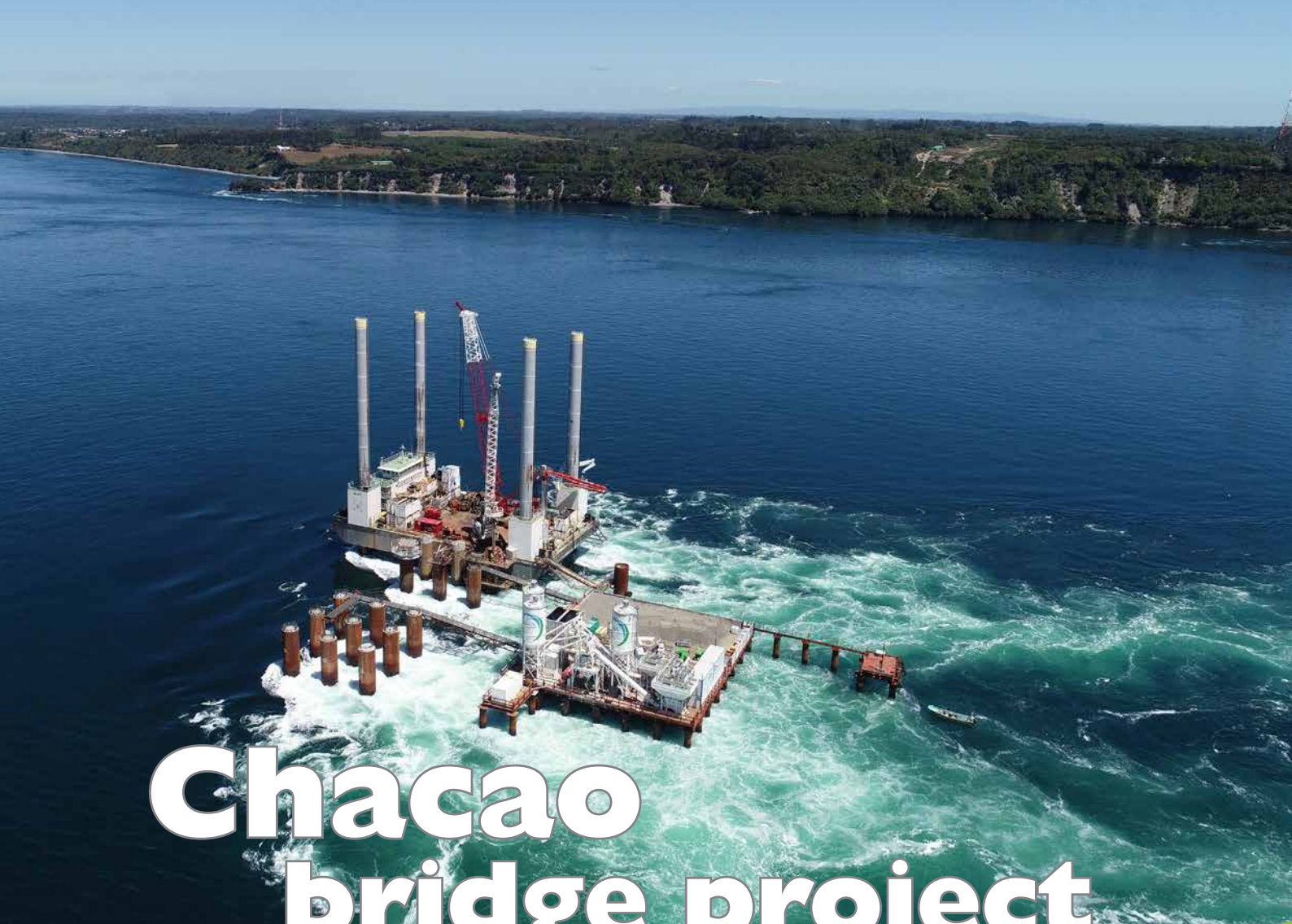


worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



Chacao bridge project

Los Lagos Region, Chile

**Pali trivellati
Bored Piles**



Ciente :
Owner: **MOP - Ministry of Public Works of Chile**

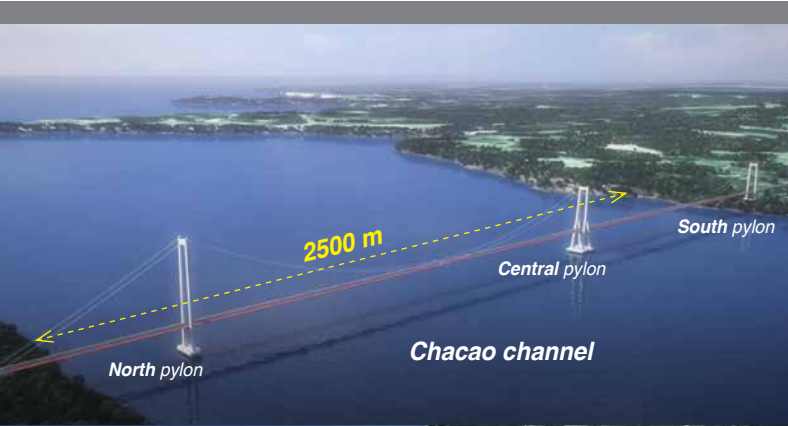
Contrattista principale :
Main Contractor : **CPC (Consorcio Puente Chacao)**

Durata dei lavori :
Duration of works: **2014 - 2020**

Introduzione

Il progetto del **Ponte di Chacao** mira a connettere il continente con l'isola di Chiloé, che si trova circa 1.100 km a Sud di Santiago del Cile, nella Regione dei Laghi, e dista 48 km da Puerto Montt mentre solo 5 km da Pargua.

L'idea di un collegamento stabile tra Chiloé ed il continente è stata cullata per lungo tempo dalla Direzione della Viabilità (Dirección de Vialidad) e dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ministerio de Obras Publicas MOP) e sin dagli anni 70 del XX secolo è stata vista come una possibile soluzione per il collegamento tra le due sponde del Canale di Chacao. Tuttavia, gli studi per la connessione cominciarono solo a partire dagli anni 90, comprendendo l'eventuale costruzione di un tunnel e analisi su varie tipologie di ponte.

