

IL PONTE STRALLATO DEL BELVEDERE ALL'AQUILA



IL VECCHIO PONTE A CAVALLETTO È STATO SOSTITUITO DA UN'OPERA STRALLATA MODERNA ED EFFICIENTE, CON ANTENNA E IMPALCATO METALLICI. GEOMETRIA E PESO SONO STATI OTTIMIZZATI PER ADATTARSI A UNA MORFOLOGIA COMPLESSA, PERSEGUENDO L'OBIETTIVO DEL COSTO MINIMO



seguito dell'evento sismico del 2009 la città dell'Aquila ha deciso di demolire il ponte esistente del Belvedere e di realizzarne uno nuovo. Il ponte esistente era costituito da una travata/telaio su 5 appoggi, due spalle e tre pile, di cui la centrale, quella più alta e visibile, sosteneva una campata a stampella di luce pari ad una cinquantina di metri circa, sufficiente a scavalcare la sottostante via di Fontesecco. Le due stampelle da entrambi i lati permettevano infatti, mediante l'aggiunta di 5 travi precomprese in semplice appoggio da 35 m circa, di realizzare la suddetta luce.

Questo tipo di ponti, realizzati da una successione di pile che portano un tratto di impalcato solidale e delle travi in semplice appoggio, erano anche chiamati "ponti a cavalletto" e permettevano di arrivare fino a luci di 50-60 m sommando la lunghezza degli sbalzi sulle pile a quella delle travi post tese ad I, che arrivavano tipicamente fino a 35-40 m. Le travi, come in questo caso, poggiavano sugli sbalzi con delle seggiole Gerber, perciò si può anche parlare di travata Gerber, per quanto in questo caso lo schema fosse molto più iperstatico perché, a

fronte di 3 pile, si avevano una sola travata tampone (Gerber) e due telai da ciascun lato.

Per il nuovo ponte viene scelta una soluzione strallata nella quale si ripropone un supporto principale posizionato sulla scarpata lato via Persichetti. Questo supporto sormonta l'impalcato, sostenendone la luce di scavalco sulla sottostante via di Fontesecco con un piano centrale di stralli bilanciati da quelli di riva, sempre lato via Persichetti, ancorati in una spalla massiccia che funge da ammarro.

Nel 2020 viene bandita una gara di appalto integrato che gli scriventi si aggiudicano in associazione con le imprese di costruzione Taddei SpA e Todima Srl, entrambe originarie dell'Aquila. Il progetto a base di gara presenta però alcune sviste ed ingenuità che hanno reso il proseguo del lavoro piuttosto faticoso.

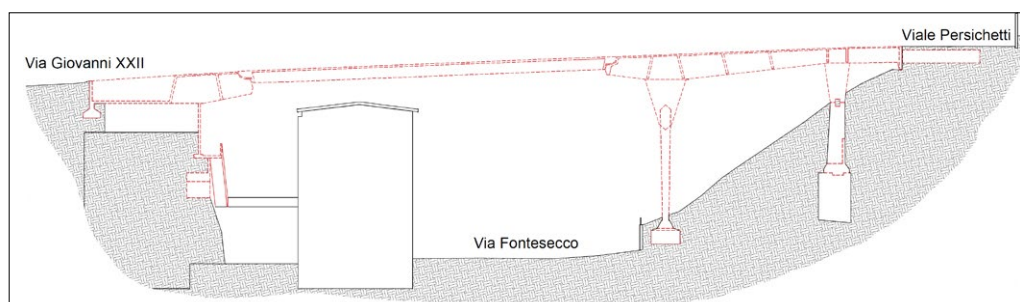
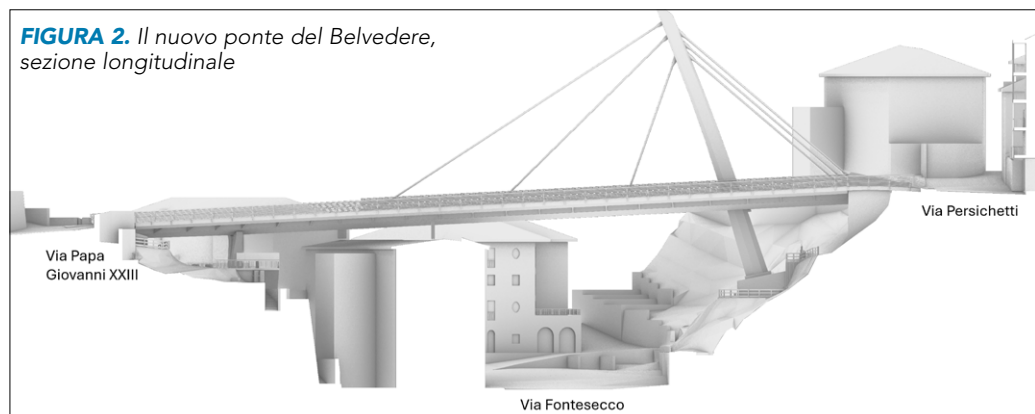


