

Cable Stayed Bridge on Avenida Ayrton Senna / Olympics Rio 2016

Ponte strallato su Avenida Ayrton Senna / Rio de Janeiro 2016

M. de Miranda¹

¹ *Studio De Miranda Associati, Milan, Italy – IUAV Istituto Universitario di Architettura di Venezia*

ABSTRACT: The article illustrates the Design and the Construction of the recently inaugurated Cable Stayed Bridge over Jacarépagua Lagoon in Rio de Janeiro. The Bridge is part of the new roadway built in the occasion of the Olympic Games 2016, that links the International Airport to the south-west district Barra da Tijuca. The total length of the bridge is 213.60m , it has a 24.6 m wide prestressed concrete deck, four concrete towers with triangular cross section and two planes of cable stays. The construction method of the deck was trough the cast in place of segments in balance, prestressed in two directions, each segment supported by two stay cables. The construction was completed on time in 20 months.

L'articolo riguarda il Ponte Strallato di recente inaugurazione che attraversa la laguna di Jacarépagua a Rio de Janeiro. L'opera fa parte del nuovo collegamento stradale tra l'Aeroporto Internazionale e il quartiere Barra da Tijuca, a sud-ovest della città. Il ponte ha una lunghezza complessiva di 213.60 m, con un impalcato in calcestruzzo armato precompresso di 24.6m di larghezza, quattro antenne con sezione trasversale triangolare, e due piani di stralli. Il metodo costruttivo adottato per l'impalcato è il getto in opera a sbalzo simmetrico dei conchi in calcestruzzo armato precompresso. La costruzione è stata completata nei tempi previsti, in un periodo complessivo di 20 mesi.

KEYWORDS: Cable Stayed Bridge; Prestressed Concrete, Construction Method,/ Ponte Strallato, Calcestruzzo precompresso, Metodo di costruzione



1 INTRODUZIONE

Una delle infrastrutture più importanti nel piano di sviluppo urbanistico di Rio de Janeiro in programma per le Olimpiadi Rio 2016 è il collegamento stradale veloce “Transcarioca” tra l’aeroporto internazionale Galeão, nella zona nord, e la Città Olimpica, situata a sud ovest. Il nuovo percorso stradale ha una corsia preferenziale per gli autobus Bus Rapid Transit (BRT) che permetterà, anche dopo l’evento sportivo, di diminuire il traffico nel centro della città, e creare un corridoio più rapido che trasporterà ogni giorno 320 mila persone lungo il percorso di 39 km, attraversando 27 quartieri. (Fig. 1).



Figura 1. Localizzazione del Ponte Strallato (in rosso) lungo il percorso “Transcarioca” che collega l’aeroporto Internazionale Galeão alla zona sud-ovest Barra da Tijuca, e alla Città Olimpica (in giallo) / Localization of the Cable Stayed Bridge (in red) along the “Transcarioca” path that links the International Airport to the south-west district Barra da Tijuca and to the Olympic Village (in yellow)

La Transcarioca attraversa, appena prima di arrivare alla Città Olimpica, la Laguna di Jacarepaguá, area preservata e ricca di vegetazione, che necessitava quindi di un attraversamento che compromettesse meno possibile l’ambiente circostante. La soluzione migliore, per evitare di intervenire all’interno della laguna con pile provvisorie o definitive, è risultata la costruzione di un Ponte Strallato, che consente di superare la grande luce con facilità e con uno spessore d’impalcato limitato a 1.90m, e che grazie al metodo costruttivo a sbalzo ha permesso di rispettare i limiti ambientali e di completare l’opera nei tempi previsti.

2 CONCEZIONE STRUTTURALE

Il ponte appartiene alla Avenida Ayrton Senna, che scavalca la Laguna di Jacarepaguá nella zona nord di Barra da Tijuca, nel municipio di Rio de Janeiro, nell’area della Città Olimpica. La volontà di preservare il più possibile l’area ricca di mangrovie ha indotto ad evitare di collocare pile e fondazioni in alveo, e ha suggerito di scavalcare la laguna senza appoggi intermedi. (Fig. 2)



Figura 2. Vista dall’alto del Ponte Strallato e della Laguna di Jacarépagua / View of the Cable Stayed Bridge and Jacarépagua Lagoon from above.

Il ponte ha tre luci con interassi degli appoggi pari a (39+130+39)m; la lunghezza totale del ponte è di 213.60m.

