

Gran Manglar Viaduct - Colombia

Viadotto di Gran Manglar - Colombia

G. Dreas¹,

¹ DEAL Srl, Udine, Italy

ABSTRACT: The Gran Manglar Viaduct is part of the project for the construction of the Cartagena de Indias e Barranquilla highway. The viaduct is 3.7 km long and crosses the Cienaga de Tesca lagoon. For the construction of the viaduct a top-down construction method has been chosen. All structural elements, including piles, pile-caps and beams, are made of precast concrete and are erected using a special erection equipment designed for this type of construction which does not require access from the ground. / : Il Gran Manglar Viaducto di Cartagena è un'opera che fa parte del progetto per la realizzazione dell'autostrada tra Cartagena de Indias e Barranquilla. Il progetto prevede la realizzazione di un viadotto di 3,7 km sulla laguna di Cienaga de Tesca, mediante l'utilizzo di una tecnologia di costruzione top-down. Tutti gli elementi costitutivi principali del viadotto: pali, pile e travi di impalcato sono prefabbricati in calcestruzzo armato precompresso e vengono messi in opera con l'ausilio di una speciale attrezzatura di varo che consente la presa degli elementi da dietro, l'infissione dei pali e la posa degli altri elementi senza necessità di accesso dal basso.

KEYWORDS: precast concrete; post-tensioned concrete, special erection equipment / calcestruzzo prefabbricato; calcestruzzo post-teso, attrezzature speciali di costruzione

1 NOTE GENERALI

1.1 *Descrizione generale del progetto*

Ad inizio 2016 sono cominciate le attività di costruzione del Viadotto Gran Manglar nell'ambito della concessione Costiera Cartagena – Baranquilla che prevede l'adeguamento del collegamento stradale tra le due città colombiane.

Il viadotto attraversa la laguna di Gran Manglar, zona considerata di importante valore naturalistico per la quale le autorità locali hanno posto significative limitazioni all'accesso ed alle lavorazioni possibili durante le fasi di costruzione.



Figure 1. Rendering of Gran Manglar viaduct / Rendering del viadotto Gran Manglar.

Per soddisfare i requisiti ambientali in fase di gara è stata sviluppata e proposta una soluzione che prevede una metodologia costruttiva “top down” dell'intero viadotto che è stata poi adottata dalla concessionaria che ha in carico la gestione dell'intero progetto.

1.2 *Cronistoria*

Le attività di progettazione sono iniziate nel mese di marzo 2015. Il progetto esecutivo è stato completato nella sua prima versione alla fine di Maggio 2015. Successivamente è stata condotta una campagna di sondaggi integrativa che ha comportato una parziale revisione del progetto e nello specifico un ricalcolo della capacità portante dei pali, completata nel gennaio 2016.

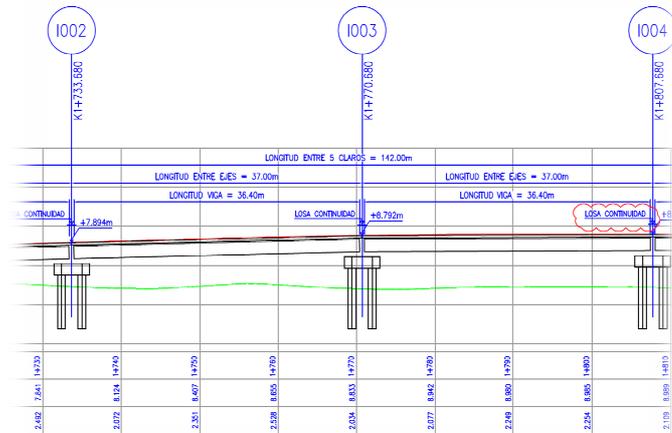
Le attività di prefabbricazione sono iniziate nel aprile 2016 e quelle di costruzione/varo a luglio 2016. Al momento della redazione di questa memoria le attività di costruzione sono in pieno svolgimento.

2 CARATTERISTICHE DEL VIADOTTO

2.1 *Concetto generale dell'opera*

Il viadotto ha una lunghezza complessiva di 4879 m e si compone di 129 campate di lunghezza tipica 37

m. La struttura del viadotto è interamente costituita da elementi prefabbricati in calcestruzzo armato e precompresso ad esclusione degli elementi di completamento (connessioni pali – pulvini, diaframmi) e delle solette di impalcato che sono in calcestruzzo



gettato in opera.