FIGURA 1. Il vecchio ponte del Belvedere in prospettiva

A seguito del sisma del 2009, L'Aquila ha avviato la ricostruzione del ponte del Belvedere. Il progetto esecutivo, affidato a Integra in associazione con le imprese locali Taddei e Todima, ha dovuto superare alcune criticità delle fasi progettuali precedenti - la sottostima della lunghezza del ponte e uno sbilanciamento statico dell'antenna - oltre a un budget largamente insufficiente. L'antenna esagonale asimmetrica, la cui fondazione è integrata in un unico blocco scultoreo con la spalla, il blocco di ancoraggio degli stralli di riva e la paratia a monte che ne ha permesso la realizzazione, è stata spostata in avanti, aumentando il braccio degli stralli di ritenuta e quindi riducendone la sezione resistente. La testa dell'antenna è stata riempita con calcestruzzo fibrorinforzato per assorbire le oltre 2.000 t di tiro degli stralli, una soluzione tanto pionieristica quanto efficace ed economica. L'impalcato, completamente riprogettato, è oggi costituito da due cassoni trapezoidali ispezionabili e soletta collaborante in calcestruzzo armato gettato su predalles metalliche tralicciate. In estrema sintesi, una attenta ingegneria del valore ha permesso di superare molteplici difficoltà e di completare un'opera contemporanea, leggera e sicura.

Queste le tre criticità principali:

1. non ci si era accorti che il ponte da demolire fosse considerevolmente più lungo di quanto ipotizzato, poiché era stato ignorato l'intero ultimo telaio lato via Giovanni XXIII, precedentemente inglobato in un manufatto adibito a magazzino, che è stato necessario demolire, aumentando contestualmente la lunghezza del nuovo ponte;
2. non si era compreso che arretrando troppo la posizione dell'antenna verso via Persichetti si otteneva una struttura sbilanciata che richiedeva degli stralli di riva molto importanti ed un blocco di ammarro altrettanto ciclopico;
3. il costo stimato da computo per l'opera era inferiore ai 2.000 euro/m². Questo costo era già fortemente sottostimato prima del Covid, ossia quando è stato redatto il Progetto Definitivo.



Rispetto ai costi d'oggi, ossia quando effettivamente è stato realizzato il ponte, il costo appare addirittura risibile. Basti pensare che ANAS, per viadotti standard a struttura mista in aperta campagna considera un costo medio di 3.000/4.000 euro/m². Il costo di uno strallato da realizzarsi in centro città è ovviamente molto più elevato. Si ricorda che il nuovo Polcevera a Genova è costato più di 7.000 euro/m², nonostante la grande estensione, circa 30.000 m² contro i circa 2.000 del Belvedere, abbia certamente reso possibili dei significativi risparmi di scala.

Con un budget ridotto e l'orgoglio delle imprese aquilane che avevano chiaramente voglia di fare "bella figura" a casa propria, è stato individuato un percorso virtuoso che permettesse di completare l'opera con un incremento di budget che non mettesse in imbarazzo il Cliente e non desse adito a polemiche e slanci scandalistici.

