

SOLIDUR® senza frontiere

SOLIDUR® without borders

Mauro Ganora,
Buzzi Unicem S.p.A.

Sviluppo e Assistenza
Prodotti Speciali
*Special Products Development
and Customer Service*

In Costa D'Avorio, a 450 km ad ovest di Abidjan, fu costruita, alla fine degli anni '70, la struttura idraulica di Buyo, con un bacino di 8,4 miliardi di metri cubi d'acqua e tre turbine da 55 MW di potenza. Lo sbarramento fu realizzato con un argine in terra lungo 2.612 m che necessita di un importante intervento di manutenzione. Il primo tratto di 400 m è stato impermeabilizzato con un diaframma plastico eseguito dall'impresa Trevi S.p.A., che per la sua costruzione ha utilizzato 3.700 t di SOLIDUR® 274 Speciale, prodotto nello stabilimento di Settimello (FI).

Built at the end of the 1970s, the Buyo dam, which serves a hydroelectric power plant with a reservoir of 2.2 trillion gallons of water and three 55 MW turbines, is located 279 miles west of Abidjan in Ivory Coast. The dam was built with a 8,569 feet long earthen berm that requires a lot of maintenance. The first 1,312 foot section was made impermeable with a diaphragm wall built by Trevi S.p.A., using 3,700 tons of SOLIDUR® 274 Special produced by the Settimello (Firenze) plant.

SOLIDUR® "senza frontiere" non vuole solo indicare la versatilità del prodotto, in grado di soddisfare le molteplici esigenze progettuali offrendo le migliori garanzie, ma nel caso specifico la descrizione diventa "letterale" in quanto per la prima volta il premiscelato, nato e sviluppato da Dyckerhoff in Germania e oggi anche confezionato presso lo stabilimento Buzzi Unicem di Settimello (FI), ha varcato i confini italiani, con destinazione Costa

D'Avorio. Il contratto con la Trevi S.p.A., stipulato a metà maggio del 2009, riguardava la fornitura di 2.500 t di prodotto. La prima spedizione di 800 big bag era fissata entro la fine di giugno e la consegna di tutto il materiale entro l'inizio del mese di agosto dello stesso anno. In questi tempi veramente stretti, è stata verificata la fattibilità di confezionare il prodotto in big bag a Settimello sfruttando l'impianto mobile automatizzato di Trino. L'attrezzatura è stata trasferita tramite trasporto eccezionale, sono stati ordinati big bag speciali idonei al trasporto via nave con misure specifiche (calcolate in relazione all'impianto utilizzato e alla massa volumica apparente del prodotto) e capacità di carico da 1 tonnellata, ed è stata eseguita una pre-qualifica particolare in laboratorio cercando di simulare le condizioni ambientali del cantiere africano portando tutti i materiali (compresa l'acqua proveniente dal sito) alle temperature medie registrate in loco. L'impresa cliente ha richiesto ulteriori 1.200 t di prodotto, consegnate nel mese di ottobre 2009, necessarie per ampliare l'area di intervento di messa in sicurezza dell'argine, operazione terminata ad inizio 2010. È stato un lavoro

particolarmente interessante oltre che una "scommessa vinta" grazie alla buona volontà e al know how delle persone e aziende coinvolte. Si è così realizzato il primo intervento di impermeabilizzazione della diga situata in una zona dell'Africa difficilmente raggiungibile.

Il bacino idrico di Buyo

I lavori di costruzione della struttura idraulica di Buyo iniziarono nel 1976; il 12 marzo 1980 la diga, che intercetta il fiume Sassandra a 450 km ad ovest di Abidjan, venne posta in esercizio, mentre le opere accessorie di finitura terminarono nel 1981. Con il suo bacino di 8,4 miliardi di metri cubi e tre turbine da 55 MW, l'impianto della società EDF (ENEL Francese) rappresenta una risorsa molto importante per la Costa d'Avorio, sia come riserva idrica sia per la produzione di energia elettrica, raggiungendo una produzione annua di

Operazioni di scavo e costruzione del diaframma plastico

Excavation and construction of the plastic diaphragm





12

Preparazione in cantiere della miscela plastica auto-indurente SOLIDUR®

On-site preparation of the self-hardening SOLIDUR® plastic mix

900 GWh pari al 27% della produzione idroelettrica complessiva del paese.

L'opera principale di ritenuta è costituita da una diga della lunghezza di 2.612 m realizzata in terra zonata con un nucleo centrale impermeabile in argilla per laterizi, rinfianchi a monte e a valle in argilla limosa (pendenza 2,5/1) e un dispositivo di drenaggio a valle costituito da bretelle, una trincea e 65 pozzi drenanti che scaricano in un canale di scolo cementificato costruito al piede di valle della diga.

Il nucleo impermeabile poggia su una formazione di laterite sabbiosa a bassa permeabilità. All'epoca della costruzione della diga non è stato eseguito alcuno schermo profondo di impermeabilizzazione al di sotto della fondazione.

