

# Due “major steel bridges” costruiti da Cimolai SPA in Perù: lo strallato di Nanay e quello ad arco di La Joya

di Alessandro Catanzano (1)

## Il contesto di sviluppo della costruzione di due ponti in acciaio

Negli ultimi anni, il Perù ha registrato uno sviluppo economico significativo, con una crescita media del PIL del 5% circa annuo dal 1999 al 2018. Durante questo periodo, il Paese è emerso come una delle realtà più stabili dell'America Latina, diventando la sesta economia della regione, grazie anche all'exportazione di materie prime. Questo sviluppo è stato accompagnato da una crescente domanda di infrastrutture, tra le quali la Cimolai S.p.A. ha realizzato due ponti in acciaio di luce considerevole, ma con caratteristiche molto diverse fra loro, utilizzando un ampio spettro di tecniche e soluzioni ingegneristiche di montaggio e costruzione, che meritano di essere raccontate.

## IL PONTE NANAY

### Studi preparatori del montaggio del ponte strallato di Nanay

Nel nord del Perù, la Cimolai S.p.A. ha realizzato il nuovo ponte strallato sul fiume Nanay, in carpenteria metallica con soletta in calcestruzzo, situato nei pressi della città di Iquitos. Il ponte, che collega la periferia della città alla profonda selva amazzonica, in una zona fino a pochi anni fa raggiungibile solo mediante imbarcazioni fluviali, è composto da una campata centrale di 241.5 m e due campate laterali da 91.5 m ciascuna, per un totale di 424.5 m. Il ponte è sostenuto da due piloni in calcestruzzo, alti 76 m, dai cui lati frontale e posteriore spiccano undici stralli per lato, per un totale di 88 stralli di sospensione dell'impalcato.

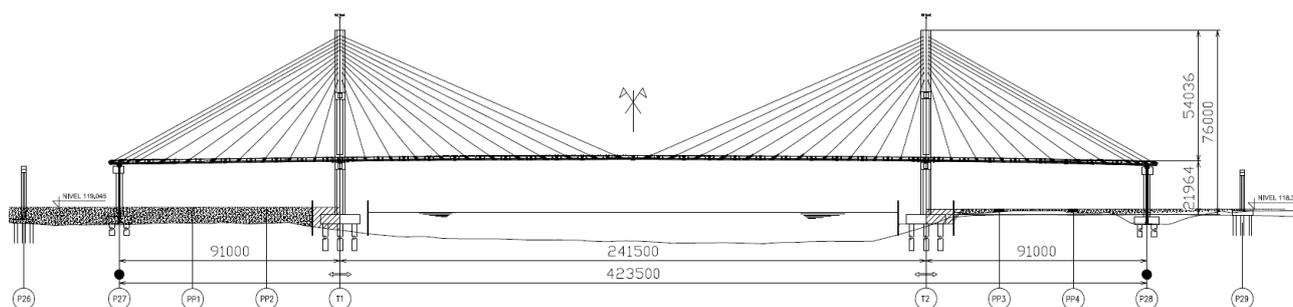


Fig. 1 – Vista laterale del ponte di Nanay con le dimensioni principali (Crediti Cimolai)

Con riferimento al progetto, alcune richieste riguardavano la stabilità aeroelastica nel transitorio, posto che la sezione originale, a classica doppia trave con soletta superiore, era stata affusolata alle estremità nella campata centrale proprio perché la prova in galleria del vento aveva dato esito negativo.

