

## IL PONTE STRALLATO SUL FIUME OKAVANGO

### OKAVANGO RIVER BRIDGE IN MOHEMBO VILLAGE

Paolo Maestrelli,  
Simone Varni, Marco Chinchio  
Seteco Ingegneria S.r.l. – C.so Aurelio Saffi 1C  
Genova  
ufficiotecnico@setecoge.it

#### ABSTRACT

The new bridge crossing the Okavango River is a 1161 m long steel-concrete upper way bridge, divided into three different structural parts: the two approach bridges are continuous girder, with a total length of 110.5 m left bank side and 560.5 m right bank side, and the cable-stayed bridge crossing the navigable part of the Okavango River with five spans (43.7m-100m-200m-100m-43.7m). Of these, the first and last ones are statically simply supported while the central part is supported by 36 couples of parallel wire stays, 10m spaced along the deck; they are connected to a pair of steel towers, 43m high, with a characteristic “elephant's tusk-shaped”, which can be fully inspected by inside.

The cross section of the deck is constant throughout the development of the bridge. The total width of the deck slab is 12.4m, 7.3m of carriageway, supported by two main steel girders in double T section spaced by 6.2m, with a constant height of 2m, and a secondary girder along the bridge axis supported by the diaphragms.

This report describes both the design solutions adopted, and the construction procedures used the different parts of the bridge. While large-capacity cranes were used for the construction of the approach bridges, the towers and part of the cable-stayed structure, for the central portion of the 200m span, pontoons were used for the advancement in cantilever and for the mid-span closure of the deck.

#### SOMMARIO

Il nuovo ponte sul fiume Okavango è un impalcato in sezione mista a via superiore lungo 1161 m, suddiviso in tre distinte porzioni strutturali: le due rampe di accesso a travata continua, di lunghezza complessiva 110.5 m per la riva sinistra e 560.5 m per la riva destra, ed un ponte strallato

nella zona di attraversamento del fiume Okavango a cinque campate in schema di trave continua (luci 43.7m-100m-200m-100m-43.7m). Di queste, la prima e l'ultima sono in schema di semplice appoggio mentre il tratto centrale è sostenuto da 36 coppie di stralli a fili paralleli, a passo 10m sull'impalcato; questi sono collegati ad una coppia di antenne in acciaio, di altezza 43m, con una caratteristica forma a "zanna di elefante", interamente ispezionabili al loro interno.

La sezione trasversale dell'impalcato è costante per tutto lo sviluppo dell'opera. La larghezza totale della soletta è di 12.4m, di cui 7.3 carrabili, sorretta da due travi principali in acciaio con sezione a doppio T ad interasse di 6.2m, di altezza costante pari a 2m, ed una trave di spina in asse tracciato appoggiata sui traversi.

Nella presente memoria sono descritte sia le soluzioni progettuali adottate per le varie porzioni del ponte, sia le procedure di montaggio per la realizzazione dell'opera. In particolare, si vedrà come per la costruzione delle rampe di approccio, della coppia di antenne e parte dell'impalcato strallato siano state impiegate gru di grande portata mentre, per le porzioni centrali delle campate da 200m, si siano impiegati pontoni per l'avanzamento a sbalzo e la chiusura in mezzera dell'impalcato.

## 1 OKAVANGO RIVER BRIDGE – INQUADRAMENTO DELL'OPERA

L'Okavango River Bridge in Mohembo Village (Botswana) è un viadotto stradale e pedonale di attraversamento del fiume Okavango, immediatamente prima che questo si apra nel suo famoso delta, uno degli ecosistemi più insoliti del pianeta e patrimonio UNESCO.

L'opera nasce dall'esigenza di collegare i territori posti sulla sponda sinistra del fiume (lato Seronga) con la direttrice principale che costeggia la sponda destra. Prima del completamento del viadotto era possibile raggiungere questi paesi solamente mediante un'imbarcazione in grado di traghettare un paio di veicoli per volta da una parte all'altra del fiume. Per questi territori, che già ospitano alcune riserve naturali, il governo del Botswana ha pianificato diverse opere infrastrutturali che ne consentano un rapido sviluppo di attività turistiche, sempre più ricercate.

