

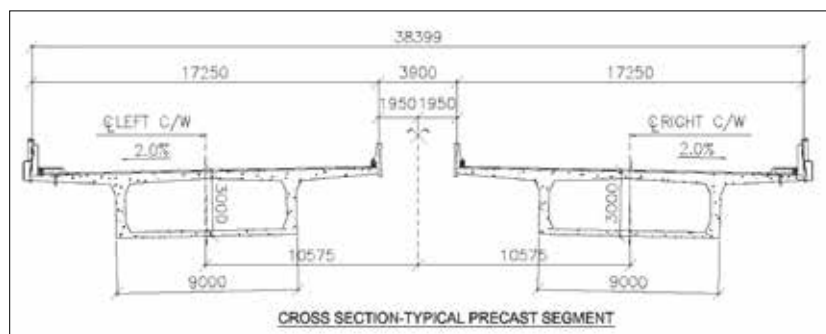
# OPERE A SCAVALCO ITALIANE NELLE GOLE OMANITE

**LA REALIZZAZIONE DI QUATTRO HIGH WADI BRIDGES NEL SULTANATO DELL'OMAN HA PERMESSO DI METTERE IN EVIDENZA IL LIVELLO DELL'INGEGNERIA ITALIANA**

**L'**ingegneria italiana, in particolar modo quella relativa alla progettazione e costruzione di ponti e viadotti, è stata ancora una volta protagonista al di fuori dei confini nazionali: ci riferiamo qui alle fasi di realizzazione e costruzione di quattro viadotti High Bridges particolarmente impegnativi realizzati nella catena montuosa a Sud-Ovest di Muscat, Capitale del Sultanato dell'Oman.

Il lavoro, commissionato nel 2013 al Consorzio italo-turco AOJV, è consistito nella realizzazione di circa 40 km di autostrada in attraversamento di una catena montuosa desertica con il compito di migliorare il collegamento tra la Capitale e il porto di Sur, destinato a diventare il principale porto per navi portacontainer dell'Oman.

Le problematiche legate alla difficoltà del sito e alle altezze delle gole da "scavalcare" hanno convinto il Consorzio e il Committente a formulare e affidare un incarico specifico per i ponti in questione da realizzarsi in calcestruzzo armato precompresso con metodo a conci prefabbricati coniugati ad avanzamento bilanciato a sbalzo (Balanced Cantilever Method), una metodologia mai utilizzata prima d'ora in Oman.



1. La sezione d'impalcato tipica

La gara in questione è stata vinta dall'Impresa Rivoli SpA, specializzata nella realizzazione di ponti e viadotti in calcestruzzo armato precompresso e si è avvalsa della consulenza specifica della Società di Ingegneria IPMSrl.

## DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le quattro opere in oggetto sono a scavalco di gole (Wadi) periodicamente soggette a inondazioni in seguito a eventi meteorologici molto concentrati; tali opere sono state progettate su due carreggiate indipendenti (Figura 1).

I ponti sono costruiti a campate continue con luci di 90,00 m per le campate centrali e di 60,00 m per quelle laterali, aventi sezione a cassone di larghezza pari a 17,25 m e altezza variabile da 3,00 m a 5,00 m e caratterizzati da pile mono-fusto a sezione scatolare per gran parte dell'altezza, per poi diventare a bilama nella parte sommitale, aventi altezze variabile, con massimo di 100 m (Figura 2).

Le fondazioni delle pile e delle spalle sono state realizzate a zattera su pali trivellati di medio diametro in roccia (Figura 3).

Per la realizzazione delle pile sono stati utilizzati dei casseri rampanti guidati con rampata massima di 5 m; per il testa-pila, realizzato in opera, sono state utilizzate delle piattaforme ricavate dai casseri rampanti.

Per la prefabbricazione dei circa 1.300 conci, necessari alla realizzazione di tutti gli impalcati, è stato progettato e realizzato, presso la localizzazione delle opere, un centro di produzione composto da quattro short-line in grado di prefabbricare i conci con il metodo della "coniugazione". Una volta prodotti, i conci (del peso massimo di 120 t) sono stati trasportati in corrispondenza delle due spalle da dove sono stati varati mediante un carro-varo (Figure 4A e 4B) progettato



2. Le pile



3. Le fondazioni delle pile

e realizzato ad hoc per queste opere. L'avanzamento ha previsto il montaggio con incollaggio mediante resina dei conci e il fissaggio "temporaneo" mediante barre di post-tensione, quindi l'infilaggio dei trefoli nei cavidotti per la post-tensione "permanente" dei cavi con martineti a testata multi-trefolo.

### LA QUALITÀ E IL CONTROLLO DEGLI ERRORI COME SOLUZIONE VINCENTE

Una delle peculiarità che hanno contraddistinto l'opera e che ha reso vincente il progetto di Rivoli SpA e IPM Srl è stato l'elevato livello del sistema di qualità implementato per tenere sotto controllo tutto il processo, dalla produzione alla esecuzione e montaggio.

Il sistema di avanzamento mediante conci prefabbricati coniugati ha richiesto un rigoroso controllo degli errori, sia in fase produttiva che in fase di installazione. Il processo di analisi degli errori è stato quindi abbinato ad un processo di correzione e compensazione degli stessi già in fase produttiva. Questo ha permesso di ottenere un efficace controllo degli aspetti deformativi durante gli avanzamenti e di raggiungere "facilmente" l'obiettivo di garantire il rispetto delle livellette di progetto rimanendo nelle "strettissime" tolleranze imposte dalla direzione lavori. Qui ha giocato un ruolo fondamentale la modellazione numerica dell'opera nelle sue diverse fasi.

