



DIGA DI BASTIA – RIPRISTINO DEL FRANCO IDRAULICO

Il progetto e la realizzazione dei lavori

Nove 17/05/2018

Seminario e visita tecnica della diga di Bastia



DIGA DI BASTIA (BL)

La diga di Bastia, ubicata nei comuni di **Ponte nelle Alpi, Puos e Farra d'Alpago**, sbarra l'emissario naturale del lago di Santa Croce, il **torrente Rai**. Il lago è alimentato dalle acque del suo principale immissario, il **torrente Tesa**, dal torrente Runal, dal Tesa Vecchio e dalle acque del **fiume Piave**, per mezzo di un canale adduttore con portata massima di **80 m³/s**.



Foto aeree (anno 1995)

DIGA DI BASTIA (BL)

Costruzione dell'argine di contenimento in terra (anni 1926-'29)



Negli anni 1926-'29 per ottenere l'**ampliamento del lago naturale di Santa Croce**, già utilizzato ai fini della produzione idroelettrica fin dal 1914, **fu costruita un'opera di ritenuta in terra lunga complessivamente quasi due chilometri.**

Il primitivo schema degli impianti prevedeva unicamente l'utilizzazione delle acque del bacino imbrifero proprio del lago (136 km²); mentre nel 1929 **l'intero bacino imbrifero superiore del Piave** (1690 km²), venne allacciato al lago di S.Croce a mezzo di uno sbarramento sul fiume, presso Soverzene, ed un **canale di collegamento con il lago** (denominato Piave-S.Croce) .

Nasceva così l'attuale utilizzazione del **serbatoio di S.Croce** che alimenta le centrali in cascata di **Fadalto, Nove, S.Floriano, Castelletto, Caneva e Livenza.**

DIGA DI BASTIA (BL)

Costruzione dell'argine di contenimento in terra (anni 1926-'29)



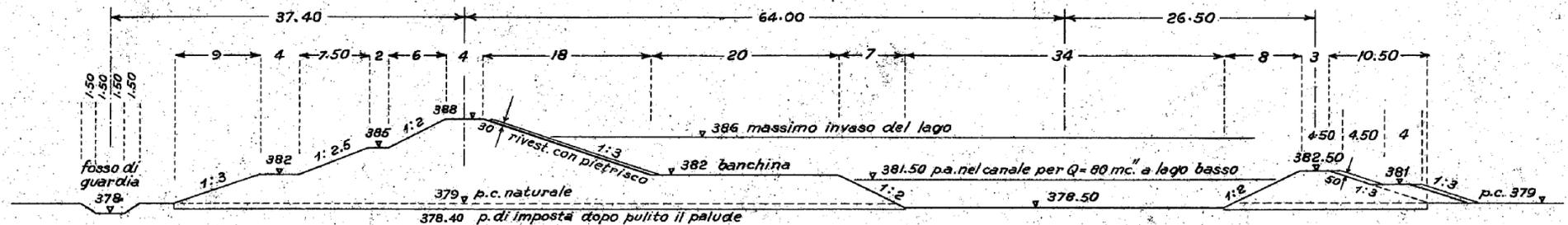
La quota di coronamento originaria era inizialmente di **388.00 m s.l.m.** e in corrispondenza al punto più depresso della fondazione l'argine raggiungeva l'**altezza di 10.50 m.**

I materiali utilizzati per la costruzione provengono, in massima parte, dalle alluvioni prospicienti l'area orientale dello sbarramento e dallo scavo del canale di derivazione.

La posa in opera fu effettuata costipando il terreno in **strati di 30 cm con mazza-picco e rullo compressore.** Il paramento di monte venne rivestito **con mantellata di pietrame in Scaglia Rossa**

Sezione normale dell'argine di contenimento del lago di S.Croce e del canale in terra attraverso le paludi Scala 1:500

Sezione
del 1930



DIGA DI BASTIA (BL)

Precedenti interventi sul corpo diga



A partire dalla costruzione completata nel 1929, su un tratto di qualche centinaio di metri, in prossimità della sponda occidentale, lo sbarramento ha denunciato un lento, graduale abbassamento del coronamento.

L'assestamento è stato tenuto costantemente sotto controllo. Alcuni **interventi di ricarica (1947)** hanno **ripristinato, provvisoriamente, la quota di coronamento**. Nel tratto in cui si concentravano i maggiori cedimenti **si è costruita una berma a valle (1950)**.

Nel 1963-'64, nel corso dei lavori di manutenzione delle due tubazioni di scarico dello sfioratore circolare, un tratto dello sbarramento è stato consolidato mediante iniezioni di miscela cementizia .

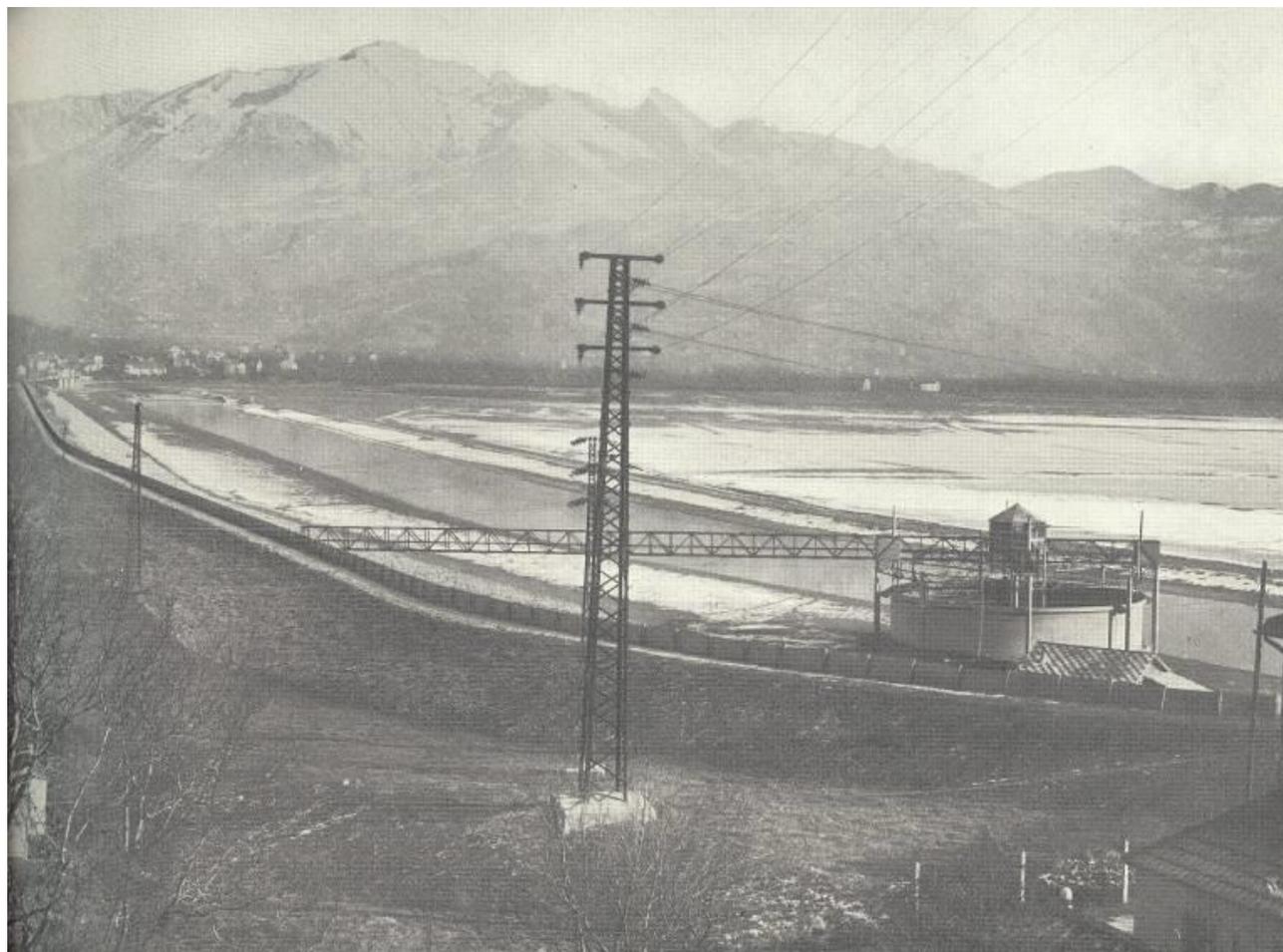
Negli anni **1964-'65 fu eseguita una serie di drenaggi trasversali sulla berma**, realizzata nel 1950, con buoni risultati.

In seguito all'alluvione del 3-4 novembre 1966 negli anni 1967 – 1968 lo sbarramento fu innalzato fino a quota 389,20 m s.l.m. mediante il **sovralzo** del corpo del rilevato verso il paramento di monte rivestendolo con **piastre in calcestruzzo**. I terreni utilizzati per questo ultimo intervento provenivano dall'alveo del torrente Tesa e risultarono quindi più permeabili.

DIGA DI BASTIA (BL)

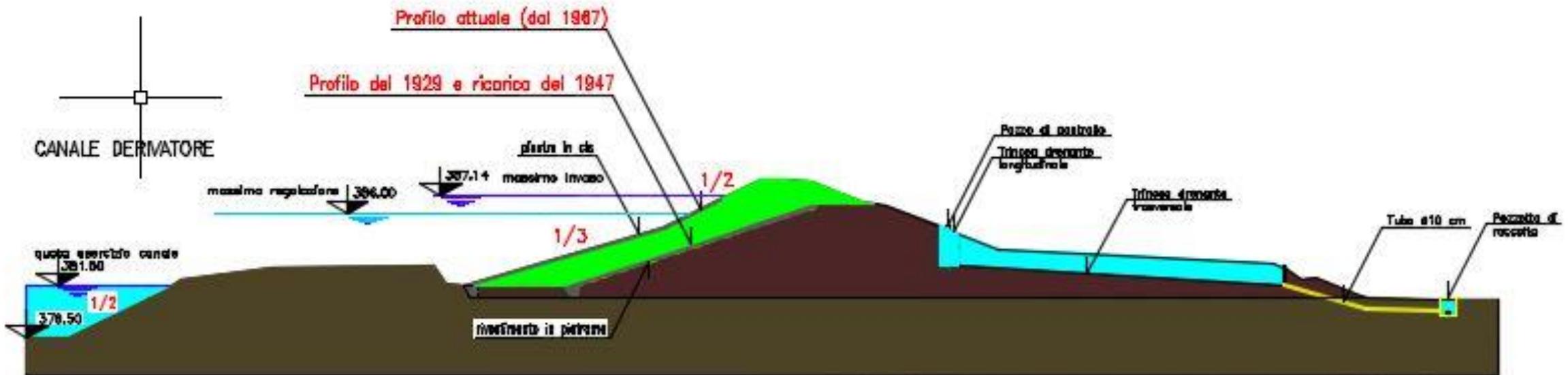
La diga negli anni '50

(è visibile il muro "frangionde" prefabbricato in c.a.)



DIGA DI BASTIA (BL)

La successione degli interventi eseguiti dalla costruzione fino al 2006



Sezione trasversale fino al 2006

DIGA DI BASTIA (BL)

Cedimenti dell'opera



Lo sbarramento poggia su un potente banco di **sedimenti limosi saturi normalconsolidati** con intercalazioni torbose, di origine fluvio-glaciale (di spessore massimo di **100 m**) la cui potenza si riduce da ovest verso est; il sedimento, **andando verso est**, passa da materiali più fini a terreni con un granulometria con **maggior presenza di ghiaia e sabbie**, risultando pertanto questi ultimi **meno compressibili**.

Il **substrato litoide** è costituito da rocce **calcareo-marnose rossastre** (Scaglia Rossa).