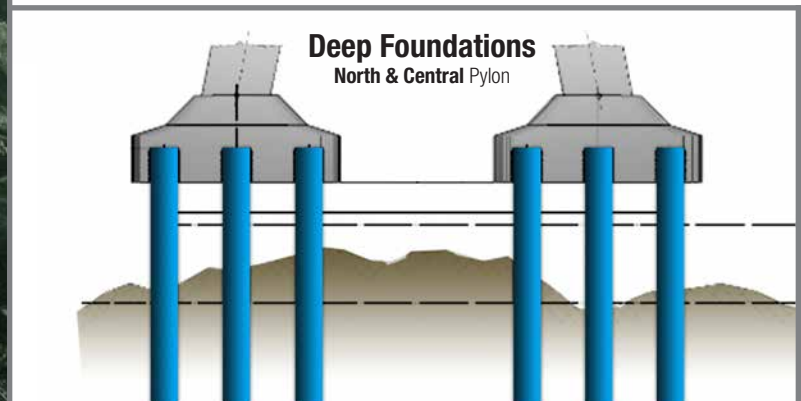
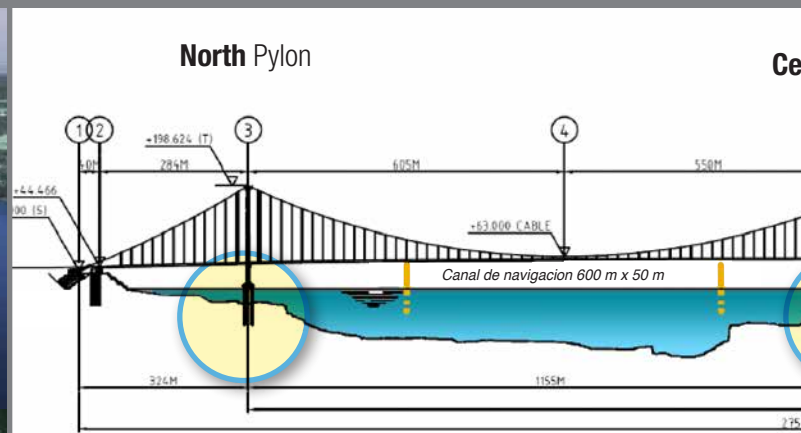


Introduction

The construction of the **Chacao Bridge** aims at connecting the continent with Chiloé Island, located 1.100km south of Santiago de Chile, in the Los Lagos Region, 48km away from Puerto Montt and only 5km away from Pargua.

The idea of a fixed connection between Chiloé and the continent has long been one of the main concerns of the Roads Direction (Dirección de Vialidad) and the Public Construction Ministry (Ministerio de Obras Publicas MOP).

Since the 1970s it has been regarded as a possible connectivity solution for the Chacao Channel. However, connection studies started only from the 1990s onwards, including the possible construction of a tunnel and the analysis of different bridge types.



Come risultato di tutto ciò, il MOP decise che un ponte sospeso rappresentasse l'opzione più fattibile, da tutti i punti di vista.

