

ENEL SPA
 RIPRISTINO DEL FRANCO IDRAULICO DELLA DIGA DI BASTIA SUL LAGO DI SANTA
 CROCE NEI COMUNI DI PONTE DELLE ALPI, PUOS D'ALPAGO E FARRA D'ALPAGO IN
 PROVINCIA DI BELLUNO

Intervento di ripristino del franco idraulico di una diga in materiali sciolti a seguito degli assestamenti dei terreni di fondazione

S. Adami¹, P. Chemello², P. Gigli², S. Salvati³ e V. Vanin²

¹ Enel Produzione S.p.A., ² Enel Produzione S.p.A. Ingegneria Civile Idraulica – sede di Venezia, ³ Impresa di Costruzioni Salvati S.p.A.

Riassunto.

La diga di Bastia (provincia di Belluno) sbarrata il torrente Rai, emissario naturale del lago di Santa Croce.

La diga, lunga complessivamente due chilometri, è stata costruita negli anni 1926÷29; è in materiali sciolti, del tipo omogeneo e poggia su un potente materasso prevalentemente limoso-argilloso, con intercalazioni ghiaiose e torbose, di origine fluvio-glaciale normalconsolidato.

Il tratto principale dello sbarramento ha denunciato un lento, graduale abbassamento del coronamento per effetto della consolidazione dei terreni di fondazione. Due interventi di ricarica (1947 e 1968) hanno ripristinato, provvisoriamente, la quota di coronamento. Dal 1968 al 2005 il coronamento ha avuto un abbassamento massimo di circa 1 m con conseguente riduzione del franco idraulico.

Nel periodo 2006÷2009 è stato eseguito un intervento per il ripristino del franco che ha comportato la posa di circa 55.000 m³ di limo per il sopralzo del corpo diga e la posa di circa 44.000 m³ di ghiaie limose sabbiose per la realizzazione di una banca a monte ed una berma a valle.

Vista la difficoltà di reperimento di cave di terreno idoneo in prossimità dello sbarramento, il limo è stato prelevato nel lago in prossimità della diga, mentre il materiale ghiaioso è stato prelevato nel lago in corrispondenza della foce del principale immissario e trasportato attraverso piste appositamente realizzate.

Per abbattere l'umidità dei limi, che non consentiva la compattazione alla densità prescritta dal progetto, è stata sperimentata sia la miscelazione con l'uso di ossido di Calcio (CaO) sia la parziale essiccazione con forno rotante, in quanto l'asciugatura per via naturale richiedeva tempi eccessivamente lunghi. La seconda tecnica è stata poi utilizzata nella posa di tutto il terreno limoso-argilloso sul corpo diga.

Numerose indagini e prove geotecniche in sito ed in laboratorio sono state condotte per il controllo delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e dei terreni posti in opera.

Allo scopo di monitorare il processo di consolidazione dei terreni di fondazione, che inevitabilmente sarebbe stato riattivato per effetto dell'incremento dei carichi ed in generale per controllare il comportamento della diga durante i lavori, la strumentazione di controllo esistente è stata integrata con piezometri elettroacustici ed assestimetri.

Introduzione

La diga di Bastia è ubicata nel nord est dell'Italia in Provincia di Belluno e sbarrata il torrente Rai, emissario naturale del lago di Santa Croce.

La diga, lunga complessivamente due chilometri, è stata costruita negli anni 1926÷29 con lo scopo di aumentare la capacità d'invaso del lago naturale di Santa Croce; la quota di coronamento originaria era di 388,00 m s.m. ed in corrispondenza al punto più depresso della fondazione raggiungeva l'altezza di 10,50 m.

La diga di Bastia poggia su un cospicuo materasso prevalentemente limoso-argilloso normalconsolidato con intercalazioni ghiaiose e torbose, di origine fluvio-glaciale; questo materiale ha colmato la profonda conca glaciale sbarrata dall'imponente accumulo franoso costituente la Sella di Fadalto che ha dato origine al lago naturale di Santa Croce.

