



# Innovative foundations for the Angostura Hydro Electric Power Plant

**Chile's burgeoning economy and the growth of its mining sector have increased the demand for electricity in the country. Especially the South-central part of Chile can benefit of natural environment and climate conditions that allow for the inexpensive, sustainable hydroelectric generation of electricity. The Angostura Hydro Electric Power Plant is one of the major hydroelectric projects carried out in the country in the past decade. The construction of the Plant has involved a number of innovative technologies, especially in the execution of the foundation works**

**L**ocated approximately 600 km south of Santiago, in the municipality of Santa Barbara y Quilaco, in the Biobío Region, the Angostura Hydro Electric Power Plant is the largest hydroelectric plant built in Chile since 2004. Developed by the Chilean utility company Colbún and launched in April 2014, the power plant has a capacity of 316 MW and an average annual generation capacity of 1,542 GWh. The Angostura Hydro Electric Power Plant uses water resources of the Huequecura and Biobío rivers using a reservoir of minimal regulation, which allows a variation no higher than one meter in the water level, thus minimizing its environmental impact and enabling tourism development in their environment.



For the drilling operations contractor Pilotest Terratest chose a Comacchio drill rig MC 3 D with a separate power pack/Per le operazioni di perforazione l'impresa Pilotest Terratest ha scelto una perforatrice Comacchio MC 3 D con centrale idraulica separata

The plant covers an area of 641 acres and stores some 100 million m<sup>3</sup> of water. The Plant features three vertical Francis turbines: two 136 MW Francis turbine-generator sets and one 46 MW ecological discharge Francis turbine, provided by Alstom. Its architecture allows enough flexibility to operate both in times of higher flow, as is the case in winter, or with lower flow, as in the summer. It also has the largest turbine hall in the coun-

try - 59 meters high, 177 m long and 30 m wide.

The construction project was awarded to the Italian group Salini-Impregilo for a total amount of 240 million Euro. Construction began in February 2010. The main civil works included the construction of an earth dam approximately 1.6 km long and 25 meters high on the left bank of the river and the construction of a RCC (Roller-Compacted Concrete) dam 125 m

long and 63 m high with a spillway incorporated along the Bío-Bío River.

Although the bedrock formed of sedimentary rock offered good conditions for placing a dam on it, the project requirements included waterproofing of the dam body by means of drilling and grouting with cement. The drilling operations were also aimed to identifying and securing any weak or permeable zones along the dam structure.

## Fondazioni innovative per la centrale idroelettrica di Angostura

*La crescita dell'economia cilena e del suo settore minerario hanno incrementato la domanda interna di energia elettrica nel Paese, che può beneficiare di risorse naturali e condizioni climatiche che permettono di generare energia idroelettrica in modo economico e sostenibile. La centrale elettrica di Angostura è uno dei maggiori progetti idroelettrici realizzati nel Paese negli ultimi dieci anni. La realizzazione di questa imponente opera ha richiesto l'utilizzo di tecniche innovative, soprattutto per quanto riguarda le opere di fondazione*

Localizzata approssimativamente a 600 km a sud di Santiago, tra i comuni di Santa Barbara e Quilaco, nella regione di Biobío, la centrale di Angostura è la più grande centrale idroelettrica costruita in Cile dal 2004. Realizzata dalla compagnia pubblica cilena Colbún

e aperta nell'aprile 2014, la centrale ha una potenza di 316 MW e una capacità produttiva media annua di 1.542 GWh. La centrale è alimentata dalle acque dei fiumi Huequecura e Bío-Bío, i cui flussi vengono convogliati attraverso l'utilizzo di un bacino di regolazione minima, che permette una variazione inferiore al metro del livello idrico, minimizzando l'impatto ambientale della centrale e permettendo lo sviluppo dell'industria del turismo nell'area.

