

TECNICHE DI RINFORZO IN CFRP PER L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI

IL CASO DEL VIADOTTO PROFENNA: LE NUOVE TECNOLOGIE QUALI SISTEMI D'INTERVENTO INVISIBILI E IN GRADO DI AUMENTARE SENSIBILMENTE LE PERFORMANCE MECCANICHE E DI DURABILITÀ DELL'OPERA

Il viadotto Profenna, situato al km 265+250 dell'Autostrada A2 del Mediterraneo, in provincia di Cosenza, è stato oggetto di un intervento di miglioramento sismico e statico per i carichi previsti dalla nuova normativa. Il viadotto risulta inserito anche all'interno del Corridoio europeo TEN-T Scandinavo-Mediterraneo. Il miglioramento strutturale del viadotto si è conseguito utilizzando tecniche di placcaggio in CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) e l'adozione di sistemi di isolamento sismico tipo friction pendulum accoppiati a shock transmitter. Il ricorso a queste tecnologie di derivazione aeronautica nell'ambito infrastrutturale è abbastanza recente e, più in generale, costituisce un elemento innovativo negli interventi di riabilitazione strutturale. I rinforzi in CFRP consentono di migliorare le performance meccaniche degli elementi strutturali incrementando la loro duttilità e garantendo una più longeva durabilità dell'opera. Nell'ambito delle politiche di decarbonizzazione, il risanamento strutturale delle opere esistenti gioca un ruolo fondamentale in termini di riduzione delle emissioni di CO₂.

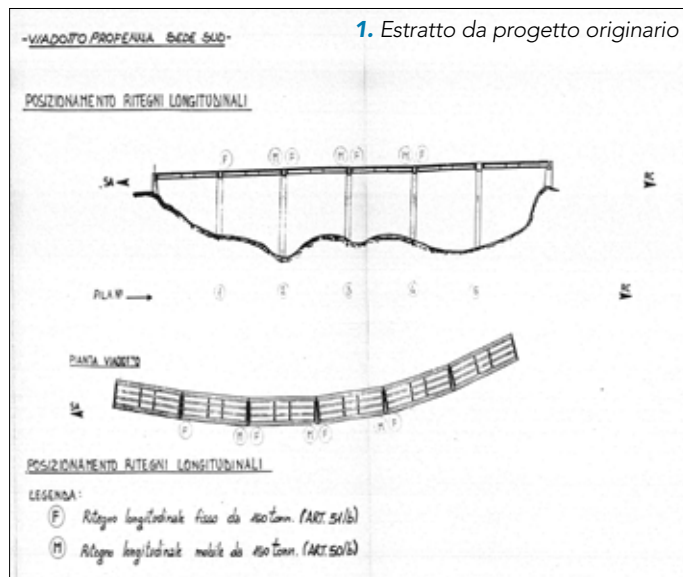
IL VIADOTTO PROFENNA

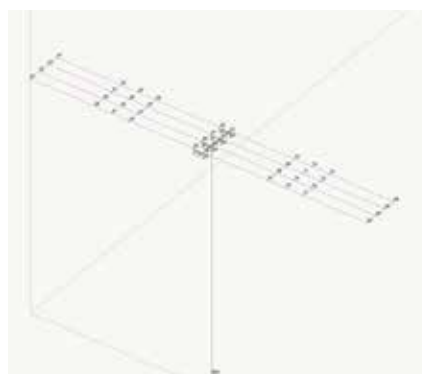
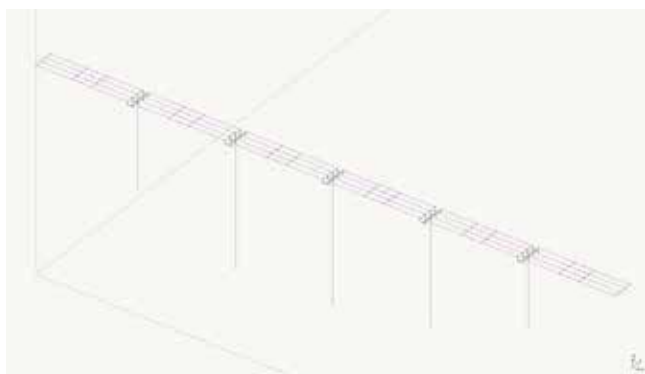
Si tratta di un viadotto con sei campate; ogni campata è riconducibile allo schema di grigliato di travi connesse da traversi ed appoggiate in estremità. Ciascun impalcato scarica le sollecitazioni su delle pile, che sono di diversa altezza. Le pile sono a sezione cava pluriconnessa. Il viadotto è stato realizzato con travi in c.a.p. pretese con cavi a fili aderenti mentre le pile sono realizzate in c.a. gettato in opera.