Di seguito sono riportati gli **assestamenti** registrati durante la vita dello sbarramento che hanno raggiunto valori superiori ai **2,5 m**.

DIGA DI BASTIA (BL)

Cedimenti dell'opera registrati dal 1930

Tabella 1 - Sbarramento di Bastia - cedimenti registrati dalla costruzione

| data | Cedimenti (cm) | | | velocità di abbassamento | | | note |
|-------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------|--|
| | C - C1 | D - D1 | P - P1 | (cm / anno) | | | |
| | C - C1 | D - D1 | P - P1 | C - C1 | D - D1 | P - P1 | |
| 19/10/1930 | 387,878 | 388,031 | 388,274 | | | | |
| 23/10/1947 | 386,536 | 386,840 | 387,976 | | | | |
| cedimento (cm) | 134,20 | 119,10 | 29,80 | 7,889 | 7,002 | 1,752 | |
| 23/10/1947 | | | | | | | ricarica rilevato realizzazione berma di valle zona segheria Saviane |
| 1950 | | | | | | | |
| 17/01/1968 | | | | | | | |
| cedimento (cm) | 46,00 | 41,50 | 13,20 | 2,273 | 2,051 | 0,652 | |
| 23/10/1968 | | | | | | | ricarica rilevato e sovrizzo dello sbarramento di 1,20 cm |
| 11/08/1997 | | | | | | | |
| cedimento (cm) | 69,05 | 65,75 | 21,26 | 2,398 | 2,283 | 0,738 | misurato sui capisaldi |
| cedimento (cm) | 101 | 89 | 31 | 3,507 | 3,090 | 1,076 | presunto assestamento del coronamento |
| differenza | 32 | 23 | 10 | | | | |
| 25/01/2008 | | | | | | | |
| cedimento (cm) | 78,95 | 76,17 | 25,57 | 0,947 | 0,997 | 0,412 | |
| tot. cedim. (cm) | 259,15 | 236,77 | 68,57 | 3,388 | 3,095 | 0,896 | |

Maggiorazione sul piano di coronamento rispetto ai capisaldi

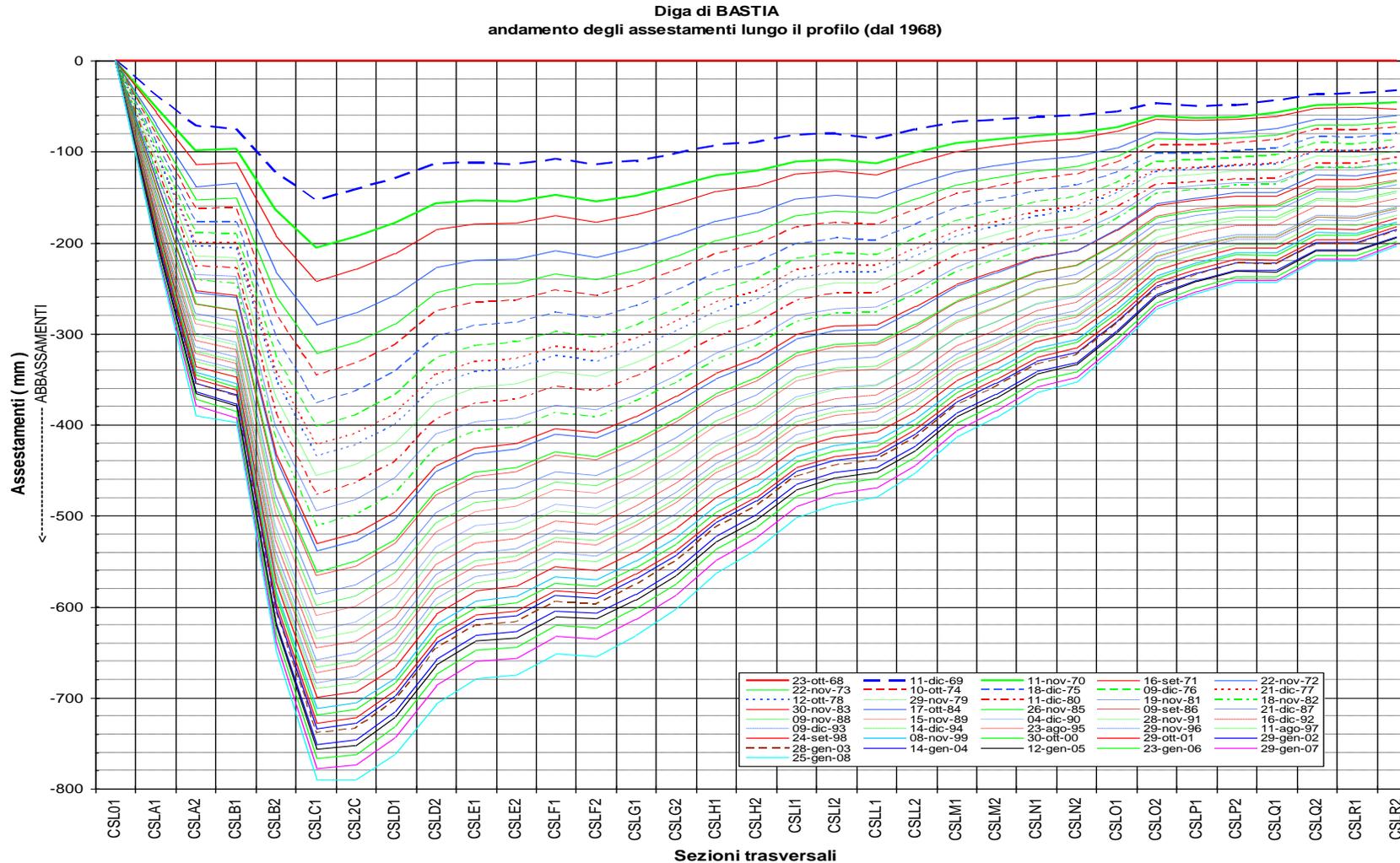


DIGA DI BASTIA (BL)

Cedimenti dell'opera registrati dal 1968 (40 anni)



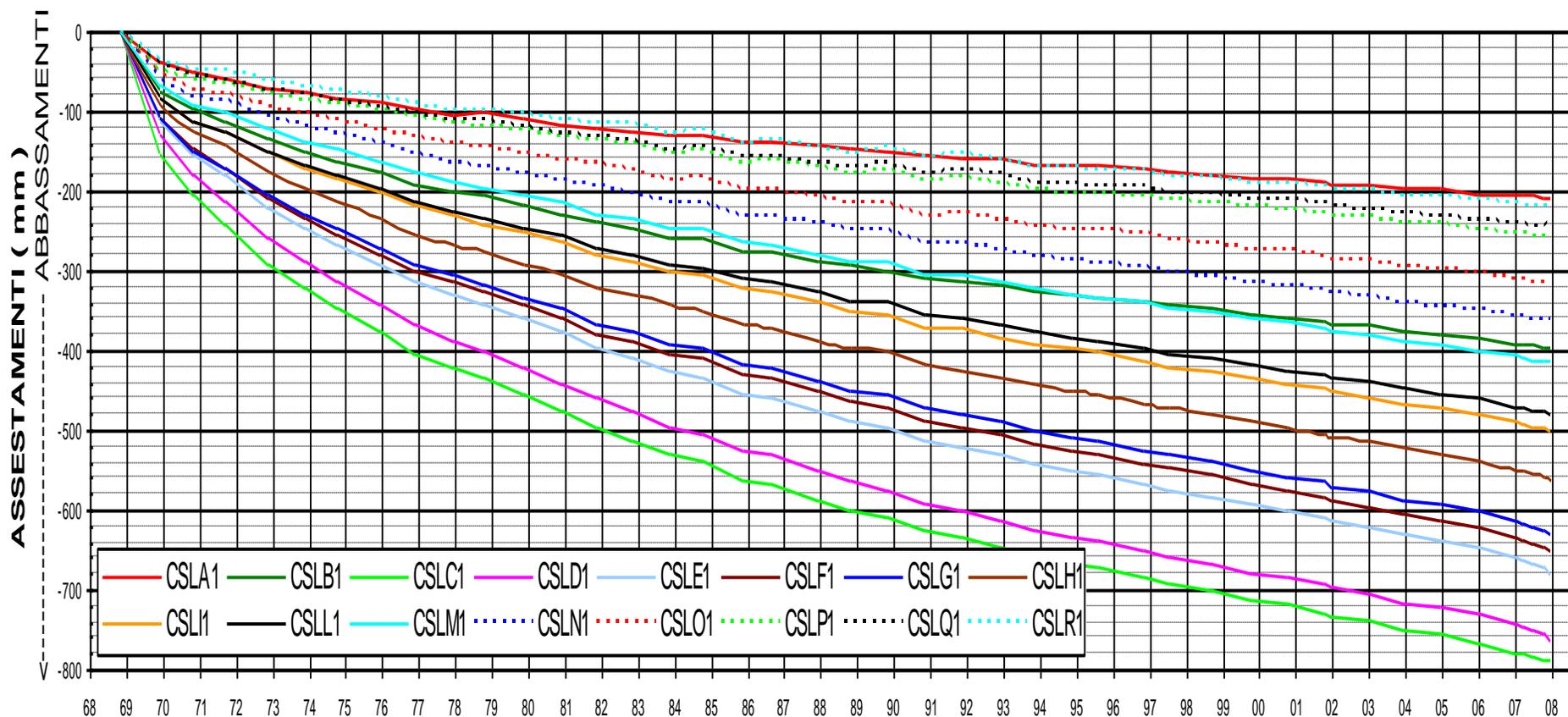
Diagramma degli assestamenti lungo il rilevato principale



DIGA DI BASTIA (BL)

Cedimenti dell'opera registrati dal 1968 (40 anni)

diagramma cedimenti - tempo di alcuni capisaldi significativi dal 1968



DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



Motivazioni del progetto

In seguito ai lenti cedimenti di consolidazione dei terreni di fondazione dello sbarramento, il coronamento della diga, negli ultimi 45 anni (dall'ultimo intervento di ricarica del corpo diga, completato nel 1968, al 2003), ha registrato assestamenti che hanno prodotto riduzioni di quota variabili **da 1,20 m** (in corrispondenza alla sezione C1) **a 0,60 m** (in corrispondenza alla sezione H1) e via via decrescenti per le sezioni verso il lato orientale sino a valori minimi di circa 25 - 30 cm.

Ciò ha causato una sensibile riduzione del franco idraulico dello sbarramento.

Approvazione dell'Autorità di Controllo

Il progetto redatto dalla funzione di **Ingegneria Civile Idraulica di Venezia di ENEL** è stato **approvato dal Registro Italiano Dighe (R.I.D.) in data 23 dicembre 2004**

DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



Caratteristiche geologiche e geotecniche

Il progetto è stato elaborato sulla base degli **studi geognostici eseguiti in più campagne d'indagine sui terreni di fondazione e sui rilevati** eseguite rispettivamente nel 1947-48 (ICOS), 1962 (ICOS), 1964-65 (ICOS), 2000-01 (SON.GEO).