L'opera è stata realizzata dalla JV formata da Itinera S.p.A e Cimolai S.p.A.

Seteco Ingegneria S.r.l. ha affiancato entrambe le imprese per la progettazione esecutiva delle strutture metalliche, delle opere civili di fondazione, pile e spalle; inoltre, si è occupata della progettazione delle fasi di montaggio della carpenteria metallica oltre ad altre opere accessorie di sistemazione idraulica del cantiere.



Fig. 1. Okavango River Bridge - Vista d'insieme della struttura completa

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA E CONSIDERAZIONI DI PROGETTO

Il ponte in oggetto si presenta come un impalcato a struttura mista a via superiore.

Le rampe di approccio (3 campate in riva sinistra ed 11 in riva destra) presentano campate di riva di luce  $L=37.5\text{m}$  e campate tipiche da  $45\text{m}$ .

Il ponte strallato è composto da cinque campate di luci  $43.7\text{m}-100\text{m}-200\text{m}-100\text{m}-43.7\text{m}$ .

Le tre campate centrali sono sostenute da 36 coppie di stralli a fili paralleli, a passo  $10\text{m}$  sull'impalcato e collegati ad una coppia di antenne in acciaio, di altezza  $43\text{m}$ .



**Fig. 2.** Profilo dell'impalcato strallato a termine dei lavori

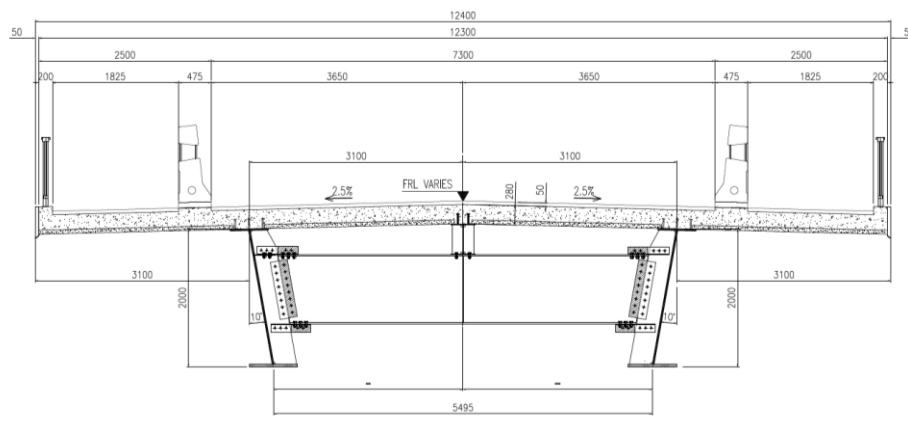
La sezione trasversale dell'impalcato, costante per tutto il viadotto, è composta da due travi metalliche ad anima inclinata alte  $2\text{m}$  con aggiunta di trave di spina centrale.

Le travi hanno un interasse superiore di  $6.1\text{m}$  e le anime hanno un'inclinazione di  $10^\circ$ .

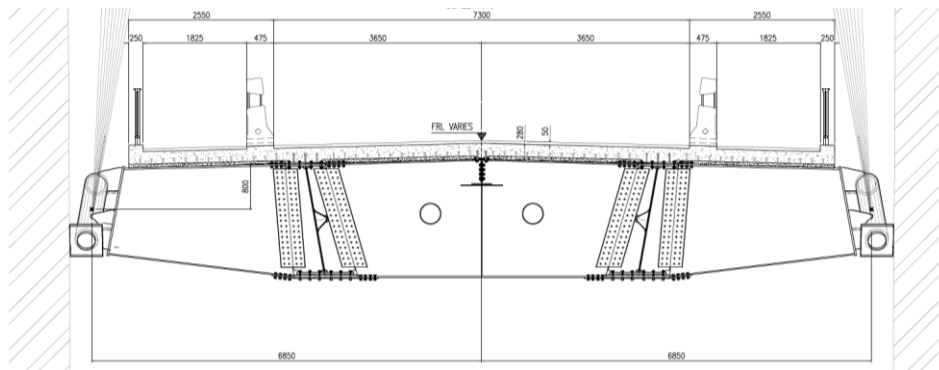
La piattaforma stradale è composta da una carreggiata in asse impalcato di larghezza  $7.3\text{m}$  (una corsia per senso di marcia) e due marciapiedi ai lati, ciascuno di larghezza  $1.825\text{m}$ . Completano la sezione trasversale i sistemi di protezione della carreggiata in calcestruzzo gettato in opera (tipo New Jersey) ed i cordoli esterni a sostenere i parapetti.