Figure 2. Partial longitudinal view / Vista longitudinal parziale del viadotto.

La scelta della prefabbricazione spinta è stata dettata dalla tecnologia utilizzata per la costruzione che a sua volta è stata condizionata dai vincoli ambientali dell'area. La metodologia costruttiva è descritta in dettaglio nel capitolo 3 mentre nei paragrafi seguenti viene descritta la struttura del viadotto.

2.2 Impalcato

L'impalcato è costituito da travi prefabbricate pretese con sezione ad U collegate da una soletta gettata in opera e da diaframmi di estremità in calcestruzzo gettato in opera. Ciascuna campata è formata da tre travi poste ad interasse 3.75 m ad esclusione delle zone a larghezza variabile in corrispondenza dello svincolo dove il numero delle travi ed il loro interasse varia in funzione della larghezza. La larghezza complessiva dell'impalcato nel tratto costante è di 11.70 m. Le campate sono semplicemente appoggiate e collegate alle pile mediante isolatori sismici in gomma armata (Figure 3). Le campate sono longitudinalmente collegate dalla sola soletta e formano gruppi di 3 campate continue separate da giunti di dilatazione.

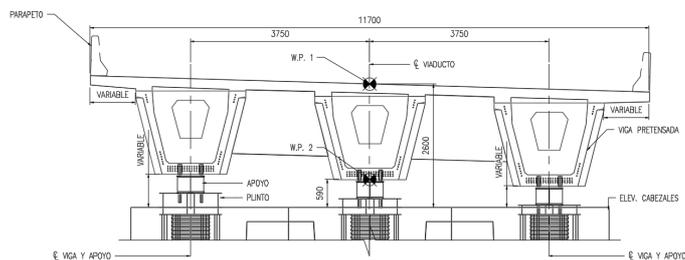


Figure 3. Typical cross section of Gran Manglar viaduct / Sección típica del viadotto Gran Manglar.

2.3 Sottostrutture

Le pile tipiche sono formate ciascuna da sei pali prefabbricati pretesi circolari cavi di 1000 mm di diametro esterno e 140 mm di spessore. I pali hanno lunghezza variabile tra 30 e 55 m in funzione della stratigrafia dei terreni. Alcuni pali vengono prefabbricati in un unico elemento mentre altri vengono prefabbricati in due elementi connessi da un giunto meccanico. Il posizionamento dei giunti è governato dai limiti di infissione imposti dalla attrezzatura utilizzata e che dipendono da vari fattori quali:

- Lunghezza del palo
- Altezza della pila
- Altezza del battente d'acqua

I pali sono collegati in testa ad una struttura di transizione in calcestruzzo armato post-tesa (pulvino) che funge da elemento rigido di connessione e consente il trasferimento delle sollecitazioni derivanti dall'impalcato, mediante gli isolatori in gomma, ai pali stessi. Il collegamento tra i pali ed il pulvino si realizza mediante elementi in calcestruzzo armato gettato in opera che riempiono parzialmente la cavità superiore dei pali e si innestano negli appositi fori di dimensione maggiore al diametro interno dei pali, lasciati nel pulvino (Figure 5). Nel dimensionamento di questi fori si è tenuto debitamente conto delle tolleranze di costruzione.

I pulvini sono realizzati in tre conci prefabbricati coniugati i quali vengono collegati tra loro mediante



cavi di post-tensione prima dell'esecuzione del getto di connessione.

Figure 4. Pile cap / Pulvino.

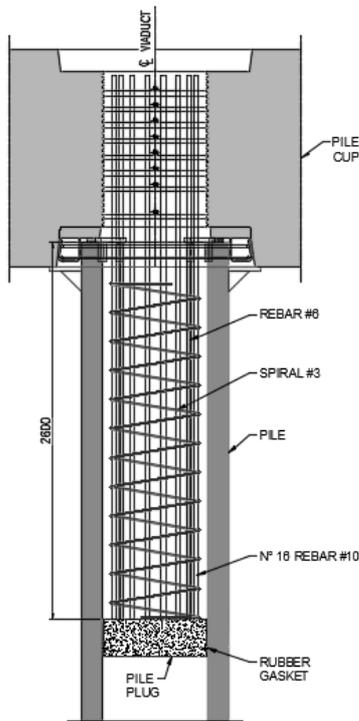
2.4 Comportamento strutturale del viadotto

Come già accennato l'impalcato è stato suddiviso in unità continue ciascuna formata da tre campate. Le campate sono rese continue dalla sola soletta la quale viene mantenuta indipendente (non solidarizzata) dalla trave per un tratto di lunghezza di circa due metri in corrispondenza delle pile per consentirne la deformazione richiesta dai carichi mobili in campata. Ciascuna unità continua è vincolata alle pile me-

dianze isolatori in gomma armata in numero di sei per campata. L'isolamento sismico è stato richiesto al fine di ridurre al minimo le sollecitazioni orizzontali in testa ai pali e quindi consentire di minimizzare il diametro esterno dei pali stessi.