Dalle indagini infatti è stato possibile:

- riconoscere all'interno del corpo del rilevato una **parte sommitale costituita da ghiaie e sabbie** (di spessore 3,5÷4 m), associabile al **sovralzo del 1967-68**, sovrapposto a terreni limo-sabbiosi-argillosi che rappresentano il **corpo arginale originario**;
- accertare che **i terreni di fondazione sono nel complesso omogenei e costituiti da limi e argille** (con presenza di livelletti sabbiosi), disposti a strati per lo più orizzontali e continui. I terreni si presentano in generale normalconsolidati con resistenza al taglio non drenata variabile con la profondità.
- **Attribuire la causa dei cedimenti registrati fin dalla costruzione dell'opera al processo di consolidazione dei limi e delle argille normalconsolidati costituenti la fondazione, innescato dal carico applicato dal rilevato e dai successivi interventi di ampliamento.**

DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



I parametri di resistenza dei terreni sono stati stabiliti in funzione:

- **dei diagrammi delle prove penetrometriche statiche CPT e dei risultati delle prove di laboratorio triassiali;**

In definitiva i valori associati ai tre terreni tipo individuati sono stati:

- terreni del corpo diga originario : $P_v = 18 \text{ [kN/m}^3\text{]} c = 4 \text{ [kPa]} = 30^\circ$

- ghiaie e sabbie della ricarica del corpo diga del 1967-68 : $P_v = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]} c = 0 \text{ [kPa]} = 35^\circ$

- terreni di fondazione: $P_v = 18 \text{ [kN/m}^3\text{]} c = 4 \text{ [kPa]} = 27^\circ$

Fa eccezione la sezione H1 dove, nel terreno di fondazione tra le quote 370 e 367 m s.l.m., è presente uno strato ghiaioso a cui si sono attribuiti i seguenti parametri:

$P_v = 18 \text{ [kN/m}^3\text{]} c = 0 \text{ [kPa]} = 30^\circ$

•

DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



Descrizione del Progetto

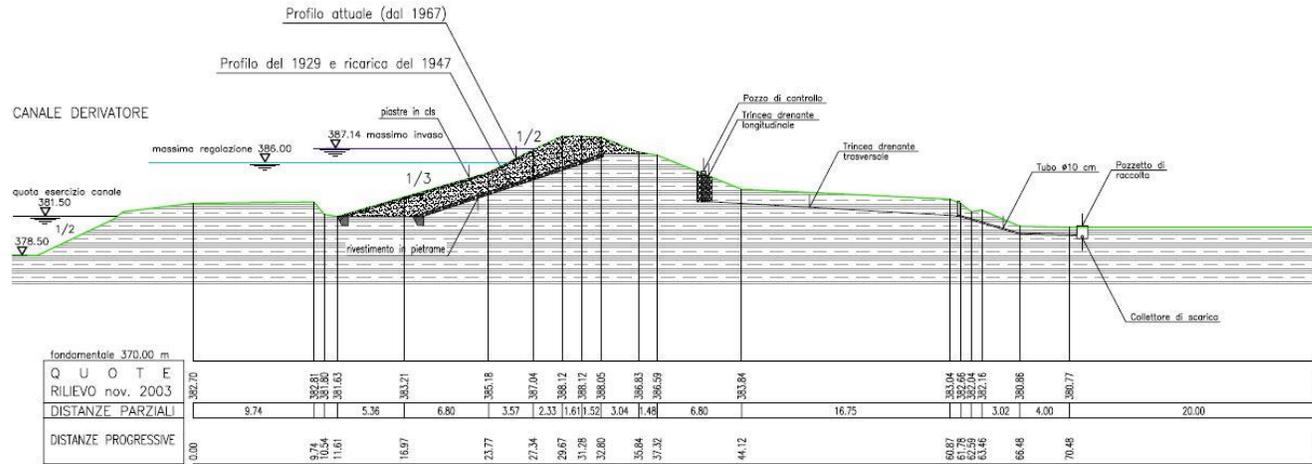
Per il ripristino della quota di coronamento (389,20 m s.l.m) il progetto ha previsto l'esecuzione di un sovrizzo del rilevato che a differenza di quello fatto nel 1967-68, sarà eseguito verso valle mantenendo perciò il paramento di monte esistente e prolungandolo con la stessa pendenza fino alla quota coronamento.

Per migliorare la stabilità il progetto ha previsto un **ingrossamento della sezione verso valle** tramite due banchine: la prima a quota 386,5 m s.l.m. di 3 m di larghezza, la seconda a quote variabili tra 383,50 e 384,0 m s.l.m. di larghezza variabile.

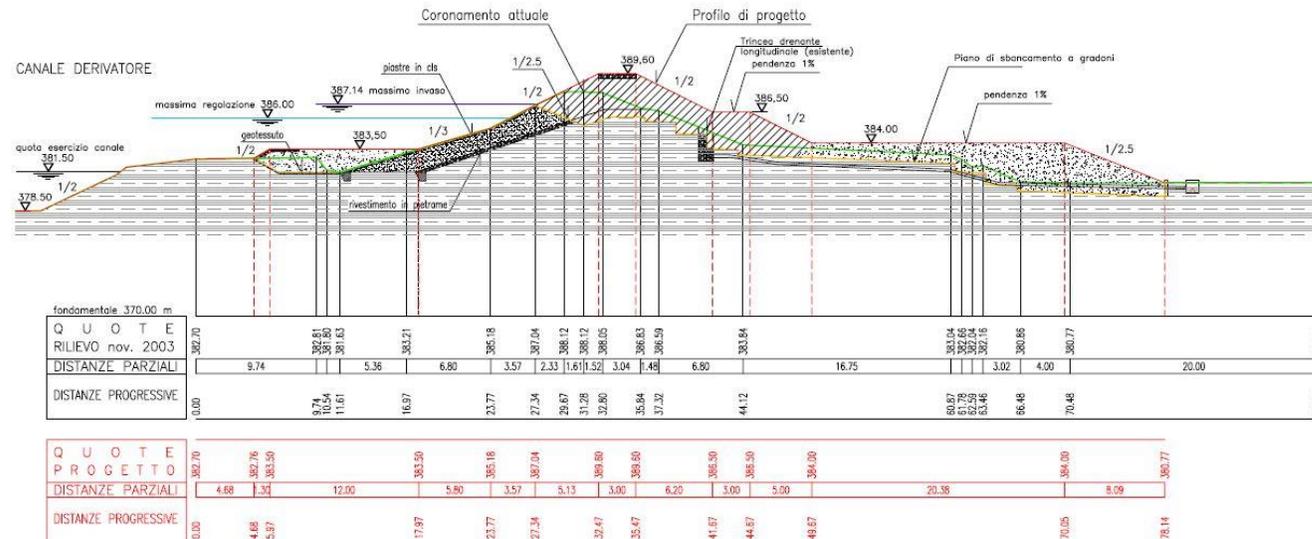
Su un tratto del paramento di monte della diga principale è prevista anche la realizzazione di una berma d'altezza modesta (quota 383,50 m s.l.m.) **con funzione stabilizzatrice** del rilevato (lato monte) **finché il processo di consolidazione porterà ad un miglioramento della coesione non drenata dei terreni di fondazione.** La berma sarà realizzata con terreno di tipo permeabile protetto dall'erosione con **materassi tipo "Reno"** di spessore 30 cm riempiti con pietrisco e ciottoli.

DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



Sezione C1 prima dei lavori



Sezione C1 di progetto

DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)

Il terreno dell'ampliamento del rilevato della **diga principale** sarà costituito:

- **per la parte sommitale e per il corpo diga**, da terreni **impermeabili di tipo limoso con granulometria simile a quella del corpo del rilevato originario**, costipati al 90% della densità della prova Proctor modificata, mediante stesa del materiale al contenuto ottimo d'umidità e compattato in strati con rulli gommati o a piede di pecora;
- **la berma inferiore posta sul paramento di valle e quella a monte** saranno invece costituita da materiale più permeabile (sabbie e ghiaie limose) costipato al 95% della densità della prova Proctor modificata mediante stesa del materiale al contenuto ottimo d'umidità e compattato in strati di 30 cm di spessore con rulli gommati o rulli vibranti.

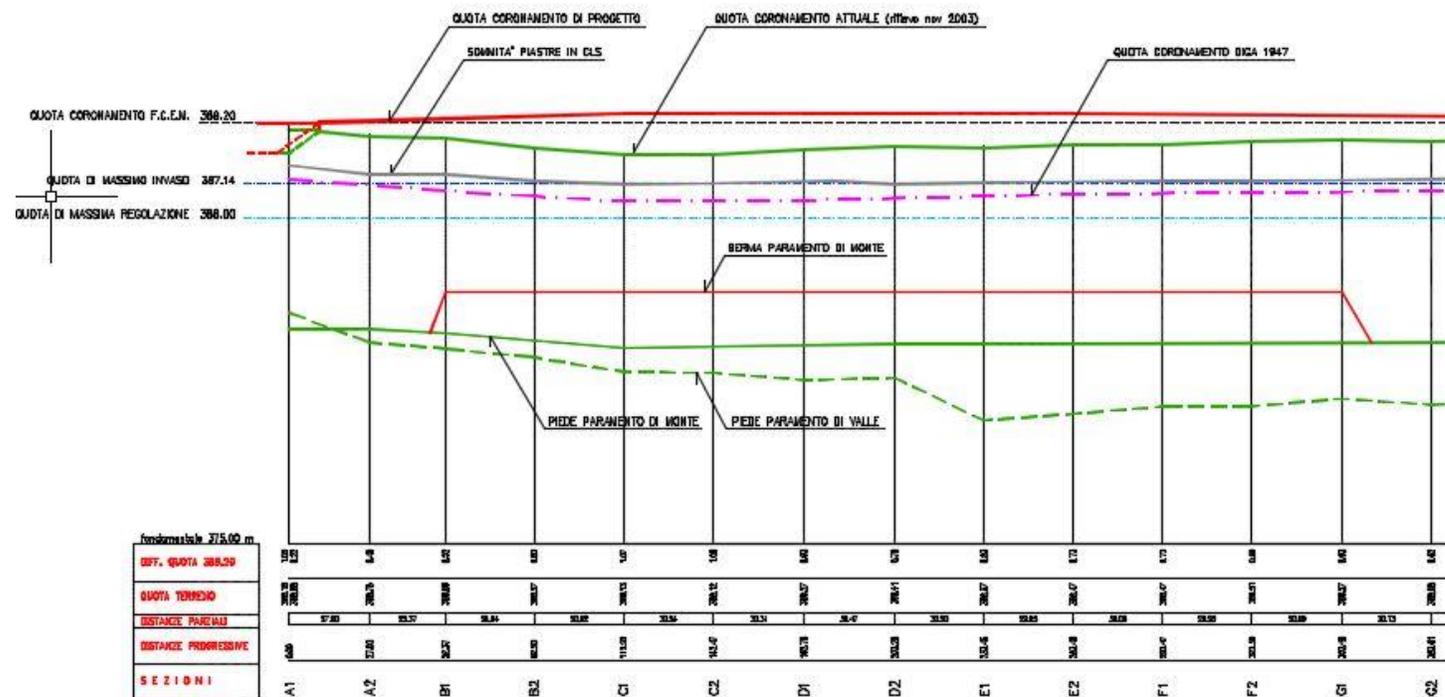


DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)

Lungo il tratto di diga principale la quota di progetto del coronamento a fine lavori sarà **leggermente maggiore e variabile** lungo l'intero sviluppo per ottenere la **quota di 389,20 m s.l.m. sull'intero coronamento** dopo un periodo di circa **30 anni** e con il raggiungimento del processo di consolidazione dei terreni di fondazione pari a circa l'**85%** (sovramonta).

Estratto del profilo longitudinale di progetto



Tale processo inevitabilmente subirà un incremento non appena verrà applicato il nuovo carico costituito dal materiale messo in opera.