La soletta in calcestruzzo armato, di spessore costante pari a  $28\text{cm}$ , è gettata su predalle prefabbricate in c.a. poggiate sulle piattabande superiori di travi e trave di spina e collegate ad esse mediante connettori tipo 'Nelson'.

Una serie di traversi a parete piena in doppio T composto saldato collega le travi e supporta la trave di spina con un passo fino ad un massimo di  $5.85\text{m}$ .



**Fig. 3.** Sezioni trasversali di Progetto: sezione tipica



**Fig. 4.** Sezioni trasversali di Progetto: sezione su traverso di strallo

I traversi di strallo sull'impalcato sono composti da coppie di profili piolati alla soletta ed inferiormente controventati all'interno delle travi principali; le mensole esterne sono invece formate da cassoni chiusi scatolari ad altezza variabile.

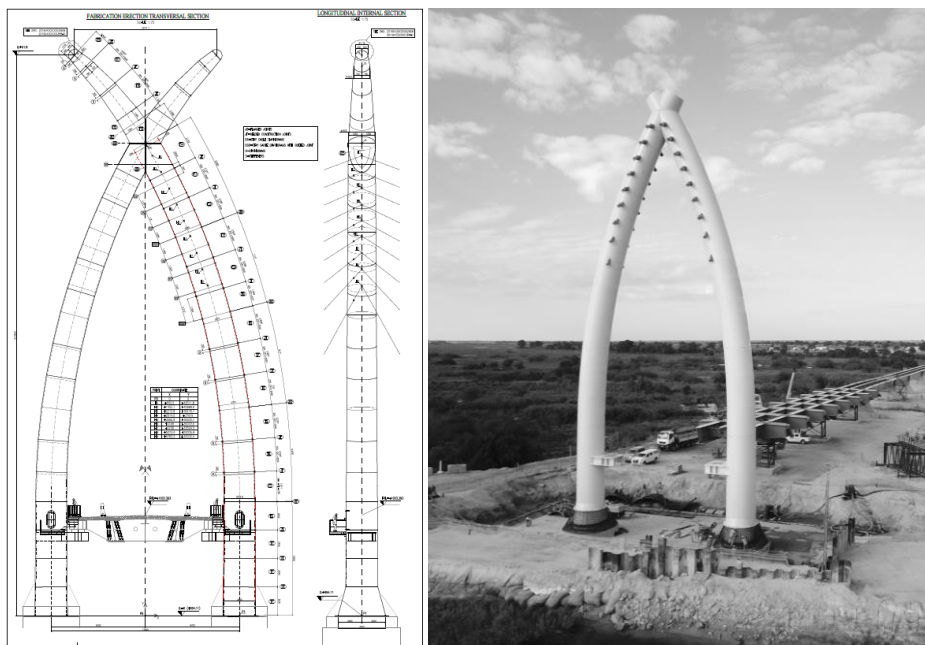
Le difficoltà di raggiungimento del cantiere, unite alla necessità di formare la manodopera locale, hanno spinto la progettazione verso soluzioni strutturali in grado di semplificare le attività di assemblaggio in cantiere.

Per motivi di realizzabilità e di trasporto, le travi sono state realizzate in conci di lunghezza massima pari a circa 12 m e tutte le giunzioni in cantiere (travi, antenne, elementi secondari) sono realizzate mediante bullonatura con bulloni HRC.

