

Precast Segmental Viaducts for RN77 project - Algeria

Viadotti a conci prefabbricati per il progetto RN77 - Algeria

G. Dreas¹

¹ DEAL Srl, Udine, Italy

ABSTRACT: The paper presents the design of all viaducts constructed using the precast segmental technology on the segment between chainages 15.000 and 48.000 of the RN77 highway in Algeria. All viaducts have similar characteristics and have been designed with the intent of getting the maximum benefits from standardization. The only exception is the Tabellout Viaduct which has unique characteristics even if the same construction technology was used. / Nella memoria viene presentato il progetto dei viadotti realizzati con la metodologia dei conci prefabbricati nella tratta dal km 15.000 al km 48.000 della autostrada penetrante RN77 in corso di costruzione in Algeria. Tutti i viadotti hanno caratteristiche simili con l'intento di trarre il massimo beneficio dalla standardizzazione costruttiva. Fa eccezione il viadotto di Tabellout che pur utilizzando la medesima metodologia costruttiva ha caratteristiche singolari.

KEYWORDS: precast concrete; post-tensioned concrete, precast segmental method, special erection equipment / calcestruzzo prefabbricato; calcestruzzo post-teso, metodo costruttivo a conci prefabbricati, attrezzature speciali di costruzione

1 DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO

1.1 Introduzione

La presente memoria è relativa al progetto della quasi totalità dei viadotti tra le progressive km 15.000 e km 48.000 lungo il tracciato dell'autostrada penetrante RN 77 in Algeria.

Nel complesso si tratta di tredici viadotti, in corso di realizzazione al momento della stesura della memoria, per i quali è stata selezionata la tecnologia a conci prefabbricati.

I viadotti hanno caratteristiche simili per geometria e tipologia strutturale. Fa eccezione il viadotto alla progressiva km 30.2 che attraversa il futuro lago artificiale di Tabellout il quale, per le ragioni che verranno presentate in seguito, rappresenta una opera speciale con caratteristiche singolari.

Nella memoria saranno presentate le caratteristiche generali delle opere, i principi utilizzati per il dimensionamento e la standardizzazione e le fasi costruttive.

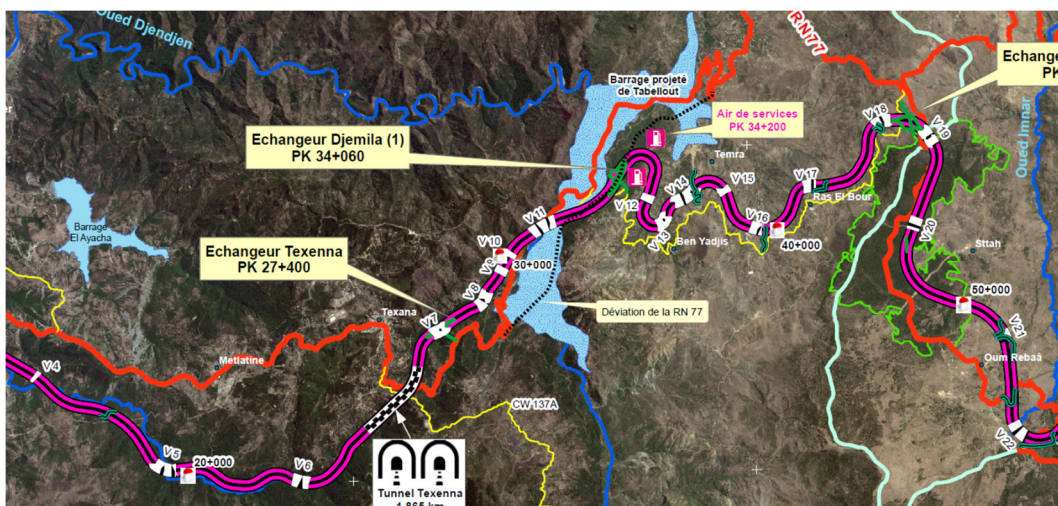


Figure 1. General Project Plan / Planimetria generale del progetto

1.2 Criteri generali di progettazione

Il progetto strutturale è stato condotto nel rispetto delle norme algerine Fascicule no 61 – Titre II, Fascicule no 62 – Titre I/V, RPOA 2008 e delle norme francesi B.A.E.L. e B.P.E.L.

- I carichi mobili considerati sono:
 - Système de charge : A
 - Systèmes de charge : B (Bc, Bt, Br)
 - Charges militaires : Mc120
 - Charges exceptionnelles, convoy exceptional . D240 (Non sembra essere

stato considerato il carico D280 che però è previsto dalla normativa)

- Per la sismicità dell'intero progetto si è assunto un coefficiente d'accelerazione pari a 0.25.
- Materiali: Il progetto prevede:
 - Calcestruzzo: classe 40 per gli elementi prefabbricate, classe 27 o 35 per tutti gli altri elementi strutturali
 - Acciaio: Classe 500 MPa
 - Precompressione: Classe 1860 MPa