La struttura del ponte, ad eccezione dei due elementi metallici nelle antenne, di cui si parlerà in seguito, è interamente in calcestruzzo armato precompresso ed è formata dai seguenti elementi:

- un sistema di fondazioni basate su pali trivellati e blocchi in calcestruzzo armato;
- quattro pile principali su cui appoggia l’impalcato;
- quattro antenne, con sezione triangolare e profilo rastremato;
- un impalcato formato da due travi laterali a sezione piena, una serie di traversi ed una soletta;
- un sistema di stralli, ubicati in due piani verticali paralleli.

L’impalcato, gettato in opera concio per concio, porta sei corsie di marcia, inclusa la pista preferenziale per il passaggio degli autobus BRT, ed ha una larghezza totale di 24.60m.

L’impalcato è continuo tra le due spalle, quindi privo di giunti intermedi, ed alle estremità è dotato di due contrappesi che garantiscono l’equilibrio delle componenti verticali delle forze degli stralli per tutti i carichi frequenti, e di una serie di tiranti che garantiscono l’equilibrio anche per i carichi eccezionali allo stato limite ultimo.

La sezione trasversale dell’impalcato (Fig. 3) è formata da una coppia di travi longitudinali con forma trapezoidale con superfici laterali curve, che supportano una soletta di spessore differenziato nella campata centrale e nelle laterali, più corte, al fine di garantire l’equilibrio durante la costruzione, evitando flessioni nelle antenne; ogni concio è inoltre irrigidito con travi trasversali. La forma è di semplice esecuzione, con minima superficie esposta ed è risultata di buone caratteristiche aerodinamiche.

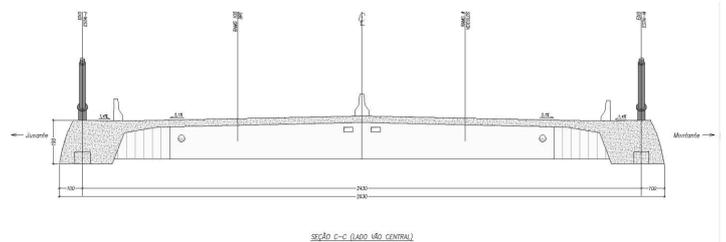


Figura 3. Sezione trasversale dell’impalcato / Deck cross section

La struttura dell’impalcato è precompressa sia longitudinalmente sia trasversalmente attraverso cavi longitudinali dislocati in guaine pre-annegate nel

calcestruzzo delle travi laterali, e cavi trasversali, alloggiati nei traversi.

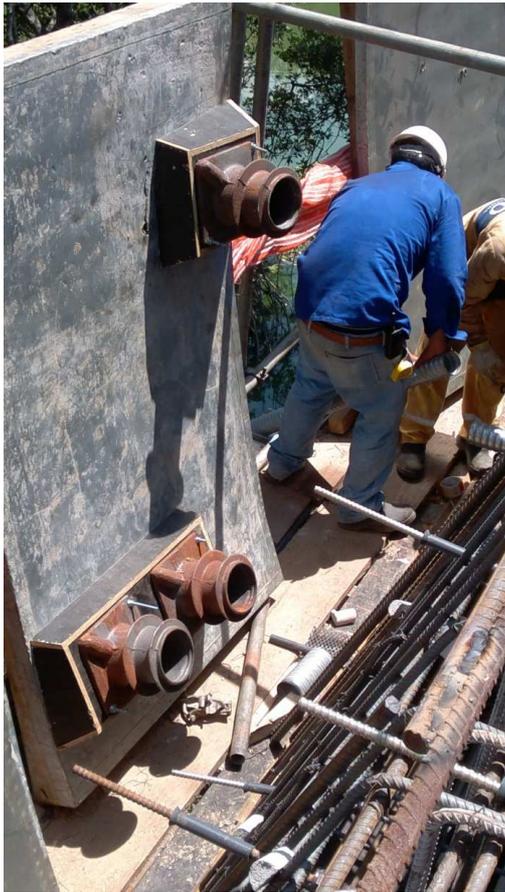


Figura 4. Cassero con ancoraggi dei cavi trasversali / Deck lateral formwork with transversal cable anchorages



Figura 5. Guaine e cavi trasversali / Ducts and transversal pre-stressing cables



Figura 6. Armatura della soletta e traliccio che sostiene il cassero / Deck reinforcement and launching formwork truss



Figura 7. Armatura della trave longitudinale / Deck longitudinal beam reinforcement

Per le *antenne*, ossia l'elemento formale di più diretta visibilità per gli utenti del ponte, l'idea era di realizzare, oltre che degli elementi strutturali efficienti, anche degli oggetti di buona qualità formale. Sono quindi state disegnate delle antenne affusolate e con sezione triangolare: essenziale, ma non banale.

