

125
anni

N. 1592/11 NOVEMBRE 2023

leStrade

Casa Editrice la *fiaccola* srl

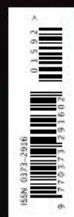
Aeroporti Autostrade Ferrovie

INFRASTRUTTURE

Soluzioni per lo sviluppo sostenibile della rete autostradale

GALLERIE

I lavori in sette gallerie dell'autostrada A32 Torino-Bardonecchia





Nuove tecnologie

Aeternum HTE Incrudente approda all'Università



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 ordinaria e straordinarie su Ponti (e/o viadotti) Storici.

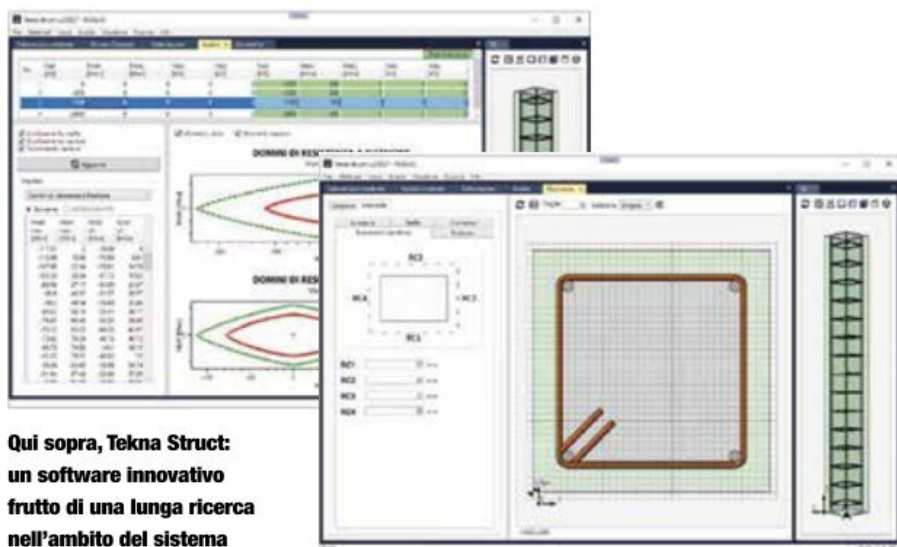
Il tema sollevato ed affrontato dall'Istituto durante lo svolgimento del seminario, il recupero delle opere d'arte sottoposte al vincolo storico, è stato accompagnato dalle relazioni di noti esperti del settore a livello nazionale ed internazionale: il Geom. Silvio Cocco (Presidente Istituto Italiano 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

ca 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.

Giovanni Fiordaliso
Silvio Cocco
Valeria Campioni



Qui sopra, 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 il know-how acquisito negli anni da Tekna Chem. Tekna Struct permette di progettare il dimensionamento del sistema FRC (Fiber Reinforced Concrete) mediante Aeternum HTE.

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.

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" [cfr. <http://www.amatesponde.it/italia-in-bilico/>]. Più del 50% dei ponti hanno un'età superiore ai 50 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 CSLPP. 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 appositi 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 (Fiber Reinforced 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.



(comportamento degradante) o un ramo in-crudente grazie alla comparsa di una multi-fessurazione.

La classificazione del materiale FRC si basa sulle proprietà nominali riferite alla resistenza a trazione 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.



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

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

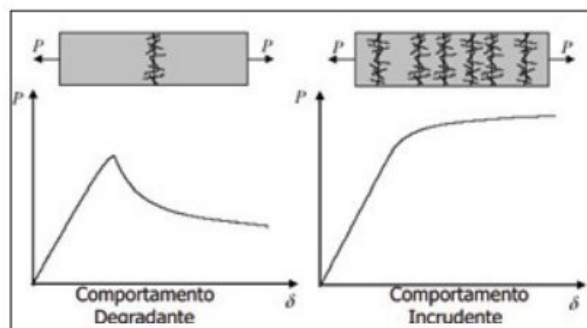
$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L L}{2bh_{sp}^2}$$

