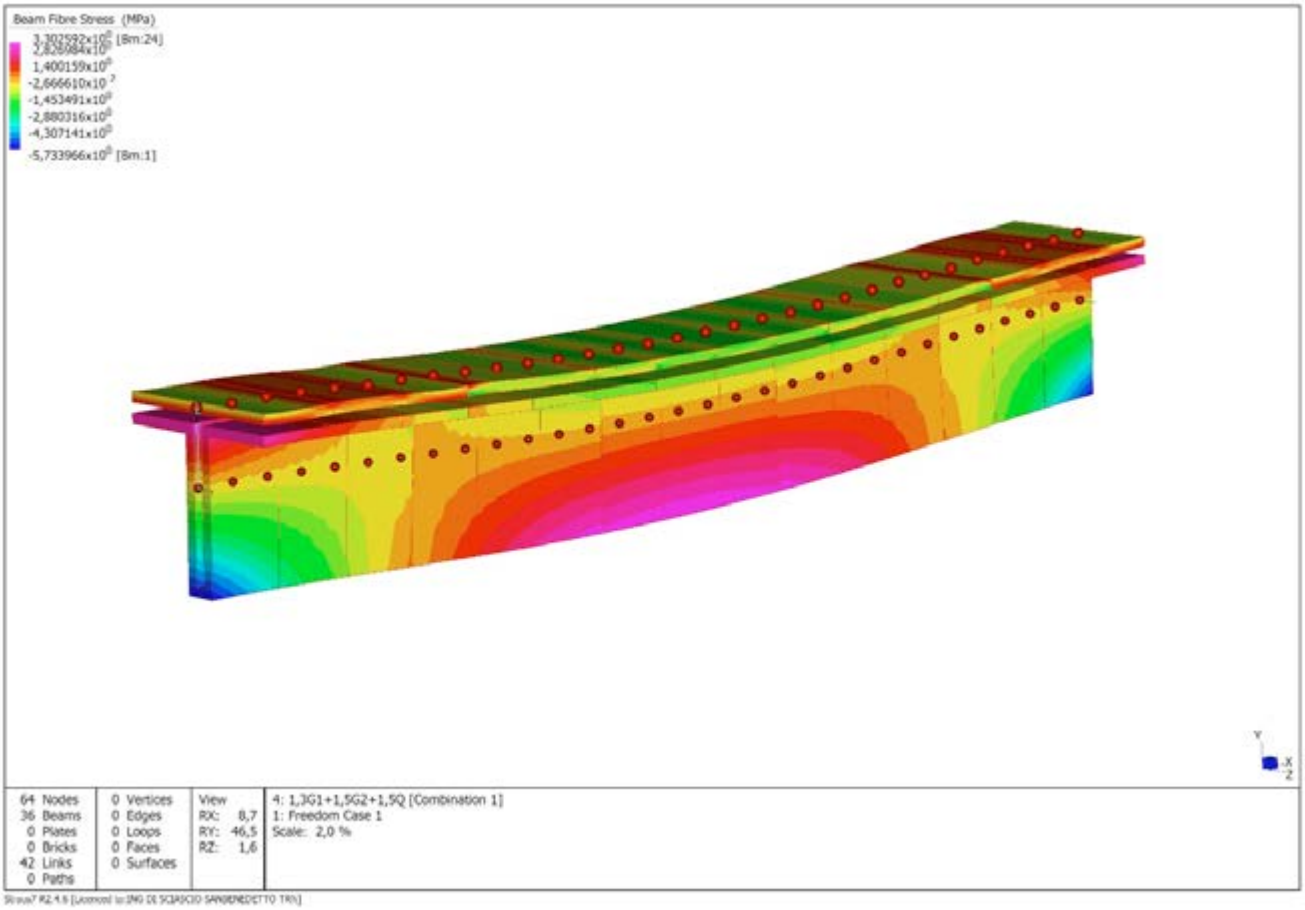


Figura 3.