Causa dei problemi e soluzione adottata

A valle della diga principale, recentemente, si sono manifestate delle fuoriuscite d'acqua, comunemente denominate "fontanazzi", concentrate su un tratto di 400 m sulla riva destra.

A seguito di questo fenomeno, la società EDF, proprietaria dell'impianto, ha attuato delle misure preventive di sicurezza, decidendo di mantenere l'altezza del bacino

3 m al di sotto del livello massimo d'esercizio oltre ad intraprendere una ricognizione dell'opera.

Dal piano di caratterizzazione geotecnica del sito è emerso che la causa dei fontanazzi è riconducibile alla presenza di uno strato di scisti altamente decomposti ed alterati presente nella zona sottostante alla fondazione.

Al fine di intercettare ed ostruire le infiltrazioni d'acqua, è stata prevista la realizzazione di una paratia plastica impermeabile in miscela auto-indurente SOLIDUR® con spessore di 0,80 m e profondità variabile di circa 20 m, da realizzare partendo dalla sommità dell'argine costituente la diga di sbarramento. In data 14 luglio 2009 sono iniziati i lavori, affidati alla filiale Ivoiriana di Trevi S.p.A.

Studi preliminari della miscela autoindurente

L'urgenza dei lavori, l'esigenza di ridurre i tempi di lavorazione in cantiere e di definizione della composizione della miscela acqua-bentonite-cemento e l'irreperibilità in loco di bentonite di buona qualità hanno determinato l'impiego di un prodotto pronto all'uso di importazione estera.

A tal fine è stato scelto SOLIDUR®, prodotto premiscelato pronto per l'impiego composto da leganti minerali cementizi, componenti argillosi e bentonitici oltre ad aggiunte speciali, che in cantiere richiede soltanto l'aggiunta d'acqua e l'utilizzo di adeguati turbo-miscelatori per la confezione

mentamento della miscela plastica autoindurente.

Il rapporto prodotto/acqua da impiegare in situ è stato oggetto di una serie di prove preliminari di laboratorio finalizzate al raggiungimento del migliore compromesso fra:

- le caratteristiche finali della paratia e quelle richieste dalle specifiche del progetto
 - i tempi necessari per lo scavo dei pannelli della paratia
 - la necessità d'intervenire con l'acqua del bacino al livello massimo ammissibile (quota +197,00 m s.l.m., rispetto a +185,00 m di quota del fondo diga).
- Il diaframma è stato realizzato tramite la sequenza di pannelli primari (o "di apertura") e secondari (o "di chiusura") scavato con sistema semi-kelly dotato di benna mordente idraulica 800x2.500 mm.

Controlli prestazionali sulla miscela

Durante l'esecuzione dei lavori, la qualità della miscela auto-indurente SOLIDUR® è stata controllata sistematicamente presso il laboratorio di cantiere.

I parametri soggetti a controlli sono stati:

- la densità della sospensione plastica
- la viscosità Marsh
- la decantazione dopo 1, 2, 4, 8 e 24 ore
- il tempo di inizio presa
- la temperatura della miscela (è stata utilizzata l'acqua del bacino idrico)

Le caratteristiche della miscela indurita sono state verificate a 90 giorni mediante prove di laboratorio, registrando i seguenti valori:

- Peso specifico (γ): $\approx 1,24 \text{ g/cm}^3$
- Resistenza alla compressione (R_c): $813 \div 862 \text{ kPa}$
- Modulo elastico (E_{50}): $109 \div 144 \text{ MPa}$
- Deformazione a rottura (ϵ): $\approx 1 \%$
- Coefficiente di permeabilità (k): $< 10 \text{ E-9 m/s}$ (richiesta progettuale $K < 10 \text{ E-8 m/s}$)

Su richiesta della direzione lavori, la continuità della paratia è stata verificata tramite 7 carotaggi in corrispondenza delle zone di sovrapposizione dei pannelli, e il diaframma è risultato perfettamente omogeneo. La superficie netta realizzata di paratia impermeabile corrisponde a 6.996 m^2 .

Durante l'esecuzione dei lavori, tutte le fuoriuscite d'acqua a valle della diga si sono gradatamente arrestate.

SOLIDUR® "without borders" does not just refer to the versatility of a product that can meet a multitude of design require-

ments and offer the best of guarantees – in this particular case the meaning of the description is “literal” because for the first time the premixed cement, which was created and developed by Dyckerhoff in Germany and is now also produced by Buzzi Unicem’s Settimello (Firenze) plant, has crossed the borders of Italy destined for Ivory Coast. We signed a contract with Trevi S.p.A. in mid-May 2009 to supply them with 2,500 tons of product, the first shipment of which was to be 800 super sacks delivered at the end of June, with delivery of all the remaining material due by the beginning of August of that year.

Within this extremely short timeframe, we verified the feasibility of packaging the product in super sacks at Settimello using the automated, movable equipment from Trino, which was then moved by heavy duty equipment.