- Resistenza residua per valori di apertura della fessura alla bocca dell'intaglio (CMOD) pari a:
 - 0.5 mm (fR,1); (SLE)
 - 2.5 mm (fR,3); (SLU) → $f_{R,j} = \frac{3F_j L}{2bh_{sp}^2}$
 - rapporto fR,3k/fR,1k

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

La resistenza nominale per fR1k

La resistenza nominale per fR1k è definita dal numero appartenente alla prima colonna delle Tabelle, immediatamente inferiore al valore di fR1k determinato sperimentalmente:



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	$4.0 \leq f_{R1k} < 1.5$

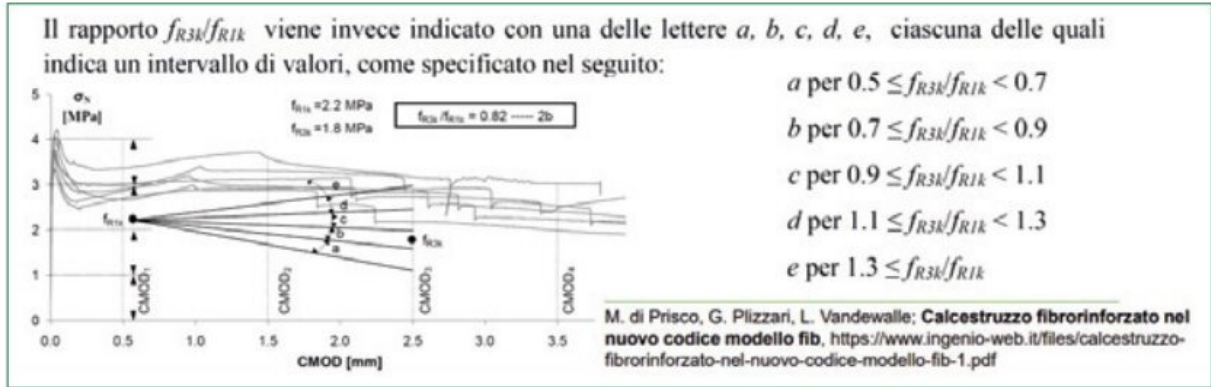
Valore nominale	Valore sperimentale
5.0	$5.0 \leq f_{R1k} < 6.0$
6.0	$6.0 \leq f_{R1k} < 8.0$
8.0	$8.0 \leq f_{R1k} < 10.0$
10.0	$10.0 \leq f_{R1k} < 12.0$
12.0	$12.0 \leq f_{R1k} < 14.0$
14.0	$14.0 \leq f_{R1k}$

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

forzati 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 devo-



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

- se la classe di resistenza a f_{R3} compressione è conforme a quanto previsto dalle NTC per un calcestruzzo privo di fibre
- se sono rispettate le condizioni:

$$\frac{f_{R,1k}}{f'_{ct,Lk}} > 0.4$$

$$\frac{f_{R,3k}}{f_{R,1k}} > 0.5$$

$f'_{ct,Lk}$, $f_{R,1k}$ e $f_{R,3k}$ i valori caratteristici dei parametri $f'_{ct,L}$, $f_{R,1}$ 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 fibrorin-

no essere eseguiti a cura e sotto la responsabilità del Direttore dei Lavori:

- Le prove saranno eseguite dopo 28 giorni di maturazione in ambiente controllato con temperatura $T = 20 \pm 2$ °C e $UR \geq 95\%$, 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 m³ 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.

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

La resistenza residua a trazione, in accordo con la Linea Guida per la qualificazione, è definita attraverso i valori caratteristici delle resistenze f_{R1k} 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.

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.

