

A span-by-span construction method employment for pre-cast segmental bridges

Un'applicazione degli impalcati costruiti con il metodo dei conci prefabbricati in c.a.p. appesi

G. Nati¹, M. Tanzillo¹

¹*Progettazione e Servizi Tecnici, Società Italiana per Condotte d'Acqua S.p.A., Rome, Italy*

ABSTRACT: The pre-cast segmental Scardina and Salvia viaducts under construction for the Siracusa-Gela motorway in Sicily are hereby presented. The aim of the design was not only to provide the best answer to the tender requests but also to optimize the deck quantities in conjunction with launching equipment costs and, in the meantime, improving the requested degrees of performance. After a brief introduction of the framework in which the activity is developed, the paper analyses: the precast segmental deck technology, in particular, the short-line match-cast method and its application to the Scardina and Salvia viaducts; the span-by-span launching technology employed; the vacuum grout injection technique for the bonded post-tensioning tendons and the tuning of a construction detail in order to minimize the risk of coupling duct sealing failure. / Questa memoria descrive un'applicazione della tecnica di costruzione di impalcati da ponte con conci prefabbricati coniugati in c.a.p., varati con la tecnica denominata "span by span" per i viadotti in costruzione Scardina e Salvia dell'autostrada Siracusa-Gela in Sicilia. Lo scopo del progetto è rispondere al meglio alle richieste di gara attraverso anche un'ottimizzazione delle quantità dei materiali costituenti l'impalcato e dei costi delle attrezzature di varo. La memoria mette anche in luce il dettaglio costruttivo adottato al fine di realizzare una perfetta tenuta tra le guaine nella sezione di accoppiamento delle facce coniugate dei conci, per garantire il sotto vuoto per le iniezioni dei cavi di precompressione.

KEYWORDS: pre-cast segmental, match cast, bonded tendon, vacuum injection / conci prefabbricati, getto coniugato, cavo aderente, iniezione sotto vuoto

1 INTRODUZIONE

Il lotto 7 del II tronco dell'autostrada Siracusa-Gela prevede la realizzazione di due viadotti, lo Scardina ed il Salvia, a carreggiate separate lunghe rispettivamente 629,0 m e 1474,0 m ciascuna. Le campate sono di luce pari a 54,0 m.

Nel luglio 2013, il Consorzio per le Autostrade Siciliane bandiva una gara per la realizzazione dei lavori relativi a tale lotto con il criterio di aggiudicazione dell'offerta economicamente più vantaggiosa. Il progetto esecutivo a base della gara prevedeva la realizzazione dell'impalcato dei due viadotti con conci prefabbricati di con il metodo "balanced cantilever" varati dal basso con l'ausilio di autogru.

Tra gli elementi tecnici di valutazione dell'offerta sono da mettere in evidenza i seguenti due criteri:

"b1) proposte e migliorie di materiali di finitura che garantiscono una maggiore mobilità e sicurezza in esercizio anche al fine di minimizzare gli interventi di manutenzione ed i relativi costi;"

"b2) ottimizzazione delle attività di cantiere e del piano di gestione delle materie al fine di ridurre le interferenze con la viabilità locale, le zone urbanizzate e i periodi di maggior esodo."

Nell'ambito del primo criterio non erano ammesse migliorie che alterassero l'architettura delle singole strutture e delle opere nel loro insieme nonché migliorie che alterassero la posizione, la forma e gli ingombri delle singole opere o di parti delle stesse.

Nell'ambito del secondo criterio veniva richiesto specificatamente di descrivere i metodi esecutivi che l'impresa intendeva adottare per la prefabbricazione ed il varo dei conci.

La Società Italiana per Condotte d'Acqua, in raggruppamento con l'impresa Cosedil, rispondendo al bando di gara e nel rigoroso rispetto delle richieste del disciplinare, proponeva per l'impalcato dei viadotti, le seguenti migliorie tecniche:

1) l'incremento della qualità dei calcestruzzi da 45 MPa a 60 MPa;

- 2) la variazione della lunghezza dei conci prefabbricati da 3,25 m a 4,0 m;
- 3) la prefabbricazione degli elementi con la tecnologia “short line match cast” su tre linee di produzione;
- 4) il varo dei conci prefabbricati con il metodo denominato “span by span” calibrato al fine di sollecitare in modo più equilibrato l’impalcato ed il carrovaro;
- 5) la realizzazione delle iniezioni dei cavi di precompressione con la tecnologia del sotto vuoto.

Ad aprile 2014 il Raggruppamento d’Imprese risultava vincitore della gara e conseguentemente gli venivano aggiudicati i lavori di realizzazione.