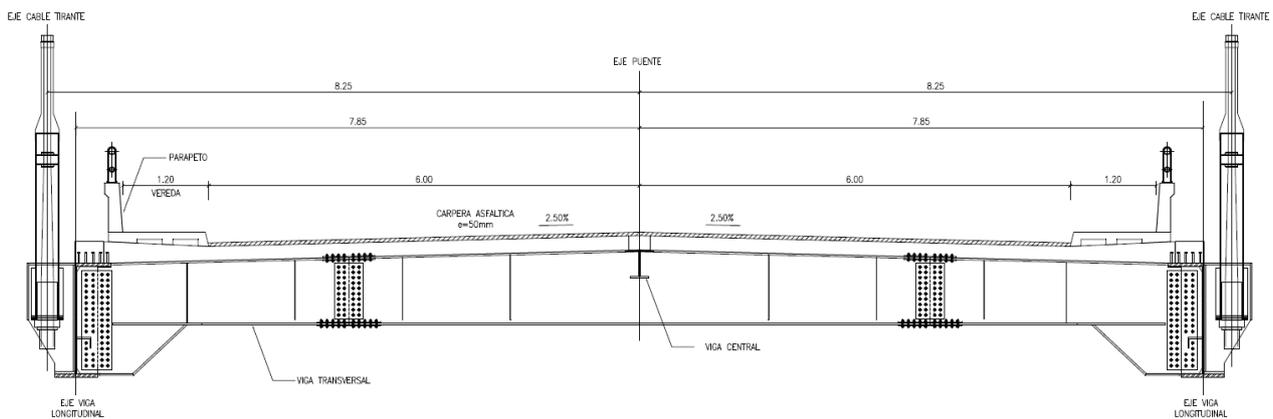


Fig. 2 – Sezione corrente senza carter aeroelastico laterale e di fondo (Crediti Cimolai)

Poiché la galleria aveva eseguito una sola prova per il transitorio, per di più con massa e rigidezza che comprendevano la presenza della soletta ad ogni concio aggiunto nell'avanzamento a sbalzo, la Cimolai ha dovuto verificare la configurazione di montaggio mediante inserimento delle risultanze della CFD sezionale, eseguita da specialisti interni su OPENFOAM.

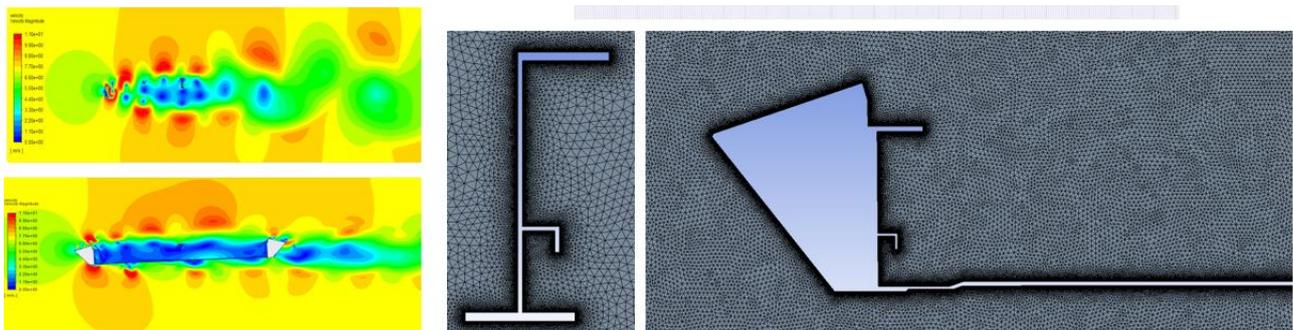


Fig. 3 – Da sinistra a destra: andamento dei vortici VK con e senza carter aeroelastico laterale e di fondo e relative mesh di input su OPENFOAM (Crediti Cimolai)

Sull'onda di tali calcoli, sono stati inoltre richiesti il dimensionamento e il progetto delle saldature a resistenza e a fatica, calcolo che specie quest'ultimo, in relazione allo spettro di vento e dato l'enorme peso computazionale, si è reso possibile solo grazie ai post processor Straus7 sviluppati da specialisti, internamente da Cimolai S.p.A.



rispettare la progressiva teorica della deformata. Quest'ultima, una volta chiusa la sezione, gettata la soletta e completati gli arredi, doveva convergere per soddisfare le tolleranze di norma (EN 1090-2 secondo proposta di Cimolai). Si noti che il modello di calcolo non solo includeva, com'è ovvio, la rigidità dei piloni in calcestruzzo armato finemente modellato, ma anche quella delle fondazioni profonde, mutate dal progetto originale e ulteriormente discusse e validate da specialisti indipendenti italiani.

### La modellistica di calcolo del transitorio

Mediante il software Straus7 è stato eseguito il modello FEM globale con elementi *beam*, utilizzando la tecnica degli *stages*, che ha permesso modellare efficacemente il transitorio e di verificare tutte le fasi di avanzamento della costruzione in acciaio, la congruenza del concio finale, dalla tesatura dei cavi, alle fasi di getto e collaudo, sotto i carichi previsti dall'Eurocodice EN1991-1-6.