Le pile sono costituite da sei pali ciascuna, in due file da tre, collegate in testa da un elemento rigido a formare un telaio spaziale. La struttura è stata analizzata mediante analisi spettrale tenendo conto della rigidità effettiva degli isolatori e della rigidità prevista del terreno per tutte le condizioni stratigrafiche incontrate.

Nel progetto della struttura si è tenuto conto delle condizioni temporanee di costruzione, per altro di-



mentanti ai fini del calcolo della capacità portante dei pali.

Figure 5. Integral connection between pile and pile cap / Elemento di connessione tra il palo ed il pulvino.

3 METODOLOGIA COSTRUTTIVA

3.1 Prefabbricazione

La prefabbricazione degli elementi si realizza in un'area dedicata in adiacenza della pila 130. L'impianto si compone di tre linee di produzione:

1. Pulvini: costituito da un cassero "long line" per la produzione dei conchi coniugati costituenti il pulvino (Figure 6).
2. Pali: costituita da tre casseri orizzontali per la produzione dei pali. I casseri sono modulari per la produzione di pali di diverse lunghezze. Ciascun cassero è dotato di una testata fissa utilizzata per la messa in opera dei dispositivi di connessione meccanica tra gli elementi di

palo i quali devono essere installati con tolleranze minime per garantire la verticalità del palo stesso (Figure 7).

3. Travi: Costituita da un cassero per la produzione delle travi.

Per ciascuna linea sono previste delle dime dedicate al preassemblaggio delle gabbie di armatura di ciascun elemento (Figure 5). Tutte le linee sono servite dall'impianto di produzione del vapore utilizzato per la maturazione accelerata del calcestruzzo.

La movimentazione degli elementi prefabbricati avviene mediante delle gru a portale e dei carrelli gommati accessoriati per i diversi elementi (Figure 6, Figure 7).



Figure 6. Pile cap mould / Cassero per la prefabbricazione del pulvino.



Figure 7. Pile mould / Cassero per la prefabbricazione dei pali.



Figure 8. Beam rebar jig for the assembling of beam reinforcement / Dima per il preassemblaggio delle armature delle travi.



Figure 9. Pile de-moulding by means of gantry cranes / Scassero del palo mediante le gru a portale.



Figure 10. Stocking of precasted beams / Travi prefabbricate stoccate nell'area di finitura.

3.2 Varo

Come anticipato la costruzione dell'intero viadotto si realizza mediante una speciale attrezzatura concepita per la costruzione "dall'alto" della struttura. L'attrezzatura è costituita da due tralicci in acciaio con sezione triangolare i quali poggiano su supporti che vengono posizionati sulle pile o sull'impalcato come schematizzato nei grafici sottostanti. I tralicci sono tra loro collegati in testa ed in coda e possono traslare longitudinalmente e trasversalmente sui supporti ai quali sono collegati tramite rulliere. In testa all'attrezzatura è stato installato il dispositivo utilizzato per l'infissione dei pali costituito da:

- un traliccio a sezione rettangolare (lead) che ha la funzione di sostenere il palo dopo che è stato prelevato dal mezzo di trasporto, di ruotare il palo in posizione verticale e di guidare il palo durante le prime fasi di infissione (Figure 11, Figure 12);
- un martello diesel (hammer) che ha la funzione di trasferire al palo l'energia necessaria per l'infissione.

Sulla coppia di tralicci sono inoltre installati due carrelli-argano che vengono utilizzati per prelevare gli elementi prefabbricati dal carrellone utilizzato per il loro trasporto il quale transita sugli impalcati già completati, il trasporto degli elementi lungo la travata ed il loro posizionamento nella configurazione finale (travi, pulvini) o all'interno del "lead" (pali).



Figure 11. Lead in pile driving configuration / Guida in posizione verticale di battitura.

