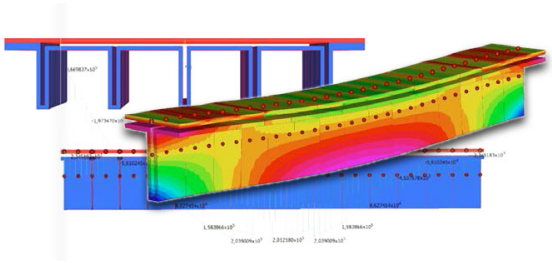
AETERNUM HTE: IL FUTURO ANCHE PER LA RIABILITAZIONE STRUTTURALE DELLE OPERE ESISTENTI



Pubblicato il 22/11/2023

Tag: Aeternum HTE, Il Giornale dell'Ingegnere

Microcalcestruzzo fibrorinforzato per il contrasto del deterioramento dei manufatti, capace di dare nuova vita alle strutture

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 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.

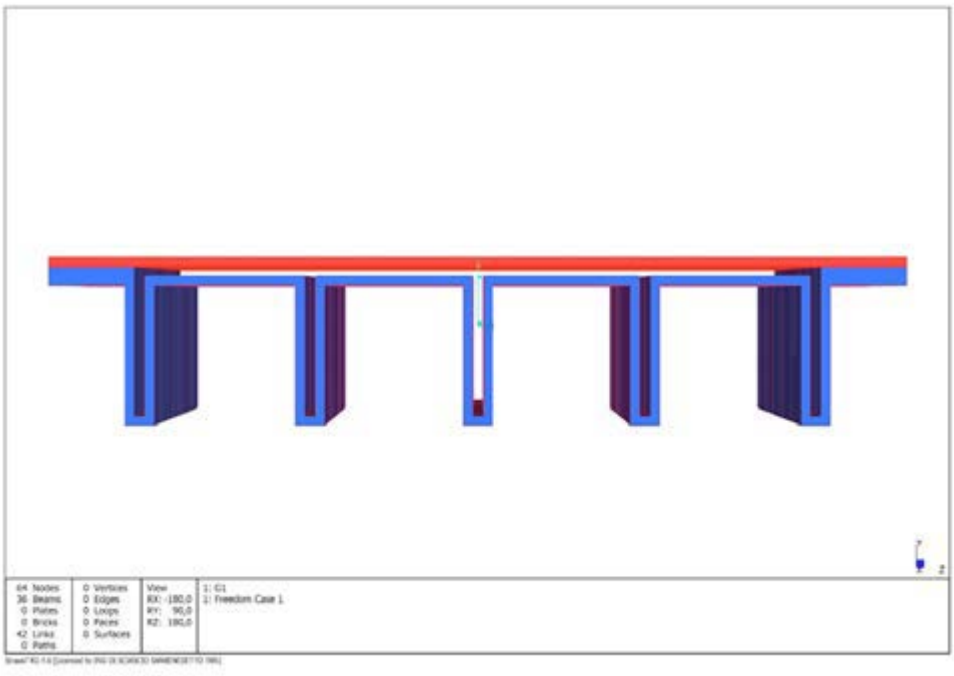


Figura 1. Intervento proposto

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.
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*".