2 LA METODOLOGIA DEI CONCI PREFABBRICATI

Le prime applicazioni della tecnologia dei conci prefabbricati avvennero in Francia nell’immediato dopoguerra, ma il metodo si estese subito in tutta l’Europa ed approdò in America negli anni Sessanta dove ebbe poi una fortissima espansione.

Tale tecnologia, per i viadotti di media-grande luce, presenta indubbi vantaggi quali velocità di costruzione, un’estetica migliorata, un elevato standard di qualità degli elementi ed un impatto del cantiere molto contenuto. Presenta, però, l’inconveniente di non avere acciaio ordinario

passante nei giunti tra conci prefabbricati, talché rotture fragili della sezione potrebbero accadere o per eccessivi sovraccarichi o per carenza di portata della precompressione. Proprio la corrosione di alcuni cavi di precompressione, non correttamente iniettati, portò agli inizi degli anni Novanta al crollo di un ponte in Inghilterra e a una moratoria per alcuni anni della tecnologia in quel Paese. Tale fatto, in Italia, ebbe l’effetto di indurre RFI a prescrivere sulle proprie istruzioni per i ponti ferroviari, che tale tecnologia di norma, non era ammessa. Oggi, però, riferendoci alla precompressione solidale, la tecnologia delle iniezioni sotto vuoto, con le sue procedure applicative, ha praticamente annullato quest’ultimo rischio, rendendo il cavo di precompressione totalmente aderente e protetto.

Sostanzialmente, due sono i metodi di prefabbricazione dei conci, il “long line” e lo “short line”, ed entrambi realizzano un “match cast”: le facce degli elementi che appartengono allo stesso giunto, sono una cassaforma dell’altra, in modo da garantire un perfetto accoppiamento. Il metodo “long line” realizza gli elementi su una dima che riproduce l’intradosso dell’impalcato di un’intera o semi campata, su cui corrono i due fianchi della cassaforma. Il metodo “short line”, invece, ha, su ciascuna linea di produzione, due conci: quello in esecuzione e quello precedentemente eseguito che funge da stampo. (Fig. 1 e 2)



Figure 1. Precast segment fabrication lines / Le tre linee di prefabbricazione.

3 UN'APPLICAZIONE DELLA TECNICA DI VARO DENOMINATA "SPAN BY SPAN"

In Italia fino ad oggi, per il varo dei conci prefabbricati si è sempre adottato, come pure il progetto a base di gara prevedeva, il metodo del "balanced cantilever", che è quello di varare i conci, dal basso con l'utilizzo di un'autogru o dall'alto con l'ausilio di un carrovaro, procedendo progressivamente, in modo simmetrico, a sbalzo dalle pile. Una volta terminato il varo della doppia semicampata, si collega quest'ultima al tratto precedentemente completato con un concio di impalcato gettato in opera. Questa metodologia di varo, che vede prima l'assemblaggio dei conci con uno schema statico a mensola simmetrica, di lunghezza pari alla semiluce delle campate, per poi realizzare la continuità strutturale con le campate adiacenti, prevede un importante cambiamento di schema statico tra la fase costruttiva e quella finale dell'opera, con conseguente impiego di grandi quantità di precompressione.

Trovandosi di fronte alla realizzazione di oltre quattro chilometri di impalcato, al fine di essere maggiormente competitiva in fase di gara, Condotte, forte del suo *know how* maturato nello specifico in commesse all'estero (Fig. 3), ha deciso di realizzare un forte investimento nelle attrezzature di varo ed



Figure 2. The conjugate segment in position / Il concio di cassero in posizione.



Figure 3. Bridge over Chesapeake and Delaware Canal – Virginia – USA / Ponte sul Canale Chesapeake e Delaware – Virginia – Usa.

offrire la tecnologia dei conci appesi, in modo da poter ottimizzare le quantità dei materiali necessari per l'impalcato.

Durante le analisi sviluppate in fase di gara per il dimensionamento dell'impalcato si è ragionato sull'ottimizzazione della lunghezza dei conci, tenendo conto della prefabbricazione, del trasporto e del varo degli stessi nonché della riduzione del numero di giunti. Inoltre, si è analizzata la possibilità di adottare una soluzione più bilanciata che prevedesse la campata in assemblaggio avanzata con qualche concio a sbalzo dalla pila. (Fig. 4 e 5).