LA NUOVA GEOMETRIA DEL BELVEDERE E LE SOTTOSTRUTTURE

Nell'ottica di un contenimento feroce dei costi si è iniziato con ottimizzare geometria e fondazioni del ponte. Come anticipato, l'antenna è stata spostata in avanti lungo l'acclive scarpata sottostante via Persichetti. La fondazione dell'antenna è solidale a quella della spalla, trattandosi infatti di un unico grande blocco scultoreo in calcestruzzo armato che permette il trasferimento dei carichi dell'antenna in fondazione mediante una palificata intestata nella Breccia aquilana e che al contempo garantisce la reazione orizzontale e verticale applicata dagli stralli di riva. Il progetto di questo blocco scultoreo non è stato facile in quanto, prima della demolizione del ponte esistente, non era chiaro quale sarebbe stata la configurazione risultante della scarpata dopo la rimozione delle pile e delle fondazioni del vecchio ponte. Riprofilare o ricaricare la scarpata sarebbe stato una grossa diseconomia: pertanto si è cercato di ottimizzare il progetto in funzione di uno stato dei luoghi post demolizione di cui non si aveva certezza. È stata poi inglobata la paratia di protezione prevista su via Persichetti nel blocco di ancoraggio suddetto al fine di beneficiare del peso della stessa, posta peraltro con il massimo braccio rispetto all'antenna.

I lavori di demolizione hanno inoltre portato alla luce l'ennesima porzione del vecchio ponte Belvedere: a tergo del giunto su via Persichetti è presente infatti un cassone in calcestruzzo armato [figura 3] che è stato utilizzato all'epoca della costruzione del vecchio ponte per ristabilire il piano viario di via Persichetti senza dover ricaricare con del terreno. In pratica, il giunto del vecchio ponte lato via Persichetti era interposto tra il ponte stesso e questo cassone in calcestruzzo armato posto a tergo sotto via Persichetti, cassone che andrà demolito in linea con quanto fatto per il resto del ponte. Lato via Giovanni XXIII l'allungamento del ponte a seguito della scoperta dell'ultimo telaio



FIGURA 3. Il versante lato via Persichetti durante le demolizioni

io da rimuovere ha suggerito l'inserimento di una pila, approssimativamente nella posizione in cui era prevista la spalla del Progetto Definitivo e quindi l'aggiunta di una campata fino alla spalla, che è stata posta all'incirca nella stessa posizione di quella del vecchio ponte. Si è deciso di realizzare questa campata aggiuntiva con la stessa struttura dell'impalcato della luce strallata, ossia un cassone in acciaio con soletta collaborante.

Da notare che tutto il ponte, tra via Persichetti e via Giovanni XXIII, ha una geometria piuttosto complessa. La livelletta è in forte pendenza ($\approx 7\%$): per raccordare questa pendenza alle due strade anzidette la livelletta ha un raggio di curvatura verticale piuttosto pronunciato e, allo sbarco su via Giovanni XXIII, anche una curva planimetrica di piccolo raggio che ha richiesto una rotazione di sagoma molto pronunciata. Per dare un'idea di questa complessità si immagini che la massima

differenza di quota misurata in esterno curva tra il piano ideale che congiungerebbe le due strade di attacco (via Persichetti e via Giovanni XXIII) e quello stradale effettivamente realizzato è pari a quasi un metro!

ANTENNA E STRALLI

Per l'antenna centrale in acciaio si è scelta una sezione esagonale ispirata al "bokken" giapponese (bastone in legno per arti marziali), non simmetrica perché non simmetrico è il comportamento della stessa, avendo un lato ancorato nel blocco di ammarro e l'altro che sostiene il ponte.

Sempre con la finalità di contenere i costi, la parte sommitale della antenna, dove si ancorano i 6 stralli di riva ed i 3 di campata, è riempita con calcestruzzo fibrorinforzato (circa 7 m^3), in modo da mantenere i lamierati di questa parte entro spessori ragionevoli (30 mm circa). Infatti in mancanza di questo riempimento le oltre 2.000 t di tiro applicato dagli stralli sulle 2 facce contrapposte avrebbero richiesto degli spessori di carpenteria metallica molto elevati. È la prima volta che tale soluzione è sta-



FIGURA 5. La geometria dell'impalcato



FIGURA 4. Il blocco scultoreo di ancoraggio lato via Persichetti

ta utilizzata in questo tipo di ponti ed effettivamente si è rivelata molto efficace. Il getto è stato realizzato in poche ore e non ci si è più preoccupati di fenomeni di instabilità o fatica locali, in quanto il risultato è assolutamente monolitico e molto robusto. Certamente, circa una ventina di tonnellate di peso sono state messe in alto in zona sismica, non l'ideale, ma comunque abbastanza trascurabili se si pensa che 20 t corrispondono a poco più di un metro di impalcato.