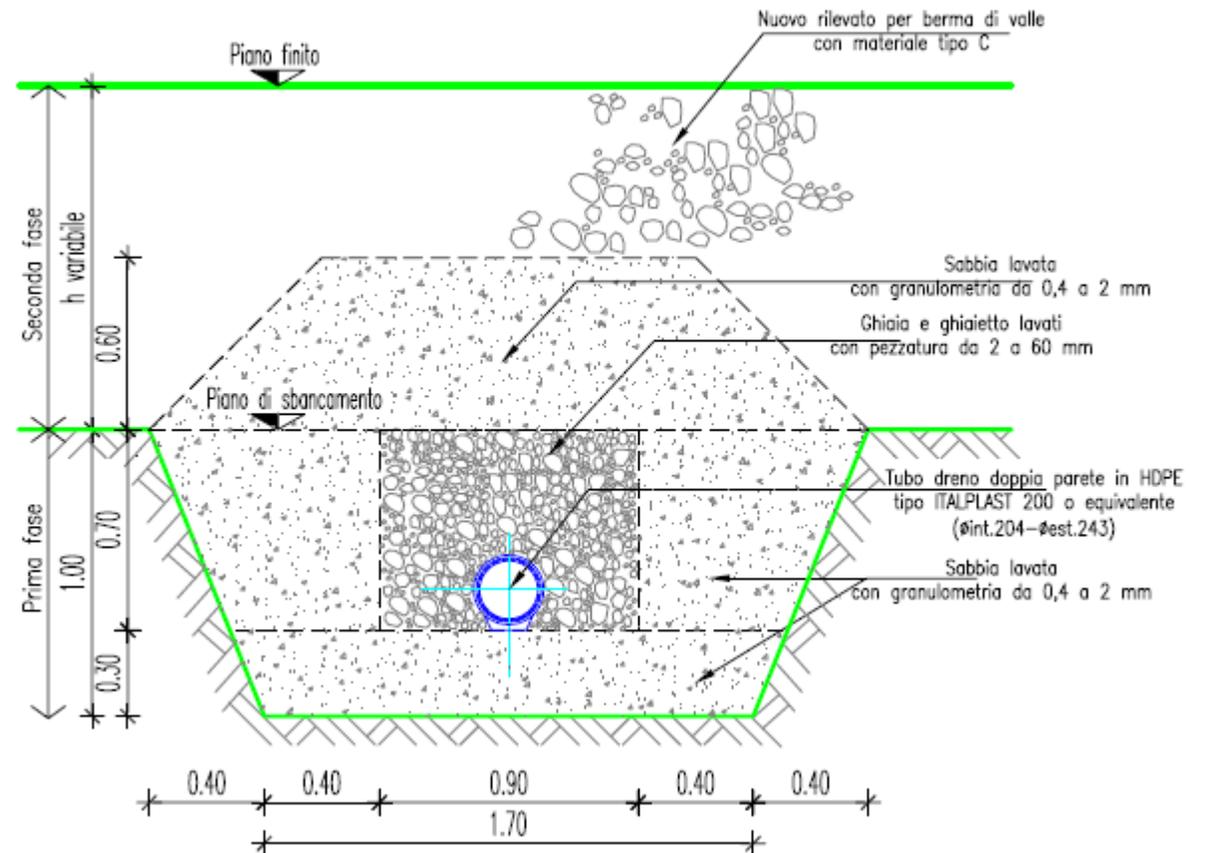
DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)

Dreni

Al piede del paramento di valle verrà **ampliata l'attuale rete di drenaggi trasversali** proseguendola fino a oltre la sezione G1. Ciò garantirà un maggior controllo del livello di falda al piede diga. Similmente a quelli già presenti i nuovi drenaggi saranno costituiti da trincee drenanti poste ortogonalmente all'asse diga riempite di sabbia, ghiaia e ciottoli con un tubo di raccolta che convoglierà le portate drenate nel canale di guardia.

Sezione dreni a filtro rovescio



DIGA DI BASTIA (BL)

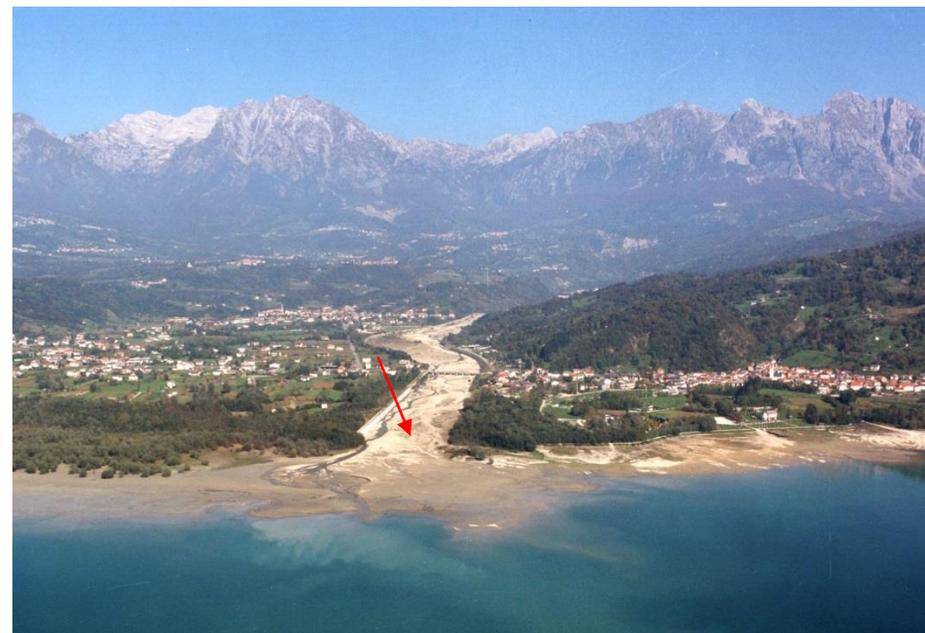
Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



Cave di prestito

Per ridurre l'impatto dei lavori sul territorio circostante sono stati scelti i siti più prossimi alla diga all'interno del lago che sono risultati idonei al prelievo del materiale da utilizzare per l'ampliamento del corpo diga risultano:

- per i terreni impermeabili (limi con sabbia argillosi o limi sabbiosi argillosi) **l'area all'interno del lago situata ad est del sifone Bastia**; tale area è già stata utilizzata in passato per i lavori di costruzione del corpo diga originario.
- per i terreni più permeabili (ghiaie sabbiose limose) e **l'area all'incile del torrente Tesa all'interno del perimetro del lago**



DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)



Verifiche di stabilità

La Normativa a cui si è fatto riferimento per l'esecuzione delle verifiche di stabilità è il D.M.LL.PP 24 marzo 1982 - **Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento.**

Sono state di conseguenza analizzate le seguenti condizioni di esercizio:

- **a serbatoio pieno** con livello al massimo invaso
- **a seguito di rapido** svuotamento del serbatoio dal livello di massimo invaso al livello di minimo invaso, inteso come livello al piede del paramento di monte.

Poiché l'opera è ubicata in **zona sismica di 2a Categoria** (1984), sono state effettuate anche le verifiche in condizioni di sisma.

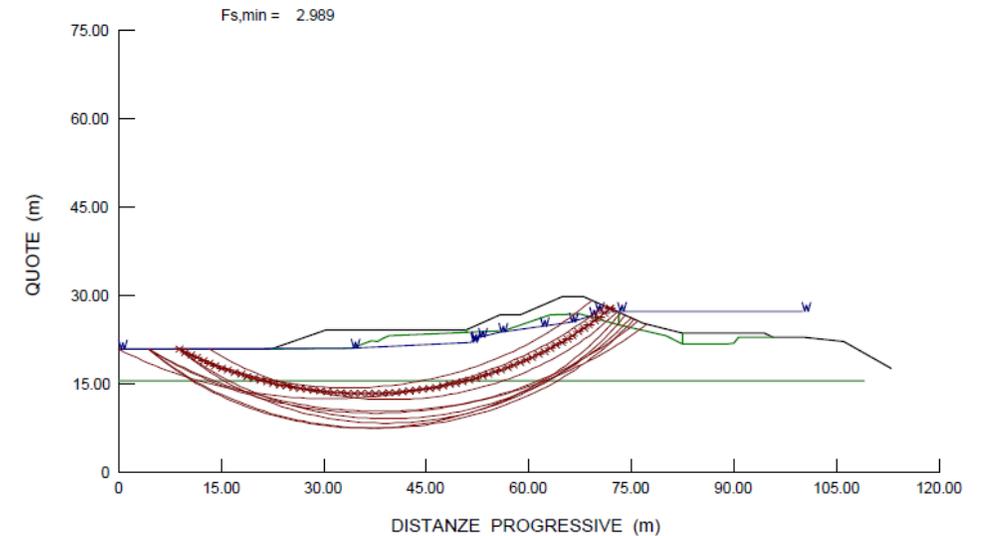


Fig. 7 Sez. C1 Verifica di Stabilità - Lato Valle - Serbatoio pieno - Livello al massimo invaso - Senza Sisma

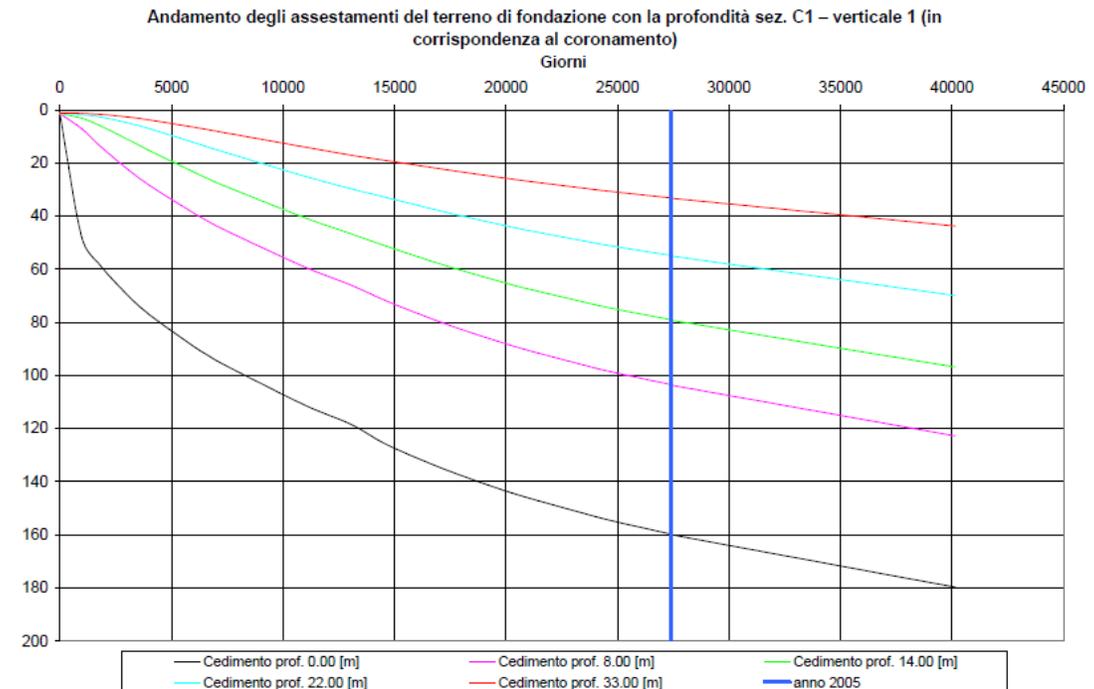
DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2004)

Calcolo dei cedimenti

Per calcolare i cedimenti futuri si è utilizzato lo stesso modello “tarato” con i cedimenti fin ora registrati. Questo modello, in base alla storia di applicazione dei carichi sul terreno di fondazione (costruzione del rilevato e ai successivi interventi di soprizzo) ed alle caratteristiche geotecniche di deformabilità e di permeabilità, calcola il cedimento mediante la teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

Oltre al calcolo del cedimento finale atteso, è stato indagato l'andamento dei cedimenti nel tempo esteso fino a 40150 giorni dall'origine e cioè fino all'anno **2040** quando cioè il grado di consolidazione dei terreni di fondazione soggetti ai maggiori cedimenti sarà all'incirca dell' 85%. **Ciò al fine di garantire fino a tale data una quota di coronamento superiore a quella prevista nel Foglio Condizioni Esercizio e Manutenzione.**