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

$$\varepsilon = w / l_{cs}$$

$$s_{rm} = 1,5 \cdot c + (k_{f1} \cdot k_b) / 7,2 \cdot \Phi / \rho_{p,eff} \cdot (1 - \alpha_f)$$

- La Distanza media tra le fessure s_{rm} tiene conto:**
- della resistenza residua in esercizio;
 - della resistenza media a trazione;
 - del rapporto geometrico di armature;
 - dell'area efficace di calcestruzzo tesa;
 - 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);

$$K_G = 1 + 0,5 A_{ct} [m^2] \leq 1,25$$

- 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

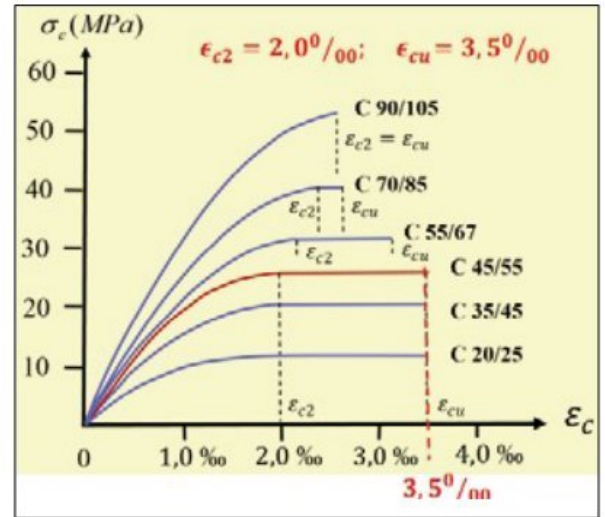
La resistenza post-fessurativa a trazione degli elementi in FRC può essere considerata attraverso

uno dei legami costitutivi semplificati (sforzo-apertura di fessura):

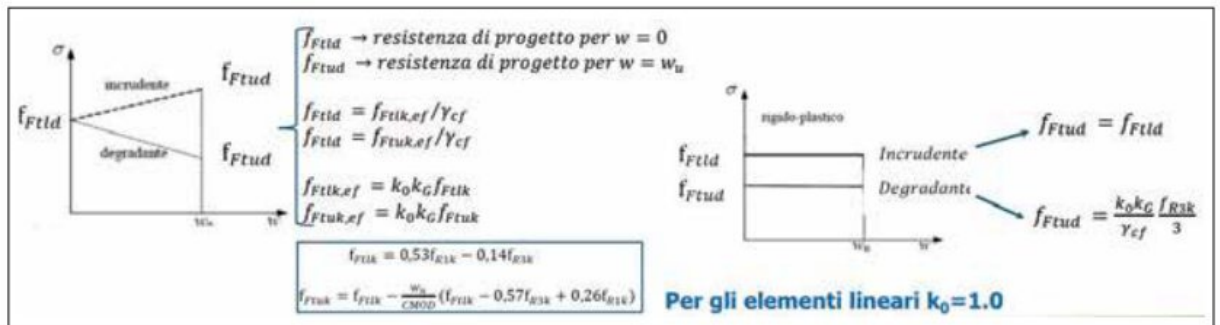
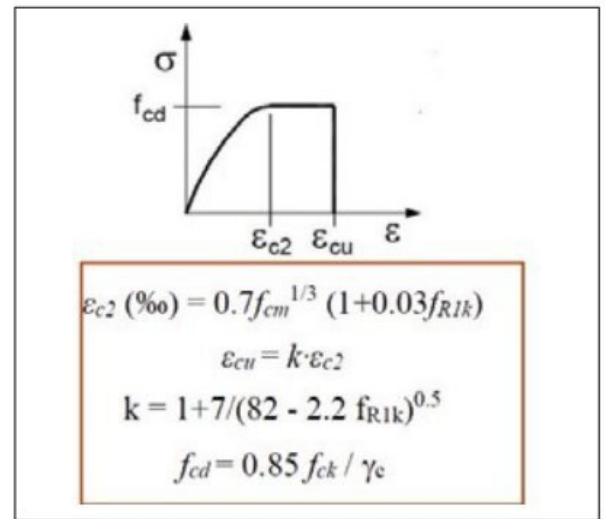
- un modello lineare che può essere incrudente o degradante;
- un modello rigido-plastico.