Il sistema di strallatura del ponte è stato fornito e messo in opera da TENSA, nostro partner abituale per questo tipo di opere, senza dubbio il principale operatore nazionale del settore. Gli stralli di riva sono costituiti da tre coppie di stralli di 37, 43 e 55 trefoli rispettivamente. Gli stralli di campata sono invece costituiti da 37, 55 e 55 trefoli.

L'IMPALCATO

Il progetto Definitivo prevedeva un doppio cassone di spessore inferiore ad un metro che, non essendo ispezionabile, si ipotizzava fosse riempito di calcestruzzo alleggerito. Ovviamente la soluzione non era percorribile. Il nuovo ponte Belvedere ha



FIGURA 6. Vista tridimensionale della parte sommitale dell'antenna con gli ancoraggi

invece un impalcato costituito da due cassoni metallici trapezoidali ispezionabili con altezza massima pari a 1.75 m e larghezza di circa 3.2 m. Il resto della larghezza della piattaforma è portato da mensole che proseguono con la stessa altezza variabile dei due cassoni. Una identica soluzione era stata già adottata dagli scriventi per il ponte Yedeman, opera molto simile realizzato una decina di anni fa a Teheran per l'accesso alla famosa Milad Tower di cui la Integra ha curato la progettazione esecutiva di variante per l'impalcato e gli stralli (https://www.integer.it/ponte_strallato_yademan.html).

Trasversalmente, i due cassoni sono collegati da traversi reticolari in tubolare metallico posti in corrispondenza dei diaframmi interni dei cassoni con passo di 4 m circa. Questi diaframmi assicurano le necessarie rigidezza e resistenza, garantendo il trasferimento del peso dell'impalcato al piano centrale di stralli, il quale è a sua volta ancorato su dei lamieroni inclinati interposti tra i due cassoni e indipendenti dai diaframmi. Il piano viabile e ciclopedonale è realizzato mediante una soletta in calcestruzzo ad alte prestazioni, gettata su predalles metalliche tralicciate, una soluzione che consente rapidità di posa e un comportamento collaborante molto efficace.

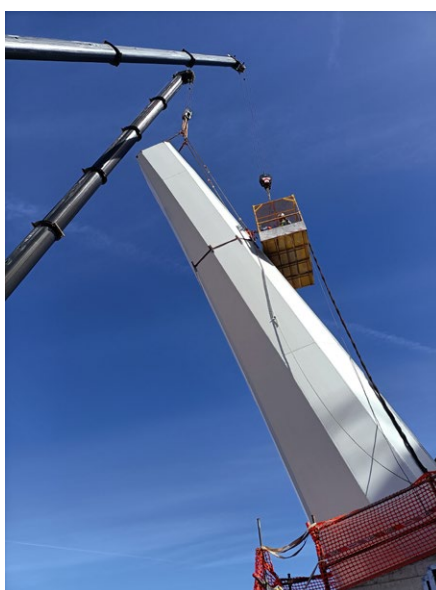
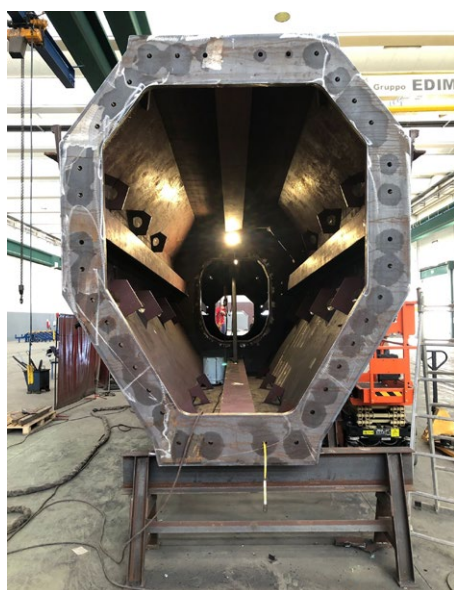


FIGURA 7. L'antenna in officina ed in fase di montaggio

La geometria dell'impalcato non è costante lungo l'intero tracciato: nella luce strallata la sezione rimane invariata, mentre nel tratto curvilineo verso via Giovanni XXIII i due cassoni si avvicinano progressivamente fino a unirsi in corrispondenza della pila. Questo restringimento accompagna la rotazione planimetrica e l'adeguamento alla sagoma stradale, risolvendo in modo elegante la complessità geometrica del raccordo finale. Nel complesso, il nuovo impalcato rappresenta una sintesi riuscita tra efficienza strutturale, razionalità costruttiva e qualità architettonica, coerente con l'impostazione generale dell'opera: un'opera leggera e contemporanea.