In un tratto di qualche centinaio di metri, in prossimità della sponda occidentale, dove lo spessore della coltre limosaargillosa raggiunge spessori dell'ordine dei 180÷200 m, l'argine ha denunciato un lentissimo e graduale abbassamento del coronamento (fig. 1).

Per ripristinare la quota di coronamento, nel 1947 è stato effettuato il primo intervento di ricarica; negli anni 1967÷1968 lo sbarramento fu innalzato fino a quota 389,20 m s.m. mediante il sopralzo del corpo del rilevato verso il paramento di monte.

Nel 2006÷2009 è stato effettuato un ulteriore intervento di ricarica del rilevato, questa volta ampliando il rilevato verso valle. Oggetto della presente nota è la descrizione dei lavori effettuati per realizzare quest'ultimo intervento.

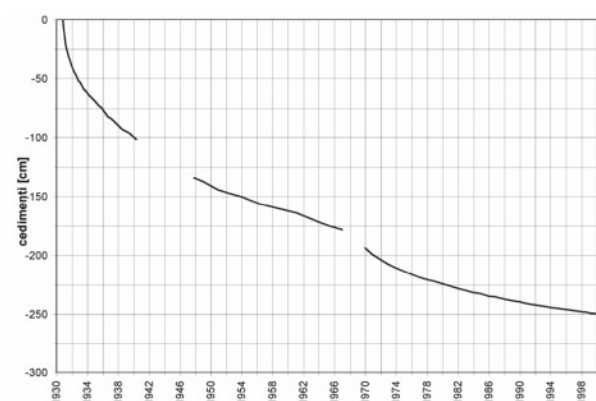


Figura 1: Cedimenti caposaldo C1

Intervento di ripristino della quota di coronamento

L'intervento effettuato è consistito nell'ampliamento e nella sopraelevazione del corpo del rilevato in corrispondenza del tratto (circa 900 m) che ha subito nel tempo gli assestamenti dovuti alla consolidazione del terreno di fondazione. Il sopralzo del rilevato, a differenza di quello fatto nel 1967÷1968, è stato eseguito verso valle mantenendo perciò il paramento di monte esistente e prolungandolo con la stessa pendenza fino alla nuova quota coronamento.

Al fine di dare stabilità al rilevato, viste le scarse caratteristiche meccaniche del terreno di

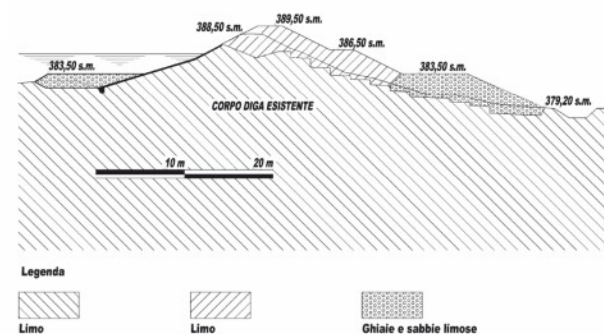


Figura 2: Sezione trasversale della diga

fondazione, sono state realizzate due banchine sul paramento di valle ed una sul paramento di monte (fig. 2). La quota di progetto del coronamento è stata realizzata variabile per ottenere la quota di 389,20 m s.m., sull'intero coronamento, dopo un periodo di circa 35 anni e con il raggiungimento del processo di consolidazione pari a circa l'85%. Per garantire tale quota, il coronamento è stato ulteriormente sopraelevato fino a 40 cm in corrispondenza delle sezioni che hanno subito e subiranno cedimenti più marcati con un soprizzo