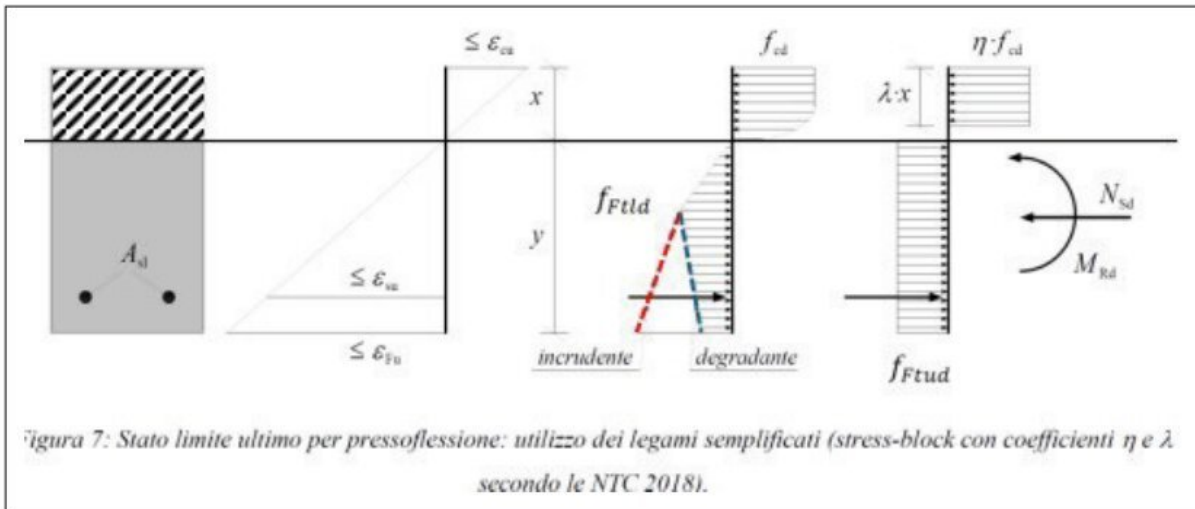
Verifiche di resistenza - Compressione Uniassiale - SLU

Per calcestruzzi fibrorinforzati con resistenza residua a flessione f_{R1k} inferiore a 5 MPa



Per calcestruzzi fibrorinforzati con resistenza residua a flessione f_{R1k} superiore a 5 MPa





Verifiche di resistenza - Flessione composta SLU

- La rottura si verifica quando si verifica una delle seguenti condizioni:
 - raggiungimento della massima deformazione di compressione, ϵ_{cu} , nel FRC;
 - raggiungimento della massima deformazione di trazione, ϵ_{su} , nell'acciaio d'armatura (ove presente);
 - raggiungimento della massima deformazione di trazione, ϵ_{Fu} , nel FRC.
- Per modello degradante, la massima deformazione a trazione, ϵ_{Fu} , è il 2%
- Nel caso di legame costitutivo di tipo incrudente, la deformazione massima di trazione, ϵ_{Fu} , è assunta pari all'1% (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 microcalcestruzzi 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.

Negli ultimi anni l'attenzione verso le strutture

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):

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

con

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

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

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:

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

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.

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.stc.it	



Servizio Tecnico Centrale – Divisione II

Pagina 1 di 7

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) [Prot. M_INF.CSLP.REG.ATTI.INT.CONSUP. R.0000014.16-01-2023], 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.

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/adequamento sismico.

Aeternum HTE ha una sua naturale applicazione sui ripristini corticali di basso spessore, per il ripristino 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.

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 estradosi degli impalcati e solette in genere, nonché getti in cassero, per il rinforzo di pilastri, travi, nodi, trasversi, pulvini, baggioli, giunti e cordoli laterali. Il materiale si presta all'applicazione per le strutture "ordinarie", ovvero edifici in c.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 ripristini 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 0 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 impalcato 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 impalcato 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 c.a., di altezza diffe-