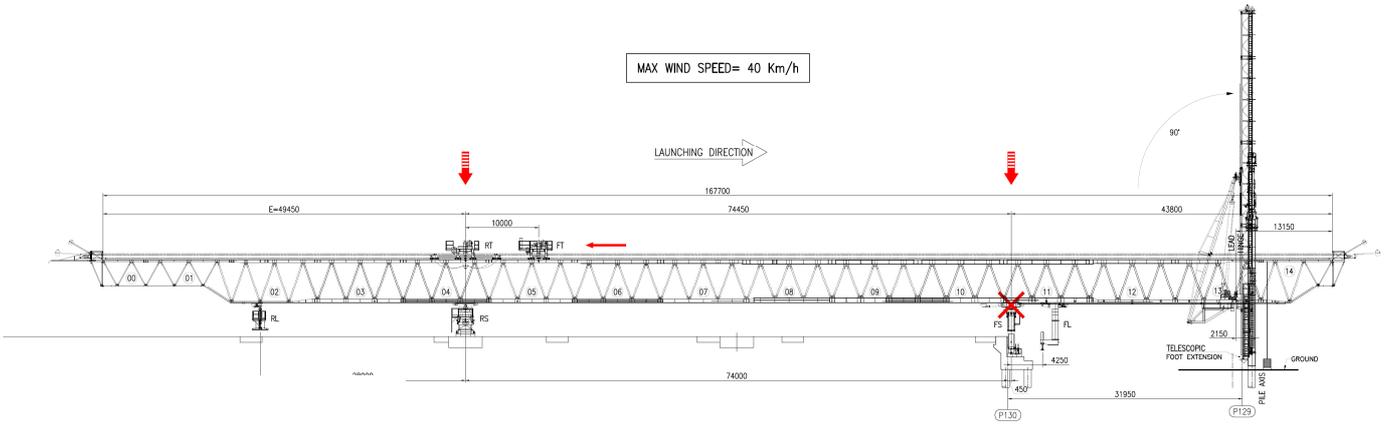


Figure 12. Side view of the erection equipment / Vista trasversale dell'attrezzatura di varo

3.3 Le fasi costruttive



Figure 13. Relocation of pile by means of winches / Argani durante il trasporto del palo alla guida.

3.4 Le fasi costruttive

La costruzione del viadotto è pertanto suddivisibile in quattro macro fasi:

1. Installazione dei pali di fondazione;
2. Installazione del pulvino e getto delle connessioni palo-pulvino;
3. Installazione delle tre travi longitudinali ad U;
4. Getto dei diaframmi di estremità e della soletta.

Ciascuna pila di fondazione è costituita da sei pali. Questi ultimi, una volta prefabbricati, vengono trasportati dall'area di stoccaggio all'impalcato al quale si accede dalla porzione di viadotto già completata. Raggiunta l'attrezzatura di varo, mediante l'utilizzo degli argani, i pali vengono prima

sollevati (Figure 13) e successivamente traslati in fino a raggiungere il "lead" utilizzato per la rotazione e l'infissione (Figure 14). A questo punto il palo viene ruotato (Figure 15), posizionato correttamente secondo le coordinate di progetto (Figure 16) ed infisso (Figure 17).

Le fasi di battitura vengono monitorate attraverso un sistema informatizzato denominato PDA (Pile

Driving Analyzer) e con un sistema "manuale" che verifica il numero di battiti in funzione all'approfondimento. Le rielaborazioni dei risultati reali di battitura vengono confrontati con le curve d'infissione di progetto andando a verificare il raggiungimento della capacità portante.

Prima di procedere con il posizionamento del pulvino, si esegue un rilievo per verificare che i pali abbiano raggiunto la quota di progetto. Ove richiesto, gli stessi verranno tagliati.

I tre conchi che compongono il pulvino tipico vengono spostati singolarmente dal luogo di prefabbricazione fino al carro varo che ne consente la posa in opera (Figure 18, Figure 19). L'accoppiamento dei tre conchi è reso possibile da barre di precompressione temporanea e, successivamente, attraverso cavi di pre-compressione definitiva.

Di seguito, si realizza un getto di connessione tra il pulvino e ciascuno dei pali in modo da garantire la continuità strutturale.

Con procedura analoga a quella seguita per gli altri elementi prefabbricati, le tre travi ad U che costituiscono la campata tipica vengono a loro volta varate (Figure 20, Figure 21).