complessivo massimo di 1,4 m. Il terreno impiegato per l'ampliamento del rilevato è costituito, per il corpo diga, da terreno limoso compattato mediante rulli in strati di 15 cm di spessore; la berma inferiore del paramento di valle e quella del paramento di monte sono invece costituite da ghiaie e sabbie limose. Sul paramento di valle, è stata rifatta ed estesa la rete di drenaggi, già presente nella parte principale della diga, al fine di garantire un maggior controllo del livello di falda nel rilevato. Similmente ai precedenti, i nuovi drenaggi sono costituiti da trincee drenanti poste ortogonalmente all'asse diga con un filtro inverso realizzato con sabbia e ghiaia con un tubo di raccolta che convoglia le portate drenate nel canale di guardia. Durante i lavori la gestione del serbatoio ha subito pesanti condizionamenti; per motivi di sicurezza idraulica la quota di massima regolazione del lago è stata tenuta pari a 384,00 m s.m. durante tutte le fasi di lavoro che non hanno interessato il coronamento della diga e quota 382,00 m s.m. quando si è proceduto alla demolizione del coronamento ed alla sua ricostruzione a quote maggiori. Per diminuire ulteriormente il rischio di sommersione della diga in caso di eventi idrologici eccezionali concomitanti ai lavori di demolizione e ricostruzione del coronamento diga, questi sono stati effettuati nei mesi estivi, che statisticamente hanno una bassa idraulicità, e per tratti di diga lunghi mediamente 150 m; ciascun tratto di diga è stato demolito e ricostruito prima di intervenire sul tratto successivo. Per contro, anche lo svolgimento dei lavori ha subito interruzioni dovute alle condizioni ambientali, continuative nel periodo compreso tra il tardo autunno e la parte iniziale della primavera e più o meno prolungate in concomitanza ad eventi piovosi. Ulteriori interruzioni dei lavori, che avrebbero dovuto essere effettuati con quota lago 382,00 m s.m., si sono verificate nei mesi di maggio+luglio in quanto il serbatoio doveva poter essere invaso anche per far fronte agli obblighi irrigui a valle. Complessivamente sono stati posti in opera circa 55.000 m³ di limo e 44.000 m³ di terreno ghiaioso; i lavori sono iniziati nel 2006 e si sono conclusi nel 2009.

Materiali utilizzati per il soprizzo

Vista la scarsa disponibilità di terreni limo-argillosi in zone ragionevolmente prossime alla diga e vista la pressante richiesta delle autorità locali di limitare al massimo il transito dei camion nelle strade limitrofe alla diga, si è optato per utilizzare i consistenti depositi limosi presenti entro il lago. I terreni drenanti (ghiaie e sabbie) sono stati invece prelevati nell'alveo del torrente Tesa in corrispondenza alla sua immissione nel lago.

Asciugatura del materiale limoso-argilloso

Il terreno coerente è stato prelevato dal sedime del lago in due fasi, non essendo disponibili aree di deposito sufficientemente ampie per effettuare questa operazione in una sola volta; il terreno prelevato è stato per tempo depositato in mucchio per una prima diminuzione del contenuto d'acqua originario; una ulteriore diminuzione del grado di umidità, fino al valore ottimo di costipamento, era previsto si potesse ottenere mediante ventilatura ottenuta previo stesa in strati e successiva fresatura del materiale in più passate. Le elevate quantità di materiale da trattare, l'esiguità dell'estensione dell'area di deposito dovuta a vincoli ambientali e la variabilità stagionale hanno suggerito di garantire l'asciugatura del terreno mediante metodologie alternative all'essiccazione naturale.

Le ipotesi analizzate, sono state due: a) riduzione dell'umidità e miglioramento del comportamento del materiale durante la compattazione mediante l'aggiunta al limo di calce viva (ossido di calcio) prima della sua stesa e posa in opera; b) riduzione dell'umidità mediante l'impiego di un essiccatore rotativo.

Prove effettuate con l'impiego di calce

Come noto, la calce viva (CaO) a contatto con l'acqua reagisce formando idrossido di calcio con una reazione fortemente esotermica; quando viene mescolata con la terra umida, il calore prodotto da tale reazione contribuisce all'evaporazione dell'acqua in eccesso. L'aggiunta di calce, inoltre, modifica il pH del terreno cambiando il limite plastico; ciò varia la curva di compattazione

Proctor Modificata spostando il valore ottimo verso contenuti d'acqua maggiori e, conseguentemente, migliorando la "lavorabilità" del materiale in fase di compattazione; si ha una contenuta diminuzione della densità massima raggiunta, ma nel contempo un miglioramento delle caratteristiche meccaniche.