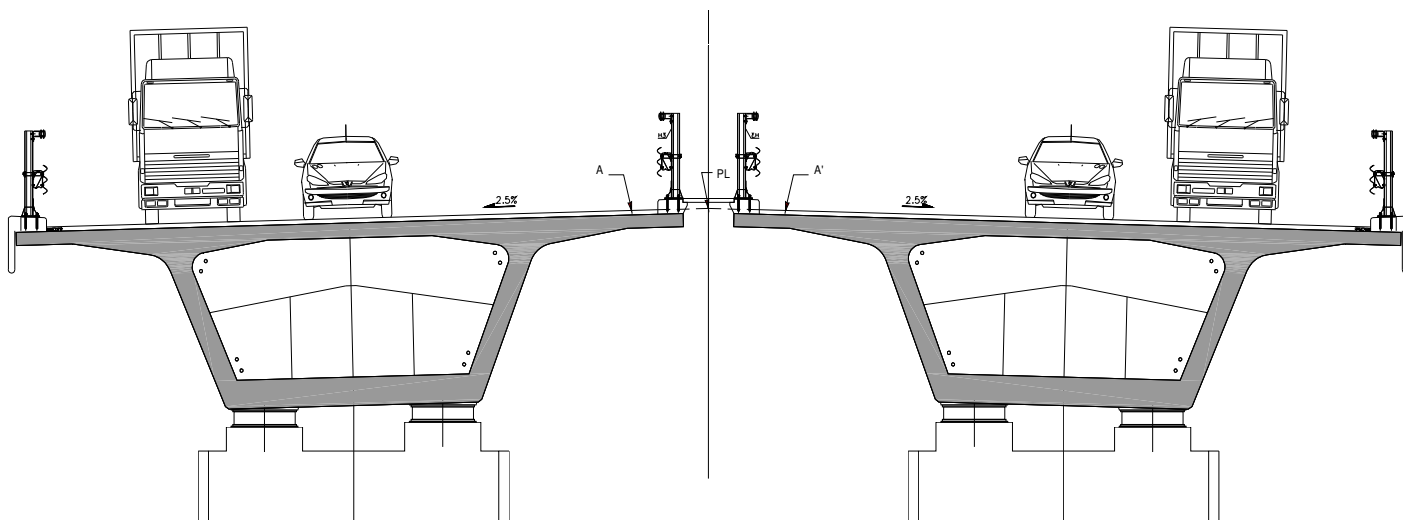


Figure 2. Typical section of constant depth viaducts / Sezione trasversale tipica dei viadotti a sezione costante

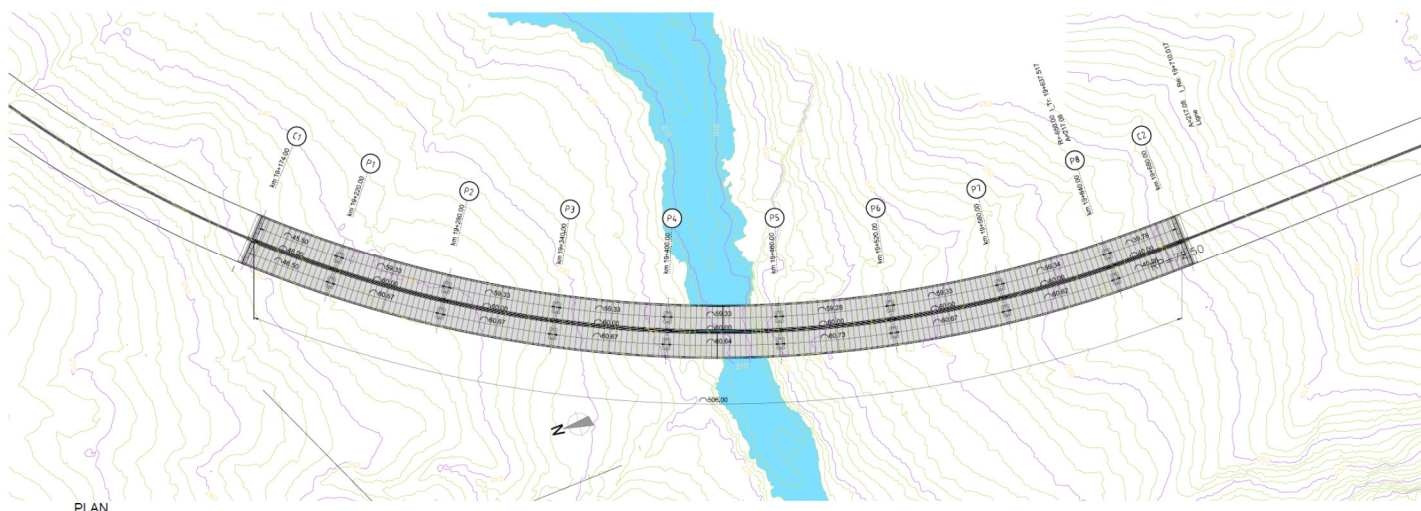


Figure 3. Plan view of Viaduct at chainage 19.200 / Vista planimetrica del viadotto alla progressiva 19.200.

2 VIADOTTI A SEZIONE COSTANTE

2.1 Il progetto

Tutti i viadotti compresi tra le progressive 15.600 e 29.900 e tra 39.400 e 47.120 sono previsti realizzati con impalcato in calcestruzzo armato precompresso, con sezione a cassone trapezoidale a sezione costante di altezza 3.20 m realizzati utilizzando il metodo dei conci prefabbricati a sbalzi bilanciati. Gli impalcato

sono continui per l'intera lunghezza del viadotto, che quindi prevedono giunti di espansione alle sole estremità. Le campate centrali tipiche hanno una lunghezza standard di 60 m, mentre quelle di estremità variano tra 40 e 45 m in funzione della lunghezza del viadotto.

I viadotti sono formati da due impalcato paralleli distanti tra loro 1.50 m. Ciascun impalcato è largo 13.25 m inclusivo di marciapiedi e velette. La carreggiata è larga 12.00 m misurata tra il ciglio interno dei cordoli.

I conci prefabbricati tipici hanno una lunghezza nominale di 2.88 m che varia in funzione del tracciato planimetrico ed altimetrico, i conci di pila e di spalla hanno invece una lunghezza fissa di 1.80 m. La dimensione dei singoli elementi prefabbricati è stata selezionata tenendo conto dei vincoli di trasporto lungo le strade esistenti.