Lo schema di appoggio dell'impalcato strallato è garantito da appoggi classici POT multidirezionali ed appoggi unidirezionali trasversali su una delle due travi. In asse alle antenne non sono presenti vincoli verticali bensì solamente vincoli ai carichi orizzontali trasversali e longitudinali; il vincolo fisso agli spostamenti longitudinali è posto sull'allineamento di Torre 2 (lato sponda destra).

Le rampe di approccio invece sono poste integralmente su vincoli elastomerici, in modo da limitare l'impatto dei carichi orizzontali sulle sottostrutture.

Le antenne sono poste sulle due rive della parte navigabile del fiume ed hanno una caratteristica forma a "zanna di elefante"; due elementi tubolari di diametro variabile da un massimo di 3m fino ad un minimo di 1.5m affiancano l'impalcato per unirsi in sommità a formare un arco a sesto acuto. Completano la caratteristica forma due estremità con funzione estetica, a simboleggiare le punte delle zanne di elefante.



**Fig. 5.** A sinistra l'assieme di Progetto dell'antenna, a destra una foto in fase di montaggio

Alla base le antenne presentano un allargamento in direzione longitudinale per migliorarne la capacità nella sezione di incastro.

Il collegamento alle sottostrutture è realizzato mediante l'impiego di 66 barre Macalloy 1030 di diametro M50 poste su due corone, all'interno ed all'esterno della sezione.

Poiché la connessione al piede risulta allagabile, è stato previsto un getto di ricoprimento della base dell'antenna fino ad un'altezza di 2m dal piano di imposta delle piastre di base.



**Fig. 6.** Dettaglio dell'incastro di base delle antenne in fase di montaggio ed a montaggio completo

### 3 CANTIERIZZAZIONE E MONTAGGIO

Le aree di cantiere in corrispondenza delle campate di approccio sono stagionalmente allagate dal corso del fiume rendendo la zona impraticabile ai mezzi per le operazioni di montaggio. Per poter ovviare a questa problematica è stato realizzato un rilevato provvisorio lungo il tracciato definitivo che consentisse di operare all'asciutto per la realizzazione delle fondazioni e delle opere civili oltre a consentire il preassemblaggio a terra delle campate metalliche.



**Fig. 7.** Foto aerea delle aree di cantiere rispettivamente lato Torre 1 (sx) e lato Torre 2 (dx)

I rilevati provvisori hanno quindi consentito il montaggio delle rampe e delle prime campate del ponte strallato fino alle antenne; anch'esse montate in rilevato.

Considerata la ridotta luce delle campate di approccio è stato possibile prevedere una campagna di sollevamenti, campata per campata, utilizzando gru di grande portata (da 150ton a 200ton), limitando in numero dei giunti in quota ed evitando la necessità di prevedere pile provvisorie intermedie.

Per il montaggio dei conci dell'impalcato nella campata navigabile si è dovuto procedere diversamente. I conci completi di coppelle prefabbricate sono stati portati in quota mediante l'utilizzo di un pontone. Poiché le variazioni altimetriche stagionali del livello del fiume sono dell'ordine dei 2m, il pontone è stato equipaggiato di torri provvisorie e blocchi di calaggi modulabili in modo da gestire le variazioni altimetriche.

Un sistema di martinetti posti sulle pile provvisorie ha consentito le regolazioni necessarie al posizionamento del concio e l'esecuzione dei giunti. Il pontone era inoltre dotato di un sistema di ballastaggio, indispensabile per consentire lo scarico del concio e l'abbandono dell'imbarcazione.



**Fig. 8.** Banchina di carico del pontone per la movimentazione conci in alveo

Individuate le modalità di montaggio dello strallato, le fasi di installazione dei conci e di tesatura degli stralli sono state progettate in modo da condensare le attività di tesatura, che richiedono una manodopera maggiormente qualificata, nel più breve tempo possibile.