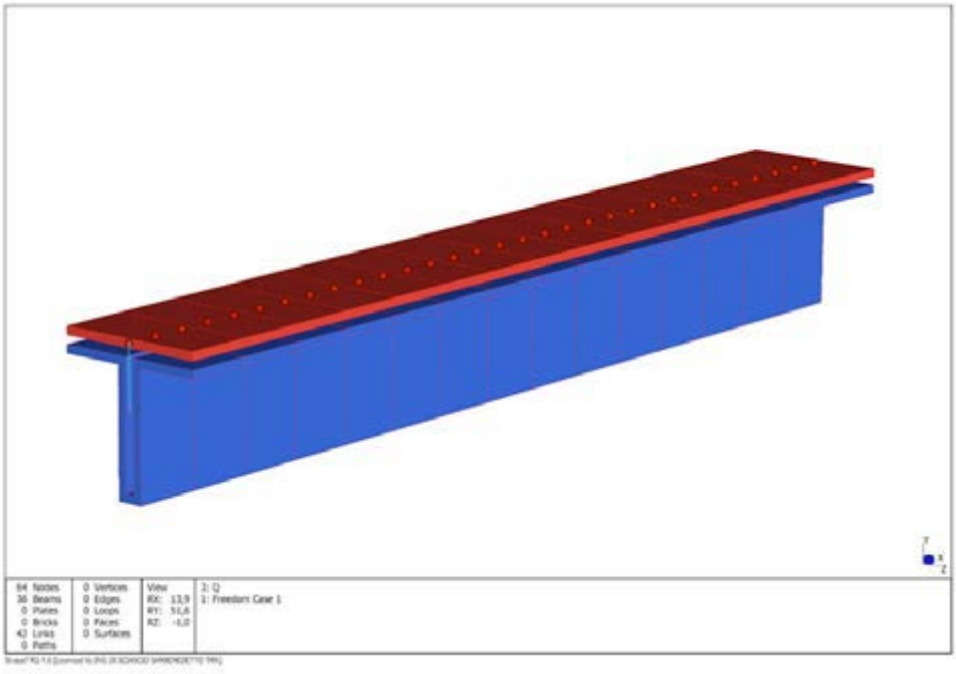


Figura 2. Modello FEM

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.