Disposta su un'area estesa 260 ettari (2,6 km<sup>2</sup>), la centrale ha una portata complessiva di 100 milioni di m<sup>3</sup> d'acqua ed è dotata di gruppi con turbine Francis ad asse verticale (due gruppi con turbine Francis da 136 MW di potenza e un gruppo con turbina più piccola da 46 MW), forniti dal colosso francese dell'energia Alstom. La struttura della centrale permette una flessibilità tale da poter operare nonostante le forti differenze di portata dovute alle variazioni stagionali del flusso del fiume. La centrale può contare inoltre sulla più grande sala turbine del Paese, che misura 59 m di altezza per 117 m di lunghezza e 30 m di profondità.

La commessa per la realizzazione del progetto per un valore totale di 240 milioni di Euro è stata assegnata all'italiana Salini Impregi-



The drill rig features a variable width undercarriage thus allowing for operation even in very confined spaces/La perforatrice è montata su un sottocarro a larghezza variabile e ciò le permette di accedere anche a cantieri caratterizzati da spazi molto angusti

The Chilean foundation contractor Pilotest Terratest S.A. was in charge of the execution of all the drilling works, including injections and waterproofing, consolidation,

drainages and instrumentation installation (piezometers and inverted pendulum). "Some of the works were performed open-cast" – says Alberto Mukden, Production

Manager at Pilotest Terratest – "but the majority of them was carried out underground, and involved the diversion tunnel, outlet tunnel, the dam, the drainage gallery, headrace tunnels, discharge tunnels, turbine hall and access galleries to the turbine hall".

The main challenge was that the majority of waterproofing drilling operations had to be carried out inside very low roofed tunnels and galleries of 2.4 m wide x 2.5 m height. In order to meet this requirement, Pilotest Terratest chose a Comacchio drill rig MC 3 D with a separate power pack. Due to its compact size (the unit is only 1.15 m wide and features a 2.3 m long mast), the rig could be successfully operated inside the small galleries incorporated into the dam structure.

"The drill rig features a variable width undercarriage that is 750-1,150 mm wide, thus allowing for operation even in very confined spaces". – explains Comacchio's Sales Manager Flavio Durigan – "The mast has 1,200 mm feed stroke, offering 2500 daN feed/retract force, this allows for operation in low overhead conditions. Also, the machine is

lo, che ha dato inizio ai lavori di costruzione nel febbraio del 2010. Le principali opere civili includevano la costruzione di una diga in terra lunga circa 1,6 km e alta 25 m sulla sinistra del fiume e la costruzione di una diga in Rollcrete lunga 125 m e alta 63 m, con sfioratore incorporato lungo il fiume Bío-Bío.

Per quanto il letto roccioso del fiume offriva delle condizioni ottimali per la costruzione della diga, le specifiche del progetto includevano ampi lavori di impermeabilizzazione del corpo della diga a mezzo di perforazioni e iniezioni di cemento. I lavori di perforazione miravano anche a identificare e mettere in sicurezza ogni zona debole o permeabile lungo la struttura della diga.

Tutti i lavori di perforazione, inclusi i lavori di iniezione e impermeabilizzazione, consolidamento, drenaggio e installazione della strumentazione geotecnica (piezometri e pendolo invertito), sono stati affidati all'impresa di fondazioni cilena Pilotest Terratest, facente capo alla società di ingegneria Echeverria Izquierdo Group.

"Parte delle opere di perforazione sono state eseguite a cielo aperto", spiega Alberto Mukden, Production Manager di Pilotest Terratest, "ma la quota più consistente dei lavori è stata realizzata sottoterra, e ha riguardato il tunnel di deviazione, il canale di scolo, la diga stessa, la galleria di drenaggio, i tunnel di adduzione, i tunnel di scarico, la sala turbine e le vie di accesso a quest'ultima."

La difficoltà principale nell'esecuzione dei lavori era legata al fatto che la maggior parte delle operazioni di perforazione e impermea-

bilizzazione dovevano essere eseguite in tunnel e gallerie di piccole dimensioni, con una sezione di 2,4 m larghezza e 2,5 m di altezza, quindi con pochissimo spazio sopra il mast.