La redazione del progetto ha comportato un approfondito studio della documentazione costituente il progetto originario e di quella del progetto esecutivo che, alla luce dei riscontri

in cantiere, presentava alcune difficoltà realizzative. Questo ha dato modo di ottimizzare le modalità di conseguimento dell'obiettivo iniziale, approfondendo studi strutturali e analisi. Ciò ha permesso di valutare, tra le varie soluzioni progettuali, quella più performante e anche quella meno invasiva sotto il profilo architettonico dell'opera.

L'adozione dei sistemi di rinforzo in CFRP di Fibre Net ha permesso di realizzare un intervento invisibile ed efficace, quindi con esigui spessori di materiale ma con un sensibile incremento delle performance meccaniche e di durabilità dell'opera.





2A e 2B. Modello numerico tridimensionale del viadotto (2A) e modello strutturale sistema impalcato-pila (2B)

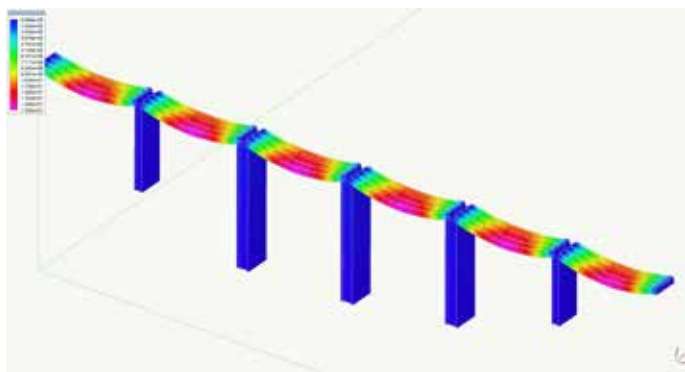
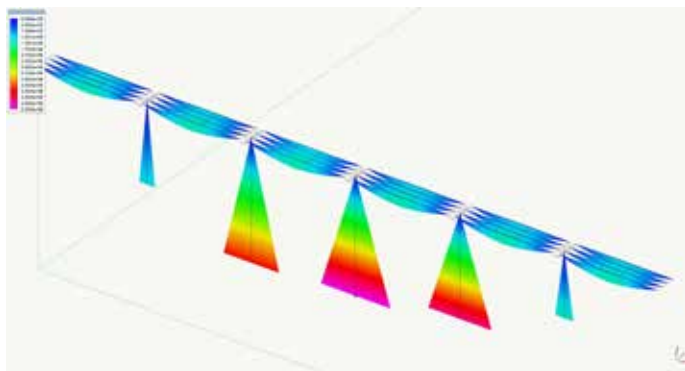
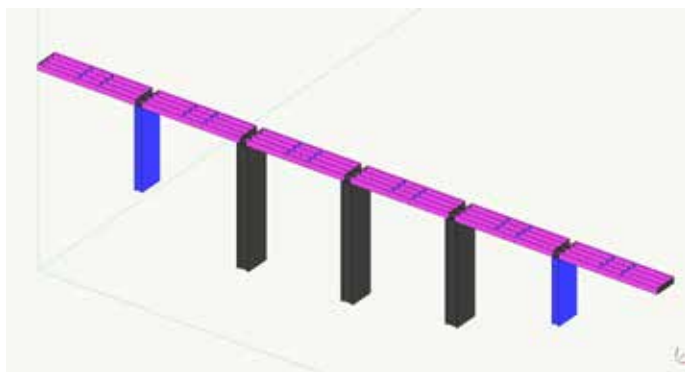
L'eliminazione dei ringrossi in c.a. ordinario ha evitato di aggiungere massa sismica alla struttura e ha evitato di alterarne, tra l'altro, il comportamento strutturale in modo significativo.