Tra il 2012 e 2013 il progetto fu approvato e finanziato attraverso il sistema tradizionale di costruzione pubblica tramite fiscalità, con la creazione di un bando di gara internazionale. **Nel Dicembre 2013 il contratto fu assegnato al Consorzio per il Ponte di Chacao** (Chacao Bridge Joint Venture), un'entità formata da quattro società internazionali, capitanate dalla coreana Hyundai. Tre anni più tardi al progetto del Ponte di Chacao fu conferito il premio "Be Inspired" nella categoria "Bridge Innovations", che attestò questa iniziativa della Direzione Strade del MOP come un progetto all'avanguardia a livello mondiale.

Trevi Chile SpA (Gruppo Trevi) è stata selezionata dal consorzio per eseguire i lavori di palificazione del ponte. La Strada 5 è l'autostrada più lunga del Cile, partendo da Arica sino a giungere a Quellón nell'isola di Chiloé, quindi connettendo la nazione attraverso un percorso di 3353 km. Tuttavia, in

As a result, MOP decided a the suspension bridge was the most feasible option, from all points of view.

In 2012 and 2013, the project was consolidated through the traditional fiscalpublic construction system, with the creation of an international bid registration. In **December 2013, the contract was awarded to the Consorzio Puente Chacao** (Chacao Bridge Joint Venture), an entity formed by four international companies headed by the Korean Hyundai.

Three years later, the design of the Chacao Bridge was recognized with the "Be Inspired" award in the category "Bridges Innovations," which consolidated these MOP Roads Direction's initiative as an "avant-garde" project worldwide.

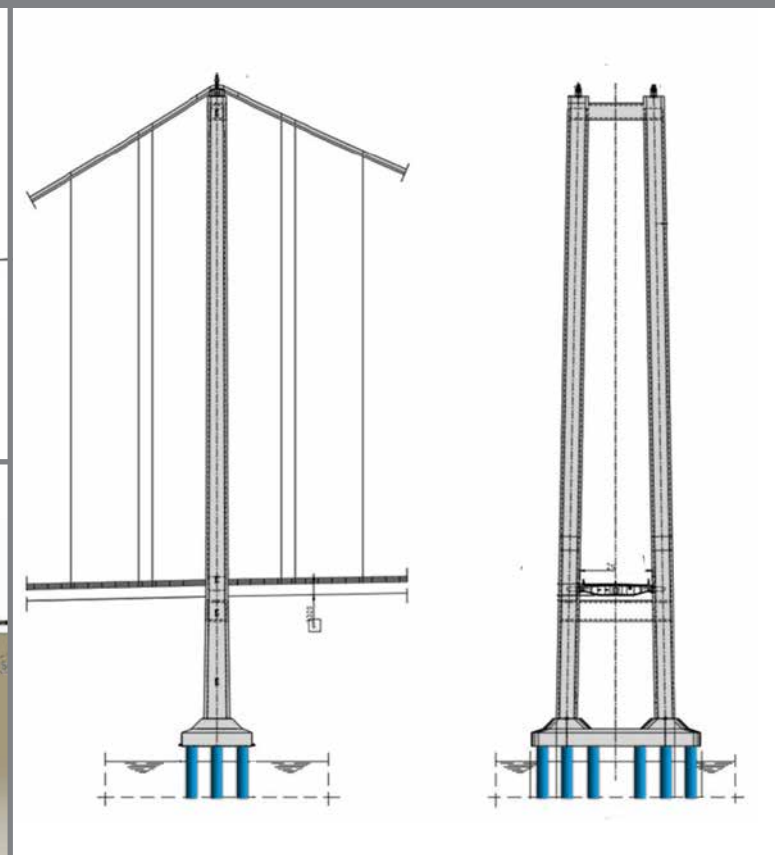
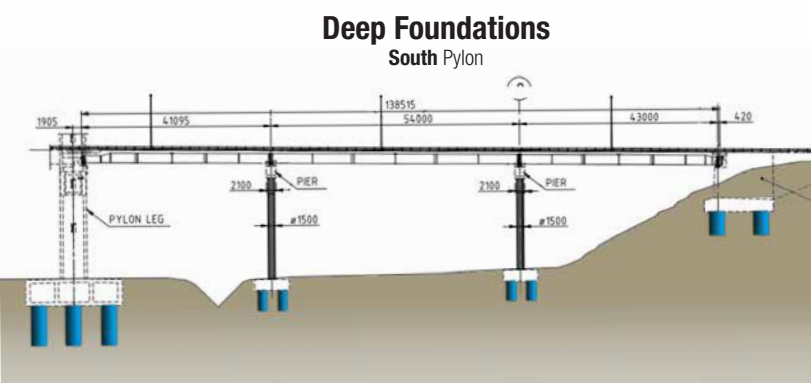
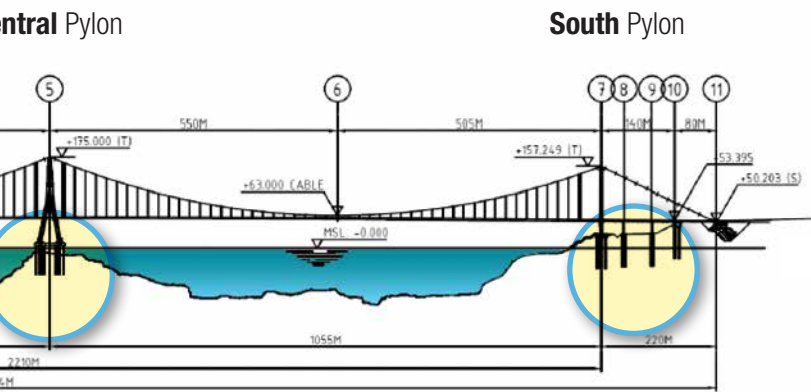
Trevi Chile SpA (Trevi), was selected by the consortium to carry out the foundation works of the bridge piles. Route 5 is the longest highway in Chile, stretching from Arica to Quellón in Chiloé, hence connecting the country throughout a 3353 km long highway. However, when reaching the end, the road is interrupted