Per poter operare in queste condizioni i tecnici di Pilotest Terratest hanno scelto una perforatrice Comacchio MC 3 D con centrale idraulica separata. Grazie alle sue dimensioni ridotte (1,15 m di larghezza cingolo, con un mast lungo 2,3 m), la macchina ha potuto essere utilizzata con successo all'interno delle piccole gallerie che compongono la struttura della diga.

"La perforatrice è montata su un sottocarro a larghezza variabile, che va da 750 a 1.150 mm, e ciò le permette di accedere anche a cantieri caratterizzati da spazi molto angusti," spiega il Responsabile Commerciale di Comacchio, Flavio Durigan. "Il mast ha 1200 mm di corsa, a fronte di 2,500 daN di tiro-spinta, il che consente di operare in condizioni di altezza ridotta. La macchina è equipaggiata con una centrale elettrica da 55 kW che annulla le emissioni e riduce notevolmente il livello di rumore, assicurando un ambiente di lavoro più sano e sicuro. La centrale idraulica è anch'essa montata su un sottocarro con larghezza regolabile, che va da 1 m a 1.5 m, e che ben si adatta agli spazi ristretti delle gallerie. I pattini in gomma dei sottocarri utilizzati sia per la perforatrice che per la centralina hanno permesso di evitare danni al pavimento in cemento delle gallerie".

L'impermeabilizzazione del letto roccioso del fiume è stata realizzata attraverso dei fori da 64 mm, successivamente riempiti in cemento,

equipped with electric power pack delivering 55 kW, avoiding emissions and reducing noise level, thus providing a safe work environment for all workers. The power pack is also mounted on an undercarriage with adjustable width from 1 to 1.5 m, fitting the limited space inside the galleries. The rubber track undercarriages of both drill rig and power pack ensured that no damage was caused to the concrete floor of the galleries”.

Water-proofing of the bedrock was done by drilling 64 mm holes and then grouting with cement for a total of 7,018 drilling meters. Part of the drilling took place in cramped galleries, with very limited free space to operate on above the drill rig. Drill rods as short as 1 meter had to be used, making straight drilling particularly difficult.

“The drilling needed for waterproofing of the bedrock was performed using an innovative technique”. - explains Alberto Mukden - “We implemented for the first time a rotary-percussive drilling system with hydraulically driven DTH hammer developed by Wassara. The advantage of this system



The mast has 1,200 mm feed stroke, offering 2500 daN feed/retract force, this allows for operation in low overhead conditions//Il mast ha 1200 mm di corsa, a fronte di 2,500 daN di tiro-spinta, il che consente di operare in condizioni di altezza ridotta

per un totale di 7.018 m di perforazione. Nelle zone più limitate in altezza, dove lo spazio libero sopra al mast era ridotto al minimo, per l'esecuzione dei fori si sono dovute utilizzare aste di perforazione non più lunghe di un metro, che hanno reso particolarmente difficile eseguire i lavori con la precisione richiesta.

“La perforazione necessaria alla impermeabilizzazione del letto roccioso è stata eseguita utilizzando una tecnica molto innovativa” dichiara Alberto Mukden. “Per la prima volta abbiamo implementato un sistema di perforazione a roto-percussione con un martello fondo foro ad azionamento idraulico sviluppato da Wassara. Il vantaggio di questo sistema è che non necessita di aria compressa, quindi non produce inquinamento acustico nell'ambiente di lavoro, l'energia idraulica applicata al martello non subisce praticamente alcuna perdita, e permette un miglior controllo della deviazione nell'esecuzione del foro. La deviazione del foro ammessa era fissata a 2% sull'intera lunghezza, che poteva arrivare anche a 60 m. Siamo fieri di poter dire che questa richiesta è stata pienamente soddisfatta, nonostante l'altezza estremamente ridotta e una corsa libera di 1,2 m. Inoltre, l'utilizzo di un martello alimentato ad acqua ha permesso di ridurre in modo considerevole il livello di rumore, permettendo di creare un ambiente di lavoro sano, senza polvere e confortevole per tutte le persone che operavano all'interno delle gallerie. L'altro vantaggio fondamentale di questo sistema è la grande produttività: siamo riusciti a migliorare l'indice di

produzione del 20% rispetto a quello ottenuto con il tradizionale sistema ad aria compressa.”