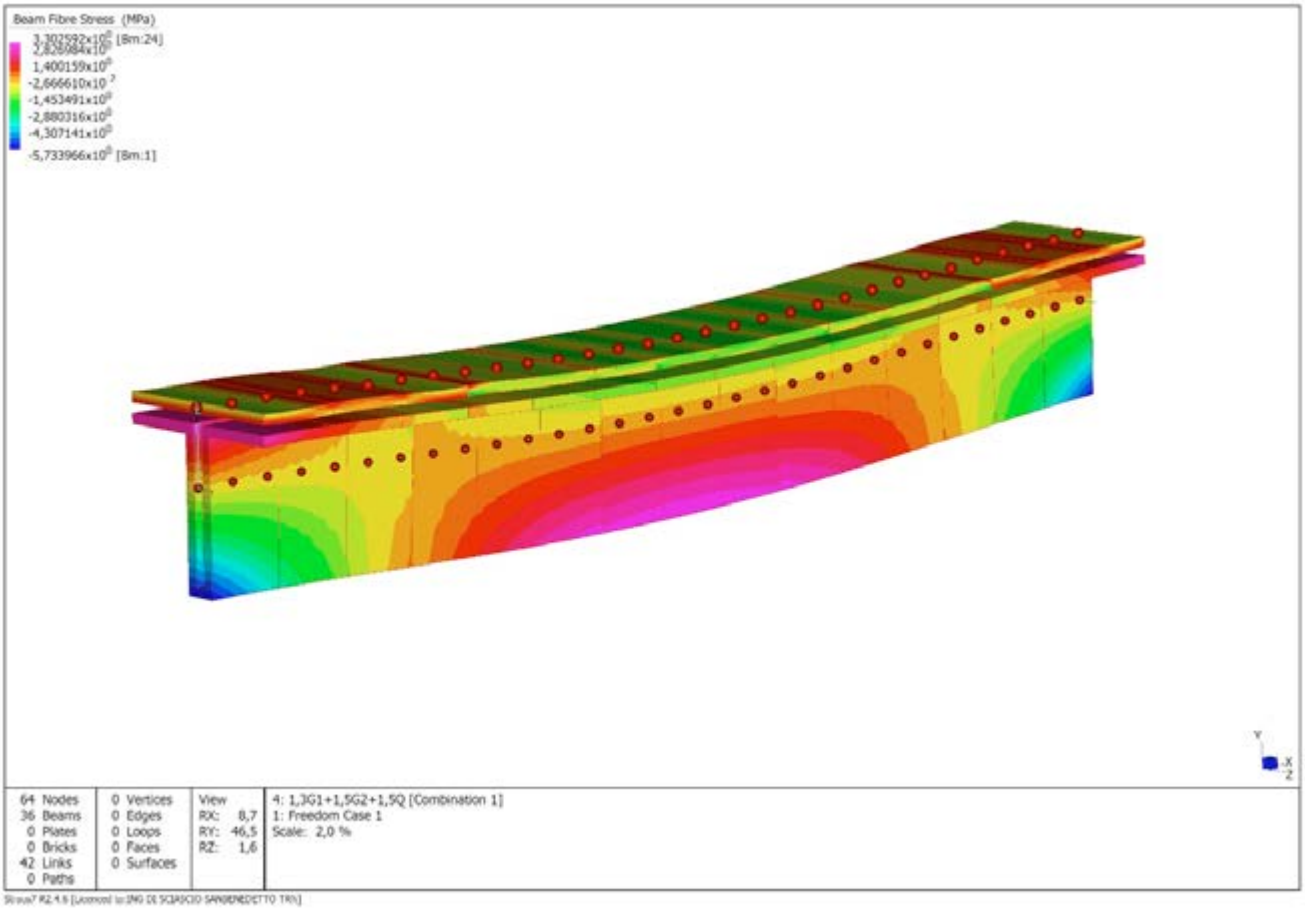


Figura 3.
Contour delle tensioni longitudinali prodotte dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q

Le caratteristiche delle componenti di 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.
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.

Tabella 1

Proprietà	Unità di misura	Valore	Metodo di prova Normativa diriferimento
Comportamento meccanico	-	Incrudente	
Densità	g/cm^3	2,50	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
Classe di resistenza a compressione	MPa	C 100/115	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	$°C^{-1}$	10×10^{-6}	NTC 2018 11.2.10.5
Classe di tenacità		14d	EN 14651
resistenza al limite di proporzionalità (valore medio) $f^{f}_{ct,Lm}$	MPa	9,70	EN 14651
Resistenza al limtie di proporzionalità (valore caratteristico) $f^{f}_{ct,Lm}$	MPa	8,45	EN 14651
Rapporto $f_{R,1k}/f^{f}_{ct,Lm}$		1,81	EN 14651
Rapporto $f_{R,3k}/f^{f}_{ct,Lm}$		1,10	EN 14651
Resistenza a trazione (valore medio)	MPa	9,14	CNR DT 204
Resistenza a trazione (valore caratteristico)	MPa	7,72	CNR DT 204
Classe di esposizione	-	XC, XF, XA, XD, XS	EN 206
Classe di reazione al fuoco	-	A1	EN 13501-1
Temperatura estrema di utilizzo	°C	ND	
Resistenza a gelo e disgelo	n. cicli	20	EM 12390-9
Resistenza alle alte temperature	%, °C	ND	
Permeabilità	mm	0	EN 12390-8

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 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 impalcati e cordoli laterali - interventi con materiale senza l'applicazione dell'armatura tradizionale, in quanto già vi è nel prodotto una armatura micro-diffusa.

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 HISTORYIl 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 differente a seconda del tratto considerato. 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 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.

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 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.
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.