Per le caratteristiche geometriche dei viadotti a sezione costante, ciascuno dei quali ha una lunghezza di impalcato contenuta entro i 500m me pile di altezza variabile tra i 5 ed i 30 m e tenendo conto della elevata accelerazione sismica al suolo (0.25 g) per l'intero tracciato, si è ritenuto che l'adozione di un sistema di isolamento sismico posizionato tra l'impalcato e le

pile/spalle fosse la soluzione ideale per tutti gli impalcato a sezione costante.

Le pile sono tutte in calcestruzzo armato con sezione rettangolare cava oltre i 10 m di altezza, o piena sotto i 10 m di altezza. La sezione della pila è costante per tutti i viadotti e le sue dimensioni sono state determinate tenendo conto delle necessità strutturali in condizione temporanea e permanente, soprattutto della necessità di formazione dell'incastro temporaneo tra pila ed impalcato durante le fasi di costruzione a sbalzi successivi.

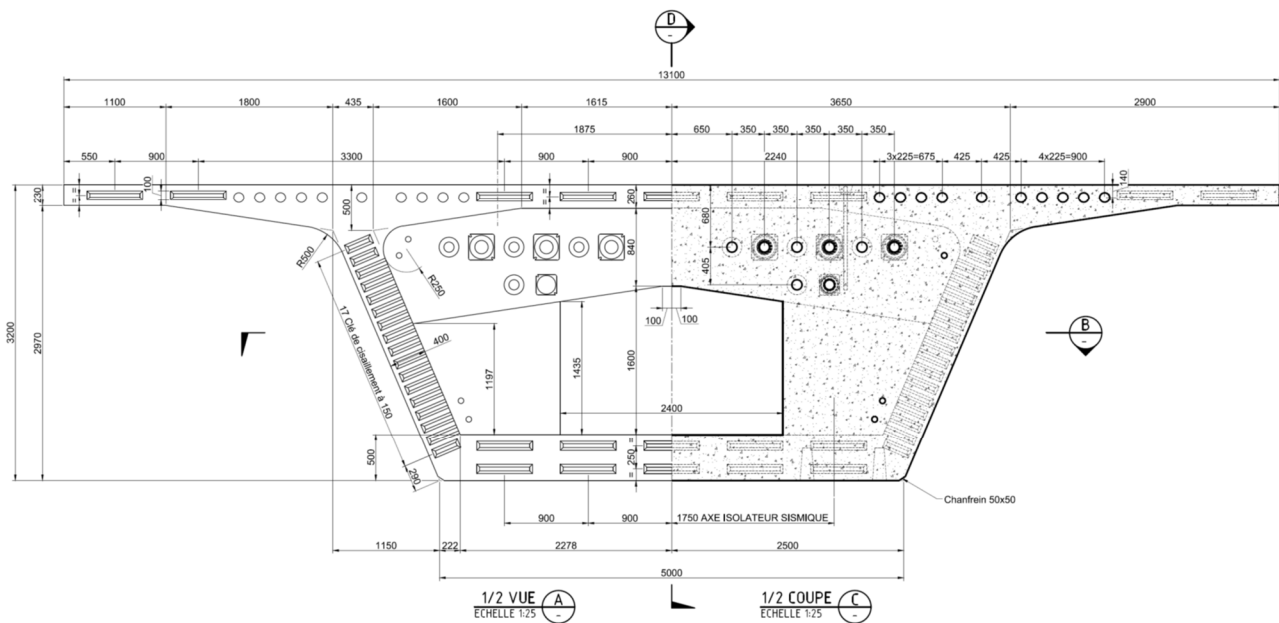


Figure 4. Cross section of Pier Segment / Sezione trasversale del concio di pila.

Essendo i viadotti sismicamente isolati, le sottostrutture sono state tutte progettate utilizzando lo spettro di risposta elastico e trascurando la possibile formazione di cerniere plastiche, ovvero considerando un coefficiente di struttura $R = 1$.

Le fondazioni di tutte le pile e delle spalle, ad esclusione di qualche caso particolare in cui sono state adottate fondazioni di tipo diretto, sono costituite da plinti su pali. Tutti i pali sono trivellati e del diametro di 1200 mm.

2.2 I dettagli costruttivi

Per gli impalcato è stata selezionata una sezione a cassone monocellulare trapezoidale che è risultata essere quella più efficiente ai fini di contenere il peso proprio della struttura e conseguentemente il peso dei singoli elementi prefabbricati.

I singoli conci sono prefabbricati coniugando ogni singolo elemento al precedente partendo dal concio di

pila in modo da ottenere la geometria desiderata. Le superfici di testata delle sezioni incorporano chiavi di taglio multiple per il trasferimento delle sollecitazioni tangenziali in fase transitoria, quando la resina epossidica spalmata sulle superfici è ancora fluida, ed in fase definitiva quando la resina ha sviluppato le sue caratteristiche di resistenza alla compressione e all'adesione.

Lo spessore della soletta superiore e delle anime si mantiene costante per l'intera lunghezza della campata mentre la soletta inferiore passa da 260 mm nella parte centrale della campata a 500 mm in corrispondenza delle pile.

Diaframmi trasversali sono presenti solo in corrispondenza delle sezioni di appoggio ed in corrispondenza dei punti di deviazione dei cavi di precompressione esterna.