Una volta ricostruite tutte le fasi di varo ed accertata la correttezza sia della lunghezza dei conci adottata che della metodologia di costruzione, si sono analizzate le sollecitazioni dell'impalcato durante le fasi costruttive. Si è riscontrato per



Figure 4. Cantilever precast segments / Conci a sbalzo dalla pila.

l'impalcato uno schema statico pressoché identico a quello finale, con una conseguente significativa ottimizzazione dei materiali costituenti, soprattutto in termini di quantità di acciaio per la precompressione e relative testate di ancoraggio e fasi di tesatura, a tutto vantaggio anche dei tempi di assemblaggio della campata. Anche per il carovaro si è ottenuta una significativa riduzione del peso di acciaio, rispetto ad una soluzione in cui il carico dell'intera campata è distribuito tra due appoggi.

4 LA TECNICA DELLE INIEZIONI SOTTO VUOTO

Come abbiamo visto nel capitolo 2, il successo della tecnologia dei conci prefabbricati con precompressione aderente, in termini di garanzia della vita utile attesa, è legato ad una corretta esecuzione delle iniezioni dei cavi di precompressione, realizzando, in modo continuo lungo tutto l'impalcato, una perfetta aderenza dei cavi con la sezione in c.a. ed eliminando qualsiasi presenza di vuoti.

Proprio per questo motivo, già in sede di gara, si è offerta la tecnologia delle iniezioni dei cavi di precompressione, mediante boiaccia cementizia, con le guaine in depressione. Al fine di minimizzare i rischi d'insuccesso, si sono adottate procedure operative internazionalmente adottate e le Raccomandazioni AICAP "installazione dei componenti di sistemi di post-tensione: qualifica delle organizzazioni specialistiche e del loro personale".



Figure 5. Span assembling process / Campata in assemblaggio.

Ci si è però anche preoccupati di fare in modo che l'accoppiamento tra le guaine sulle facce coniugate dei conci garantisca la tenuta al fine di avere la richiesta depressione lungo le guaine.

A tal fine si è studiato e messo a punto un dettaglio che sulla faccia del cono di cassero realizza un incavo nell'intorno del foro della guaina, dove, prima di spalmare la resina per l'accoppiamento, viene alloggiato e fissato un O-ring di gomma. (Fig. 6).

L'O-ring ha uno spessore più piccolo dell'incavo in cui alloggia e fuoriesce di qualche millimetro dalla faccia del cono. In questo modo, quando i conci dopo la spalmatura vengono accoppiati e la sezione precompressa con le barre provvisorie, la gomma può schiacciarsi sull'altra faccia garantendo la tenuta alla depressione in quella sezione.



Figure 6. O-ring detail / Dettaglio dell'O-ring.

5 CONCLUSIONI

La lunghezza degli impalcati da realizzare ha fatto preferire, ai fini di un'ottimizzazione dei costi finali, la tecnologia "span by span" in luogo della "balanced cantilever". Infatti, i notevoli maggiori costi iniziali delle attrezzature di varo sono stati ripagati sia dai risparmi delle quantità di materiali che dalla velocizzazione delle fasi di varo per avere un'unica fase di tesatura per la campata. In particolare, come ordine di grandezza, si sono risparmiati a metro quadrato di impalcato: per i calcestruzzi 0.10 m³, per l'acciaio ordinario 13.0 Kg e per quello armonico 8.0 Kg.

Due to the overall deck length to be built and in order to optimize the girder cost, the "span by span" technology has been selected instead of the "balanced cantilever" one. The reduction in terms of material quantities and of the number of span prestressing phases have profitably refunded the greater initial expense for the launching equipment. The gross savings per square meter of the deck are: 0.10 m³ concrete, 13.0 Kg reinforcement and 8.0 Kg strand.

Committente: Consorzio per le Autostrade Siciliane

Impresa: Co.Si.Ge. S.c.ar.l. Società Consortile tra la Società Italiana per Condotte d'Acqua S.p.A. e Cosedil S.p.A.

Project Manager: Ing. G. Irace prima, Ing. A. Lazzarotto poi.

Studio in gara ed ingegneria di costruzione: Ingg. G. Nati e M. Tanzillo – Condotte S.p.A.

Progetto costruttivo dell'impalcato: Prof. Ing. F. Braga – Pro. Ge. 77 S.r.l.

Messa a punto delle attrezzature di prefabbricazione e varo: Ing. T. Dammacco ed Arch. D. Nati – Condotte S.p.A.

Fornitura casseforme: Ninive Casseforme S.r.l.

Fornitura attrezzatura e carrovaro: Eden Technology S.r.l.

Subappalto di sola esecuzione dell'impalcato: Spic S.r.l.

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. G. Sceusa – C.A.S.

Direzione Lavori: Ing. G. Genovese – Technital prima, Ing. A. Puccia – C.A.S. poi

Collaudatori: Ing. M. Sessa, Arch. M. Avagnina, Ing. R. Fabrizi