Il problema tecnologico dell'ancoraggio degli stralli e del trasferimento delle loro forze alle strutture in calcestruzzo è stato risolto efficacemente utilizzando una *struttura metallica*, ubicata in sommità di ciascuna delle quattro antenne ed in esse inglobate, che ha permesso di contenere le dimensioni delle sezioni superiori di questi elementi, consentendo di realizzarne la forma desiderata, e di mantenere al tempo stesso l'uniformità formale del materiale.

Il montaggio di questi elementi, del peso di 23 tonnellate, è stata una delle fasi più interessanti della costruzione: sollevare un elemento metallico di questa mole, installarlo su una piastra ancorata sulla testa di un'antenna all'altezza di 30 metri, con tolle-

ranze minime di verticalità, può creare qualche esitazione.

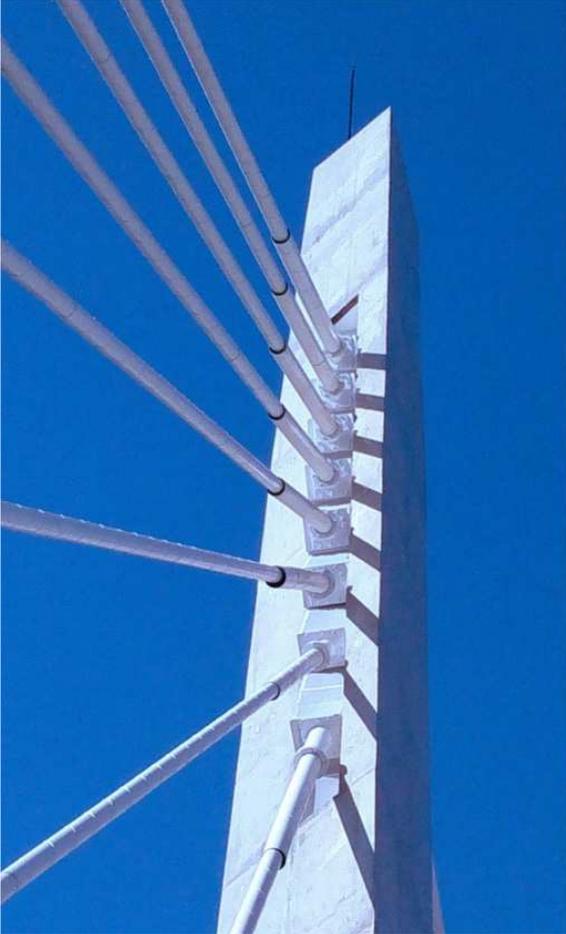


Figura 8. Antenna ed ancoraggi degli stralli / Tower and Cable Stays anchorage



Figura 9. Finitura dell'antenna in calcestruzzo/ Concrete tower finishing

Gli elementi, di lunghezza 12 metri e larghezza 3 m, sono arrivati in cantiere su tir per trasporti eccezionali, e poi sollevati e ruotati in posizione verticale con una coppia di autogrù. Durante primo giorno di sollevamento le operazioni sono state interrotte a causa del forte vento, che non avrebbe permesso di effettuare l'installazione dell'elemento in totale sicurezza, ma il giorno successivo si è riusciti a portare a termine l'operazione senza ostacoli.



Figura 10. Sollevamento dell'elemento metallico con autogrù / Steel tower element lifting with crane



Figura 11. Opere di finitura sugli elementi metallici delle antenne / Finishing on steel towers elements

Gli *stralli* sono realizzati con trefoli paralleli e protetti con una guaina in polietilene ad alta densità, e sono stati installati con la seguente modalità:

- Posizionamento degli ancoraggi e dei tubi forma nell'impalcato con le inclinazioni di progetto, con minime tolleranze; questa fase è spesso critica ed ha richiesto un preciso studio della procedura di collocazione, controllo dell'inclinazione e fissaggio alle cassature;
- Sollevamento della guaina tramite gru;
- Fissaggio della guaina sull'antenna e sull'impalcato, lasciando all'estremità inferiore uno spazio per poter passare i trefoli;
- Installazione e ancoraggio dei trefoli all'estremità superiore e tensionamento inferiore con forza iniziale minima;
- Tensionamento fino alla forza di progetto;
- Chiusura del tubo anti vandalismo.