Attraverso queste dettagliate analisi non lineari per geometria, è stato possibile avere il pieno controllo delle evolte delle sollecitazioni e delle deformazioni per ogni *stage*.

Inoltre, numerose verifiche di dettagli costruttivi sono state condotte su modelli locali realizzati con elementi *plate*, con sollecitazioni estratte del modello globale, grazie alla tecnica del *sub modeling*. In questa fase, l'estrazione delle forze nodali mediante il potente modulo API di Straus7, ha alimentato i post-processor.

### Il progetto del Derrick

Il Derrick, che ha ottenuto una doppia certificazione, europea e nordamericana, è una macchina speciale (poiché non si trova a catalogo ma deve essere specificatamente progettata per un dato progetto) la cui funzione primaria è quella di sollevare e posizionare il nuovo concio. Tuttavia, il derrick permette, mediante un articolato set di passerelle fisse e mobili, bilancini, centraline, martinetti e argani, anche il controllo dell'allineamento per i diversi g.d.l. e la bullonatura aerea del concio, l'installazione e la tesatura dei cavi, il ritiro delle vie di corsa e al loro posto la posa finale delle predalles prefabbricate. Tutte queste operazioni vengono effettuate mediante una motorizzazione elettromeccanica direttamente integrata nel mezzo, agendo in sicurezza su passerelle al riparo di parapetti di norma e senza l'utilizzo di personale rocciatore.

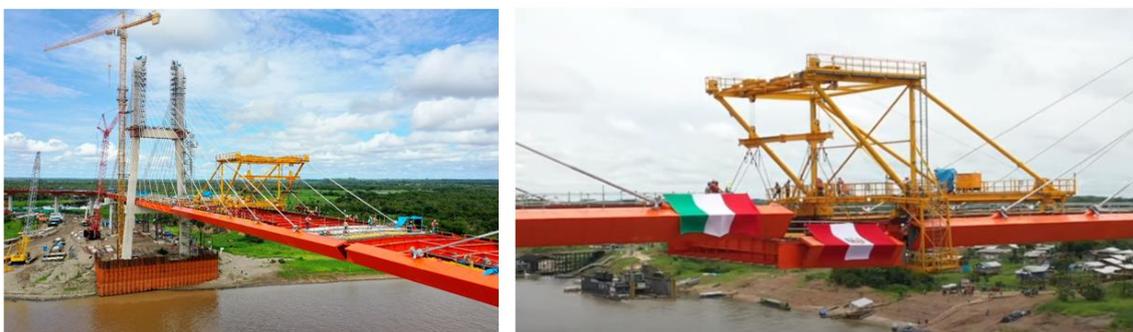


Fig. 6 – Chiusura del concio finale (Crediti Cimolai)

### Chiusura del concio centrale, getto della soletta e collaudo

Di particolare rilievo mediatico è stato l'inserimento dell'ultimo concio, con le bandiere italiana e peruviana affiancate a simboleggiare l'impegno e la collaborazione tra i tecnici e gli operai di entrambi i Paesi. Al di là del folklore e della soddisfazione per una milestone così importante, l'accoppiamento è risultato preciso perché controllato mediante la tesatura degli stralli da entrambi i lati e non ha richiesto particolari procedure.

# PONTE LA JOYA

## Gli studi preparatori del montaggio del ponte di La Joya

Nel sud del Perù, presso la città di Arequipa, Cimolai S.p.A. ha realizzato il nuovo ponte ad arco a via superiore in carpenteria metallica. L'arco, realizzato in tubo di diametro 2250 mm (di vari spessori), copre una luce da imposta a imposta di 175 m e pesa 1350 t. Inoltre, con undici campate di 35 m e 28 m, il viadotto superiore a sezione trapezia mista acciaio-clt, copre una luce di complessivi 371 m e pesa, per la sola parte di acciaio, 1150 t. Il peso complessivo della parte in acciaio è dunque pari a 2500 t. Il ponte presenta, da progetto, una inedita livelletta negativa, visibile anche ad occhio nudo.