corrispondenza del tratto finale, la strada è interrotta dal Canale di Chacao tra il continente e l'isola di Chiloé, dove tutto il traffico prosegue attraverso traversate in traghetto con durate da 30' a 45'.

Una volta che il progetto sarà stato completato, non vi sarà più alcuna interruzione tra il continente e l'isola di Chiloé. La nazione sarà permanentemente collegata da Arica nel nord del Cile sino a Quellón nell'isola di Chiloé, attraverso la Strada 5, che risulterà più lunga di 190 km. **Il ponte ridurrà il tempo di attraversamento del canale ad appena 3 minuti.** Questo fatto rappresenterà un notevole miglioramento considerando il tempo, variabile da circa 30' sino a 45', richiesto attualmente dai traghetti per la traversata del canale, senza poi prendere in considerazione le condizioni meteorologiche estreme presenti sul canale in ogni stagione. Il progetto e la realizzazione del Ponte di Chacao rappresentano il più grande progetto mai assegnato dal MOP

between the continent and Chiloé Island by the Chacao Channel, where all traffic runs, via a 30 to 45 minutes ferry trip. The bridge under construction will connect the missing part, expediting the main transportation to/from Quellón at the southern tip of Chiloé.

*Once the project has been completed, there will be no interruption between the continent and Chiloé Island. The country will be permanently connected from Arica in the north of Chile to Quellón in Chiloé Island, through Route 5, which will be extended for 190 km. **The bridge will cut the time required to cross the channel to just three minutes.** This is a major improvement considering the actual trip time of about 30 to 45 minutes that the ferry takes to cross the channel, without taking into account the extreme weather conditions the channel faces throughout the seasons. The design and construction of the Chacao Bridge project is the largest project MOP has ever awarded, and its completion will*



ed il suo completamento apporterà ben più che una semplice integrazione territoriale agli abitanti dell'isola di Chiloé.

Il progetto, sotto la responsabilità della Direzione Strade del MOP, avrà un impatto diretto sui più di 160.000 abitanti dell'isola di Chiloé e sugli interscambi tra l'arcipelago ed il resto del territorio, consentendo un maggior sviluppo delle sue strutture economiche, educative e sanitarie, come pure delle attività turistiche e socio-culturali. Il ponte sarà una pietra miliare che, insieme al progetto del raddoppio della Strada 5 e agli altri interventi sul sistema stradale dell'arcipelago, completerà quella necessaria infrastruttura viaria volta a favorire lo sviluppo ed il miglioramento della qualità della vita dei Chilotani (gli abitanti dell'isola di Chiloé).

Il ponte sarà lungo 2.574 m e sarà supportato da tre pile principali, una in mezzo al canale e due sui lati, cioè la pila nord dal lato del continente e la pila sud dalla parte dell'isola di Chiloé. La campata tra la pila centrale e la pila nord sarà lunga

bring more than simply territorial integration to the inhabitants of Chiloé Island.

The project, under the responsibility of the MOP's Direction of Roads, will directly affect the over 160 thousand inhabitants of Chiloé and the archipelago's interaction with the rest of the territory, allowing a higher development of its economic, educational and health structures, along with touristic and socio-cultural activities. The bridge will be a milestone that, together with the project for the Ruta 5 dual road and the archipelago roads system intervention, will consolidate a necessary road infrastructure aimed at helping the development and improvement of the quality of life of the Chilotas (Chiloé's inhabitants).