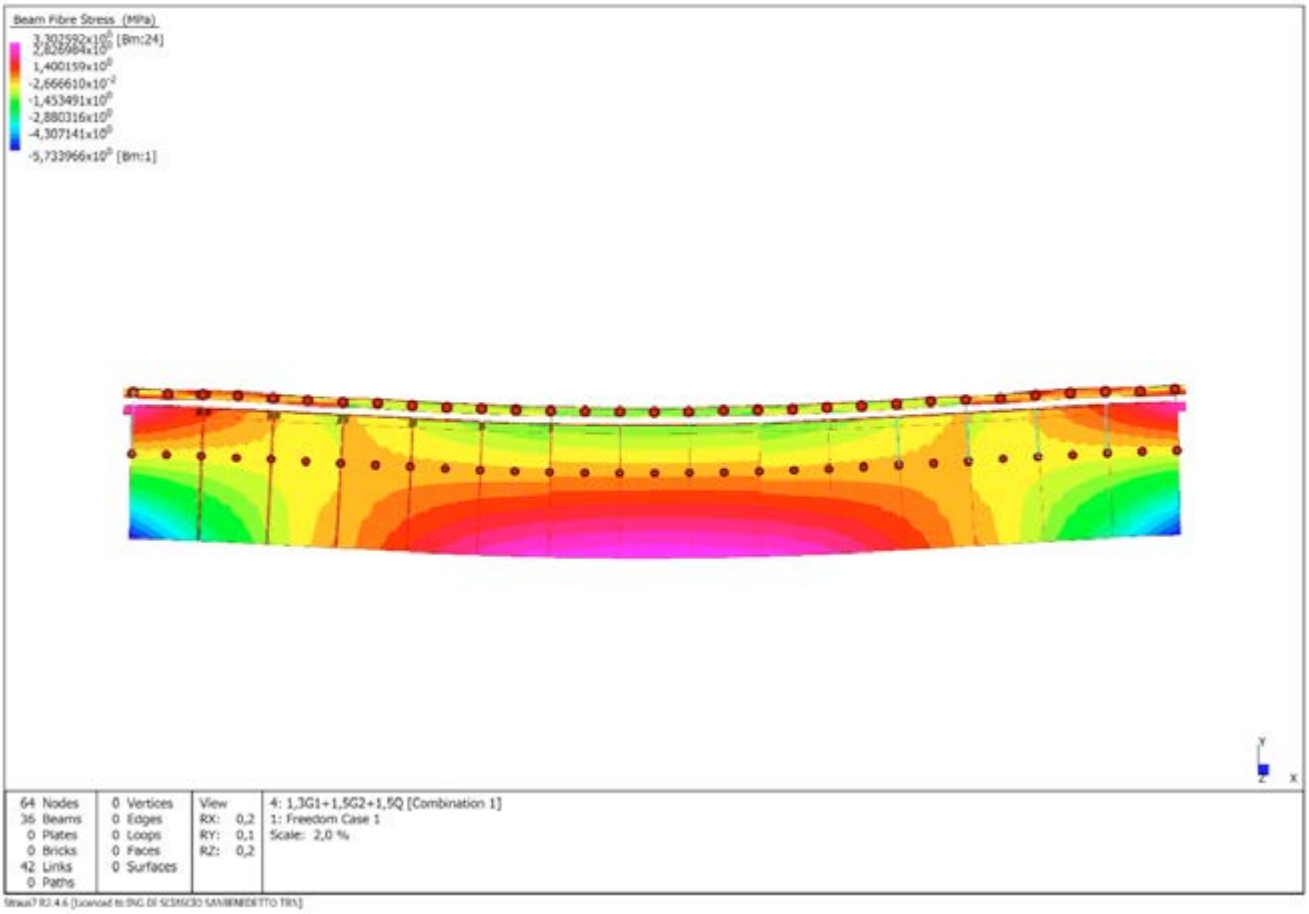


Figura 4.
Contour delle tensioni longitudinali prodotte dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q

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*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/m2

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***. 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 kN/(0,15x1) = 163,3 kPa = 0,163 MPa < fFtud = 3,43 Mpa