LA COSTRUZIONE DEL PONTE

La costruzione del nuovo Belvedere ha rappresentato una sfida tecnica e logistica di prim'ordine, sia per la complessità intrinseca dell'opera sia per il contesto urbano estremamente vincolato in cui si è operato. L'intero processo è stato guidato da un principio di razionalizzazione costruttiva, indispensabile per contenere tempi e costi senza rinunciare alla qualità strutturale e architettonica del ponte.

La prima fase ha riguardato la realizzazione del grande blocco di fondazione lato via Persichetti, un vero e proprio monolite in calcestruzzo armato che integra la piastra di base dell'antenna, la spalla e il massiccio sistema di ammarro degli stralli di riva. La fondazione dell'antenna, infatti, è solidale alla parte retrostante che ha la funzione di spalla ed ancoraggio degli stralli di riva, creando un elemento scultoreo. La costruzione è stata condizionata dalla necessità di lavorare su una scarpata acclive, in parte ancora occupata dai resti del vecchio ponte e dalla presenza della palificata di protezione di via Persichetti, che è stata inglobata nel nuovo manufatto per sfruttarne la massa come zavorra contro il tiro degli stralli. Il manufatto è interamente a spessore pieno, quindi è stato studiato in modo da contenere i volumi di getto, evitando di ricorrere a strutture scatolari più costose e difficilmente ispezionabili.

Parallelamente si è proceduto alla demolizione completa del vecchio ponte, operazione che ha rivelato ulteriori manufatti nascosti, come il cassone in c.a. sotto via Persichetti. Solo dopo aver liberato completamente l'area è stato possibile avviare il montaggio dell'antenna metallica, realizzata in sette conci trasportabili e assemblati in opera mediante saldature e bullonature interne. La parte sommitale, predisposta con la dima degli ancoraggi, è stata poi riempita con calcestruzzo fibrorinforzato, operazione eseguita in poche ore ma decisiva per garantire la robustezza della testa antenna.

Il varo dell'impalcato ha seguito una logica altrettanto razionale: i due cassoni metallici sono stati prodotti in officina in conci di lunghezza compatibile con il trasporto urbano e successivamente assemblati in cantiere, sfruttando la loro ispezionabilità interna per facilitare le operazioni di saldatura e montaggio dei diaframmi.

La soletta collaborante è stata gettata in opera su predalles metalliche che venivano man mano saldate ai cassoni e agli sbalzi laterali.

La fase più delicata ha riguardato la tesatura progressiva dei 6 stralli di riva e dei 3 di campata, operazione condotta dalla camera di tiro ricavata all'interno della spalla lato Persichetti per gli stralli di riva e da sotto l'impalcato per quelli di campata.

Quando finalmente si è proceduto alla tesatura degli stralli il ponte era praticamente finito, poiché, nell'attesa di alcuni ritardi avuti nella loro installazione e tiro preliminare, si era continuato a costruire l'impalcato con tanto di arredi e finiture al fine di recuperare il tempo perso. In questa fase la campata di scavalco strallata poggiava infatti sulle due grandi torri provvisorie poste ai due lati di via Fontesecco. La tesatura degli stralli ha quindi sollevato la parte centrale del ponte da questi



FIGURA 8. L'impalcato in costruzione del nuovo ponte del Belvedere

appoggi, sollevamento di oltre 1.000 t, operazione di certo non banale, in quanto si è trattato di trasferire il carico da appoggi rigidi che garantivano la stabilità trasversale a stralli che per loro natura sono molto più flessibili, tesati in maniera incrementale (un trefolo alla volta) e posti su di un unico piano centrale. ■