Il confronto tra lo studio strutturale dello stato di fatto e quello di progetto ha permesso di determinare il coefficiente ζ_E rapporto tra l'azione sismica sopportabile dalla struttura e l'azione sismica che si utilizzerebbe nel progetto di una struttura nuova (rif. Par. 8.3 NTC 2018).

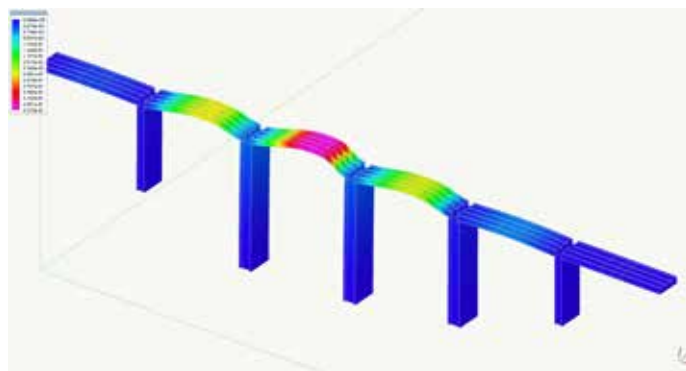
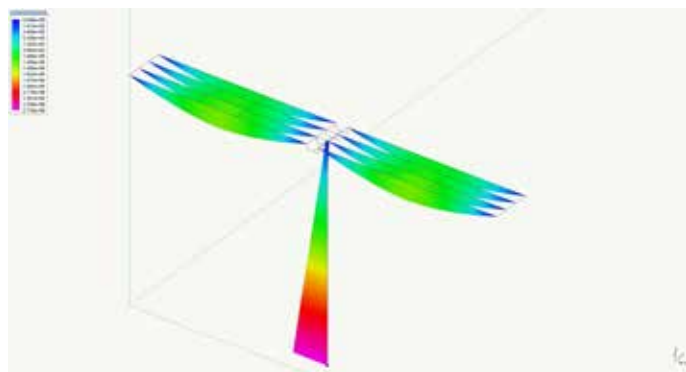
MODELLO DI CALCOLO E CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

È stato implementato un modello numerico complesso per lo studio della struttura, basato su metodi di calcolo agli elementi finiti.

Il modello rappresenta l'intero viadotto e tiene conto, attraverso i vincoli interni, dell'indipendenza degli impalcati (che sono semplicemente appoggiati sulle pile), delle valutazioni complessive e di ampio contesto - come la risposta alle azioni sismiche della struttura nella sua globalità - nonché della valutazione del-



3A, 3B e 3C. Modello strutturale solido del viadotto (3A), diagramma di involucro delle sollecitazioni flessionali (3B) e diagramma delle deformate sotto carico permanente e variabile (3C)



4A e 4B. Diagramma involucro azioni flettenti Su schema locale (4A) e primo modo di vibrare della struttura (4B)

le sollecitazioni indotte sulle pile. Anche le valutazioni locali sulle singole travi e sulla soletta d'impalcato sono state possibili e hanno permesso sia di determinare le deficienze strutturali d'impalcato nello stato di fatto sia di valutare l'efficacia dell'intervento di riabilitazione strutturale con il rinforzo in CFRP.

Per l'analisi del degrado dei materiali costituenti gli elementi strutturali è stata condotta una campagna georadar sulle travi al fine di individuare e definire il livello di compattezza del calcestruzzo, individuare nidi di ghiaia e dettagliare le armature. La caratterizzazione meccanica del calcestruzzo e delle armature e la definizione dello stato di degrado sono stati effettuati attraverso prelievi di campioni in sito e successive prove di laboratorio.