La precompressione utilizzata si divide in quattro famiglie:

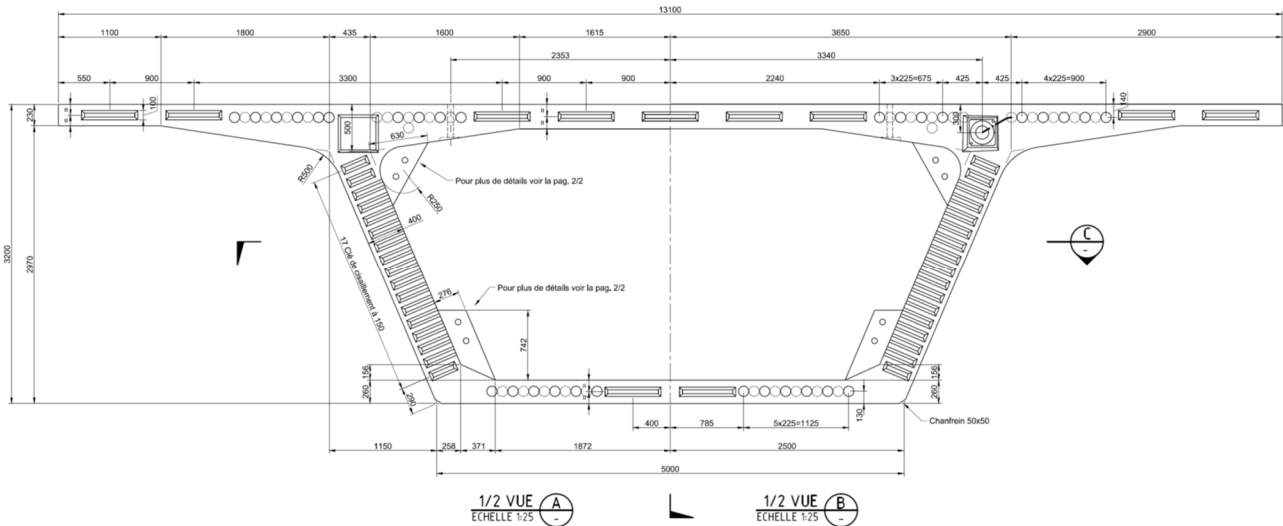


Figure 5. Cross section of Typical Segment / Sezione trasversale del concio tipico.

- Barre di precompressione temporanea. Vengono utilizzate per garantire una pressione minima di schiacciamento della resina in fase di accoppiamento, per garantire la stabilità dei conci dopo che il loro peso è stato rilasciato dai dispositivi di sollevamento e per eliminare eventuali tensioni di trazione durante la tesatura dei cavi permanenti;
- Cavi superiori di stampella. Sono cavi permanenti, aderenti ed ancorati alle testate di ciascuna coppia di conci simmetrica rispetto la pila. Vengono tesati durante il varo dei conci.
- Cavi inferiori di continuità. Sono cavi permanenti, aderenti ed ancorati alle lesene interne al cassone in modo simmetrico rispetto la mezzeria della campata. Vengono tesati dopo il getto e la maturazione del concio di chiave.
- Cavi esterni di continuità. Sono cavi permanenti, non aderenti ed ancorati ai diaframmi di pila in modo simmetrico rispetto la mezzeria della campata. Vengono tesati dopo il getto e la maturazione del concio di chiave. Il loro contributo è benefico ai fini di ridurre le tensioni principali di trazione nelle anime dei conci senza appesantire la sezione di cls le cui anime non devono essere inutilmente ingrossate per alloggiare cavi inclinati.

L'isolamento è realizzato con dispositivi in gomma ad alto smorzamento (TDRI – Tens Damping Rubber Isolators), comportamento sostanzialmente lineare con capacità dissipativa stimata intorno al 15%.

Gli isolatori elastomerici sono costituiti essenzialmente da strati di materiale elastomerico alternati a lamierini di acciaio aventi funzione di confinamento dell'elastomero. Tale configurazione è quindi in grado di sopportare sia le azioni orizzontali, parallele alla giacitura degli strati in gomma, sia quelle verticali perpendicolari agli strati stessi.

2.3 Le fasi di costruzione

Per la produzione dei conci ad altezza costante sono stati previsti due impianti di prefabbricazione indipendenti, il primo alla progressiva 15.000 ed il secondo alla progressiva 45.000.

Come già scritto in precedenza, il peso e la lunghezza degli elementi prefabbricati è stato determinato tenendo conto delle limitazioni relative al trasporto degli stessi lungo la viabilità esistente.

Ciascun impianto di prefabbricazione è costituito da un capannone in acciaio dedicato all'assemblaggio delle gabbie di armatura ed alla prefabbricazione dei conci. La scelta di operare in ambiente protetto è stata suggerita dalla piovosità del sito al fine di ottenere una produzione costante e controllata di elementi.

Le casseforme sono del tipo "short line". Ogni concio viene quindi gettato in adiacenza al concio precedente, il quale a sua volta viene trasferito nell'area di stoccaggio il giorno successivo al getto, quando il calcestruzzo del nuovo concio ha raggiunto la resistenza sufficiente per lo scasso. Il nuovo concio viene quindi riposizionato all'interno del cassero ed utilizzato come contro-stampo per il concio successivo.

Per ottenere la corretta geometria finale della struttura viene utilizzato un sistema di controllo computerizzato sviluppato per questo scopo. Il sistema fornisce il posizionamento plano-altimetrico relativo del concio di controstampo rispetto alla testata del cassero. Il concio viene movimentato mediante un apposito carrello idraulico chiamato "manipolatore". Una volta completato il posizionamento, il sistema viene bloccato, quindi si procede al getto del nuovo concio. Il giorno successivo, prima della apertura della cassaforma, si procede ad un rilievo del nuovo concio. Eventuali errori di posizionamento o movimenti durante le fasi di getto vengono quindi misurati e ne verrà tenuto conto nel posizionamento del concio successivo. In tal modo si elimina l'accumulo di errori.