Sono state dapprima effettuate prove di laboratorio su materiali prelevati da tre distinti punti del deposito, miscelati con il 2% di calce viva sul peso del terreno secco; la coesione non drenata minima è risultata di 115 kPa e media di 160 kPa (con compattazione pari al 98% della prova Proctor Modificata), i parametri di resistenza drenati, determinati con prove di taglio diretto su provini compattati alla densità massima Proctor Modificata e maturati 2 giorni, sono risultati pari a $c' = 22$ kPa e $\phi' = 32,5^\circ$; la densità massima raggiunta è risultata di 16,7 kN/m³ con un contenuto d'acqua ottimo di 19,4%; che è superiore del 5÷6% rispetto a quello determinato per il terreno senza aggiunta di calce. A seguito dei positivi risultati delle prove di laboratorio, che hanno evidenziato valori dei parametri meccanici del terreno compattato superiori a quelli di progetto, sono anche state effettuate alcune prove in campo. Sono stati testati campioni di terreno prelevati da parti diverse del deposito provvisorio, stendendo il limo in strati di circa 40÷50 cm; si è quindi proceduto alla rottura delle zolle di terreno mediante macchina operatrice munita di fresa, alla successiva stesa della calce nella quantità del 2% (del peso secco del materiale da trattare) ed infine si è proceduto alla miscelazione mediante idonea macchina operatrice (pulvimixer). I materiali così trattati sono stati nuovamente accumulati, al fine di far completare l'idratazione della calce e, dopo circa 3 ore, stesi per effettuare le prove di compattazione.