Proprietà	Unità di misura	Valore	Metodo di Prova - Normativa di riferimento
Comportamento meccanico			
Densità	g/cm ³	2,50 ± 3%	EN 12390-7
Contenuto delle fibre in volume	%	2,3	
Contenuto delle fibre in peso	%	7,4	
Classe di consistenza		S5	EN 12350 -1,2,3,5
Classe di resistenza a compressione	MPa	C100/115	EN 12350 -1,2,3
Modulo elastico	GPa	46,64	NTC 2018 § 11.2.10.3
Coefficiente di Poisson		0,1	NTC 2018 § 11.2.10.4
Coefficiente di dilatazione termica lineare	*C ⁻¹	10 x 10 ⁻⁶	NTC 2018 § 11.2.10.5
Classe di resistenza residua - Tenacità			
Resistenza al limite di proporzionalità (valore medio) $f_{ct, Lm}$	MPa	9,703	EN 14651
Resistenza al limite di proporzionalità (valore caratteristico) $f_{ct, Lk}$	MPa	8,449	EN 14651
Rapporto $f_{ct, Lm} / f_{ct, Lk}$		1,81	EN14651
Rapporto $f_{ct, Lm} / f_{ct, Lk}$		1,10	EN14651
Resistenza a trazione f_{ctm} (valore medio)	MPa	9,14	NTC 2018 § 11.2.10.2
Resistenza a trazione f_{ctk} (valore caratteristico)	MPa	6,40 (frattile 5%)	NTC 2018 § 11.2.10.2
Classe di esposizione	-	XC, XF, XA, XD, XS	EN 206
Classe di reazione al fuoco	-	A1	EN 13501-1
Temperatura estrema di utilizzo	*C	1000	
Resistenza a gelo e disgelo	n.cicli	20	EN 12390-9
Resistenza alle alte temperature	%,*C	ND	
Permeabilità	mm	ZERO	EN 12390-8

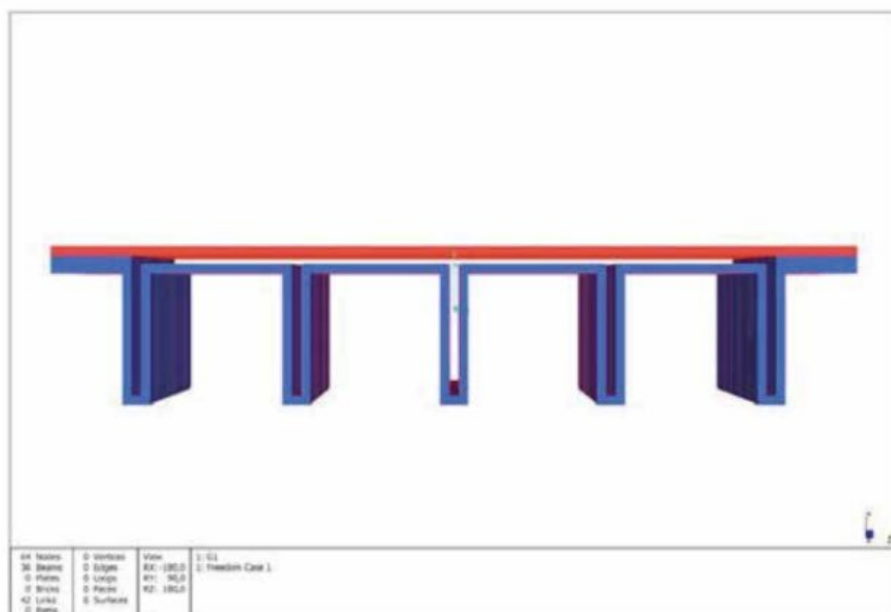


Fig.1: Intervento proposto.