Le campate di riva dello strallato fino alle antenne sono state montate servendosi di 3 pile provvisorie per ciascun lato. Dopodiché su tali campate si è proceduto con l'installazione di tutti gli stralli a bassa tensione, prima di procedere con lo scalaggio delle pile provvisorie. Con la rimozione delle pile provvisorie ed il successivo montaggio dei conci in alveo gli stralli di riva avrebbero raggiunto il grado di tesatura atteso.



**Fig. 9.** Fase di pretesatura: rispettivamente lato Torre 1 (sinistra) e lato Torre 2 (destra)

Il montaggio dei conci in alveo invece è avvenuto in modo più convenzionale ovvero; connessione del concio ai precedenti, installazione del relativo strallo e successiva tesatura per recuperare la freccia elastica e portare la punta del concio a sbalzo sull'allineamento teorico di montaggio.



**Fig. 10.** Fase di montaggio in alveo: a sinistra la fase di movimentazione ed installazione del concio mediante il pontone, a destra la fase di tesatura della coppia di stralli

#### 4 CONCLUSIONI

La fasistica scelta per il montaggio dello strallato ha sicuramente agevolato le imprese nelle operazioni di cantiere, ma ha reso più difficile il controllo delle geometrie, rispetto ad un più usuale montaggio a sbalzo procedendo in maniera simmetrica rispetto alla torre.

Il motivo della maggiore aleatorietà delle rilevazioni è legato al fatto che, operando con stralli a bassa tensione (1-1.5 ton a trefolo), è da tenere in conto la non linearità del modulo elastico degli stralli, dovuti all'effetto catenaria, non solamente in fase di tesatura dello strallo stesso, ma anche durante tutte le fasi di montaggio.

Nel grafico riportato in figura 11 si può notare che la curva di variazione del modulo elastico, ottenuta secondo la EN1993-1-11 (§5.4.2), presenti due asintoti orizzontali.

L'asintoto superiore è quello prossimo al raggiungimento del modulo elastico di progetto, limite oltre cui è possibile trascurare effetti dovuti alla non linearità del materiale.

Il secondo è presente invece a bassissime tensioni: nelle fasi di pre-tesatura i carichi erano prossimi a quest'ultimo, rendendo quindi più difficile cogliere il comportamento complessivo del sistema stralli delle campate di riva.

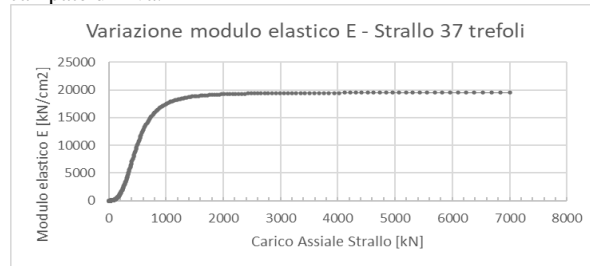


Fig. 11. Variazione modulo elastico al variare del carico sullo strallo

Nonostante queste difficoltà il montaggio ha rispettato i valori di deformata e tesatura attesi in tutte le fasi. Si è reso necessario intervenire una seconda volta su alcuni stralli, specie quelli nella campata di riva a seguito dello scalaggio delle pile provvisorie, per correggerne il tiro ed allinearne la rigidezza a quanto previsto nei modelli di calcolo.

#### OKAVANGO RIVER BRIDGE: DATI SIGNIFICATIVI

- Sviluppo complessivo 1161 m
- Larghezza impalcato 12.4 m
- Numero di stralli 36, da 27,31,37 o 55 trefoli ciascuno
- Altezza antenne 43m
- Committente Roads Department Botswana
- Società costruttrice JV Itinera-Cimolai
- Progettazione esecutiva/montaggio SETECO Ingegneria S.r.l.

#### ACKNOWLEDGMENT

Si ringraziano le società Itinera S.p.A e Cimolai S.p.A per la gentile concessione delle immagini fotografiche riportate.

#### KEYWORDS

Okavango, ponte strallato, acciaio, sezione mista, antenne