The length of the bridge will be 2,574 m and will consist of three main pylons, one in the middle of the channel and two on each side, namely the North Pylon on the continent side and the South Pylon on the Chiloé' Island's. The span between the Central and North Pylons will stretch for 1,155 m,

1.155 m, mentre la lunghezza di quella tra la pila centrale e la pila sud sarà pari a 1.055 m, cosicché il ponte sospeso risulterà il più lungo di tale tipologia in Sud America. Si parlerà adesso della pila centrale, le cui fondazioni sono già state completate, mentre Trevi è attualmente impegnata nel realizzare le fondazioni delle pile nord e sud.

Geologia

La geologia in quest'area è caratterizzata dalla presenza di sequenze stratificate vulcaniche e vulcano-sedimentarie dell'era oligocenica-pleistocenica.

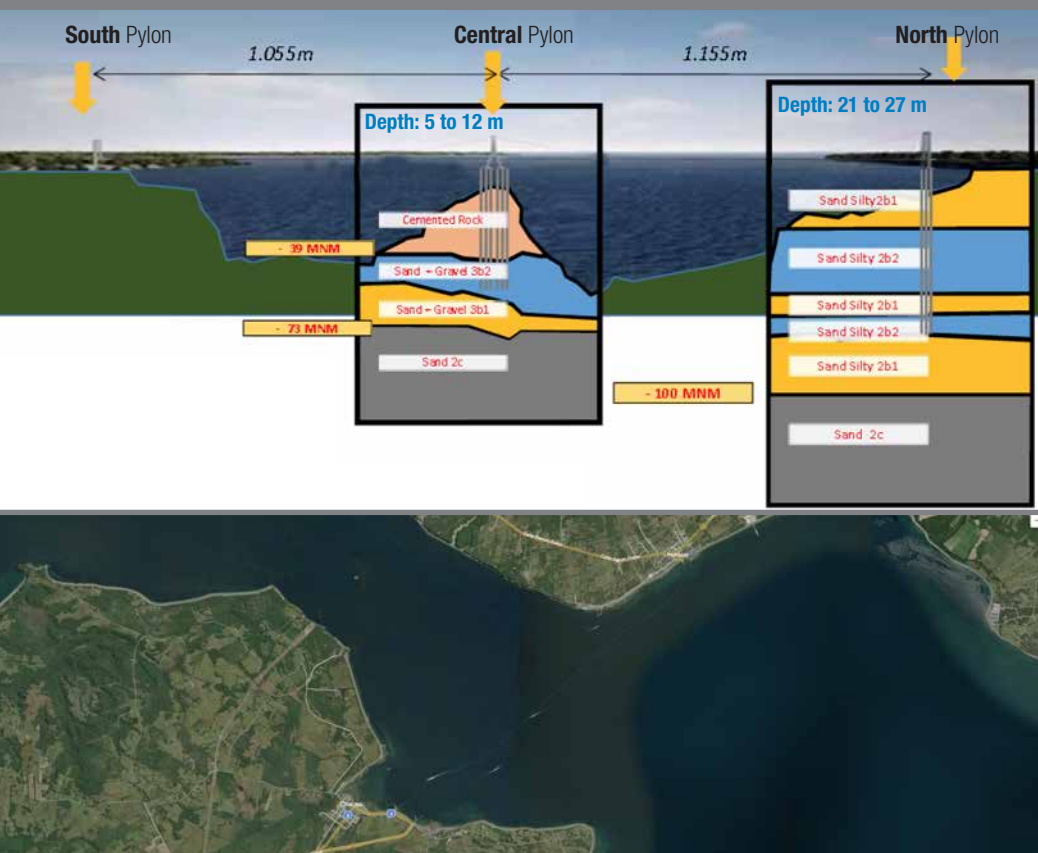
Il tracciato del ponte attraverso il canale di Chacao interseca il rilievo roccioso sottomarino chiamato Roca Remolino dove è ubicata la pila centrale. Il profilo geologico generale sotto la pila centrale è caratterizzato da un tufo di origine vulcano-

while the ones between the Central and South Pylons will cover a 1,055 m length, thus becoming the longest suspension bridge in South America. We are going to talk about the Central Pylon, whose foundations have been already completed. Trevi is currently working on both North and South Pylons.

Geology

The geology in this sector is characterized by the presence of volcanic and volcano-sedimentary stratified sequences of Oligocene-Pliocene age.