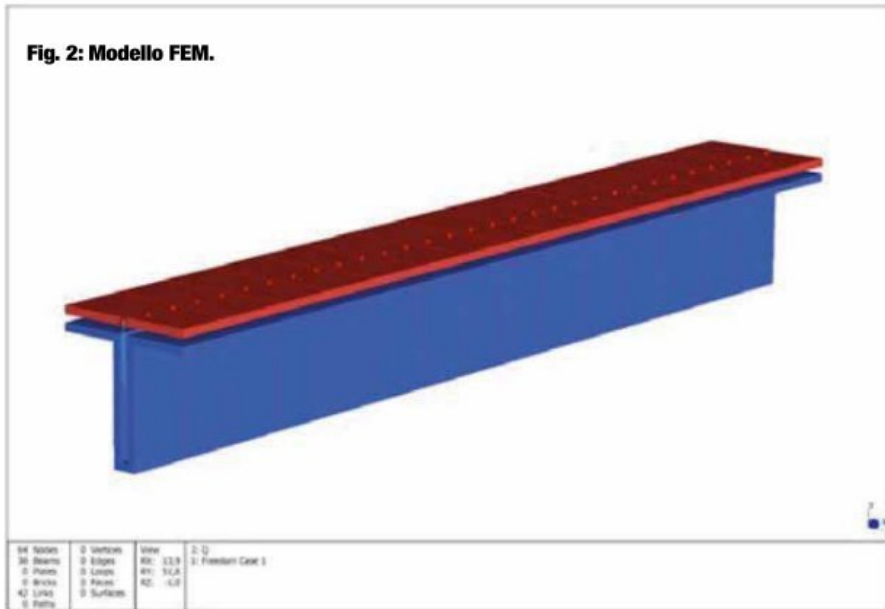
rente a seconda del tratto considerato.

In via preliminare considereremo solo le travi corrispondenti alle luci massime (conci di approccio all'arcata centrale), che in mezzera 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 c.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.

Fig. 2: Modello FEM.



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

Tabella 2

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 x 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 pa-

reti 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. 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 m e risulta vincolata con vincoli in grado di realizzare un vincolo di incastro parziale alla rotazione (vincoli cerniera e molle rotazionali di rigidezza pari a $6 \cdot 10^9$ kNm/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.

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

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:

- s_{max} compressione = 5,7 MPa < f_{cd} = 51 MPa (Aeternum HTE)
- s_{max} trazione = 3,3 MPa < f_{ftud} = 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 = $24,5 \text{ kN}/(0,15 \times 1) = 163,3 \text{ kPa} = 0,163 \text{ MPa}$ < f_{ftud} = 3,43 MPa

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

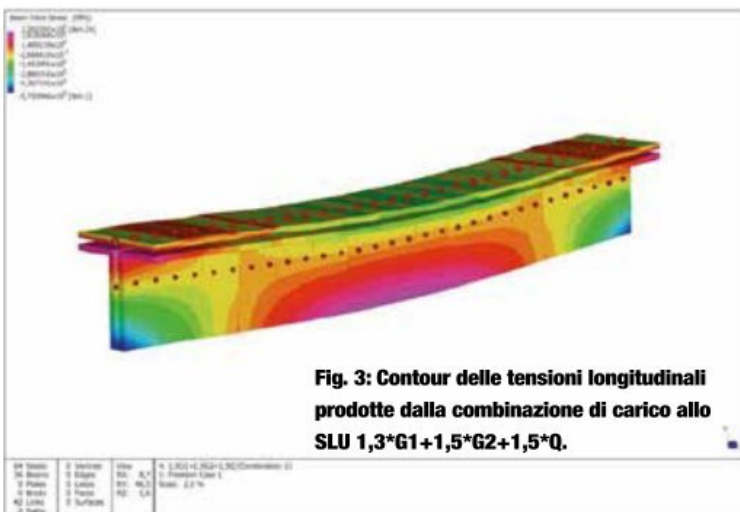


Fig. 3: Contour delle tensioni longitudinali prodotte dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q.