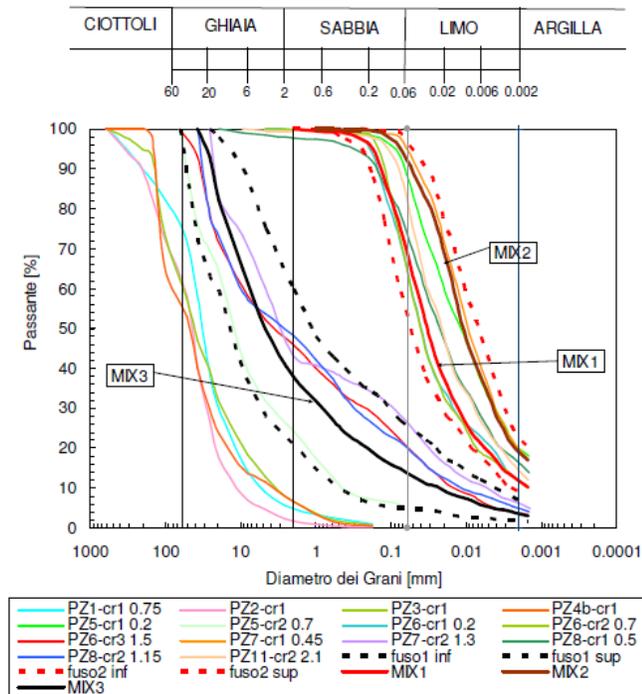


DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto esecutivo (anno 2005)

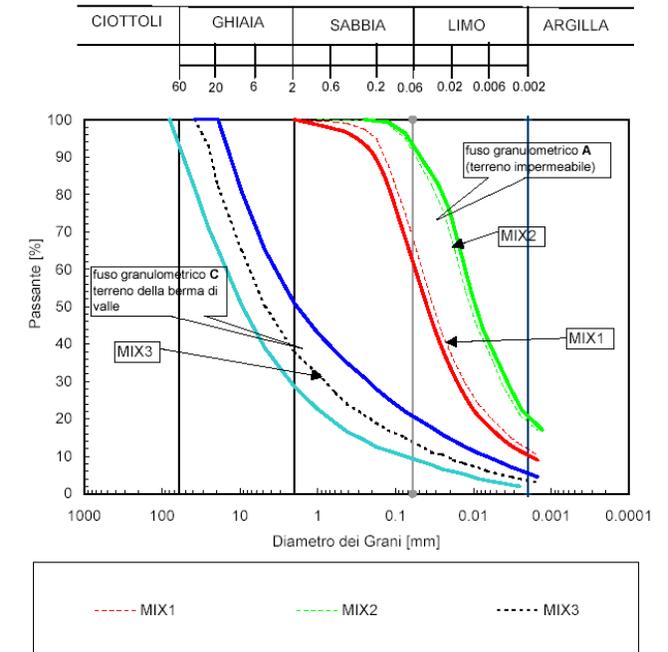
Caratterizzazione stratigrafica e geotecnica presso le cave di prestito

Nel gennaio del 2005, il CESI Centro Elettrotecnico Sperimentale Giacinto Motta S.p.A. ha eseguito una campagna di indagini di laboratorio finalizzata alla **caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei materiali prelevati presso le cave di prestito** che forniranno i materiali necessari al ripristino del franco della diga.



Dalle prove di laboratorio è stato possibile individuare le miscele dei materiali disponibili ed indagare gli indici, la resistenza meccanica al taglio e la permeabilità al fine di scegliere i fusi granulometrici compatibili con i parametri geotecnici di progetto.

FIG. 1 Diga di Bastia - Progetto di ripristino del franco idraulico - fusi granulometrici dei materiali da porre in opera



DIGA DI BASTIA (BL)

Progetto di ripristino del franco idraulico della diga (anno 2015)



Progetto esecutivo

Con le ultime prove geotecniche è stato possibile completare il progetto esecutivo da inviare al RID e la sottoscrizione del Foglio Condizioni per la costruzione con i controlli minimi e le prescrizioni da rispettare durante la costruzione;

IL R.I.D. non ha ritenuta necessaria la nomina dell'Assistente Governativo.

Autorizzazione Urbanistica Ambientale

L'autorizzazione per l'esecuzione dei lavori ricadenti nei Comuni di Ponte nelle Alpi, Puos d'Alpago e Farra d'Alpago è stata rilasciata dalla Provincia di Belluno (Settore Lavori Pubblici – Difesa del Suolo), a seguito di Conferenza dei Servizi in data **10 ottobre 2005** nella quale sono stati coinvolti per competenza, oltre ai tre Comuni, anche l'Ufficio Caccia e Pesca, la Difesa del Suolo della Regione, la Sovrintendenza per i Beni Ambientali, il Corpo Forestale, i Servizi Forestali, il Genio Civile e Veneto Strade.

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Principali figure coinvolte

Committente: **ENEL Produzione S.p.A. – UNITA' BUSINESS DI VITTORIO VENETO**

Ditta appaltatrice **A.T.I. SALVATI S.p.A. e WORTEX HYDRA S.r.l.** con la quale hanno operato nel corso dei lavori ulteriori cinque imprese subappaltatrici.

Prove geotecniche durante il corso dei lavori: **CESI** (già autore delle prove preliminari di progetto).

Direzione dei Lavori ed il Coordinamento Sicurezza cantiere (CSP e CSE): **ing. Paolo Chemello di ENEL** già **progettista dei lavori**, coadiuvato in cantiere da un assistente tecnico ENEL di U.B. Vittorio Veneto.

Commissione di collaudo: **ing. Stefano Mazzolani** e geol. **Rita Salvucci** del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione Generale per le Dighe.

Lo stato di avanzamento dei lavori è stato comunicato settimanalmente a mezzo fax all' **ing. Giovanni Aprilini** ingegnere referente per i lavori per conto del **R.ID.** che ha svolto visite periodiche di controllo in cantiere

I lavori sono iniziati il 13 febbraio del 2006

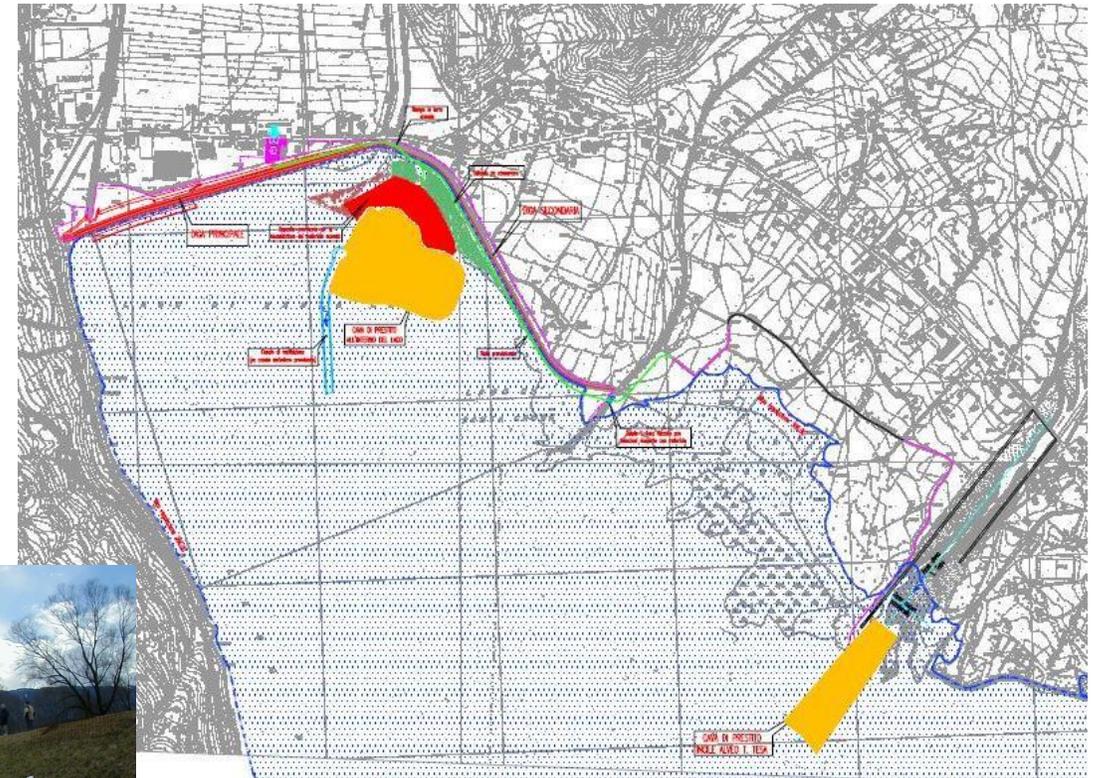
DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Recinzioni, box e approntamento della viabilità di cantiere.

Conformemente alle previsioni del PSC sono stati dapprima eseguiti il nuovo accesso carraio dalla S.P. n° 422, gli apprestamenti di sicurezza relativi alla recinzione, segnaletica ed ai servizi igienico sanitari del cantiere.

Di seguito sono state realizzate **le piste che collegano le cave di prestito alla diga**. In particolare dal torrente Tesa è stata realizzata una pista esterna all'area naturalistica dello Sbarai **lunga complessivamente 3,3 km** comprendendo anche un rilevato in terra armata per permettere l'attraversamento della diga presso il sifone Bastia, funzionale anche alla cava di prestito nel lago.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Particolari dei vecchi drenaggi e rifacimento ed estensione degli stessi nel 2006



Vecchi drenaggi trasversali (1965)



Rifacimento drenaggi trasversali (anno 2006); è visibile il tubo DN 200 ed il cassero per la realizzazione del filtro (internamente ghiaia ed esternamente sabbia)

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Particolare del rifacimento ed estensione dei drenaggio nel 2006