The alignment of the main structure of the bridge in the Chacao Channel coincides with the rock outcrop called Roca Remolino, where the central pylon is located. The generalized profile of the Central Pylon is defined with a tuff of volcano-sedimentary origin formed by gravels and cemented sands up to -31m (roca



sedimentaria, formato da ghiaia e sabbia cementata sino a quota -31 m (essendo Roca Remolino conosciuta anche come “rupe vorticoso”) per lasciare spazio poi a sabbie addensate dalla granulometria media, con la presenza di ghiaia arrotondata moderatamente cementata, e infine a sabbie grossolane poco gradate, a una profondità di 65.6 m.

Opere eseguite da Trevi

Trevi è stata scelta per l'esecuzione delle fondazioni del ponte, prima quelle della pila centrale (già completate) e quindi quelle delle pile nord e sud, attualmente in fase di realizzazione.

Le opere di fondazione per la **pila centrale prevedevano l'esecuzione, lavorando al di sopra di una chiatte auto-sollevante, di 36 pali di diametro 2.5 m e lunghezze pari a 54 m (pali tipo 1) e 58 m (pali tipo 2 e 3).**

Le correnti oceaniche hanno rappresentato alcune tra le sfide

remolinos aka swirling rock) and then fine to medium-grained sand with some rounded, dense and moderately cemented gravel, while, at a depth up to 65.6 m, there is poorly-graded coarse and grained sand.

Trevi works

Trevi was chosen for the execution of the bridge foundations, including the Central Pylon (already completed), as well as the North and South Pylons, currently under construction.

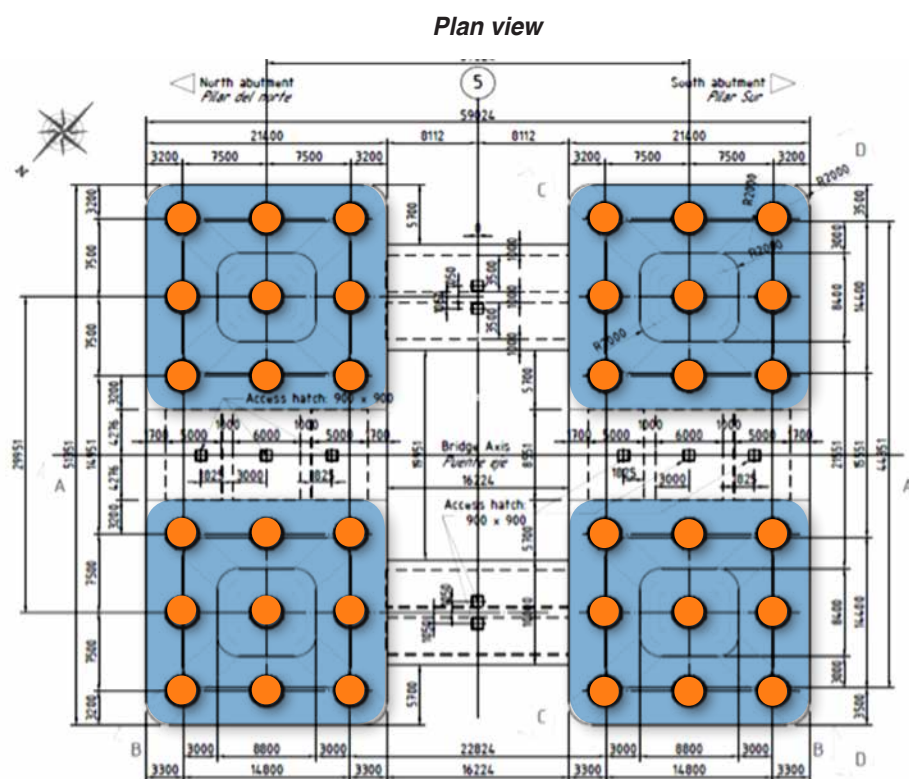
*The foundation works of the **Central Pylon consisted in the execution of 36 piles with 2.5 m wide diameters and lengths of 54 m for type one piles and 58 m for types 2 and 3 approximately, each of them excavated from a jack-up barge.***