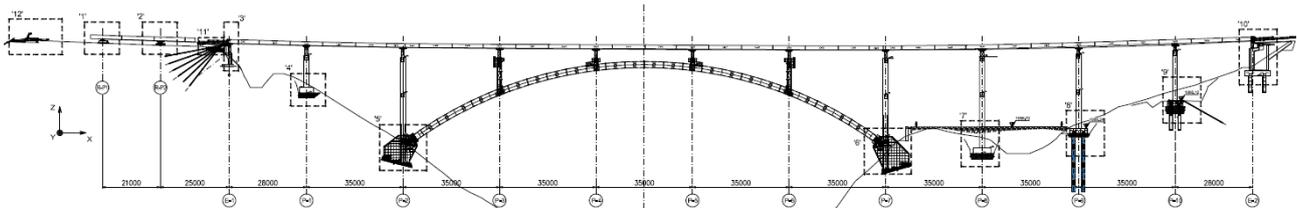


Fig. 7 – Vista laterale del ponte di La Joya con le dimensioni principali (Crediti Cimolai)

La gola sottostante, profonda 120 m, ha pareti accessibili dalla sommità solo per un primo tratto, attraverso scarpate servite da carrabili molto ripide. Le fondazioni definitive sono state trovate da Cimolai già eseguite, in parte con pali nelle zone franose, in parte direttamente sulla superficie nelle zone a roccia compatta, comprensive di grandi portali in calcestruzzo armato costituenti l'appoggio delle campate di accesso a quelle rette dall'arco. Esse hanno rappresentato uno dei vincoli principali nelle scelte di montaggio.

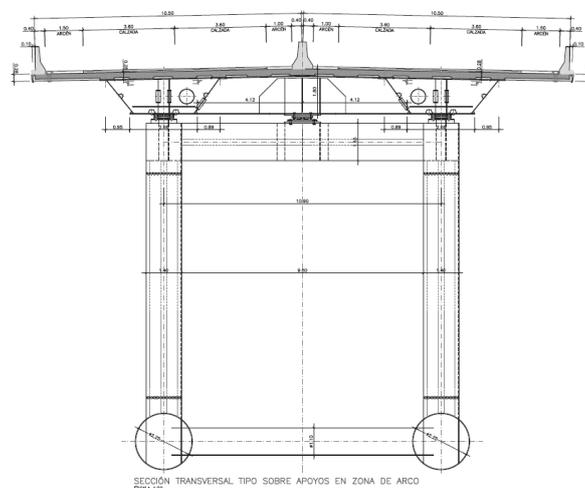


Fig. 8 – Sezione del ponte con traverso e montanti di interfaccia agli archi gemelli (Crediti Cimolai)

Si è proceduto così all'analisi documentale e, con l'approvazione del progettista, si sono in parte rivisti per motivi di realizzabilità e produttività alcuni aspetti, verificandone internamente il calcolo, sia a livello globale che nei dettagli. Il progetto aveva seguito linee guida nordamericane, ma con una filosofia progettuale europea. L'analisi del paraggio ventoso, esplicitamente richiesta, ha mostrato un asse eolico regnante e dominante, sia del clima medio che di quello estremo, definito perpendicolare all'Oceano Pacifico, e che investe il manufatto longitudinalmente, contrariamente a quanto a prima vista, data la presenza della gola, ci si sarebbe potuto aspettare, poiché, a ben guardare, vi è anche la presenza di paleo-anse di natura torrentizia, che limitano in maniera determinante il *fetch* trasversale al ponte.

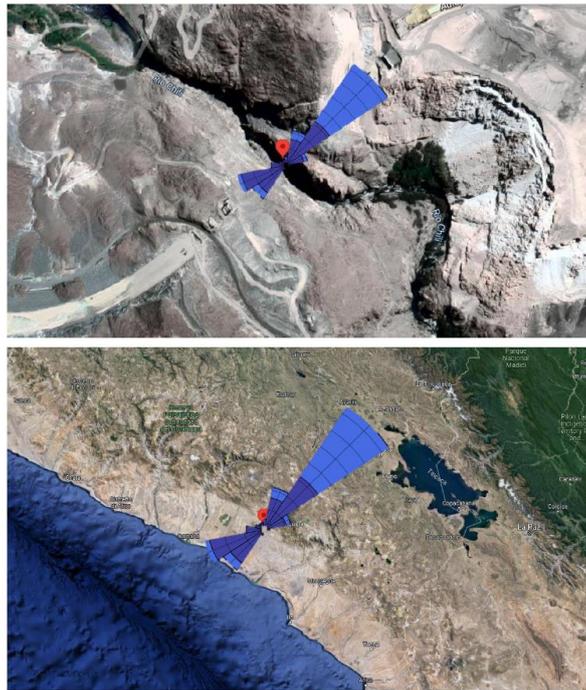


Fig. 9 – Paraggio ventoso in meso e macro scala (Crediti Cimolai)