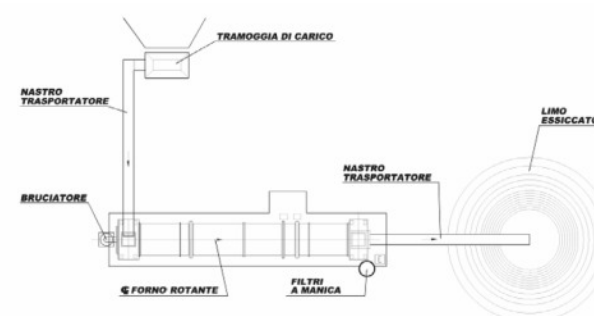


Figura 3: Schema del forno



Figura 4: Vista del forno in esercizio

Dighe

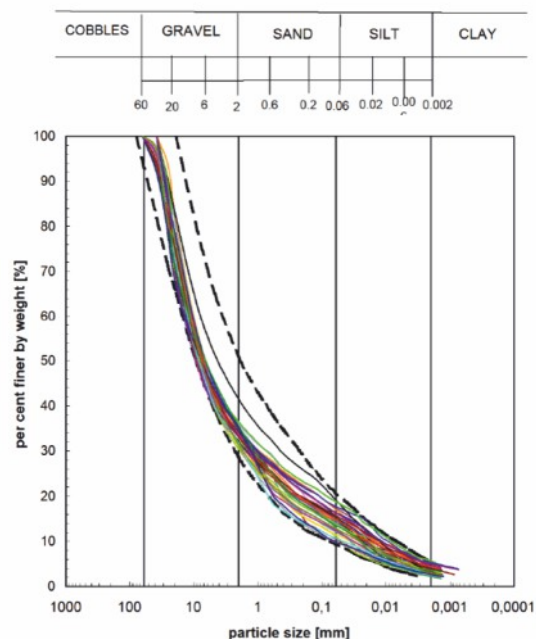


Figura 5: Curve granulometriche

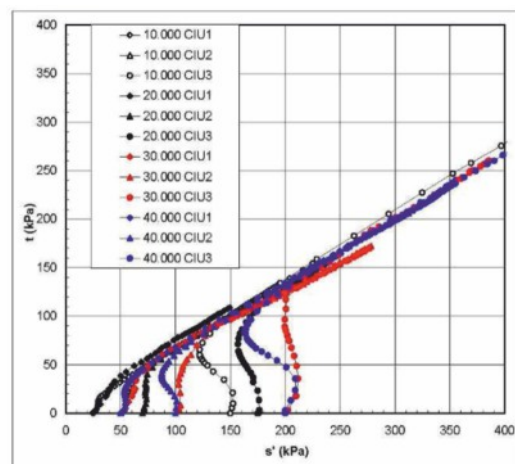


Figura 6: Prove triassiali TxCIU

Le prove effettuate hanno evidenziato una variabilità dei risultati, riconducibile al diverso contenuto d'acqua del terreno (gli strati più superficiali avevano una umidità inferiore rispetto a quelli più interni al mucchio) e quindi alla necessità di aumentare la quantità di calce da impiegare. Vista l'opportunità di operare in cantiere nel modo più lineare possibile e vista anche la necessità di confermare quanto riportato in letteratura [1] in merito alla stabilità chimica del terreno trattato soggetto a moti di filtrazione, si è ritenuto di sospendere la sperimentazione e verificare la percorribilità del parziale essiccamento del terreno mediante forno rotativo alimentato a gas metano.

Prove effettuate con l'impiego di un forno rotativo

Non essendo disponibile alcun essiccatore di dimensioni adeguate e già attrezzato allo scopo, una prima fase di sperimentazione è stata condotta su un forno normalmente adibito alla produzione di conglomerato bituminoso di diametro 1,20 m e lunghezza 12 m; i primi risultati ottenuti sono stati positivi riuscendo a raggiungere valori di umidità inferiori anche a quelli di progetto con temperature tali da non modificare la struttura del terreno.

Pertanto, è stato reperito sul mercato dall'impresa un forno a tamburo rotante, originariamente adibito all'essiccamento di alcune tipologie di rifiuti solidi urbani, che è stato allestito in cantiere durante il mese di luglio 2007. Nei mesi di agosto e settembre 2007 si sono effettuate le attività di avviamento del forno ed apportate le seguenti modifiche in connessione alla tipologia di materiale da trattare: modifica della tramoggia di carico, sostituzione del motore con uno di maggiore potenza, modifica della geometria delle palettature interne del tamburo per consentire un migliore transito del materiale, aumento della velocità di rotazione per evitare fenomeni di intasamento e surriscaldamento del terreno ed infine eliminazione del condotto di bypass dei gas in quanto questi causavano la condensazione di parte del vapore con conseguenti azioni negative sul funzionamento del forno stesso.

La configurazione finale dell'essiccatore è risultata la seguente (fig. 3 e 4): tramoggia di carico del limo, nastro trasportatore di caricamento, tramoggia di alimentazione del forno, bruciatore a metano di potenza massima 10.000 kW, tamburo di diametro 3 m e lunghezza 24 m con velocità di rotazione pari a 5 giri al minuto, aspiratore del vapore e dei fumi e una batteria di filtri a maniche per trattenere eventuali polveri contenute nei gas di scarico.

Produzione dell'impianto di essiccazione e parametri di controllo.

Le modifiche e le prove condotte hanno permesso di individuare i parametri idonei per ottenere una produzione del materiale con l'umidità prossima a quella ottima determinata con la prova Proctor modificata. Con un'umidità iniziale del terreno variabile tra il 30 ed il 34 %, il bruciatore è stato regolato in modo da mantenere la temperatura del materiale in uscita mediamente a 72°C e la temperatura del vapore e dei fumi attorno a 120°C.

Per verificare il corretto funzionamento dell'essiccatore sono stati eseguiti due prelievi giornalieri di terreno trattato, per la verifica del contenuto d'acqua, e due rilievi della temperatura del terreno in uscita dal forno e della temperatura dei gas di scarico.

In tal maniera si è ottenuta una produzione oraria di materiale trattato corrispondente a circa 25 m³ di materiale limoso posato in opera. Il materiale in uscita del forno, sostanzialmente costituito da palline sferoidali di diametro massimo di alcuni millimetri, ha avuto un peso di volume pari a circa 10,9 kN/m³ ed un'umidità media pari al 14,2%, con uno scarto rispetto all'umidità ottima inferiore al 3% (tolleranza prevista in progetto).