Ocean currents were among the challenges Trevi had to face during the execution of the Central Pylon. They were about 528 cm/s on the marine surface and 192 cm/s on the sea bottom,

che Trevi ha dovuto affrontare durante l'esecuzione dei lavori della pila centrale. La velocità è risultata di 528 cm/s in superficie e di 192 cm/s sul fondo marino, causata dal flusso e riflusso delle maree. Inoltre, le condizioni meteo sono risultate particolarmente severe, con forti venti la cui velocità variava tra 18 m/s e 23 m/s (65-83 km/h), una temperatura media di 11 °C e piogge torrenziali nel corso dell'anno, con una media delle precipitazioni di 2000 mm/anno. Malgrado ciò che è stato menzionato, **la sfida tecnica più importante che Trevi ha dovuto affrontare è stata rappresentata dalle dimensioni dei pali, dalla lunghezza, dal diametro, dal peso del lamierino d'acciaio permanente e dalle gabbie d'armatura, che hanno richiesto l'impiego di attrezzatura di grandi dimensioni all'interno del limitato spazio di lavoro disponibile al di sopra della chiatte auto-sollevante.**

*caused by the ebb and flow of tidal streams. Moreover, weather conditions were harsh, with strong winds ranging between 18 and 23 m/s (65-83 km/h), an average temperature of 11°C and torrential rains throughout the year, with an average precipitation of 2000 mm per year. Notwithstanding the above, **the main technical challenge Trevi had to overcome was the size of the piles, along with the length, diameter and weight of the permanent steel casings and the reinforcement cages, which involved the use of heavy machinery in the limited space available on the jack-up barge.***

Therefore, logistics and project management as a whole were undoubtedly another great challenge. In addition to the casing installation, drilling works and concrete casting on the Central Pylon, Trevi was in charge of the assembly of the reinforcement cages and the welding of steel casings. Using a modern welding



Di conseguenza, la logistica e la gestione organica del progetto sono risultate indubbiamente un'altra notevole sfida. Oltre all'installazione del lamierino, allo scavo dei pali ed ai getti sulla pila centrale, Trevi è stata incaricata dell'assemblaggio delle gabbie d'armatura e della saldatura dei lamierini d'acciaio. Tutte le sezioni tubolari, per la realizzazione del lamierino permanente di ogni palo, sono state assemblate, nonostante i differenti spessori, utilizzando un moderno sistema di saldatura montato all'interno di un'officina di saldatura scorrevole e dotato di una speciale attrezzatura dedicata alla rotazione delle lunghe sezioni di lamierino durante il processo di saldatura.

Tutte le fasi del processo di saldatura sono state soggette a severi test di qualità, prima che l'elemento fosse ritenuto idoneo all'installazione. L'impresa generale Hyundai ha fornito tutte le sezioni tubolari in acciaio per il confezionamento dei lamierini. Le gabbie d'armatura sono state completamente assemblate in cantiere, all'interno di un'officina dedicata al taglio ed alla

system - mounted inside a sliding welding workshop equipped with special equipment dedicated to the rotation of the long casing sections during welding - all the sections of the casing were assembled despite their different thicknesses, in order to install the permanent casing on each pile.

All welding stages were subject to strict quality tests before being to be installed. The main contractor, Hyundai, purchased the steel casings. Reinforcement steel cages were completely assembled on site, in a steel cutting and bending workshop that added up to two assembly lines already built for this purpose. Each rebar cage section was initially pre-assembled and then verified by the contractor's quality control team, which checked all the joints to see if they matched perfectly, due to the very strict tolerance allowance. The main contractor's quality control department inspected the whole construction process, before allowing elements to be installed. The contractor also provided the steel reinforcement bars.

piegatura delle barre, dove erano state predisposte due linee di assemblaggio addizionali già realizzate per questo scopo. Ogni sezione di gabbia d'armatura è stata inizialmente assemblata e quindi certificata dalla squadra per il controllo qualità dell'impresa generale, la quale ha verificato che tutte le giunzioni combaciassero perfettamente, a causa della ridotta tolleranza concessa. Il dipartimento controllo qualità dell'impresa generale monitorava l'intero processo costruttivo prima di autorizzare l'installazione di ogni elemento. L'impresa ha fornito anche le barre d'armatura.

**I lavori eseguiti sulla pila centrale sono stati i seguenti:
n° 36 pali di diametro 2.500 mm e lunghezza da 54 m a 58 m.**

- Volume totale di calcestruzzo gettato per i pali: 10.713 m³
- Barre d'acciaio per le gabbie di armatura: peso di 2.256 t
- Acciaio utilizzato per i lamierini: peso di 3.447 t, e lunghezza

The works carried out for the Central Pylon were the following: 36 piles with a 2500 mm width diameter and a 54m or 58 m length.

- Total volume of concrete cast on piles: 10,713 m³
- Steel rebar used for the reinforcement cages: 2,256 t
- Steel used for the steel casings: 3,447 t, and 24 m, 28 m length.

The construction process of the piles was adapted according to the soil/rock conditions of the site and the extreme working conditions of the Chacao Channel.