Fase di sfilamento del cassero



Completamento e compattazione
del terreno costituente il filtro

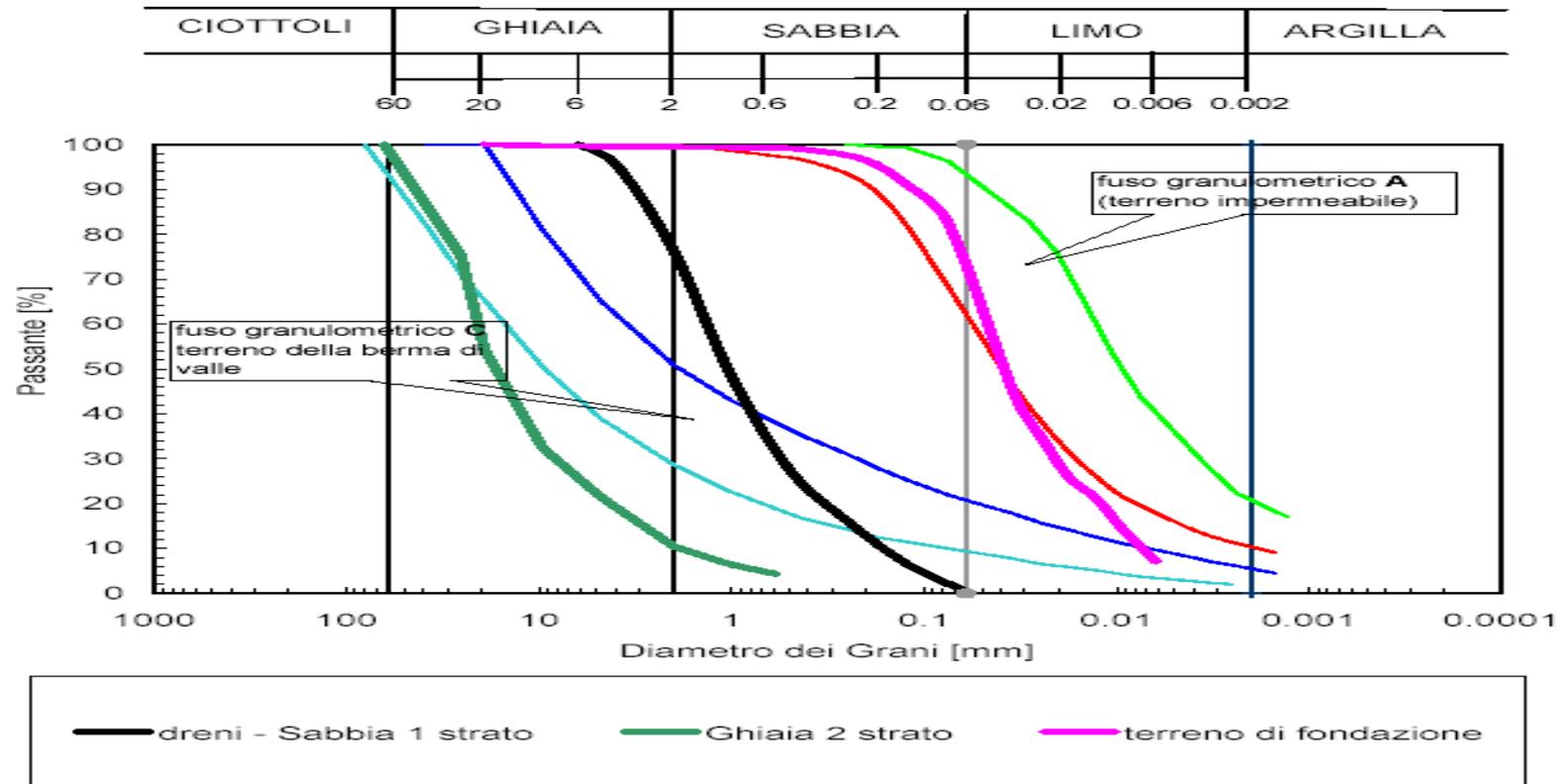
DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Curve granulometriche per i filtri

FIG. 1

Diga di Bastia - Progetto di ripristino del franco idraulico - drenaggi - curve granulometriche dei dei filtri



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco (anni dal 2006 al 2009)



Estrazione e vagliatura del materiale granulare Tipo C dalla cava di prestito in alveo del T. Tesa (2006)

Il materiale granulare estratto dall'alveo è stato trasportato presso l'area attrezzata adiacente alla cava di prestito nel lago ove è stato sottoposto a vagliatura con parziale frantumazione e miscelato con il 12 % di materiale limoso (estratto dal lago) al fine di ottenere un miscela compatibile con il fuso granulometrico di progetto.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Posa geogriglia sul terreno di fondazione della berma di valle

Per un tratto, tra le sezioni L1 e E2, di circa **330 m**, a causa del terreno **saturo d'acqua** e delle scarse caratteristiche meccaniche, non era possibile ottenere le densità prescritte **per le deformazioni che il terreno di fondazione subiva durante la compattazione.**

Pertanto per poter migliorare le caratteristiche del piano di posa senza creare una soluzione di continuità con il terreno di fondazione s'è utilizzata una **geogriglia stesa sul piano di fondazione** (con verso monte-valle) sopra cui veniva posato il materiale tipo "C" della berma di valle da compattare.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Alcune fasi della stesa e compattazione del terreno granulare tipo C sulla berma di valle



Compattazione per strati di **25 cm** finiti (circa 30 cm prima della rullatura) mediante rullatura in **8 passate con rullo a superficie liscia** da **19 t** modello Hamm 3520 HT regolato alla velocità di **1,5 km/h** (il metodo è stato preventivamente testato su campo prove e approvato dal R.I.D).

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Alcune fasi della realizzazione della berma di monte con materiale granulare tipo C e protezione con materassi tipo «Reno»



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco (anni dal 2006 al 2009)

Riepilogo quantità e caratteristiche geotecniche del terreno granulare tipo C

Quantità messe in opera:

- Berma di valle diga principale: 35.600 m³;
- berma di monte diga principale: 5.000 m³;
- intervento sulla diga secondaria: 3.400 m³.

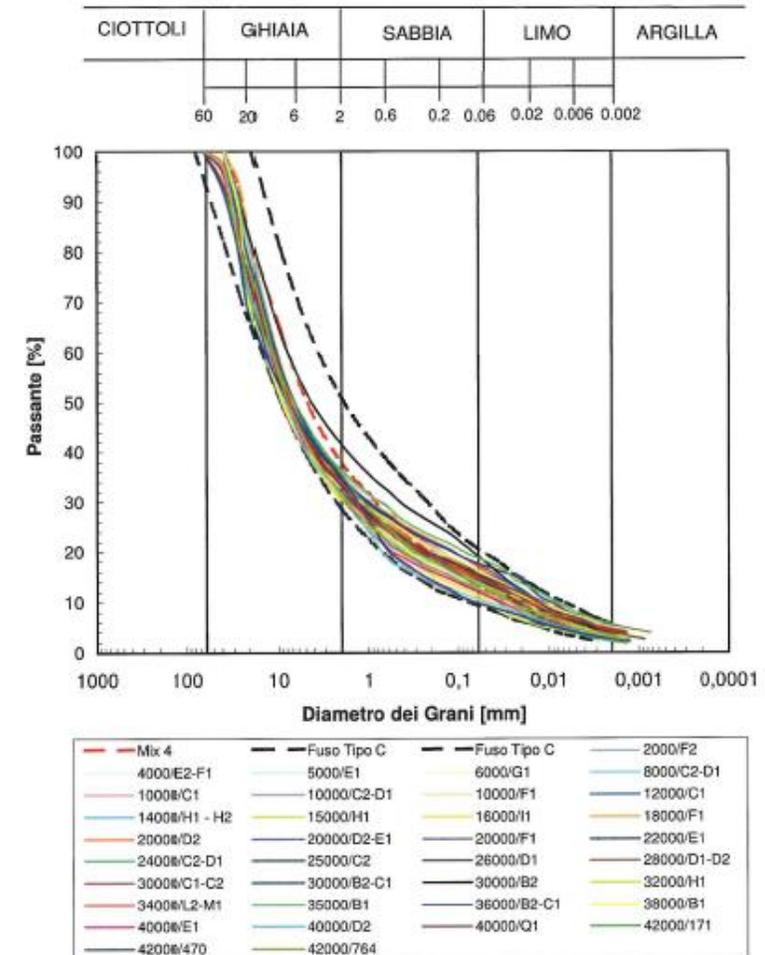
Per un totale di **44.000 m³** di cui la metà sono stati messi in opera da settembre a metà ottobre 2006.

I risultati delle prove “**Proctor Modificata**” danno una densità secca massima che mediamente è risultata di circa **22 kN/m³** con variazioni contenute ($\pm 0,3$ kN/m³) con una W_{opt} compresa tra **5.3 e 6.3%**.

I risultati delle **prove di densità in sito** danno valori superiori al **95%** della prova Proctor modificata; il valore medio è risultato **21,69 kN/m³**. Il valore minimo non è mai sceso sotto 20,75 kN/m³. L'umidità è risultata compresa tra **4 e 7%**

I limiti di Atterberg sono sempre risultati inferiori rispettivamente al limite plastico WP di 20% ed al limite liquido WL di 33%; l'indice plastico IP mediamente del 7% non ha superato il 12-13%.

Le prove triassiali tipo Tx CIU (consolidate non drenate) hanno confermato un **angolo d'attrito ϕ' superiore a 40°** e pertanto decisamente superiore al minimo richiesto.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Estrazione materiale limoso TIPO A dalla cava di prestito nel lago.

Per accedere alla cava di prestito nel lago, a causa della scarsa portanza del materiale normalconsolidato saturo d'acqua, è stata necessaria la realizzazione di un consistente cassonetto in materiale ghiaioso su tessuto in polipropilene, di elevate caratteristiche meccaniche, impermeabile ad alta resistenza e risvoltato sui lati. I mezzi escavatori hanno spesso impiegato degli zatteroni in legno disposti sotto i cingoli.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Asciugatura del materiale limoso tipo A

Per raggiungere le caratteristiche meccaniche richieste dal progetto per il materiale tipo “A” era **necessario ridurre l’umidità del materiale prima della posa e compattazione.**

Quest’attività, che prevedeva l’asciugatura all’aria del materiale mediante ventilazione ed essiccazione naturale, eseguita normalmente mediante stesa in strati e successiva fresatura del materiale, **è risultata difficile da attuare** causa le variabili del materiale asportato dalla cava di prestito (differenze dell’umidità contenuta), delle condizioni climatiche e dell’indisponibilità di aree di stoccaggio all’asciutto ampie ed idonee.



Cave di prestito allagate



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Trattamento del terreno limoso con CALCE VIVA

Su proposta dell'impresa esecutrice dei lavori, è stata analizzata la possibilità di ottenere una riduzione dell'umidità ed un miglioramento del comportamento del materiale durante la compattazione mediante **l'aggiunta di calce viva (ossido di calcio), in percentuale del 2%** in peso del terreno secco, prima della sua stesa e posa in opera.

La calce viva (CaO) a contatto con l'acqua del terreno reagisce formando idrossido di calcio con una reazione fortemente esotermica che 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 Modificato **spostando il valore ottimo verso contenuti d'acqua maggiori** e conseguentemente migliora la "lavorabilità" del materiale in fase di compattazione con **una contenuta diminuzione della densità massima raggiunta (vedi digramma sulla diapositiva seguente)**

Quest'ultimo aspetto viene compensato dal fatto che è possibile raggiungere un grado di compattazione prossimo al 100% della densità massima della prova Proctor Modificato in virtù del miglior comportamento del materiale in fase di compattazione.

Un altro effetto che si ottiene già a breve termine è il **leggero aumento dell'angolo di attrito** dovuto alla flocculazione e scambio ionico con le particelle più fini.