Questa operazione ha richiesto all'inizio della costruzione circa otto ore di lavoro per ogni strallo, ridotte a quattro verso la fine dell'opera.



Figura 12. Fase di installazione dei trefoli sull'impalcato. Il tubo anti vandalismo rimane sollevato per permettere il passaggio dei trefoli / Stay Cable installation

3 FASI COSTRUTTIVE

La costruzione è avvenuta secondo uno schema ormai consolidato nei ponti strallati, e cioè attraverso il metodo degli sbalzi successivi bilanciati, secondo le seguenti fasi:

- realizzazione delle sottostrutture;
- realizzazione delle antenne in calcestruzzo fino alla quota di 30 metri
- montaggio dell'elemento metallico di ancoraggio degli stralli nelle antenne
- getto della parte finale delle antenne
- costruzione a sbalzo simmetrico, su quattro fronti, dei due impalcati, in conci di 7.00m; e per ogni concio sono previste le seguenti sotto-fasi, ripetute ogni volta:
 - Avanzamento della treliça, ossia del "carro di getto" e fissaggio nella posizione a sbalzo;
 - Controllo topografico per il posizionamento del cassero;
 - Posizionamento del cassero;
 - Posizionamento delle armature e dei tubi forma degli stralli;
 - Posizionamento delle guaine longitudinali e trasversali;
 - Posizionamento dei cavi di precompressione;
 - Getto del calcestruzzo;
 - Operazioni di getto della trave trasversale dell'impalcato;
 - Maturazione e cura;
 - Precompressione trasversale e longitudinale;
 - Abbassamento del cassero e avanzamento del carro di getto;
 - Montaggio dei due stralli del concio (monte e valle);
- esecuzione del concio terminale dell'impalcato di riva, con il contrappeso;
- realizzazione del giunto tra impalcato laterale e concio terminale;
- continuazione dell'impalcato della campata centrale;
- applicazione di una coazione longitudinale per contrastare le future deformazioni per ritiro e viscosità, e successiva chiusura in chiave dell'impalcato centrale.

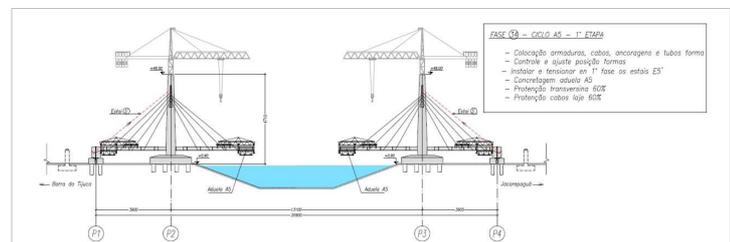


Figura 13. Fase di progetto n. 35: a chiusura laterale avvenuta vengono tensionati gli stralli 5' / Design fase n.35: after the lateral closures stay cables 5' are being tensioned



Figura 14. Trave longitudinale armata e tubo forma / Longitudinal beam and casing pipe



Figura 16. Vista della trave longitudinale e dei cavi / Lateral view of the longitudinal beam and transversal cables



Figura n. 17. Avanzamento della trave e cavi trasversali./ Launching formwork advancing and transversal cables



Figura 15. Getto della trave trasversale dell'impalcato / Transversal beam casting

Tutte le fasi esecutive, circa 160, sono state dettagliate da DMA in un Progetto di Costruzione, che comprendeva la definizione ed il controllo di deformazioni, contrefrecce, forze negli stralli, così come il progetto delle attrezzature speciali necessarie per la costruzione, quali i puntoni provvisori, i vincoli temporanei, i contrasti per le coazioni imposte.

La costruzione ha rispettato il cronogramma presentato in fase di progetto, i tempi di getto dei conci sono diminuiti notevolmente con l'aumentare dell'esperienza delle squadre di lavoro, coordinate da un team che ha controllato la qualità delle lavorazioni in cantiere, la coerenza tra progetto e costruzione, e verificato le deformazioni e gli spostamenti di ogni concio dell'impalcato e del mastro, per tutta la durata della costruzione. Il primo concio ha avuto un tempo di lavorazione, comprensivo di tutte le sottofasi sopracitate, di 15 giorni, mentre gli ultimi sono arrivati ad un ritmo di un concio a settimana.