Campo prove e posa in opera del materiale limoso

Per determinare le modalità di posa in opera del materiale limoso, è stato effettuato un campo prove che ha fornito le seguenti indicazioni: stesa di materiale da compattare in strati di 15 cm rullati (circa 20 cm prima della rullatura), rullatura in 4 passate con rullo vibrante tassellato da 19 t, regolato alla velocità di 1,5 km/h e vibrazione a 30 Hz, e successive 6 passate con un rullo vibrante a superficie liscia da 11 t, regolato alla velocità di 1,5 km/h e vibrazione a 30 Hz. I risultati della determinazione della densità in sito hanno dato valori sostanzialmente costanti e pari o superiori a 17,0 kN/m³; per la determinazione della permeabilità sono state invece effettuate prove di laboratorio su provini ricostruiti alla densità di progetto ottenendo valori del coefficiente pari a 2×10^{-9} m/s. Il forno ha avuto nel tempo un funzionamento regolare ed un impiego giornaliero su due turni di lavoro in quanto, vista la vicinanza della zona di lavoro a case di abitazione, non era consentito il lavoro notturno; è stato rispettato il programma di manutenzioni programmate, che sono state effettuate durante i periodi di sospensione della produzione dovuti

o a situazioni ambientali o alla saturazione delle aree di deposito provvisorio.

I lavori di posa in opera del materiale limoso sono iniziati nell'ottobre 2007 e si sono conclusi a luglio 2009.

Controlli in fase di costruzione

In accordo con l'organo statale di controllo, sono state programmate le frequenze minime di controllo dei terreni posti in opera per verificare il rispetto dei requisiti minimi imposti dal progetto. Le prove geotecniche di controllo prevedevano l'esecuzione di una prova di densità in sito e di una serie di prove di classificazione geotecnica del terreno (granulometria, contenuto in acqua e determinazione dei limiti di Atterberg) ogni 2.000 m³ di terreno posto in opera; ogni 5.000 m³ era prevista una ulteriore serie di prove di classificazione ed ogni 10.000 m³ di terreno posto in opera veniva eseguito un prelievo per la verifica delle caratteristiche meccaniche, di permeabilità e di compattazione mediante prove triassiali TxCIU, di permeabilità in cella triassiale PET e una prova Proctor Modificata.

Terreno della prima berma di valle e di monte

I risultati delle prove Proctor modificata effettuate durante i lavori sono sempre risultati in linea con le prove sulla miscela di progetto con una densità secca massima che mediamente è risultata di circa 22 kN/m³ con variazioni contenute ($\pm 0,3$ kN/m³) e un'umidità ottima media del 5,7%.

I risultati delle prove di controllo di densità in sito sul rilevato hanno sempre dato esito positivo riguardo al minimo di densità secca previsto in progetto e perciò sempre superiore al 95% della prova Proctor modificata; il valore medio è risultato 21,7 kN/m³. Il valore minimo non è mai sceso sotto 20,75 kN/m³ e, pertanto, superiore ai 20,5 kN/m³ minimi previsti in progetto. L'umidità media è pari a 5,7%, coincidente con l'umidità ottima media. Le granulometrie del materiale sono sempre rimaste all'interno del fuso granulometrico previsto con la costante tendenza a posizionarsi nella parte bassa del fuso. (fig. 5). I limiti di Atterberg eseguiti sulla componente coesiva sono risultati: limite plastico WP sempre inferiore al 20%; limite liquido WL inferiore al 33%; l'indice plastico IP non ha superato il 12±13% (valore medio 7%). Le prove triassiali tipo TxCIU (consolidate non drenate) hanno confermato un angolo d'attrito ϕ' superiore a 40° e pertanto decisamente superiore al minimo richiesto (fig. 6).