Il sistema di tracciamento geometrico tiene conto ovviamente del tracciato stradale e delle controfreccie di costruzione che a loro volta vengono calcolate considerando le fasi costruttive e gli effetti dipendenti dal tempo del calcestruzzo.

varo è vincolata all'impalcato mediante binari che posizionati a cavallo dei due impalcati paralleli. In tal modo si procede simultaneamente alla costruzione delle due vie di corsa.

3 IL VIADOTTO DI TABELLOUT

3.1 Il progetto

Il viadotto alla progressiva 30.200 sarà realizzato con la medesima tecnologia costruttiva – conci prefabbricati - utilizzata per i viadotti tipici descritta al capitolo precedente ma con caratteristiche geometriche e strutturali completamente diverse. Questo viadotto attraversa infatti il futuro lago artificiale che si verrà a formare una volta entrata in esercizio la diga di Tabellout che il cui collaudo è previsto al completamento della costruzione del viadotto.

La lunghezza complessiva dell'opera è di circa 1240 m misurata tra i due giunti di estremità. L'altezza massima tra il piano stradale ed il fondo del futuro lago è pari a circa 80 m. L'altezza massima dell'invaso raggiunge quota +329 m SLM, quindi circa 20 m sotto il piano stradale, il che significa che le pile per una parte significativa saranno immerse per buona parte del loro sviluppo in altezza. Gli impalcati sono previsti realizzati in calcestruzzo armato pre-compresso, con sezione a cassone rettangolare a sezione variabile con andamento parabolico del fondo e di altezza 6.80 m in corrispondenza delle pile e 3.80 m in mezzzeria. Le campate centrali tipiche hanno una lunghezza standard di 120 m, mentre quelle di estremità sono da 79 m.

Gli impalcati sono realizzati utilizzando il metodo dei conci prefabbricati a sbalzi bilanciati e sono continui per l'intera lunghezza del viadotto, che quindi prevedono giunti di espansione alle sole estremità.

I viadotti sono formati da due impalcati paralleli distanti tra loro 2.50 m. Ciascun impalcato è largo 13.25 m inclusivo di marciapiedi e velette. La carreggiata è larga 12.00 m misurata tra il ciglio interno dei cordoli.

I conci prefabbricati tipici hanno una lunghezza nominale di 2.86 m, il testa-pila è suddiviso in tre conci a sezione costante di lunghezza 2.20 + 2.00 + 2.20 m. La dimensione dei singoli elementi prefabbricati è stata selezionata tenendo conto dei vincoli di capacità dell'attrezzatura prevista per il varo mentre non sono stati considerati vincoli di trasporto essendo lo stabilimento di prefabbricazione posizionato in adiacenza della spalla sud del viadotto.

Il viadotto di Tabellout, a differenza degli altri viadotti isolati, è stato progettato adottando una differente strategia di concezione parasismica ovvero facendo riferimento ad una concezione duttile. Tale scelta è stata necessaria in considerazione delle caratteristiche geometriche di questo viadotto, infatti la sua lunghezza complessiva pari a 1240 m con pile

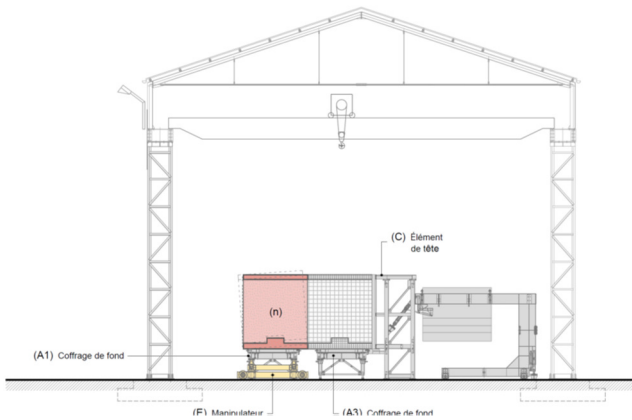


Figure 6. Cross section of precasting building / Sezione trasversale del capannone di prefabbricazione

I conci vengono trasportati dalle aree di prefabbricazione ai fronti di varo lungo il tracciato della nuova autostrada o utilizzando la strada statale esistente.

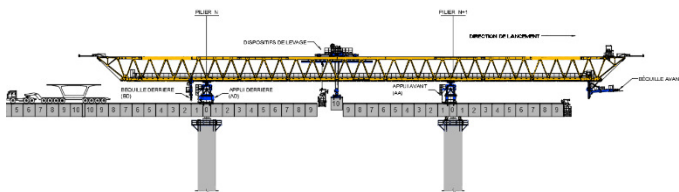


Figure 7. Side view of erection equipment used for typical viaducts / Vista del carro varo utilizzato per i viadotti tipici.

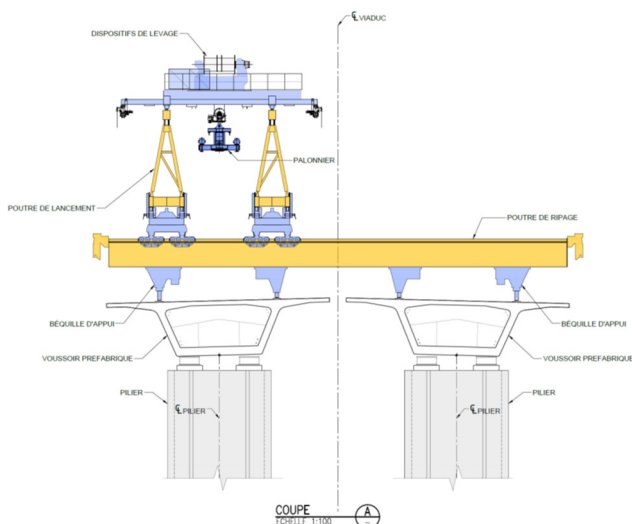


Figure 8. Frontal view of erection equipment used for typical viaducts / Vista frontale del carro varo utilizzato per i viadotti tipici.