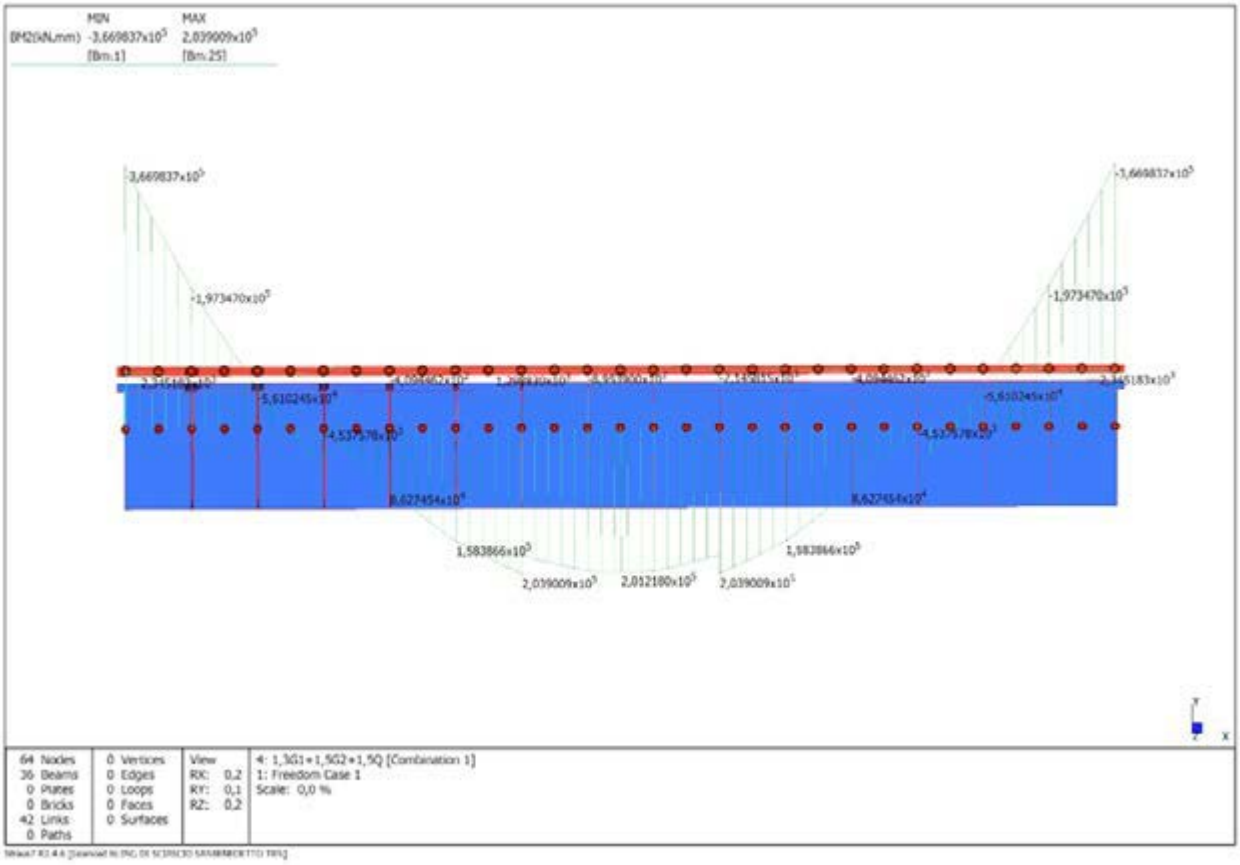


Figura 5.

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 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.