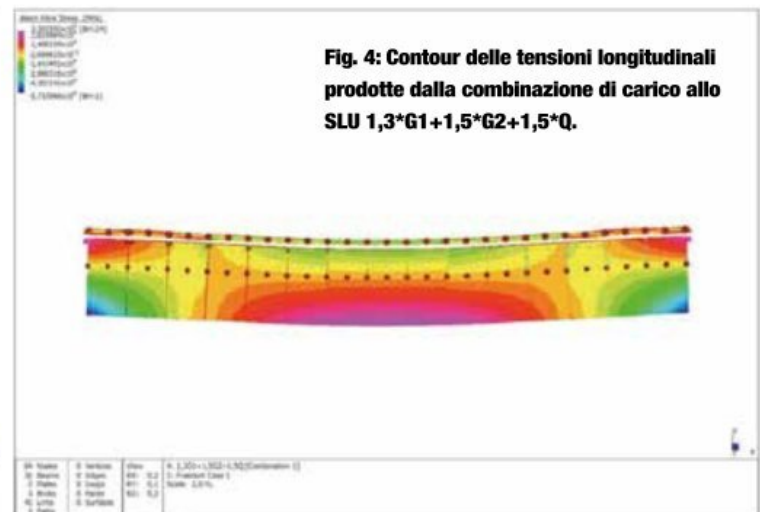
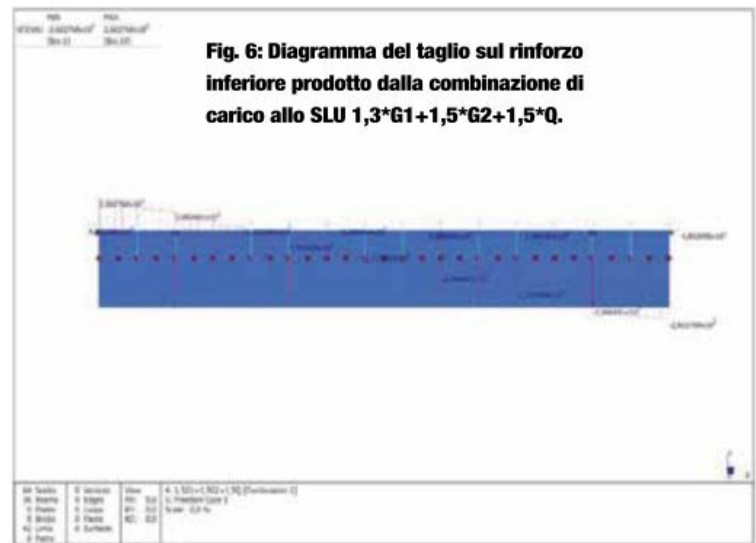
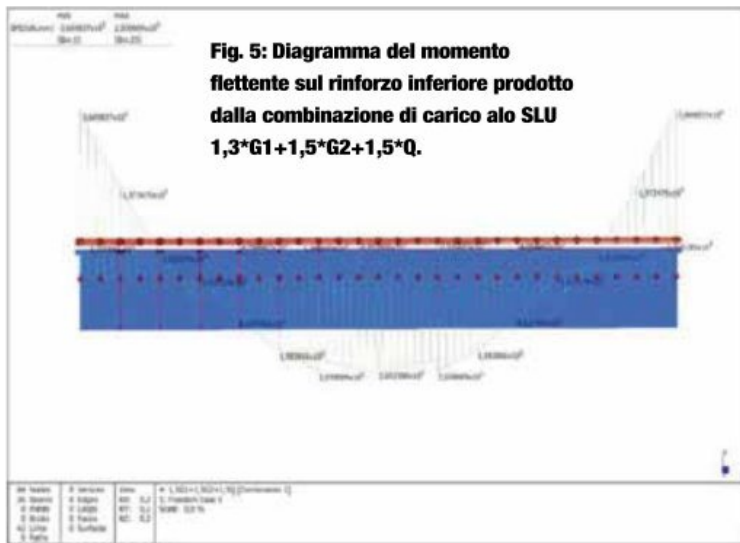


Fig. 4: Contour delle tensioni longitudinali prodotte dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q.



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 c.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.

Il sistema HPFRCC Aeternum HTE si inserisce a pieno titolo all'interno del panorama degli interventi di ripristino 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 $15.000 \div 25.000 \text{ N/m}$) e di tenacità (Classe 14d). ■■

Un ringraziamento particolare, da parte dell'Istituto Italiano del Calcestruzzo, all'Università degli Studi di Cagliari, «in particolar modo al Magnifico Rettore Dell'Università degli Studi di Cagliari - Prof.ssa Maria Del Zompo; al Presidente del Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali - Prof. Daniele Cocco; al Responsabile Settore Progetto Ponti e Strutture Speciali - Prof. Fausto Mistretta, che oltre a ritenere di notevole interesse anche per i loro studenti il Seminario, ci ha accolti con sentito coinvolgimento».