Anche la stabilità nei confronti del vento nel transitorio era esplicitamente richiesta nelle specifiche di costruzione; sensibilità, questa, tutta sudamericana, dettata da alcuni inquietanti episodi di eccitamento eolico avvenuti in passato durante la costruzione di altri manufatti simili. A questo fine, essendo la sezione circolare in una direzione singola e binata nell'altra, è stata utilizzato il fascicolo CNR-DT 207 R1/2018 per il calcolo del *vortex shedding*, considerate le frequenze della fase del transitorio in esame e stimando i parametri mediante varie fonti normative e di letteratura, piuttosto concordi per casi ormai consolidati ben assimilabili a una ciminiera strallata, con piena risposta poi dalle osservazioni di cantiere.

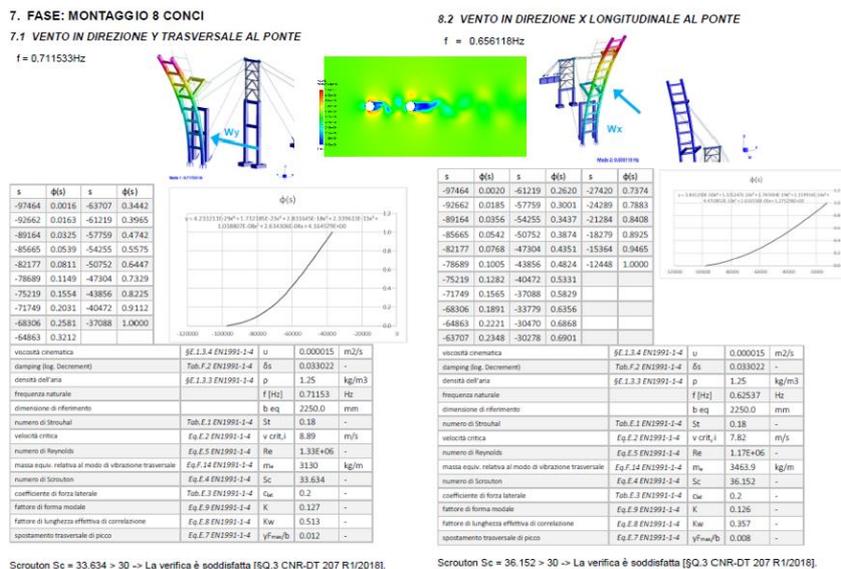


Fig. 10 – Risposta al vortex shedding secondo CNR-DT 207 (Crediti Cimolai)

## Il progetto di montaggio dei semiarchi e l'esecuzione in cantiere

È risultato chiaro fin da subito che il raggiungimento dell'equilibrio tra economicità, velocità, sicurezza e risultato sarebbe stato possibile solo sfruttando le fondazioni esistenti già realizzate, eventualmente integrandole, e costruendo l'arco contro intuitivamente in una configurazione provvisoria rampante, su cerniere da bloccare successivamente nell'incastro definitivo e stabilizzandolo con ammarro di tiranti iniettati in roccia e un portale di deviazione del tiro di strand-jacks.