Contour delle tensioni longitudinali prodotte dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q

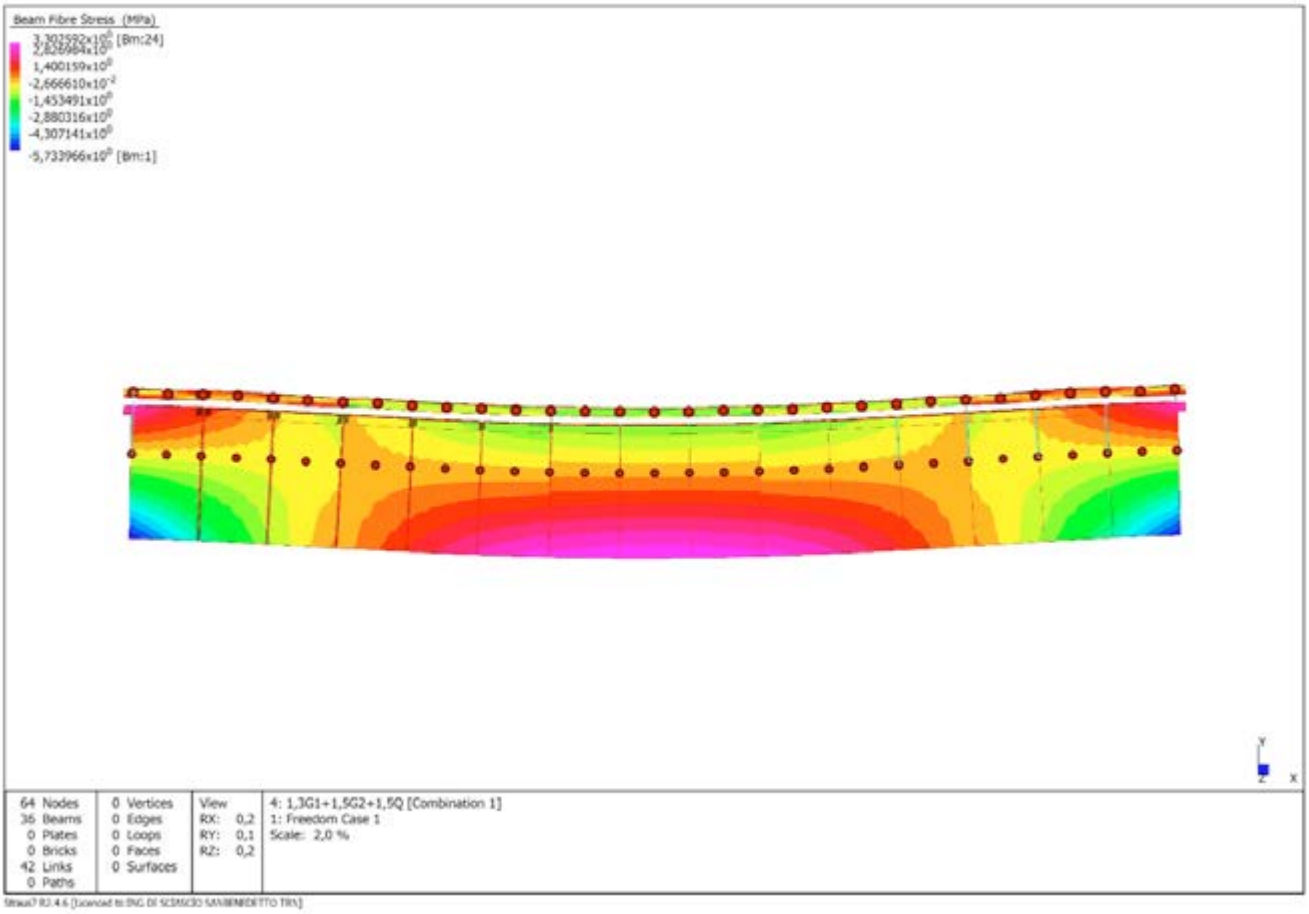


Figura 4.

Contour delle tensioni longitudinali prodotte dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q

Dal semplice confronto tra le resistenze ultime di calcolo (compressione - trazione) dell'Aeternum HTE con le massime tensioni agenti a trazione e compressione, riscontrabili nei contour riportati nelle Fig. 3 e 4, si hanno i seguenti risultati:

- smax compressione= 5,7 MPa < fcd = 51 Mpa (Aeternum HTE)
- smax trazione= 3,3 MPa < fftud = 3,43 Mpa (Aeternum HTE)

Inoltre, andando ad analizzare il massimo taglio individuato nelle ipotesi precedenti si va a determinare quanto di seguito riportato :