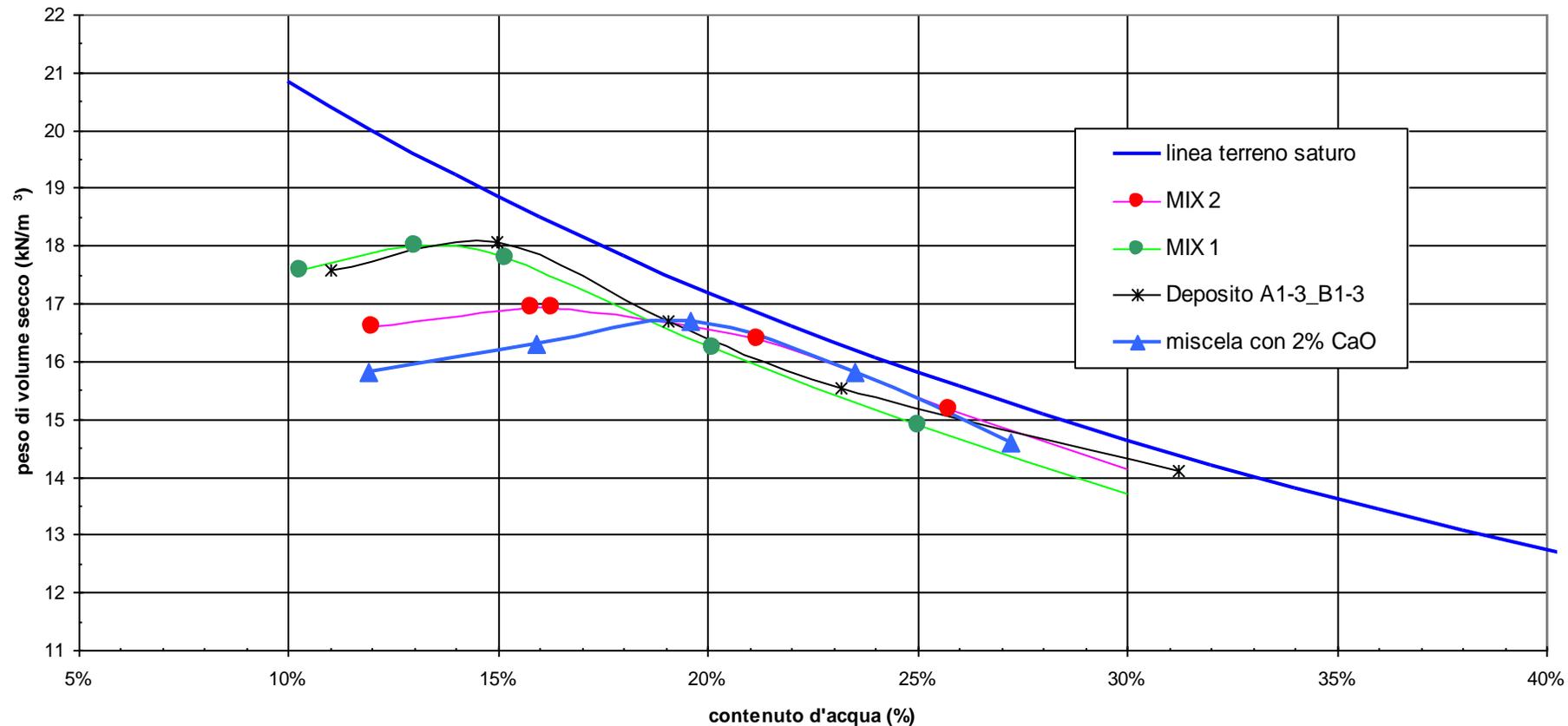
Viste le non elevate percentuali di argilla presenti nei campioni prelevati e il basso dosaggio della calce non sono da attendersi invece incrementi sostanziali delle resistenze a medio-lungo termine dovute alle reazioni chimiche (reazioni pozzolaniche) con i minerali argillosi causate dalla reazione dell'idrossido di calcio con l'allumina e la silice dell'argilla.

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Trattamento del terreno limoso con calce viva

curve di compattazione Proctor (Proctor Modificato)
materiale limoso (fuso A) con e senza aggiunta di CaO in ragione del 2%



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Trattamento del terreno limoso con calce viva

Modalità di applicazione in cantiere

La miscelazione viene eseguita stendendo il limo in un'area del deposito provvisorio in strati di circa 40 – 50 cm; si procede alla rottura delle zolle di terreno mediante macchina operatrice **munita di fresa**; **si stende quindi la calce viva (CaO) nelle quantità previste (2% in questo caso) mediante macchine spandicalce ed infine si procede alla miscelazione mediante macchina operatrice munita di fresa (pulvimixer) con più passate** a seconda del grado di miscelazione che è necessario raggiungere (che è in funzione del grado umidità iniziale del terreno e del grado di sbriciolamento raggiunto dal terreno).

Il materiale così trattato viene quindi nuovamente accumulato e leggermente compattato per la successiva stesa del materiale e la compattazione sul rilevato del corpo diga. Questa deve avvenire non prima di 3 ore (perché si completi l'idratazione della calce che permette il miglioramento delle caratteristiche per la compattazione) e non dopo i 2 giorni dalla miscelazione.

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Trattamento del terreno limoso con calce viva

Stesa della calce viva
con spanditore



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Trattamento del terreno limoso con calce viva

Miscelazione con pulvimixer



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Trattamento del terreno limoso con calce viva

Particolare del terreno
miscelato con CaO



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Trattamento del terreno limoso con calce viva

Rullatura del terreno
trattato con calce



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Parziale essiccamento del terreno limoso con forno

Essiccatoio rotante a gas

La seconda soluzione proposta dall'impresa, poi applicata per l'esecuzione dei lavori, è stata l'asciugatura del terreno mediante un impianto temporaneo per l'essiccazione di inerti; pertanto, nei mesi di luglio, agosto e settembre 2007, **è stato allestito un forno a tamburo rotante del diametro di 3 m e della lunghezza di 24 m alimentato a gas metano tramite una linea dedicata.** La velocità di rotazione del forno è all'incirca pari a 5 giri al minuto.

L'impianto che è corredato da una tramoggia di carico del limo, un nastro trasportatore di caricamento, un nastro trasportatore di scarico della bocca del forno, un bruciatore a metano di **potenza massima 10.000 kW** e da un aspiratore del vapore. Completano l'impianto una serie di **filtri a manica per trattenere le polveri** e una **griglia per la vagliatura del materiale essiccato** per l'allontanamento della ghiaia e dei ciottoli che vengono conglobati nel limo durante le attività di estrazione e stoccaggio.

Inizio dell'allestimento dell'impianto **luglio 2007** – fine impiego **novembre 2009**

Il materiale per la posa è stato disponibile da settembre 2007

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Parziale essiccamento del terreno limoso con forno

Montaggio dell'impianto essiccatore in funzione
Particolare dell'interno di una sezione del cilindro del forno
sono visibili le palette che consentono l'avanzamento del terreno



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Parziale essiccamento del terreno limoso con forno



Condotta interrata DN 180
per l'alimentazione del bruciatore del forno a gas metano



Montaggio del forno

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Parziale essiccamento del terreno limoso con forno



Vista generale del forno in esercizio con la tramoggia ed il nastro di carico

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Parziale essiccamento del terreno limoso con forno



Vista del caricamento dalla tramoggia di carico

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Parziale essiccamento del terreno limoso con forno



Vista del forno in esercizio con il nastro di scarico del terreno trattato

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Parziale essiccamento del terreno limoso con forno



Alcuni dati di esercizio del forno

Consumi:

La quantità di materiale tipo A parzialmente essiccato con il forno è stata pari a 55.000 m³ misurati su sezione in opera, ai quali vanno aggiunti ulteriori 5.000 m³ mescolati al materiale granulare tipo C, con un consumo di circa **1.900.000 m³** di gas metano.

Il consumo medio di gas necessario al trattamento di un metro cubo di materiale asciugato e compattato (misurazione su sezione in opera) è stato pari a **32 m³** circa contro i 29 m³ calcolati strettamente necessari calcolati senza le perdite di calore (buon rendimento del sistema).

- Produzione oraria media: **30 m³/ora**;
- Consumo orario di gas medio: **900÷1000 m³/ora**;
- Ore di funzionamento del forno: **2000 ore circa**

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Stesa e compattazione terreno limoso tipo A



Ricarica sulla 2° berma di valle con impiego di pala cingolata e 2 rulli

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Scavo della parte sommitale del coronamento



Particolari del materiale utilizzato durante l'intervento di ricarica del 1967-68 proveniente dall'alveo del T. TESA

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Scavo della parte sommitale del coronamento



Vista delle vecchie strutture in c.a. rinvenute durante gli scavi (sostegni muretto frangionde)

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Stesa e compattazione materiale limoso tipo A sul coronamento

Compattazione per strati di **15 cm** finiti (circa 20 cm prima della rullatura) mediante rullatura in **4 passate con rullo vibrante tassellato** da 19 t modello Hamm 3520 HT regolato alla velocità di 1,5 km/h e vibrazione a 30 Hz e successive **6 passate con rullo vibrante a superficie liscia** con un rullo vibrante a superficie liscia Bitelli Ghibli C100 da 11 t regolato alla velocità di 1,5 km/h.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Stesa e compattazione materiale limoso tipo A sul coronamento



Profilatura dei paramenti di monte e di valle con asportazione del materiale poco compattato

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Riepilogo quantità e caratteristiche geotecniche del terreno limoso tipo A

Quantità messe in opera:

- Diga principale: **55.000 m³**;

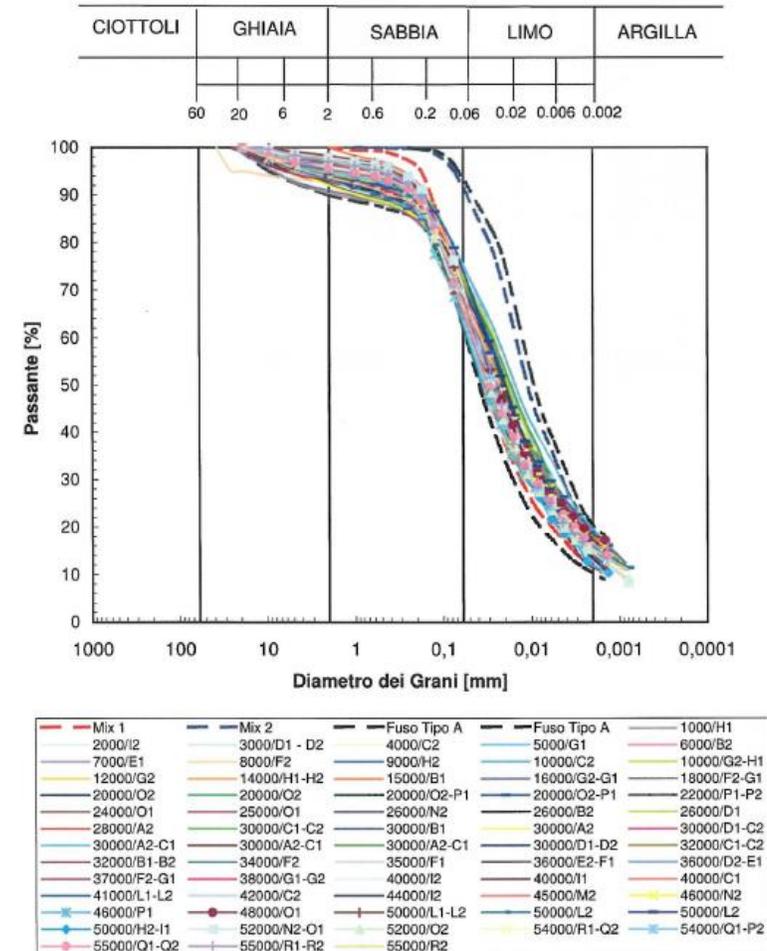
Caratteristiche geotecniche terreno "A"

Le **umidità del terreno** durante la compattazione sono risultate comprese tra **11% e 16%** con una media di **13.2%** e quindi molto prossima alla media delle umidità ottime ottenute dalle prove Proctor modificata ($W_{opt}=13\%$); ciò ha consentito di ottenere pesi di volume sempre superiori al 90% del peso di volume secco della Prova Proctor Modificata; infatti i pesi di volume del terreno secco sono risultati compresi tra **16,2 e 19,2 kN/m³** con un valore medio di **17,7 kN/m³**.

Limiti di Atterberg: i valori del limite liquido WL sono compresi tra 28 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 IP risulta compreso tra 10% e 16% con una media del **13%**.

Le prove triassiali (Tx CIU) eseguite sui campioni ricostruiti hanno indicato i seguenti parametri di resistenza:

coesione $c' = 15$ kPa ed angolo d'attrito $\phi' = 32^\circ$.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Riepilogo quantità e caratteristiche geotecniche del terreno limoso tipo A

ISTMES
Divisione Ambiente e Territorio di CESI S.p.A.