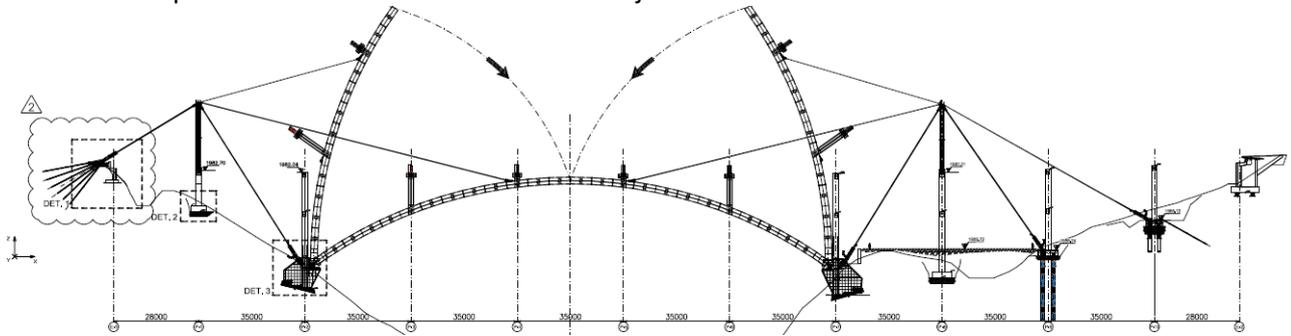


Fig. 11 –Schema concettuale del montaggio dell'arco (Crediti Cimolai)



Fig. 12 –Fase di montaggio rampante dei conci dell'arco su cerniera provvisoria (Crediti Cimolai)



Fig. 13 –Fase finale del montaggio dei conci dell'arco rampante (Crediti Cimolai)

È stata successivamente eseguita la manovra acrobatica di pronazione degli archi manovrando quattro strand jacks da 185t per parte dalle spalle, controllando le deformazioni e in particolare quelle dei portali strallati. La congruenza in chiave è stata resa possibile dal calcolo tridimensionale della contromonta, dalla conseguente designazione costruttiva, dalle precise lavorazioni d'officina con controllo dimensionale e dal progetto dettagliato degli organi di controllo dei gradi di libertà. Il risultato è stato un'esecuzione di estrema precisione, senza l'utilizzo di alcuna *shim* di compensazione su nessuna delle quarantotto grandi flange principali e secondarie dei calastrelli di collegamento dei due archi, con pieno controllo delle forze, delle deformazioni e dei moti rigidi. Questo risultato comporterà, durante la vita della struttura, costante sicurezza nella trasmissione delle sollecitazioni e minimizzazione degli inneschi corrosivi, con ridotta manutenzione.



*Fig. 14 – Pronazione degli archi dalla posizione rampante a quella definitiva (Crediti Cimolai)*



*Fig. 15 – Particolare della precisione di assemblaggio della flangia centrale thk60mm e bulloni M36-10.9 (Crediti Cimolai)*

## La modellistica di calcolo

Utilizzando il software Straus7 è stato eseguito il modello FEM globale a *stage* con elementi *beam*, mediante un solutore non lineare, che ha permesso inizialmente di sondare le ipotesi progettuali e, successivamente, di calibrare e distribuire le risorse di rigidezza e di resistenza nelle varie fasi di montaggio degli archi rampanti, fino ad ottenere per tutti i molti domini un esito positivo, con pieno controllo delle evoluzioni di sollecitazioni e di deformazioni. Il progetto dei numerosi dettagli del ponte coinvolti, delle attrezzature e dei punti di interfaccia, è stato condotto con il supporto di modelli FEM locali realizzati mediante elementi *plate*, caricati con sollecitazioni estratte dal modello globale grazie al tool di *sub modeling*.

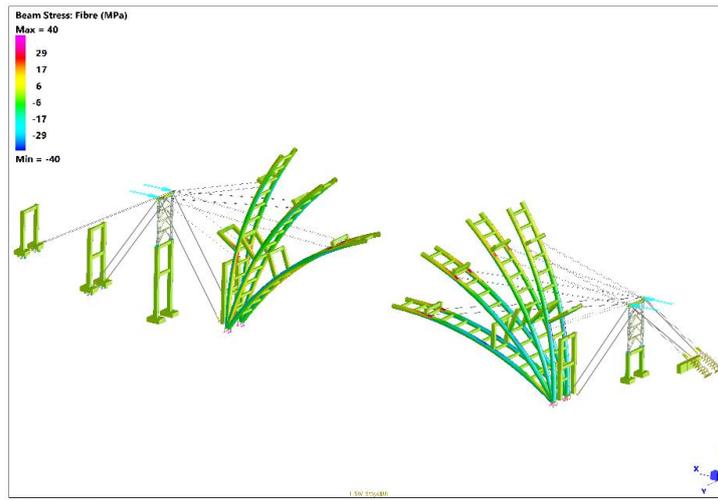


Fig. 16 –Modello FEM visualmente sovrapposto (Crediti Cimolai)

## Il progetto di varo dell'impalcato del ponte di La Joya

Infine, sull'arco pronato e giuntato secondo EN1090, è stato eseguito un varo tradizionale su rulliere, tuttavia binato dato il doppio implacato collegato da traversi, che ha consentito, dopo il calaggio sugli appoggi definitivi, la posa delle dalles e il completamento del manufatto con il getto della soletta e gli arredi. Si sono utilizzati per la spinta gli strand jacks di pronazione dell'arco e attacchi binati già predisposti a progetto per servire sia l'amarro che la spinta del varo.