Infine, si procede al getto in opera dei diaframmi di estremità delle travi a U.

Per il getto della soletta tra le travi, viene posizionata una lamiera grecata che funge da cassero a perdere, messa in opera utilizzandogli argani del carro varo. Dopo aver collocato i casseri a sbalzo e l'armatura, si può procedere con il getto del calcestruzzo.

Al raggiungimento della resistenza minima del calcestruzzo necessaria per il trasferimento dei carichi temporanei generati dall'attrezzatura di varo, si procede alla rilocazione della macchina e la naturale prosecuzione dei lavori di costruzione del viadotto.

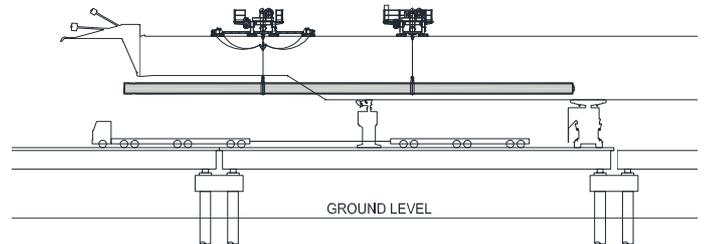


Figure 14. Lifting of the pile from the transporter / Sollevamento del palo dal semirimorchio di trasporto.

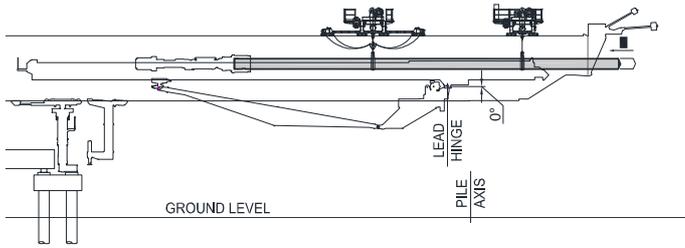


Figure 15. Positioning of the pile in the lead / Trasporto e inserimento palo nella guida "lead"

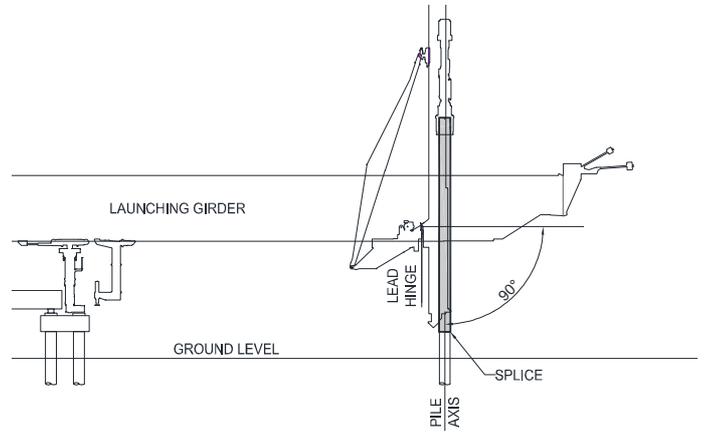


Figure 18. Connection of two elements of the pile by mechanical joint / Esecuzione della connessione tra i due elementi di palo mediante un giunto meccanico.

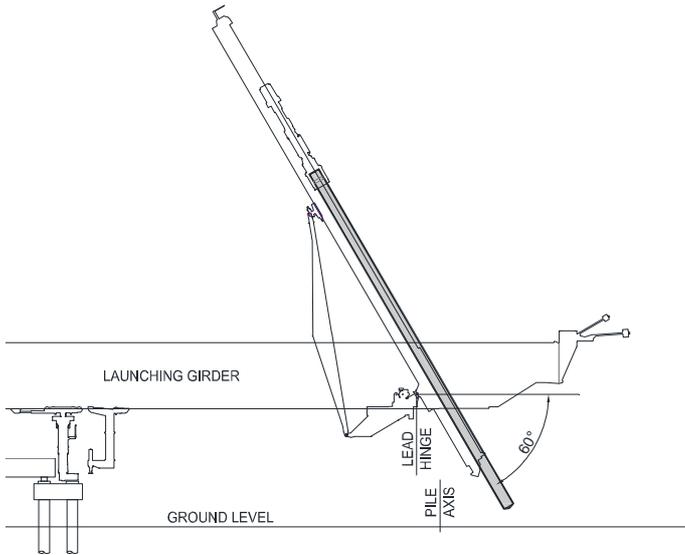


Figure 16. Pile rotation by means of the lead / Rotazione del palo nella posizione verticale mediante la guida "lead" di supporto.