VALUTAZIONI STRUTTURALI

Le analisi strutturali condotte sui due modelli hanno permesso di individuare gli elementi strutturali critici su cui intervenire. Quella condotta per via iterativa sull'azione sismica ha restituito risultati soddisfacenti fino a uno $\xi_e \approx 0,25$ dopodiché si è potuto osservare che gli elementi strutturali entravano progressivamente in crisi.

Le travi d'impalcato hanno mostrato una carenza di capacità resistente nei confronti sia delle azioni flessionali sia di quelle a taglio e, in misura prevalente, per le travi di riva. Hanno costituito un aspetto prevalente dell'analisi dello stato di fatto l'esame e la verifica delle condizioni locali dei pulvini e di alcuni quadri fessurativi che si presentavano sulle travi.

IL PROGETTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Lo studio dello stato di degrado e l'analisi delle sollecitazioni indotte dai carichi esterni, secondo le norme tecniche in vigore (NTC 2018), hanno permesso di identificare elementi strutturali quali le travi d'impalcato e le pile come elementi critici. Le estremità delle travi hanno mostrato carenze in termini di resistenza alle sollecitazioni a taglio mentre le zone centrali delle travi d'impalcato hanno evidenziato carenze in termini di resistenza alle azioni flettenti.

Tra le possibili soluzioni di rinforzo si è scelto di intervenire con i sistemi di placcaggio in CFRP.



5. Un dettaglio dell'applicazione del rinforzo



6. L'applicazione del rinforzo FRP in orizzontale

I materiali fibrorinforzati a matrice polimerica in fibra di carbonio sono materiali compositi, eterogenei e anisotropi, con comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso.

Questi materiali, applicati nell'ambito del rinforzo delle strutture di ingegneria civile, offrono il vantaggio di conferire maggior duttilità e di incrementare la resistenza dell'elemento strutturale con esigui spessori (si tratta di qualche millimetro). Questo determina la totale "invisibilità" dell'intervento di rinforzo sotto il profilo estetico. Ne deriva una struttura dalle geometrie e dai pesi equivalenti a quella originaria. Inoltre, viene meno la ridistribuzione delle tensioni all'interno della struttura come conseguenza del rinforzo, per cui l'andamento delle sollecitazioni per ogni elemento strutturale rimane inalterato. Anche

la durata della struttura aumenta poiché la resina, che è la matrice, se adeguatamente protetta dal calore e dai raggi UV non degenera, mentre le fibre in carbonio sono particolarmente resistenti agli agenti aggressivi.

SISTEMI DI RINFORZO A FLESSIONE E TAGLIO IN CAMPATA

Le travi d'impalcato sono state rinforzate a flessione mediante lamine in CFRP di Fibre Net poste all'intradosso di tutte le travi. Alle travi di bordo si sono applicate 3 lamine in parallelo; alle travi interne il rinforzo è stato eseguito con l'applicazione di 2 lamine affiancate. Le dimensioni di ogni singola lamina sono: spessore pari a 1,4 mm, la larghezza 100 mm e lunghezza 12.500 mm.

Il rinforzo a taglio per tutte le travi ha previsto l'applicazione di tessuto in CFRP uniassiale Fibre Net. Il rinforzo è stato attuato con 20 staffe aperte ad "U" di larghezza pari a 100 mm e sviluppo pari a 2.800 mm circa. La disposizione delle staffe ha seguito l'andamento della sollecita-



7. Preparazione delle aree di intervento: all'idroscarifica sono seguite la spazzolatura delle armature affioranti e quindi la ricostruzione della geometria originaria con malte ad alta resistenza

zione a taglio, per cui le prime 15 staffe in CFRP sono state poste ad interesse di 15 cm mentre le ulteriori 9 staffe sono state poste ad interesse di 30 cm.