- Initial phase of \varnothing 3,000 mm temporary casing installation
- Pre-drilling using a \varnothing 2,750 mm auger
- Permanent casing installation and driving to the final position
- Removal of the \varnothing 3,000 mm temporary casing
- Drilling down to design elevation with \varnothing 2.500 mm permanent



da 24 m a 28 m

Il processo di realizzazione dei pali è stato adattato in base alle condizioni dei terreni/rocce presenti in sito ed alle estreme condizioni di lavoro del canale di Chacao.

- Installazione iniziale di un lamierino temporaneo di \varnothing 3.000 mm
- Prefori tramite un'elica di \varnothing 2.750 mm
- Installazione del lamierino permanente ed infissione sino alla quota finale
- Rimozione del lamierino temporaneo di \varnothing 3.000 mm
- Perforazione sino alla quota di progetto all'interno del lamierino permanente di \varnothing 2.500 mm
- Installazione della gabbia d'armatura di barre d'acciaio
- Getto del calcestruzzo all'interno del palo

A causa del ridotto spazio disponibile sulla chiatta auto-sollevante, solo la gru di servizio e la perforatrice rimanevano sul ponte tutto il tempo e di conseguenza le altre attrezzature

casing

- Installation of reinforced steel rebar cages
- Concrete casting on pile

Due to the limited available space on the jack-up barge, only the service crane and the drilling rig remained on board at all times, and as a consequence, the other heavy equipment and material such as Vibrohammer, temporary casing, drilling tools, etc. were loaded/unloaded from the barge to an auxiliary platform at every pile cycle.

Permanent casings and reinforcement steel cages were also transported when required.

This highlights the level of coordination of the cargo ships used to meet the production performance requirements.

e materiali pesanti come il vibratore, i lamierini temporanei, gli strumenti per la perforazione ecc. venivano caricati e scaricati dalla chiatta su di una piattaforma ausiliaria ad ogni ciclo di installazione di un palo. Anche lamierini permanenti e gabbie in acciaio di armatura sono stati trasportati all'occorrenza. Ciò evidenzia il livello di coordinazione delle navi da carico utilizzate per soddisfare le richieste di prestazioni in termini di produttività.

Attrezzatura utilizzata

Al fine di eseguire i lavori off-shore, Hyundai, l'impresa generale, ha fornito la chiatta Pioneer III, dimensioni 50 m x 28 m e dotata di quattro lunghe gambe di supporto (auto-sollevante), con una portata di 3.600 t e dotata di una piattaforma fissa, dove è stato posizionato l'impianto di confezionamento del calcestruzzo.

La chiatta auto-sollevante ospitava: una gru di servizio da 400

Equipment Used

*In order to carry out the works offshore, Hyundai, the main contractor, provided a 50 m x 28 m barge fitted with four long support legs (jack-up) Pioneer III, with a 3,600 t capacity along with a fixed platform, where the concrete batching plant was located. The jack-up housed: a 400 t service crane provided by the main contractor and a **Soilmec SC-120 crane** equipped with a **Soilmec rotary machine** with a 423 kNm torque, capable of drilling up to 4,000 mm wide diameters plus a 450 m³ polymer plant for the production and treatment of the drilling polymer mix to stabilize the boreholes.*

The vibrohammer, provided by Trevi, was also part of the equipment. Other auxiliary equipment was arranged by Trevi in order to achieve the production requirements set for the



t fornita dall'impresa generale e una **gru Soilmec SC-120 equipaggiata con una rotativa Soilmec SA-40** dotata di una coppia di 423 kNm, in grado quindi di realizzare pali sino a 4.000 mm di diametro, più un impianto da 450 m³ per la produzione ed il trattamento del fango di scavo polimerico per la stabilizzazione del foro di scavo.

Il vibratore, fornito da Trevi, faceva anch'esso parte dell'attrezzatura. Ulteriore attrezzatura ausiliaria è stata fornita da Trevi con lo scopo di soddisfare le esigenze del progetto in termini di produttività. Tra queste erano presenti una guida per l'allineamento dei lamierini ed una catapulta per il trasbordo dei lamierini d'acciaio dalla nave di trasporto alla chiatta auto-sollevante.

I lavori per il ponte di Chacao sono attualmente in corso mentre la pila centrale è stata già completata. I lavori per le pile nord e sud sono già stati cominciati e Trevi è stato scelto come sub-appaltatore per la loro realizzazione.

project. These included a guide frame for the casing alignment and a catapult for the unloading of the steel casing from the transportation vessel to the jack-up.

The Chacao Bridge project is currently in progress while and the Central Pylon has been completed. The works for the North and South Pylons have already started and Trevi is the awarded subcontractor for their execution.