Terreno limoso del corpo diga e della berma superiore

Le umidità del terreno durante la compattazione sono risultate mediamente del 13,2% cioè prossime all'umidità ottima delle prove Proctor modificata con scarti massimi del -1% e +3%; ciò ha consentito di ottenere un peso di volume medio del materiale secco di 17,7 kN/m³ con valori minimi non inferiori al valore di progetto di 16,5 kN/m³ corrispondente al 90% della densità della prova Proctor modificata; infatti i pesi di volume del terreno secco sono risultati compresi tra 16,5 e 19,2 kN/m³. Le granulometrie del materiale sono sempre rimaste all'interno del fuso granulometrico previsto con la costante tendenza a posizionarsi nella parte bassa del fuso nel campo delle sabbie, ma con percentuali di materiale limoso ed argilloso attorno al valore medio del fuso (fig. 7). I limiti di Atterberg sono risultati sostanzialmente in linea con i valori progettuali con modeste variazioni dovute sia al materiale sia alla dispersione dei risultati dovuti al tipo di prova. I valori del limite liquido WL sono compresi tra 29 e 41% con una media del 34%, mentre il limite plastico WP ha valori compresi tra 19 e 27% con un valore medio di 22%; l'indice plastico risulta compreso tra 8% e 12%. Le prove triassiali (TxCIU), eseguite sui campioni ricostruiti alla densità secca variabile da 16,9 kN/m³ a 17,2 kN/m³, hanno dato i seguenti parametri di resistenza (fig. 8): coesione $c' = 12 \pm 13$ kPa ed angolo d'attrito $\phi' = 31^\circ \pm 33^\circ$; coesione non drenata CU sempre superiore a 50 kPa anche con pressioni di consolidazione molto basse (25kPa) I valori pertanto sono sempre risultati congruenti con le prove di resistenza effettuate durante il campo prove e superiori ai valori minimi previsti in progetto.

Controllo dei cedimenti

Allo scopo di verificare l'assestamento del piano di posa dei nuovi rilevati sono stati posti in opera sei assestimetri a piastra su due sezioni, ritenute significative per il comportamento dell'opera. Su ogni sezione sono stati installati due assestimetri in corrispondenza della prima e della seconda berma di valle ed il terzo sul coronamento. Le misure hanno confermato i cedimenti maggiori al piede diga dove i terreni non erano ancora stati caricati (fig. 9).

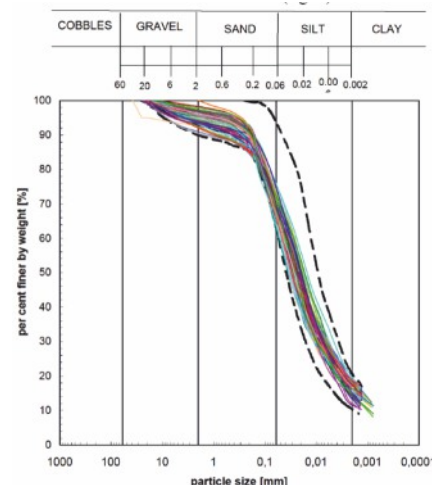


Figura 7: Curve granulometriche

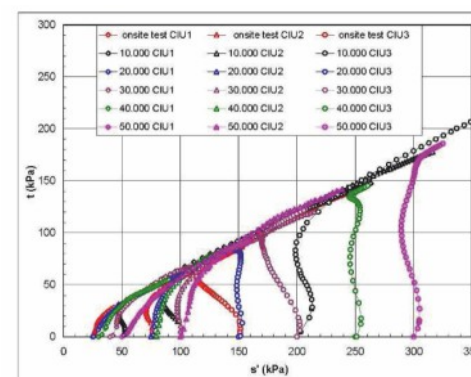


Figura 8: Prove triassiali TxCIU

Diga di Bastia - berma di valle a quota a 384,00 m s.l.m. assestimetro a piastra 1 - sezione C1