CANTIERIZZAZIONE

Per poter lavorare a stretto contatto dell'intradosso dell'impalcato e in testa alle pile, è stato installato un ponteggio sospeso in grado di garantire un'agevole fruibilità di tutte le aree interessate dai lavori. Lavorando esclusivamente all'intradosso, è stato possibile gestire e organizzare in quota l'intero cantiere così da annullare qualsiasi interferenza con l'area all'estradosso e quindi con la circolazione stradale.

Per la corretta applicazione delle resine verrà eseguito il monitoraggio delle condizioni ambientali con l'uso di una stazione climatica elettronica, consentendo di tenere sotto controllo sia il dew point (punto di rugiada) sia la temperatura di transizione vetrosa. È stato possibile così predisporre per tempo presidi di confinamento e condizionamento ambientale in grado di garantire le condizioni di corretta applicazione dei sistemi di rinforzo in ogni condizione atmosferica.

FASI LAVORATIVE

L'intervento è stato realizzato attraverso una precisa sequenza di fasi, ognuna fondamentalmente prodromica a quella successiva. Si è partiti con l'idroscarifica ad alta pressione del calcestruzzo lungo le pile e all'intradosso del bulbo delle travi; successivamente si è effettuata la spazzolatura a metallo bianco delle armature affioranti a cui è seguita l'applicazione di inibitore della corrosione. La fase di ricostruzione della parte idroscarificata, realizzata con malte speciali ad alta resistenza, ha permesso di riottenere la geometria originaria della sezione e di creare un valido supporto per la successiva applicazione del sistema CFRP di Fibre Net. Sul supporto così ricostruito è stato applicato il sistema di rinforzo in CFRP distinto nelle fasi di applicazione primer, applicazione resina, incollaggio lamine e tessuti in CFRP. In ultimo, sul sistema di rinforzo è stato applicato un rivestimento a



8A e 8B. Il rinforzo strutturale CFRP di Fibre Net applicato su pila

elevata capacità protettiva nei confronti degli agenti aggressivi del calcestruzzo armato di tipo elastomerico.

Per l'applicazione delle staffe, è stato necessario arrotondare gli spigoli realizzando un raccordo di raggio pari a 2 cm, assicurare l'ancoraggio delle staffe ed evitare le espulsioni d'angolo attraverso la realizzazione di fiocchi in CFRP, ancorati al supporto in calcestruzzo mediante l'utilizzo di ancorante chimico inserito nei fori preventivamente realizzati. ■

⁽¹⁾ Ingegnere, titolare dello Studio di Ingegneria delle Strutture

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: ANAS SpA

Appaltatrice dei lavori: Consorzio Stabile MEDIL Scpa - Benevento

Impresa Esecutrice: I.C.G. Impresa Costruzioni Generali

Progetto Esecutivo di Dettaglio: Ing. Francesco Fanigliulo – Studio Ingegneria delle Strutture

Responsabile Centro-Sud Ufficio Ponti, Viadotti e Gallerie: Ing. Paolo Mannella (ANAS)

Responsabile Struttura Territoriale Calabria: Ing. Francesco Caporaso (ANAS)

Responsabile Area Gestione Rete Autostrada A2 del Mediterraneo: Ing. Massimiliano Campanella (ANAS)

Responsabile Manutenzione Programmata Rete Autostrada A2 del Mediterraneo: Ing. Giuseppe Cozzolino (ANAS)

RUP: Ing. Francesco Caruso (ANAS)

Direttore dei Lavori: Ing. Fedele Guaragna (ANAS)

Amministratore dell'Appaltatore: Arch. Flaviano Basile

Direttore Tecnico dell'Appaltatore: Ing. Maria Elena Sanseverino

Direttore di Commessa dell'Appaltatore: Geom. Marco Cassarà

Direttore Tecnico impresa esecutrice: Geom. Giuseppe Mirante

Ringraziamenti

L'autore e Fibre Net ringraziano all'AGR Autostrada del Mediterraneo, per la cooperazione tecnica finalizzata al miglioramento degli obiettivi prefissati nella realizzazione degli interventi con tecniche innovative.