La messa in opera dei conci si realizza con l'ausilio di una attrezzatura di varo in grado di prelevare gli stessi dalla porzione di impalcato già costruita e di posizionarli in modo bilanciato, partendo dalle pile, nella loro configurazione finale. L'attrezzatura di

mediamente di 70 m di altezza rendono tecnologicamente complessa e non totalmente efficace una soluzione isolata. Pertanto nel progetto di questo viadotto è stata prevista la formazione delle cerniere plastiche, limitata però esclusivamente alla base delle pile.

La scelta di tale concezione duttile si traduce secondo la norma sismica algerina di riferimento (RPOA 2008) in un dimensionamento in capacità per

gli elementi resistenti dove si formano le cerniere plastiche (solo le pile) mentre per gli altri elementi strutturali si eseguono le verifiche considerando opportune amplificazioni delle sollecitazioni (tramite il coefficiente di sovraccapacità γ_0 - funzione del coefficiente di struttura "q") e opportune riduzioni delle resistenze di calcolo nei confronti delle rotture fragili

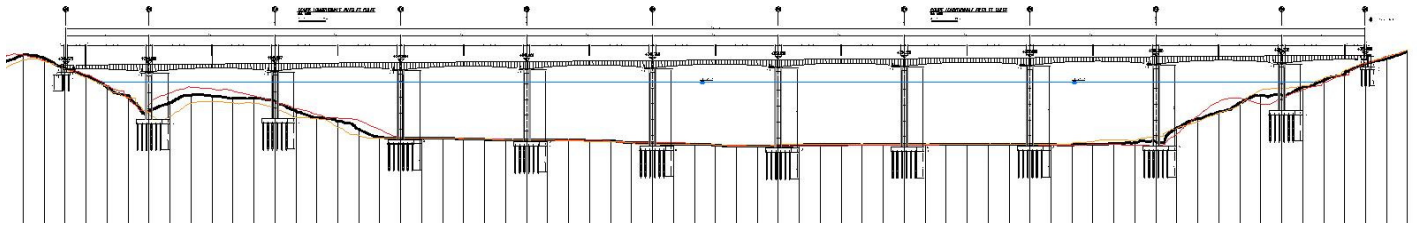


Figure 9. Longitudinal profile of Tabellout Viaduct / Vista longitudinale del Viadotto di Tabellout

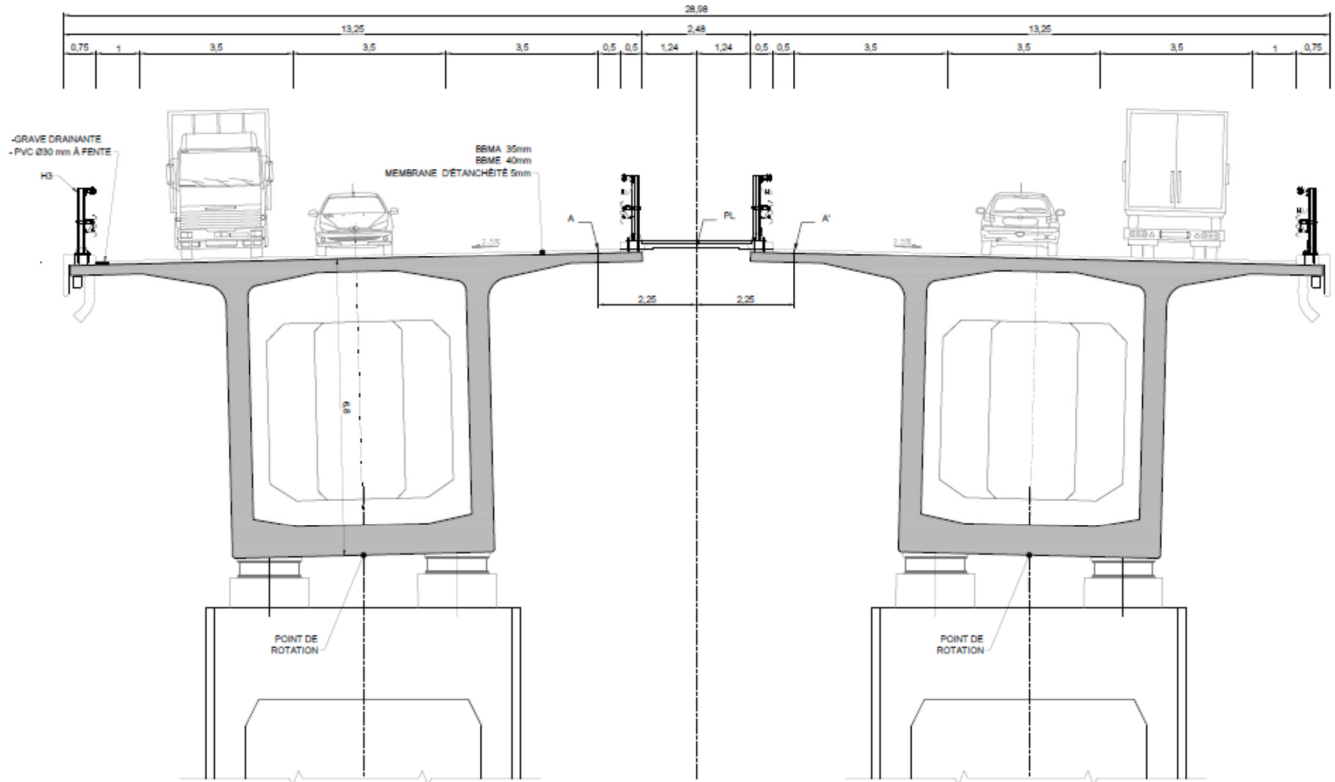


Figure 10. Cross section of Tabellout Viaduct / Sezione trasversale del viadotto di Tabellout