⁽¹⁾ Professore, Presidente di Integra Srl

⁽²⁾ Direttore Tecnico di Integra Srl

⁽³⁾ Ingegnere Settore Strutture di Integra Srl

RINGRAZIAMENTI

Al successo di questo progetto hanno contribuito in maniera determinante le due imprese incaricate della costruzione del ponte, Taddei SpA e Todima Srl, che hanno avuto il coraggio e la determinazione di portare avanti un progetto che non aveva alcuna redditività. Questa situazione è stata compresa ed in qualche misura compensata dall'Amministrazione Comunale, nella figura del Dirigente Arch. Roberto Evangelisti (Capo Dipartimento II – Ricostruzione del Comune dell'Aquila) e dello stesso Sindaco Pierluigi Biondi che si sono resi disponibili a venire incontro alle esigenze di revisione e dilazione delle varie lavorazioni. Si segnala infine l'ottimo rapporto collaborativo e di grande fiducia instaurato con la D.L. della Progetto Tecnico Srl nella persona dell'Ing. Domenico Sette e con il Collaudatore Ing. Michele Giuliani.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Petrangeli M. (2010). "Grandi strutture sospese", Enciclopedia Treccani XXI Secolo "Gli Spazi e le arti". Vol.4, pp 315-326. ISBN 9788812000241
- [2] Petrangeli M., Usai G., Pietrantoni M. (2014) "Lo strallato di Ostella-to", Strade & Autostrade, 106(4), pp. 56-59, ISSN 1723-2155.
- [3] Petrangeli M., Tortolini P. (2018). "Prosthetic Engineering: «Les Pont des Etudiants» in Costantine" SEI, 1/2018, pp.85-89, ISSN 1016-8664, Scopus: 2-s2.0-85046848472, WOS:000451377900012

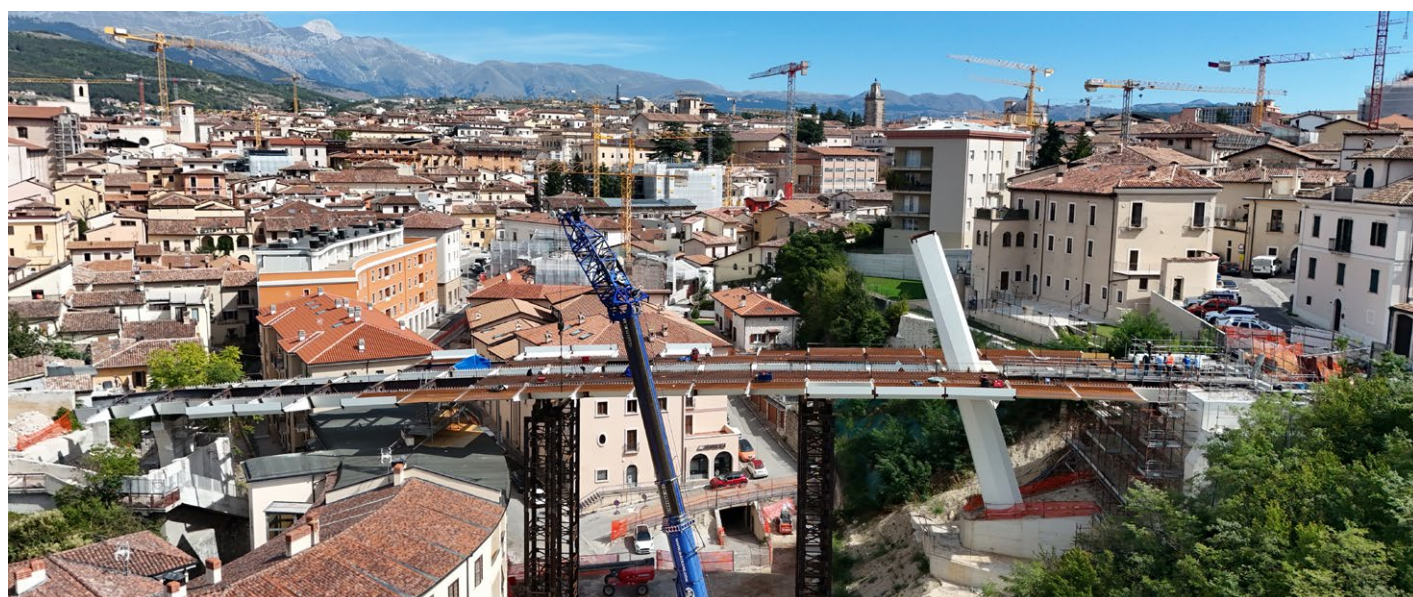


FIGURA 9. L'impalcato in costruzione su appoggi provvisori