• max taglio = 24,5 kN/(0,15x 1) = 163,3 kPa = 0,163 MPa < fFtud = 3,43 Mpa

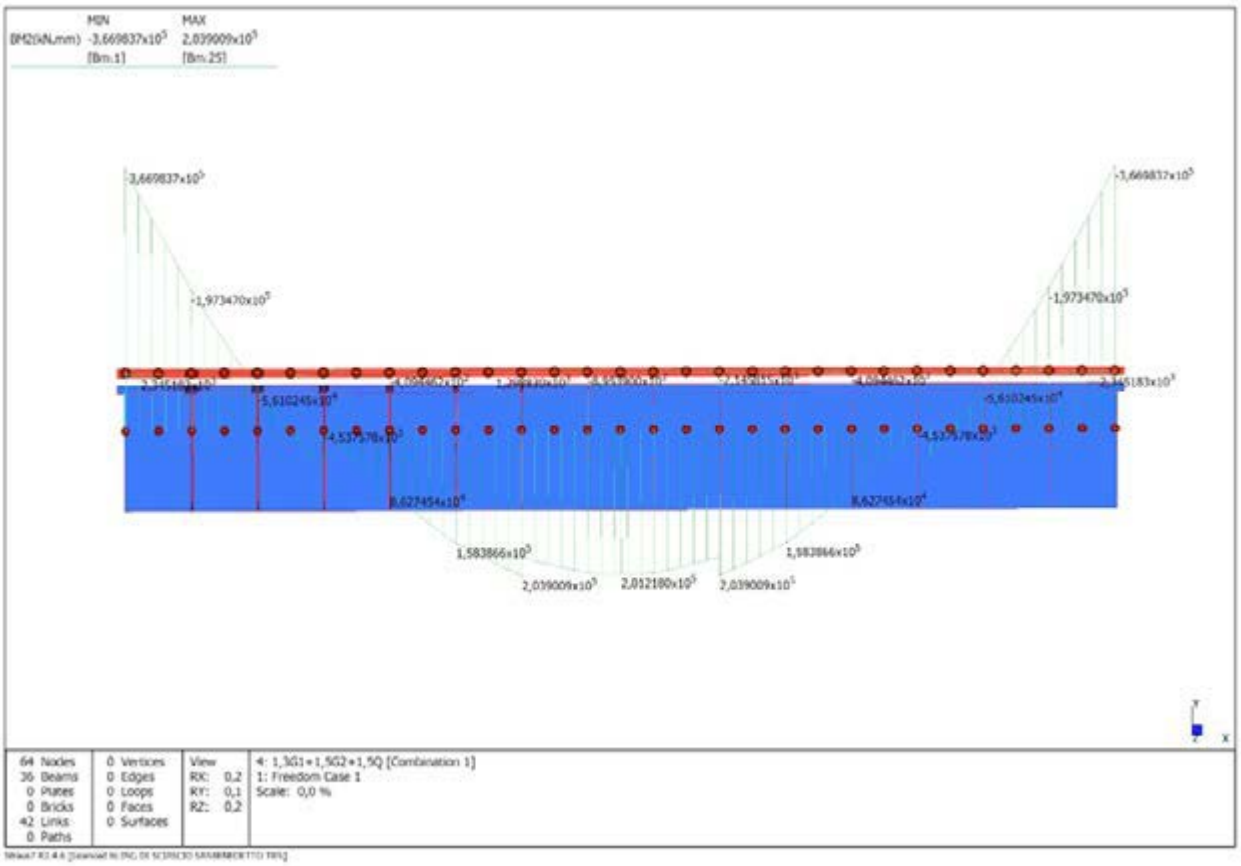


Figura 5.

Diagramma del momento flettente sul rinforzo inferiore prodotto dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q

Quindi dalle analisi sopra riportate e dalle relative verifiche effettuate si può benissimo assumere che l'esoscheletro realizzato interamente con il prodotto Aeternum HTE riesce ad avere una sua resistenza meccanica complessiva soddisfacente considerato la possibilità di realizzare i seguenti interventi:

- demolizione corticale della soletta superiore per uno spessore di 5 cm, sia all'intradosso che all'estradosso;
- demolizione corticale delle travi in e.a. per uno spessore di 8 cm;
- ringrosso della sezione esistente con 8 cm di Aeternum HTE in modo da realizzare una sorta di esoscheletro che inglobi la sezione esistente.