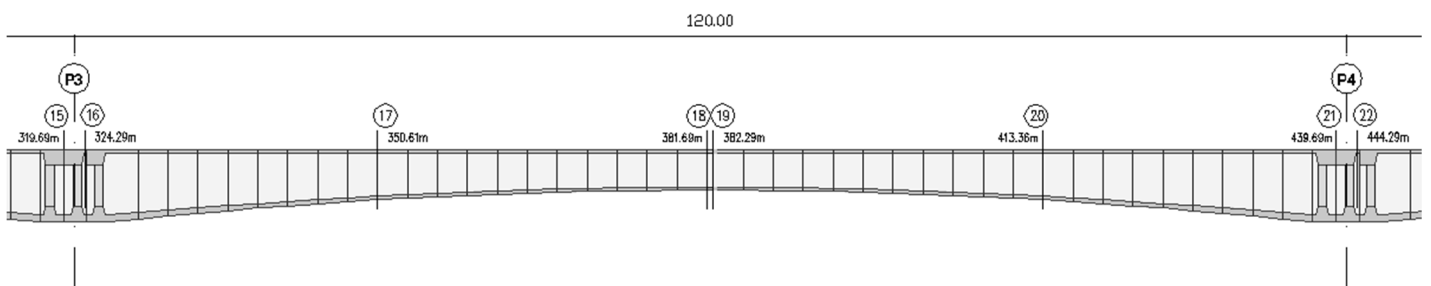


Figure 11. Longitudinal section of Tabellout Viaduct Typical span / Sezione longitudinale della campata tipica del viadotto di Tabellout

Le pile sono tutte in calcestruzzo armato con sezione rettangolare cava e dotata di fori per garantire equilibrio tra la pressione idrostatica interna ed esterna. La sezione della pila è costante per tutti i viadotti e le sue dimensioni sono state determinate tenendo conto delle necessità strutturali in condizione temporanea e permanente, soprattutto della necessità di formazione dell'incastro temporaneo tra pila ed impalcato durante le fasi di costruzione a sbalzi successivi.

Il sistema di vincolo del viadotto prevede l'adozione di:

- Dispositivi di appoggio ed unidirezionali su tutte le pile escluse P5 e P6
- Dispositivi di appoggio fissi su P5 e P6
- Dispositivi di appoggio multidirezionali sulle spalle
- Dispositivi "shock transmitters" longitudinali su tutte le pile escluse quelle con appoggi fissi e la P10.

La pila P10 è stata esclusa dal modello dissipativo longitudinale perché, essendo di altezza molto minore delle altre pile, qualora vincolata al resto del viadotto diventerebbe elemento di disturbo nel comportamento dinamico dell'opera.

Nel calcolo delle sollecitazioni sismiche delle pile si è tenuta in conto l'azione dinamica generata dall'invaso seguendo le indicazioni date dagli eurocodici.

3.2 I dettagli costruttivi

Per gli impalcati è stata selezionata una sezione di tipo rettangolare ad altezza variabile che è risultata essere quella più efficiente ai fini di contenere il peso proprio della struttura e nel contempo garantire la massima semplicità costruttiva.

I singoli conci sono prefabbricati coniugando ogni singolo elemento al precedente esattamente come previsto per i viadotti tipici.

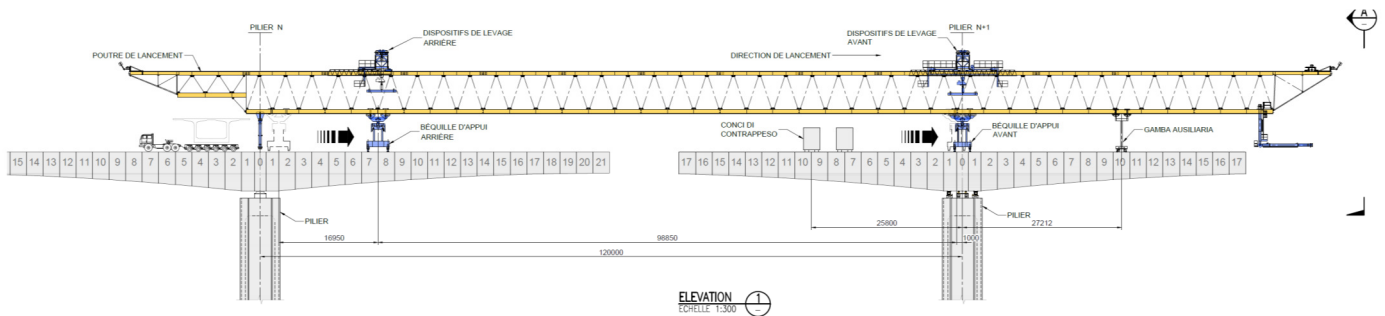


Figure 12. Longitudinal view of Tabellout Viaduct erection gantry / Vista longitudinale dell'attrezzatura di varo per il viadotto di Tabellout

Anche per l'impostazione del tracciato dei cavi di precompressione e la loro suddivisione in famiglie si può fare riferimento a quanto esposto per i viadotti ad altezza costante.

Come indicato in precedenza, il viadotto è longitudinalmente vincolato alle pile P5 e P6. Tuttavia queste due pile non sono in grado di assorbire interamente le sollecitazioni che derivano dal sisma longitudinale, di conseguenza sono stati previsti dei dispositivi che consentano il trasferimento delle sollecitazioni sismiche a tutte le altre pile esclusa la P10.