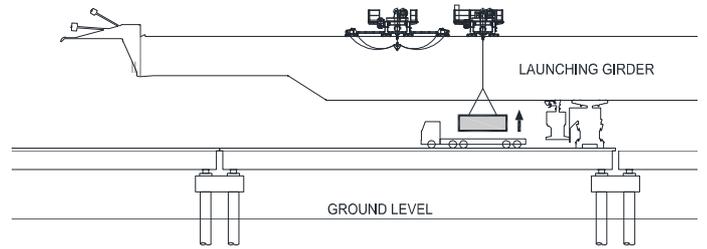


Figure 19. Lifting of the precast pile cap from the transporter / Sollevamento del pulvino prefabbricato dal semirimorchio di trasporto.

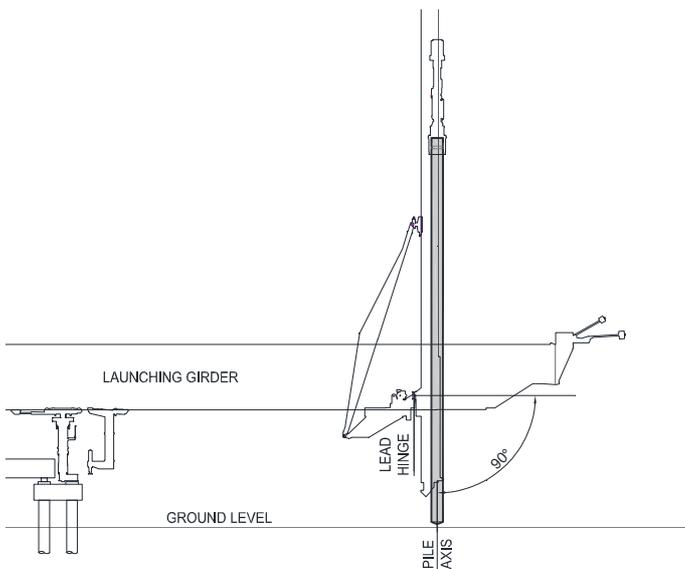


Figure 17. Pile driving position / Posizione verticale di battitura palo.

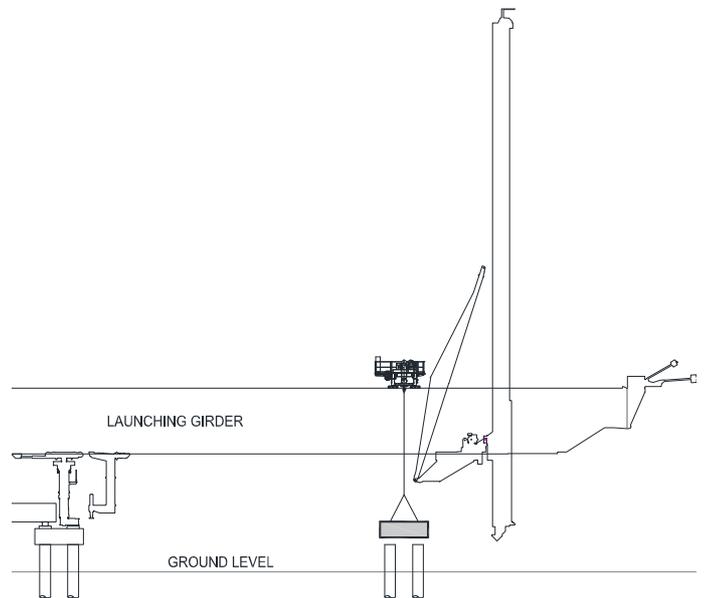


Figure 20. Launching of the precast elements over piles / Varo degli elementi prefabbricati al di sopra dei pali

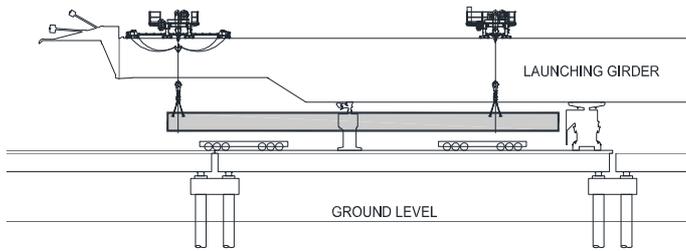


Figure 21. Lifting of the beam from the transporter / Sollevamento della trave dal semirimorchio di trasporto.