In the meantime, we ordered special super sacks with a one ton capacity and specific measurements (calculated by taking into account the equipment used and the apparent volumetric mass of the product), suitable for transport by ship.

We conducted a pre-qualification in the laboratory by simulating the environmental conditions of the site in Africa, during which all the materials (including the water from the actual site) were brought to the average local temperatures.

The customer requested an additional 1,200 tons of product to be delivered in October 2009.

This was used to extend the area of operations to shore up the berm, which was completed at the beginning of 2010.

This was a very interesting project, not only because we overcame the odds thanks to the willingness and know-how of the people and companies involved, but also because the first section of a dam located in a difficult-to-reach area in Africa has now been successfully secured from leakage.

The Buyo reservoir

Construction of the Buyo dam across the Sassandra River 279 miles west of Abidjan was started in 1976.

The hydroelectric power plant went into operation on 12 March 1980, with the remainder of the work completed in 1981. Owned by EDF (Électricité de France, the French utility company), this power plant with its 2.2 trillion gallons reservoir and three 55 MW turbines represents a very important resource for Ivory Coast as both a water reservoir and for the production of electricity which, at 900 GWh per year, amounts to

27% of the total hydroelectricity production of the country.

The dam consists mainly of a 8,569 feet long earthen berm with an impermeable clay core, abutments upstream and downstream of silty clay (gradient 2.5/1), and a drainage device downstream consisting of braces, a trench and 65 drainage wells that discharge into a concrete ditch built at the foot of the dam.

The impermeable core rests on a sandy laterite formation with low permeability. At the time of construction, no deep impermeable screen was installed under the foundation of the dam.

Cause of problems and the solution

Several leaks, commonly known as “fontanazzi”, have recently appeared downstream of the main dam, concentrated mainly in a 1,312 foot section of the right bank.

To counteract this phenomenon, EDF implemented preventive safety measures by keeping the level of the reservoir 9 feet below the maximum operational level and undertaking an inspection of the dam.

A map of the geotechnical characteristics of the site shows that the leaks are caused by a layer of highly decomposed and altered schist in the area under the foundation.

It was decided to intercept and block the leaks by constructing an impermeable bulkhead in self-hardening SOLIDUR® measuring 2.6 feet thick and at a variable depth of around 65 feet, starting from the top of the berm of the dam.

Construction by the Ivory Coast subsidiary of Trevi S.p.A. commenced on 14 July 2009.

Preliminary studies of the self-hardening mix

An imported, ready-to-use product had to be used due to the urgency of the work, the need to minimize the time spent at the construction site and determining the composition of the water-bentonite-cement mix, and the unavailability locally of good quality bentonite.

It was therefore decided to use SOLIDUR®, a premixed, ready-to-use product composed of cementitious mineral binders, clay and bentonite components plus special additives, which simply requires the addition of water at the site and the use of adequate turbo-mixers to prepare the self-hardening plastic mix.

The product/water ratio to use on site was first tested in the laboratory to arrive at the best compromise between:

- the final characteristics of the bulkhead and the design specifications
- the time required to excavate the bulkhead panels
- the need to work with the water in the reservoir at the maximum permissible level (height +646 feet A.S.L., with respect to +606 feet high from the bottom of the dam).

The diaphragm was created by building a series of primary (“opening”) panels and

Messa a punto dell’impianto automatizzato “riempi big bag” presso lo stabilimento di Settimello

Setting up of the automated big bag equipment at the Settimello plant



Stoccaggio di big-bag in alcuni punti dello stabilimento di Settimello

Big bag storage at several spots in the Settimello plant

secondary ("closure") panels excavated by the semi-kelly system equipped with a 2.6 x 8.2 foot hydraulic clam bucket.

Performance controls of the mix

The quality of the self-hardening SOLIDUR® mix was systematically checked at the site laboratory while the construction work was being done.

The parameters controlled were:

- Density of the plastic suspension
- Marsh viscosity
- Decantation after 1, 2, 4, 8 and 24 hours
- Initial set time
- Temperature of the mix (using water from the reservoir)

The characteristics of the hardened mix were verified at 90 days by performing laboratory tests, which recorded the following values:

- Specific weight (γ): $\approx 1.24 \text{ g/cm}^3$
- Compressive strength (R_c): $813 \div 862 \text{ kPa}$
- Modulus of elasticity (E_{50}): $109 \div 144 \text{ MPa}$
- Ultimate compressive strain (ϵ): $\approx 1 \%$



- Permeability coefficient (k): $< 10 \text{ E-9 m/s}$ (specification $K < 10 \text{ E-8 m/s}$)

As required by the works supervision, the seamlessness of the bulkhead was tested by means of seven probes placed in the areas where the panels were overlaid.

The diaphragm turned out to be perfectly uniform. The net surface area of the impermeable

bulkhead measures 75,276 ft². All the water leaks downstream of the dam were gradually stopped as the construction work was being executed.

La diga di Buyo

The Buyo dam