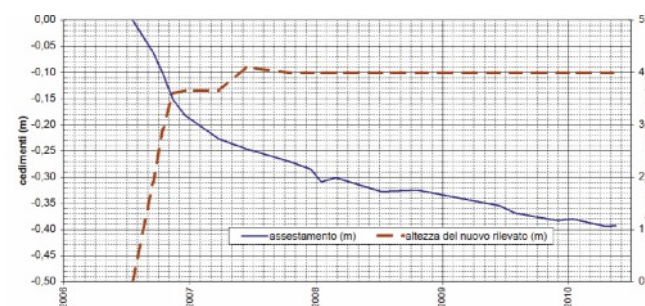


Figura 9: Andamento del processo di consolidazione durante i lavori

Diga di Bastia - berma di valle a quota a 384,00 m s.l.m.
sezioni C2-D1
manometri elettroacustici installati nel terreno di fondazione

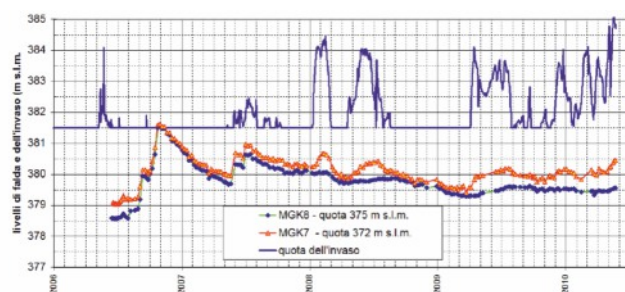


Figura 10: Misura delle pressioni neutre in fondazione

L'andamento dei cedimenti risulta in accordo con valori previsti.

Controllo delle pressioni neutre dei terreni di fondazione. Per il controllo delle pressioni neutre nel terreno di fondazione della diga, prima dell'inizio dei lavori, sono stati installati otto manometri elettroacustici in quattro fori di sondaggio posti lungo due sezioni rappresentative del nuovo rilevato.

Questi hanno consentito di verificare l'andamento della pressione neutra durante le fasi di costruzione e lo sviluppo del processo di consolidazione. Ciò è risultato evidente nel terreno di fondazione della berma a quota 384,00 m s.m. (fig. 10), mentre è risultato meno evidente per i terreni al di sotto del corpo diga poiché già caricati dal rilevato originario e dalle successive ricariche.

Installazione strumentazione di controllo

I lavori sul rilevato sono stati completati con l'integrazione della strumentazione esistente per il controllo dello sbarramento secondo il piano approvato dall'autorità di controllo; sono pertanto stati installati due stramazzi di misura dell'acqua proveniente dai drenaggi, 14 nuovi piezometri Casagrande, oltre agli 8 manometri elettroacustici installati all'inizio dei lavori; ulteriori 5 punti di livellazione sono stati posti sul coronamento e due nuovi fori assestometrici ad anelli magnetici ed il prolungamento di altri due già esistenti.

Conclusioni

Nella presente memoria si è illustrata la non usuale metodologia di realizzazione di un intervento di manutenzione su una diga in terra per prolungarne il periodo di vita utile; le principali difficoltà incontrate sono connesse alla necessità di aver dovuto utilizzare i sedimenti presenti sul lago. Non risultando possibile la riduzione dell'umidità dei limi ai valori di progetto mediante procedimenti naturali, si sono analizzate differenti tipologie di essiccazione del terreno; la scelta è ricaduta sull'utilizzo di un forno rotante che ha consentito una maggior linearità delle attività di cantiere ed una buona affidabilità sul controllo del processo e dei parametri di essiccazione. I controlli effettuati durante la fase di costruzione hanno fornito risultati conformi ai parametri di progetto.

Bibliografia

- [1] DE BEL R., BOLLENS Q., DUVIGNEAUD P.H., VERBRUGGE J.C.. (2005). "Influence of curing time, percolation and temperature on the compressive strength of a loam treated with lime". Paper n° C022 - International Symposium on Treatment and Recycling of Transport Infrastructures (TREM TI).
- [2] US Army Corps of Engineers - Waterways Experiment Station (1994). "Repair, Evaluation, Maintenance, and Rehabilitation Research Program". Proceedings of REMR Workshop on Levee Rehabilitation.