Il Prof. Ing. Fausto Mistretta, Università degli Studi di Cagliari.



L'Ing. Angelo Loggia, Presidente Scuola di Formazione OIC.



Il Prof. Enzo Siviero, Rettore dell'Università telematica eCampus.



Il Prof. Ing. Raffaele Pucinotti, Tecnica delle costruzioni - Università Mediterranea di Reggio Calabria.



Il Dott. Ing. Giovanni Fiordaliso, Strutturista Tekna Chem Group.



Il Geom. Silvio Cocco, Presidente dell'I.I.C e CEO di Tekna Chem.



Il Dott. Ing. Antonio Vincis, Progettista restauro ponte e viadotti.



La Dott.ssa Valeria Campioni, Direzione tecnica Istituto Italiano per il Calcestruzzo.



12
DICEMBRE
2023

TEKNA CHEM GROUP
Renate - MB - Via Sirtori
Zona Industriale

I PONTI STORICI

RICERCA E NUOVE TECNOLOGIE PER LA DURABILITÀ DELLE OPERE

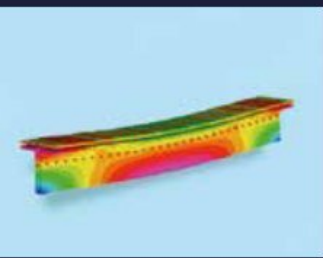
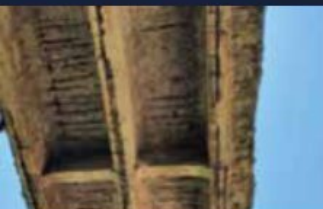
TEKNA CHEM GROUP ospiterà durante la mattinata presso l'Aula Quinto Cocco il **seminario per la presentazione della nuova generazione di prodotti** per la ristrutturazione delle opere, tra cui l'**Aeternum HTE**. Ospite speciale dell'evento sarà il **Prof. Enzo Siviero**, visionario internazionale della progettistica dei ponti.

PROGRAMMA DEL SEMINARIO

- 9:00 | **Registrazione**
- 9:30 | **Welcome Coffee**
- 10:00 | **Geom. Silvio Cocco**
Presidente Istituto Italiano Calcestruzzo
- 10:30 | **Dott.ssa Valeria Campioni**
Direzione tecnica Istituto Italiano Calcestruzzo
- 11:00 | **Prof. Ing. Raffaele Puccinotti**
Tecnica delle costruzioni - Università Mediterranea di Reggio Calabria
- 11:30 | **Ing. Giovanni Fiordaliso**
Strutturista Tekna Chem Group
- 12:00 | **Prof. Enzo Siviero**
 Rettore Università telematica eCampus, ex Direttore di Dipartimento di Costruzioni dello IUAV di Venezia denominato a livello internazionale *Bridgeman*
- 12.30 | Dibattito
- 13:00 | *Lunch time presso il ristorante Tekna Cafè*

3
CFP

Seminario valido per il conseguimento di 3 Crediti Formativi Professionali per iscritti all'Albo degli Ingegneri.



TEKNA CHEM GROUP opera nel settore di cementi e calcestruzzi sin dal 1965, contribuendo ogni giorno con i suoi prodotti e gli interventi sul territorio italiano alla **salvaguardia dell'ambiente**, orientando la ricerca continua per le nuove tecnologie alla **durabilità delle opere**.

In occasione dell'evento, per tutto il corso della giornata, sarà possibile visitare la struttura e il sito produttivo dell'azienda, accompagnati dagli operatori presenti nelle varie aree. **INGRESSO LIBERO.**

PER INFO E PRENOTAZIONI: WWW.ISTIC.IT - fondazione@istic.it - 0362.91.85.16

OPEN
DAY

EVENTO ORGANIZZATO DA



I.I.C.
ISTITUTO ITALIANO
PER IL CALCESTRUZZO
FONDAZIONE PER LA RICERCA
E GLI STUDI SUL CALCESTRUZZO

MEDIA PARTNERS