Per questo scopo sono stati utilizzati dei dispositivi oleodinamici denominati TSTD (Tens Shock Transmitter Devices). Questi dispositivi garantiscono una connessione "pseudo rigida" tra due parti di struttura quando quest'ultima è soggetta ad un'azione impulsiva mentre in presenza di movimenti lenti sviluppano reazioni trascurabili.

Questi dispositivi sono costituiti da un cilindro diviso in due camere dalla presenza di un pistone. Le due camere sono riempite di olio silconico il quale trafila da una camera all'altra attraverso micro aperture nel pistone stesso.

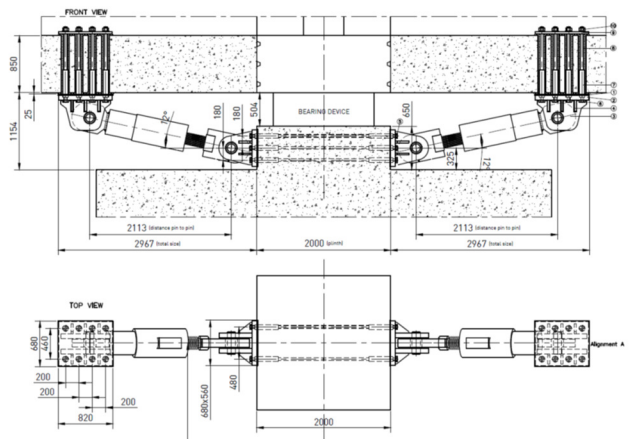


Figure 13. Shock Transmitter devices / Dispositivi shock transmitter

3.1 Le fasi di costruzione

Per la produzione dei conci del viadotto di Tabellout è stato previsto un impianto di prefabbricazione a ridosso della spalla sud.

Le caratteristiche dell'impianto e la metodologia di costruzione sono del tutto simili a quelle descritte per i viadotti tipici.

I conci vengono trasportati dalle aree di prefabbricazione al fronte di varo utilizzando uno speciale carrello gommato.

La messa in opera dei conci si realizza con l'ausilio di una attrezzatura di varo in grado di prelevare gli stessi dalla porzione di impalcato già costruita e di posizionarli in modo bilanciato, partendo dalle pile, nella loro configurazione finale. L'attrezzatura di varo è vincolata all'impalcato mediante binari che posizionati a cavallo dei due impalcati paralleli. In tal modo si procede simultaneamente alla costruzione delle due vie di corsa.

Le pile saranno equipaggiate con passerelle di accesso in sommità per consentire l'esecuzione di tutte le attività di costruzione interamente dall'alto, consentendo se necessario, il completamento delle attività di costruzione anche in presenza dell'acqua di in-vaso.

- contenimento dei costi di costruzione derivante dall'ammortamento delle attrezzature specialistiche utilizzate;
- l'utilizzo di una unica tecnologia costruttiva per l'intero progetto;
- la possibilità di concentrare le attività produttive delicate in aree controllate e protette garantendo quindi un adeguato livello qualitativo della costruzione;

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

- Impresa costruttrice: Rizzani de Eccher
- Progettista strutturale impalcati : DEAL srl
- Progettista strutturale sottostrutture : INCO
- Ingegneria geotecnica ; GEODATA

Precasting activities are expected to start in August 2016.

The construction technology adopted for this project – Precast Segmental Method – is widely used and well known in many parts of the world. For the viaducts along the RN77 route we have tried to take advantage of lessons learned from other projects, thus obtaining series of advantages summarized below:

- reduction in construction costs from standardization of precasting and erection activities;
- reduction in construction costs from depreciation of specialized construction equipment;
- use of a single construction technology for the entire project;
- possibility to concentrate the specialized activities in a protected and secured areas thus which allows the required quality construction level;

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

- Contractor: Rizzani de Eccher
- Deck Designer: DEAL srl
- Substructures Designer : INCO
- Geotechnical engineering . GEODATA

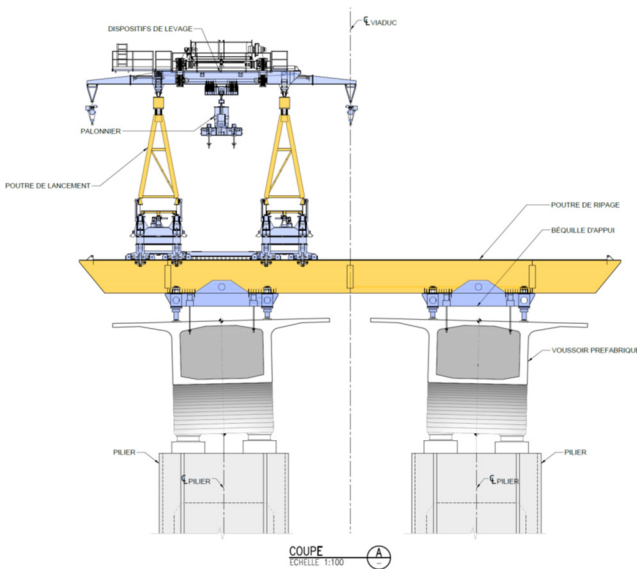


Figure 14. Frontal view of Tabellout Viaduct erection gantry / Vista frontale dell'attrezzatura di varo per il viadotto di Tabellout

4 CONCLUSIONS

Le attività di prefabbricazione inizieranno nel mese di settembre 2016.

Il progetto presentato utilizza una tecnologia, quella dei conci prefabbricati, oramai diffusa e consolidata in diverse parti del mondo.

Nello specifico dei viadotti lungo la RN77 sono state messe a frutto le esperienze, positive e negative, accumulate nella realizzazione di altri progetti ottenendo in questo modo una serie di vantaggi riassumibili in:

- contenimento dei costi di costruzione derivante dalla standardizzazione delle operazioni di prefabbricazione e varo;