Il sistema Wassara è stato utilizzato anche per i drenaggi con fori da 102 mm eseguiti lungo il corpo della diga e lungo la galleria che circonda la sala macchine.

Le opere di fondazione eseguite da Pilotes Terratest hanno richiesto complessivamente 22 mesi di lavoro, lavorando in turni di giorno e di notte, e includevano, tra le altre cose:

- 4.665 m di perforazione a roto-percussione per i drenaggi, con un diametro di perforazione di 100 mm
- 1.429 m con una lunghezza di 15 m “verso l’alto” e 2336 m di perforazione con una lunghezza media di 45 m “verso il basso”
- 1.484 m di perforazione a roto-percussione per i lavori di consolidamento con un diametro di perforazione di 64 mm
- 7.018 m di perforazione a roto-percussione per l'impermeabilizzazione con un diametro di perforazione di 64 mm
- 853 m di perforazione a diamante con sistema HQ3
- 712 m di perforazione a roto-percussione per l'installazione di piezometri

A partire dal suo lancio, la centrale idroelettrica di Angostura è diventata una fonte di energia essenziale per il Sistema Interconectado Central del Chile (una rete elettrica che si espande da Taltal fino a Chiloe e che serve il 92% della popolazione), generando circa il 3,3% della domanda del sistema.



The use of water-powered drilling offered a considerable reduction of the noise level, resulting in a healthy, dust-free and comfortable drilling environment for all the people working inside the galleries/L'utilizzo di un martello alimentato ad acqua ha permesso di ridurre in modo considerevole il livello di rumore, permettendo di creare un ambiente di lavoro sano, senza polvere e confortevole per tutte le persone che lavoravano all'interno delle gallerie

is that no compressed air is required, thus there is no harmful noise in the working place, the hydraulic power pumped to the hammer has practically no loss and there is a better control over borehole deviation. The allowed borehole deviation was set to 2% at full length (up to 60 m). We

are proud to say that this requirement was met by far, despite the extreme low headroom and the 1.2 m free stroke length. Also, the use of water-powered drilling offered a considerable reduction of the noise level, resulting in a healthy, dust-free and comfortable drilling environment for all the people working inside the galleries. The other major advantage of this system is the great productivity: we managed to improve the production ratios up to 20% as compared to the traditional systems using compressed air".

The Wassara system was also used for the drainages with 102 mm drilling along the dam body and along the galleries that surround the turbine hall.

The drilling operations were very extensive and included among the rest:

- 4,665 m of rotary-percussive drainage drilling, 100 mm drilling diameter;

- 1,429 m with 15 m length "upwards" and 2,336 m with 45 m average length "downwards" drilling;

- 1,484 m rotary-percussive drilling for consolidation works with 64 mm drilling diameter;

- 7,018 m rotary-percussive drilling for waterproofing with 64 mm drilling diameter;

- 853 m of diamond drilling with HQ3 system;

- 712 m rotary-percussive drilling for the installation of piezometers.

The project took 22 months to complete, working on day and night shifts. Since its launch the hydroelectric plant has become an essential generation contributor to Central Interconnection System (system that spreads from Taltal to Chiloe and concentrates 92% of the population), covering about 3.3% of this system's demand. ■

**INFO**



**Comacchio s.r.l.**  
Via Callalta, 24/B  
31039 Riese Pio X (TV) - Italy  
Phone +39 0423 7585  
sales@comacchio-industries.it  
[www.comacchio-industries.it](http://www.comacchio-industries.it)