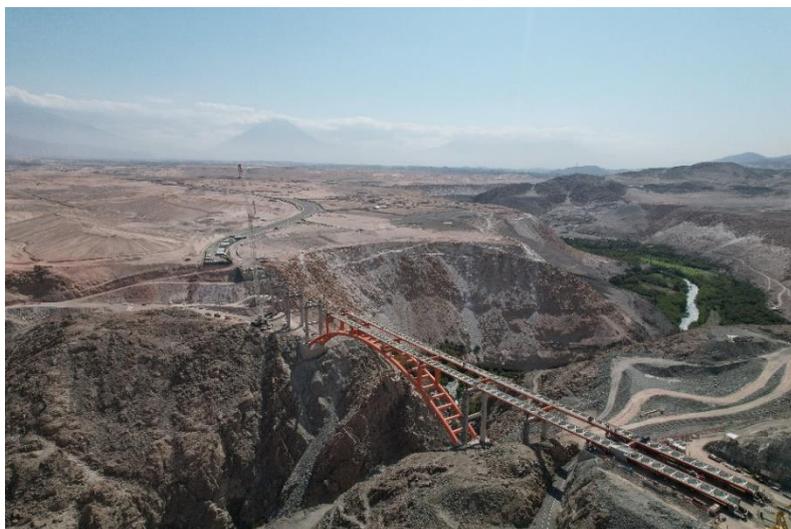


Fig. 17 –Varo binato con avambecco e retrobecco con spinta di strand-jacks (Crediti Cimolai)

## Conclusione

Queste due imprese di Cimolai S.p.A., seppur inizialmente considerate tra quelle con maggiori incognite in fase di offerta, hanno trovato, adeguatamente sostenute in tutte le fasi, una risposta ingegneristica del transitorio che ha portato a una esecuzione di grande precisione. Esse rappresentano anche una chiara e plastica dimostrazione di come inizi lo sviluppo economico in parti del mondo lontane dai grandi centri globali. Che si tratti di regioni di foreste fluviali inesplorate o impervie lande montuose, il ponte non è più solo un semplice superamento di limiti geofisici, ma piuttosto mezzo umile, e al contempo nobile, per la trasformazione dello sviluppo nell'auspicato progresso.

### Ponte Nanay

Cliente	CPL – Consorcio Puentes de Loreto
Progetto Esecutivo Ponte Strallato	JACK LOPEZ Ingenieros S.A.C.
Progetto Costruttivo opere civili	PEDELTA
Progetto Costruttivo Impalcato metallico	Cimolai S.p.A.
Progetto di Montaggio Ponte Strallato	Cimolai S.p.A.
Progetto e certificazione gru derrick	Cimolai S.p.A.
Fornitura e montaggio carpenteria	Cimolai S.p.A.
Controllore del progetto di montaggio	CESMA Ingenieros
Erection Class (protocollo interno Cimolai SPA)	ERC3b

### Ponte La Joya

Cliente	Governo regionale di Arequipa, Perù
Impresa generale	Consorcio La Joya II (Pizzarotti Spa-Eralma)
Progetto Esecutivo Strutture metalliche	Cons. Ing. Arequipa - Cesma Ingenieros
Appaltatore principale:	Consorcio La Joya II
Progetto Costruttivo Arco e Impalcato metallico	Cimolai S.p.A.
Progetto di Montaggio arco e varo impalcato	Cimolai S.p.A.
Progetto portali di pronazione e attrezzature di varo	Cimolai S.p.A.
Fornitura e montaggio carpenteria	Cimolai S.p.A.
Controllore del progetto di montaggio	JNR CONSULTORES S.A., Peru
Erection Class (protocollo interno Cimolai SPA)	ERC3b

*(1) Ingegnere, Direttore Tecnico della Ricerca e Sviluppo di progetti speciali di Cimolai SpA*