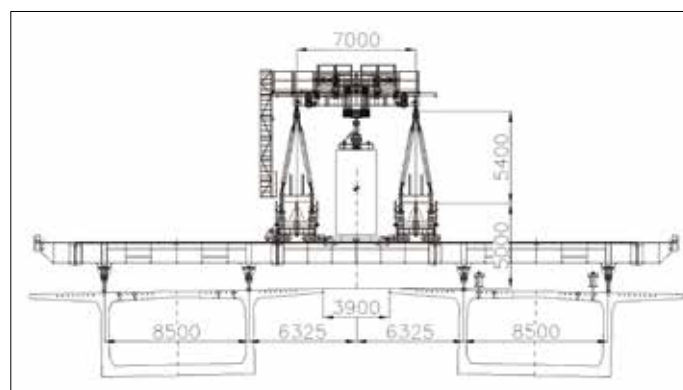
### LA MODELLAZIONE E L'ANALISI PER FASI COSTRUTTIVE E LE CONDIZIONI DI ESERCIZIO

L'intera progettazione è avvenuta mediante consolidate tecniche di modellazione FEM, utilizzando i codici di calcolo SAP2000 e CSiBridge, distribuiti da CSi Italia.

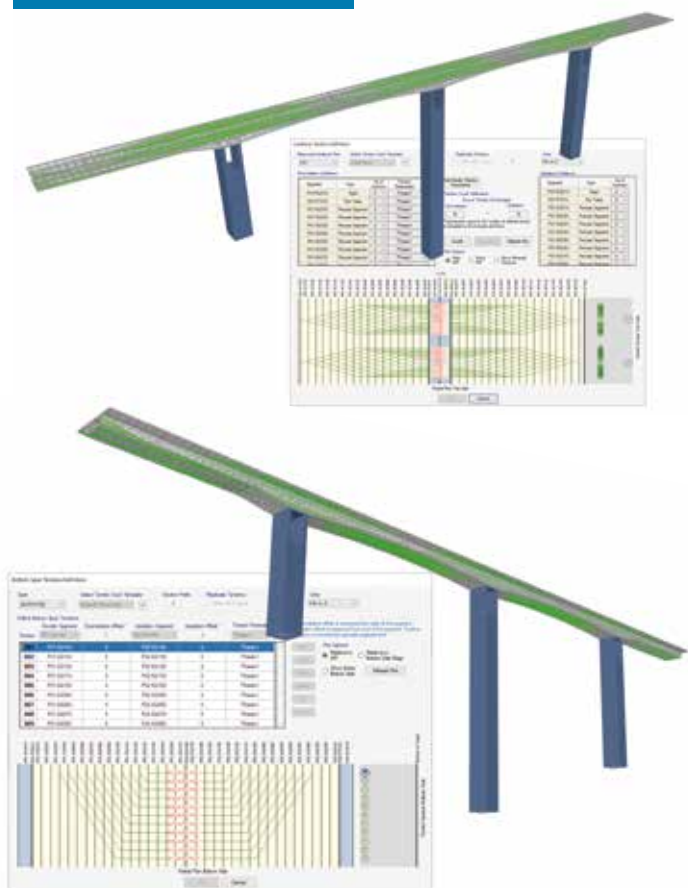
Si è proceduto alla modellazione di dettaglio dell'opera in CSiBridge, dove è presente la possibilità di trattare i segmental bridge in modo parametrico, consentendo di discretizzare sia i diversi conci che tutti i cavi di post-tensione necessari alla fase costruttiva e per la condizione d'esercizio (Figure 5A e 5B).

Quello che rende particolare l'aspetto computazionale è che la modellazione numerica di un'opera del genere non si esaurisce nelle fasi di progettazione: in questo caso un grandissimo lavoro di predizione e di adattamento delle fasi costruttive, con relativa correzione, è stato reso possibile portando i comuni strumenti di calcolo "dentro" il cantiere. Le fasi costruttive, le correzioni dei conci, le operazioni di tesatura sequenziale sono frutto di un aggiornamento

continuo del processo analitico, fino al compimento dell'opera, reso possibile grazie a modelli matematici sofisticati, ancorché modificabili interamente per via parametrica (Figura 6).



4A e 4B. Il carro varo



5A e 5B. La modellazione FEM: l'inserimento parametrico dei cavi di PT dei cantilever (5A) e degli inferiori (5B) (CSiBridge)

## I TEMPI DI REALIZZAZIONE

Le opere relative alla realizzazione dei ponti, subappaltate nel 2013, sono iniziate nel 2014 e terminate nel 2017, mentre l'autostrada è stata inaugurata nel 2019.

L'utilizzo di conci prefabbricati ha consentito di realizzare l'impalcato di un singolo ponte (circa 320 conci) in sei mesi (Figura 7). ■



6. Lo studio della fase costruttiva con sequenza di tiro e calibratura (CSiBridge)

- (1) Ingegnere Direttore Tecnico di IPM Engineering
- (2) Ingegnere, Specialista di ponti di IPM Engineering
- (3) Ingegnere di CSi Italia Srl

## DATI TECNICI

**Stazione Appaltante:** Ministro dei Trasporti e delle Comunicazioni del Sultanato dell'Oman

**Contraente Generale:** Astaldi-Özkar JV (AOJV)

**Sub Appaltatore Ponti:** Rivoli SpA

**Project Manager Ponti:** Ing. Leonardo Cappi della IPM Engineering

**Consulenza specialistica Progettazione ed Esecuzione viadotti:** Ing. Leonardo Cappi e Ing. Marco Pizzini della IPM Engineering

**Direzione Lavori:** Dar Al Handasah

**Importo dei lavori relativo ai ponti:** 67.000.000 Euro

**Durata dei lavori:** 36 mesi

**Data di consegna:** 2014

**Data di ultimazione:** 2017

7. Il ponte completato