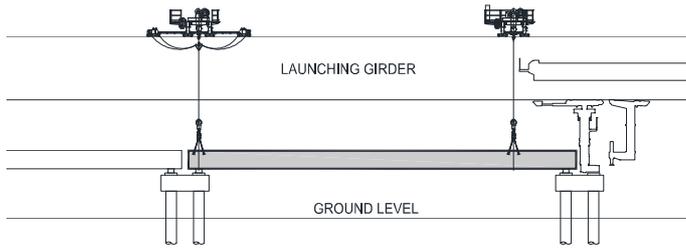


Figure 21. Launching of the beam in final position / Varo della trave nella posizione finale.

3.5 Dettagli costruttivi

Il giunto meccanico di connessione dei pali rappresenta uno dei dettagli costruttivi fondamentali del progetto, in quanto ha consentito una notevole riduzione dei tempi di esecuzione del collegamento che tipicamente avviene mediante saldatura. Oltre ad un vantaggio nella cantierizzazione dell'opera, l'utilizzo di questi elementi permette un notevole miglioramento qualitativo in quanto tutti i materiali sono soggetti a dei controlli di qualità direttamente all'origine, senza nessun apporto di materiale in condizioni sfavorevoli che richiederebbe di controlli in loco.

La tecnologia è già ampiamente sviluppata dai palificatori nei cosiddetti pali "tradizionali" con diametri inferiori mentre risulta una tecnologia innovativa nei pali di queste dimensioni.

Il giunto (Figure 22) è caratterizzato da due elementi distinti:

- Elemento maschio composto da 24 perni collegati ad una armatura lenta di rinforzo che permette la diffusione del carico nella parte iniziale del palo prefabbricato.
- Elemento femmina composto da 24 alloggiamenti dei perni a sua volta collegati ad una armatura lenta di diffusione del carico.

I due elementi vengono poi collegati tra loro da 24 spine montate in situ (Figure 23).

Le caratteristiche tecniche del giunto permettono di garantire non solo le sollecitazioni di progetto del ponte ma, in particolare, le 350 tonnellate di trazione che si verificano durante alcune fasi di battitura.

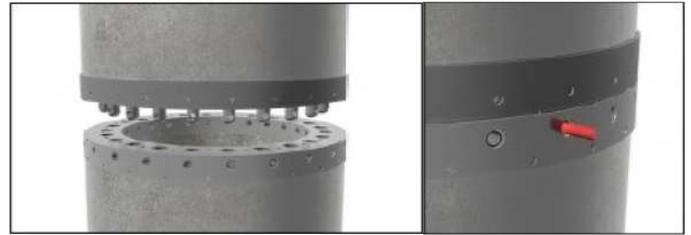


Figure 23. Detail of mechanical joint and assembly sequences / Particolare del giunto meccanico e sequenza di montaggio.



Figure 23. Connection of the second pile to the first pile / Collegamento del secondo palo con il primo palo.

4 CONCLUSIONS

Il completamento della costruzione dell'intera viadotto è previsto per la fine del 2017.

Il progetto presentato è relativo ad una tecnologia innovativa sviluppata per la prima volta per il progetto Washington Bypass negli Stati Uniti, completato con grande successo alcuni anni fa ed affinata per questo progetto.

In conclusione merita menzionare gli attori principali che hanno contribuito all'ideazione e realizzazione di questo progetto:

- Impresa costruttrice: Rizzani de Eccher
- Progettista strutturale: DEAL srl con la collaborazione di:
 - McNaryBergeron associates
 - ALPE Progetti

Le attrezzature di varo sono state fornite da DEAL, la precompressione, giunti ed isolatori da Tensa.

The completion of construction of the entire viaduct is expected by the end of 2017.

The proposed construction method is related to an innovative technology developed for the construction Washington Bypass in the United States, which has been completed with great success a few years ago and replicated with some optimizations for this project.

A final mention of the companies that have contributed to the conception and construction of this project:

- Contractor: Rizzani de Eccher
- Structural Designer: DEAL srl with collaboration of:
 - McNaryBergeron associates
 - ALPE Projects

The launching equipments are have been supplied by DEAL, prestressing, joints and isolators from Tensa.