La collaborazione costante tra impresa e studio di progettazione anche nelle fasi di controllo

dell'esecuzione ha permesso di rispettare tutte le tolleranze previste, di svolgere le operazioni di chiusura centrale dell'impalcato senza problemi, e di raggiungere una complessiva regolarità di profilo del ponte. Il ponte è stato aperto al traffico il 24 dicembre 2013, dopo un periodo di costruzione totale di circa 20 mesi.

Le condizioni di lavoro all'interno del cantiere spesso erano complicate: nella stagione estiva a Rio de Janeiro le temperature superano i 40°C e l'umidità è oltre l'80%. Il livello di controllo delle condizioni di sicurezza dei lavoratori è sempre stato molto alto, quindi tutti gli operai indossavano sempre le uniformi da lavoro: maniche e pantaloni lunghi, guanti e casco protettivo.

Le condizioni di lavoro soprattutto per il montaggio delle armature delle travi, che richiedeva spesso un intervento all'interno delle stesse, hanno portato ad una diminuzione delle ore dei turni per queste operazioni, e un grande turnover di personale.

Per stimolare i lavoratori era stata allestita un'area break con tavoli e attività extra lavorative per riposarsi durante le ore più calde della giornata. Così facendo si è ottenuta una maggiore efficienza, produttività e fidelizzazione dei lavoratori all'azienda

4 MATERIALI

Concrete: C40 ($f_{ck} \geq 40$ MPa)
Reinforcing bars steel: CA50 ($f_{yk} \geq 500$ MPa)
Stay cables: CP 177 RB ($f_{th} \geq 1760$ MPa)
Steel structures: SAC 50 ($f_{yk} \geq 350$ MPa)
Post tensioning steel: CP 190 RB ($f_{th} \geq 1860$ MPa)

5 CONCLUSIONI

Il ponte strallato che attraversa la laguna di Jacarepaguà a Rio de Janeiro è stato considerato dal committente, ossia il Municipio di Rio de Janeiro, un successo dal punto di vista della progettazione, dello studio del metodo costruttivo, dell'esecuzione, dell'utilità pubblica dell'opera.

La costruzione a sbalzo era indispensabile per evitare di danneggiare l'habitat di mangrovie, preservato dalle Autorità Ambientali; dovendo attraversare il canale di 130 m e avendo a disposizione meno di due metri per lo spessore dell'impalcato, è risultato logico realizzare una struttura simmetrica, con doppio sostegno di stralli. La scelta del materiale è il risultato di considerazioni di tipo economico: nell'area a disposizione l'accoppiamento tra materiale e sistema costruttivo più economicamente vantaggioso è risultato il calcestruzzo armato.

Il progressivo aumento della velocità di esecuzione è il risultato di una buona collaborazione tra im-

presa e progettista, di un buon sistema di formazione delle squadre di lavoro, e di un assiduo controllo della qualità e delle tolleranze di esecuzione.

The Cable Stayed Bridge over Jacarepaguà Lagoon is considered by the client, Rio de Janeiro's City Hall, a success for the Design, for the Construction method, for the accomplishment, and for the public utility of the work. The cantilever method was necessary to protect the natural and preserved mangrove habitat: the task was to pass the 130m canal with a less than 2 meters high deck, so it became convenient to realize a symmetrical structure with double support. The material choice was the result of economic considerations: in the construction area the more available match between material and construction method was the reinforced concrete. There has been a progressive increase of the construction speed thanks to a good team work between Contractor and Designer, to a good organization in the jobsite, and also to a rigid standards and tolerance control during the construction.

RICONOSCIMENTI

L'Impresa Generale per la costruzione del ponte è Andrade Gutierrez di Rio de Janeiro.

L'ing. Gustavo Parente di Andrade Gutierrez è stato il Project Manager. L'ing. Igor Leonardo de Oliveira è stato il Direttore di Cantiere.

Gli stralli sono stati forniti e installati da Protende S.A. di San Paolo.

Il progetto generale dell'intervento è dello studio Casagrande Engenharia, di Rio de Janeiro.

Il progetto del ponte strallato nella sua configurazione finale è dello scrivente, ed è stato sviluppato insieme con il progetto della costruzione dallo Studio de Miranda Associati – Milano, con il contributo degli ingg. Alessandro De Palma e Elena Gnechi Ruscone e con l'assistenza tecnica in cantiere dell'arch. Anna Riga e dell'ing. Marta de Miranda.