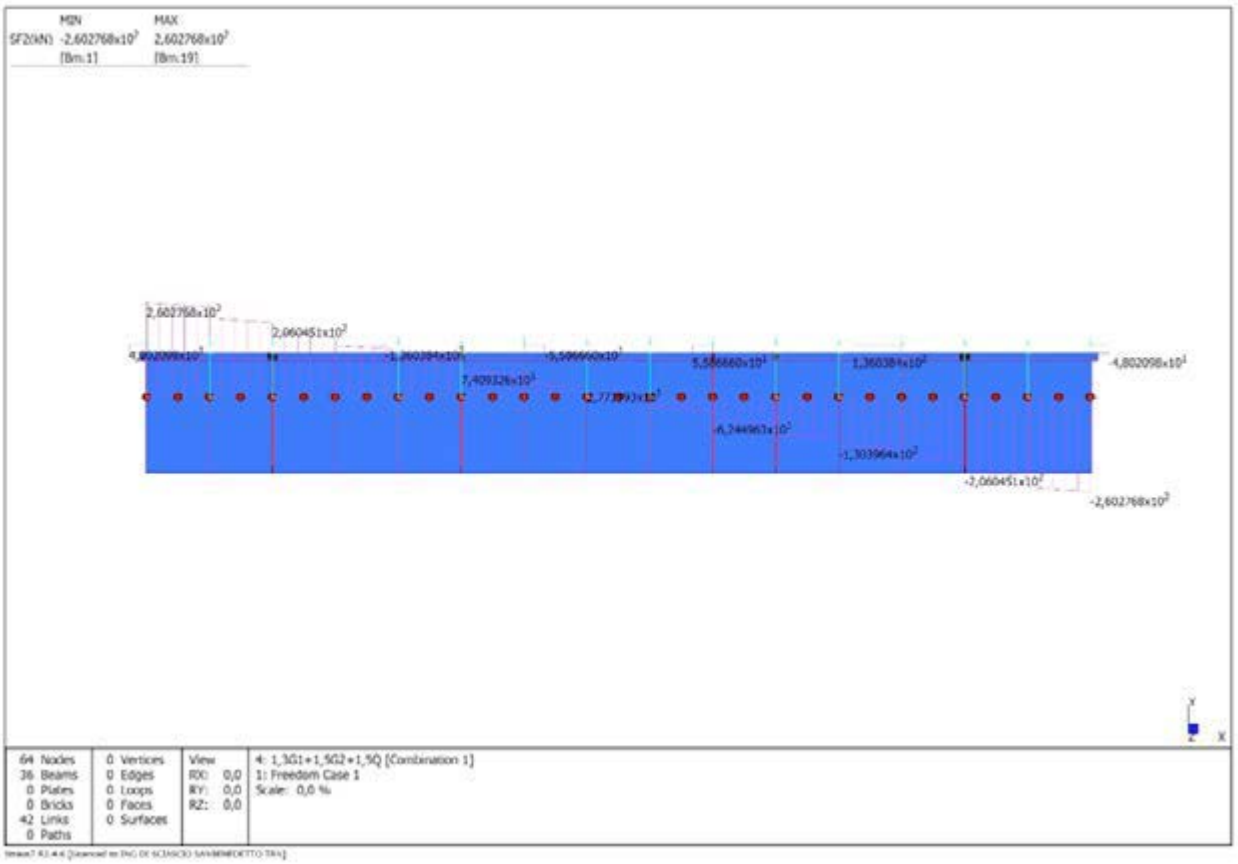


Figura 6. Diagramma del taglio sul rinforzo inferiore prodotto dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*-G2+1,5*Q

Il sistema HPFRCC AETERNUM HTE si inserisce a pieno titolo 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).

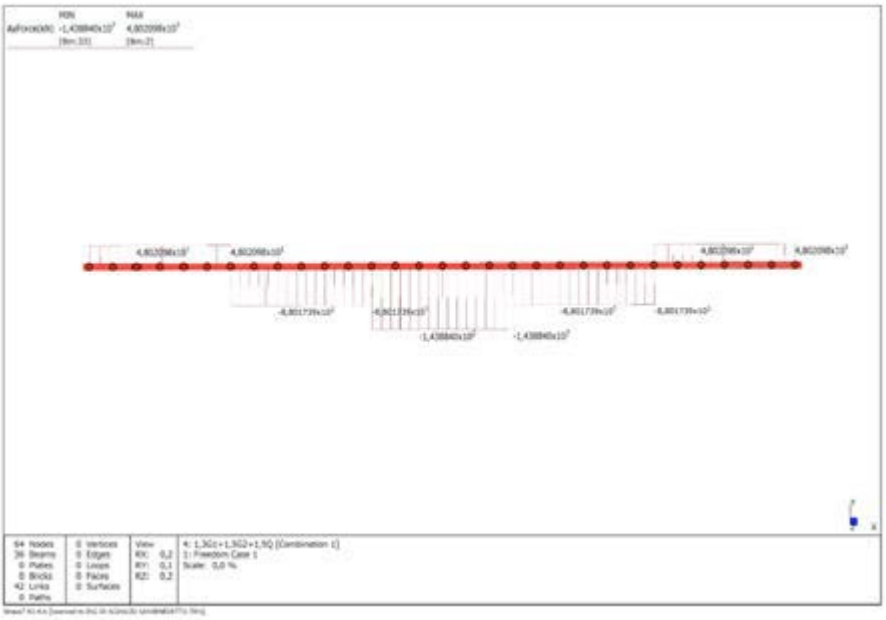


Figura 7. Diagramma dello sforzo normale sulla soletta superiore prodotto dalla combinazione di carico allo SLU 1,3*G1+1,5*G2+1,5*Q

Figura 8. Diagramma dello sforzo di taglio sul singolo asolone che connette il rinforzo inferiore con la soletta superiore prodotto dalla combinazione di carico allo SLU 1,3G1+1,5G2+1,5Q