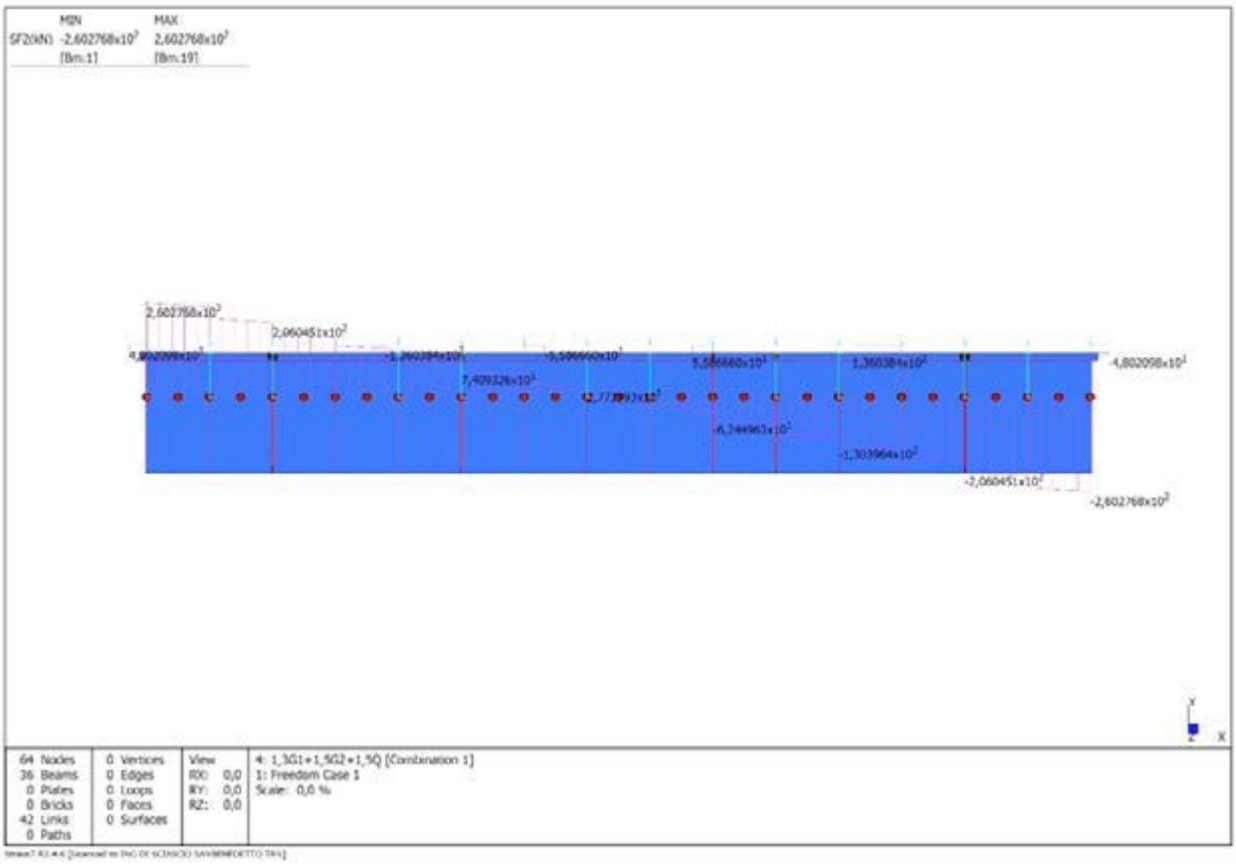


Figura 6.
Diagramma del taglio sul rinforzo inferiore prodotto dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*-G2+1,5*Q

Il sistema HPFRCC Aeternum HTE si inserisce a pieno t itolo all'interno del panorama degli interventi di rispristino e consolidamento strutturale, superando il limite del calcestruzzo tradizionale, dove l'incremento delle resistenze meccaniche
si traduce in perdita di duttilità, in quando i prodotti appartenenti alla linea AETERNUM uniscono gli elevati valori di resistenza meccanica (maggiori di 115 MPa a compressione, maggiori di 9 MPa a trazione) ad ottimi valori di duttilità (energia a frattura 15.000 ÷ 25.000 N/m) e di tenacità (Classe 14d).