CURVA DI COMPATTAZIONE PROCTOR

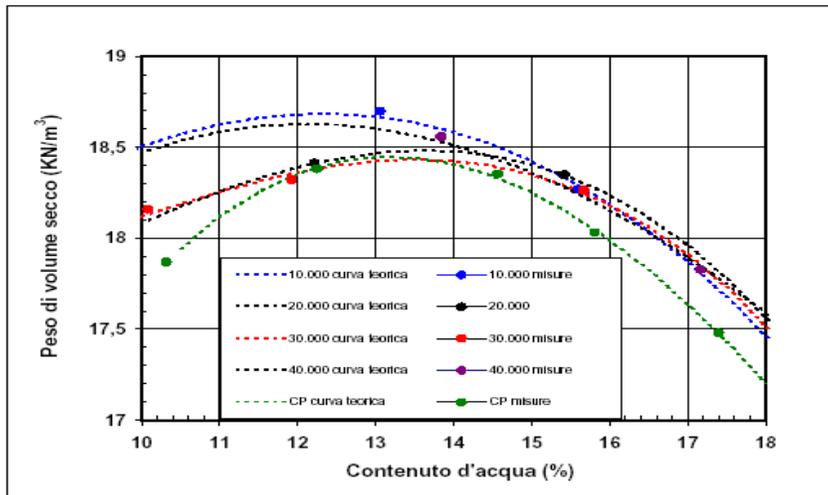
| rev. | data emiss. | operatore | responsabile |
|------|-------------|-----------|--------------|
| 0 | 31/10/08 | Ranzini | Capelli |

Normativa di riferimento: ASTM D1557/91

Committente: **IMPRESA SALVATI**
 Cantiere: **DIGA DI BASTIA**
 Materiale: **TIPO A**

Profondità [m]: **0,1 - 0,25**
 Prova: **PrM 1**
 Data prova: **31/10/08**

| | | | | | | |
|---|----|--------|--------|--------|--------|-------|
| Peso di volume massimo/ottimo | CP | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 40.000 | |
| Peso di volume umido (KN/m ³) | | 20,89 | 20,98 | 20,99 | 20,92 | 20,88 |
| Umidità (%) | | 13,20 | 12,30 | 13,60 | 13,50 | 12,10 |
| Peso di volume secco (KN/m ³) | | 18,45 | 18,68 | 18,48 | 18,43 | 18,63 |



Tipo di compattazione: **PROCTOR MODIFICATO**
 Diametro formatore: **4 pollici**

Note: CP: Prova eseguita sui materiali utilizzati nelle prove di compattazione in sito del rilevato "Campo Prova" di Agosto 2007 e successivamente sul rilevato del "Campo Prova 2" di settembre 2007

ISTMES
Divisione Ambiente e Territorio di CESI S.p.A.

PROVA TRIASSIALE CIU
dati generali e diagramma t - s'

| rev. | data emiss. | operatore | responsabile |
|------|-------------|-----------|--------------|
| 0 | 31/10/08 | Capelli | Capelli |

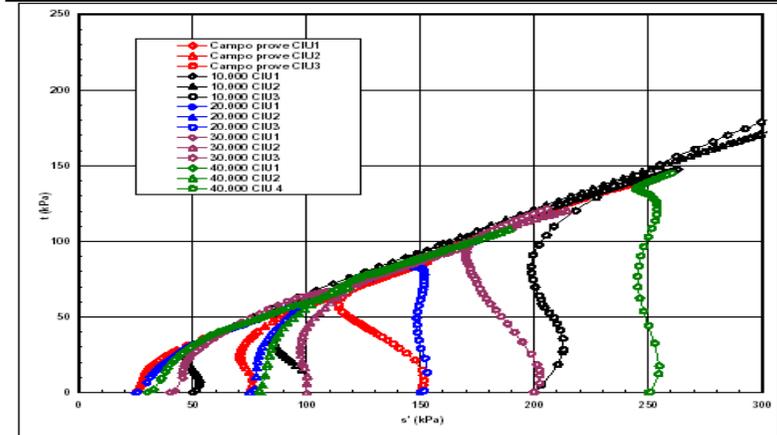
Normativa di riferimento: ASTM D1775/95

Dati di caratterizzazione: MK1
 rif. CEI SA50020 10 dal 15/02/08

| | | | | | | |
|------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| w | y | c' | t | s' | c'' | φ' |
| % | KN/m ² | KPa | KPa | KPa | KPa | ° |
| 19,7 | 16,05 | 25 | 135 | 237 | | |
| 19,7 | 16,17 | 50 | 150 | 322 | | |
| 19,7 | 16,00 | 150 | 205 | 353 | 15 | 33,5 |
| 19,9 | 16,11 | 75 | 199 | 331 | | |

Profondità [m]: **0,1 - 0,25**
 Prova: **CIU**
 Data prova:

| Benella | Peso di volume: % sito/progetto | | Dati iniziali | | | | | | | | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | | | | Dati a rottura | | | |
|---------|---------------------------------|------|---------------|-------------------|-------|-------------------|------|-------|-----------------|-----------------|-----|------|-----|----------------|----------------------------|------|------|-----|--------|-------|----------------|------|----------------|--|--|--|
| | Medio | Site | D | H | y | w | su | σ | e' _v | e' _v | K | B.P. | B | e _v | e _v | α | DFC | v | t | s' | φ _v | | | | | |
| MPa | % | mm | mm | KN/m ² | % | KN/m ² | - | MPa | kPa | - | kPa | - | kPa | - | % | % | - | g | mm/min | MPa | kPa | % | | | | |
| 10.000 | 16,45 | 98 | 99 | 90,0 | 100,4 | 19,42 | 19,4 | 19,24 | 0,83 | 75 | 75 | 1,0 | 400 | 0,06 | 0,36 | 1,04 | 0,90 | 1,0 | 0,020 | 74,1 | 132,2 | 26,2 | | | | |
| | 16,45 | 97 | 99 | 90,0 | 101,2 | 19,42 | 19,6 | 19,24 | 0,83 | 75 | 75 | 1,0 | 400 | 0,06 | 0,81 | 2,28 | 0,90 | 1,0 | 0,040 | 86,8 | 162,9 | 14,0 | | | | |
| | 16,45 | 97 | 98 | 90,0 | 101,7 | 19,36 | 19,4 | 19,29 | 0,83 | 150 | 150 | 1,0 | 500 | 0,07 | 1,47 | 4,19 | 0,97 | 1,0 | 0,040 | 130,2 | 246,2 | 26,2 | | | | |
| 20.000 | 17,19 | 101 | 98 | 90,0 | 101,1 | 20,04 | 19,1 | 19,89 | 0,57 | 50 | 50 | 1,0 | 300 | 0,05 | 0,74 | 0,89 | 0,96 | 1,0 | 0,020 | 147,4 | 283,1 | 23,4 | | | | |
| | 17,19 | 101 | 98 | 90,0 | 100,5 | 20,01 | 18,9 | 19,85 | 0,57 | 100 | 100 | 1,0 | 400 | 0,06 | 1,79 | 3,09 | 0,93 | 1,0 | 0,020 | 178,0 | 316,0 | 20,2 | | | | |
| | 17,19 | 98 | 98 | 90,0 | 100,5 | 20,01 | 19,3 | 19,92 | 0,57 | 200 | 200 | 1,0 | 300 | 0,05 | 2,05 | 5,00 | 0,49 | 1,0 | 0,020 | 275,0 | 490,0 | 24,2 | | | | |
| 30.000 | 17,81 | 102 | 97 | 90,0 | 100,7 | 19,48 | 14,2 | 17,05 | 0,55 | 25 | 25 | 1,0 | 400 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 1,0 | 0,020 | 57,7 | 94,8 | 21,4 | | | | |
| | 17,81 | 102 | 98 | 90,0 | 101,1 | 19,38 | 14,2 | 16,97 | 0,56 | 75 | 75 | 1,0 | 400 | 0,07 | 0,30 | 0,81 | 0,95 | 1,0 | 0,020 | 95,5 | 172,3 | 22,8 | | | | |
| | 17,81 | 102 | 97 | 90,0 | 100,7 | 19,40 | 13,9 | 17,09 | 0,56 | 150 | 150 | 1,0 | 400 | 0,09 | 0,08 | 0,48 | 0,95 | 1,0 | 0,020 | 116,1 | 204,8 | 21,1 | | | | |
| 40.000 | 17,73 | 101 | 98 | 90,0 | 100,3 | 19,69 | 15,7 | 16,94 | 0,55 | 25 | 25 | 1,0 | 400 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 1,0 | 0,020 | 57,7 | 94,8 | 21,4 | | | | |
| | 17,73 | 101 | 98 | 90,0 | 100,3 | 19,69 | 15,8 | 16,95 | 0,56 | 75 | 75 | 1,0 | 400 | 0,07 | 0,30 | 0,81 | 0,95 | 1,0 | 0,020 | 95,5 | 172,3 | 22,8 | | | | |
| | 17,73 | 102 | 98 | 90,0 | 100,7 | 19,67 | 15,8 | 16,99 | 0,56 | 150 | 150 | 1,0 | 400 | 0,09 | 0,08 | 0,48 | 0,95 | 1,0 | 0,020 | 116,1 | 204,8 | 21,1 | | | | |
| 40.000 | 17,93 | 103 | 98 | 90,0 | 101,0 | 19,43 | 12,7 | 17,24 | 0,54 | 30 | 30 | 1,0 | 400 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,64 | 1,0 | 0,020 | 68,8 | 118,2 | 21,5 | | | | |
| | 17,93 | 103 | 98 | 90,0 | 101,1 | 19,40 | 12,6 | 17,23 | 0,54 | 80 | 80 | 1,0 | 400 | 0,08 | 0,17 | 0,65 | 0,93 | 1,0 | 0,020 | 108,2 | 185,2 | 21,3 | | | | |
| | 17,93 | 104 | 98 | 90,0 | 100,8 | 19,46 | 12,5 | 17,29 | 0,53 | 250 | 250 | 1,0 | 400 | 0,06 | 0,60 | 1,83 | 0,90 | 1,0 | 0,020 | 185,9 | 306,8 | 21,0 | | | | |



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Finiture sul piano di coronamento

La posa dei cavidotti sul coronamento è stata eseguita con fresa catenaria per evitare che lo scavo con benna potesse coinvolgere volumi eccessivi di materiale compattato.

Dopo l'esecuzione dei pozzetti è stato steso uno strato di 20 cm di materiale stabilizzato ed è stato ripristinato l'impianto di illuminazione.



DIGA DI BASTIA (BL)

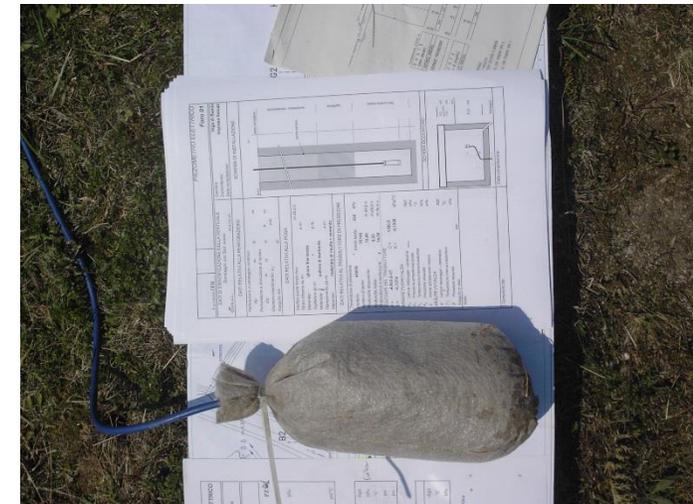
Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)

Strumentazioni installate durante i lavori

Durante l'esecuzione dei lavori sono state adeguate e installate le seguenti strumentazioni di controllo

- **Assestimetri** a piastra (nuovi);
- **Assestimetri** a punti magnetici (sopraelevazione degli esistenti e uno nuovo);
- **Prolungamento** dei piezometri esistenti a tubo aperto (per il mantenimento dello storico);
- **Piezometri/manometri elettroacustici MGK** a corda vibrante (nuovi);
- **Piezometri tipo Casagrande** (nuovi);
- Punti di misura della **portata** dei drenaggi e del fosso di guardia a valle diga.

L'illustrazione dettagliata di tali sistemi di misura e dei relativi dati monitorati durante i lavori e fino ad oggi è oggetto dell'intervento successivo.



DIGA DI BASTIA (BL)

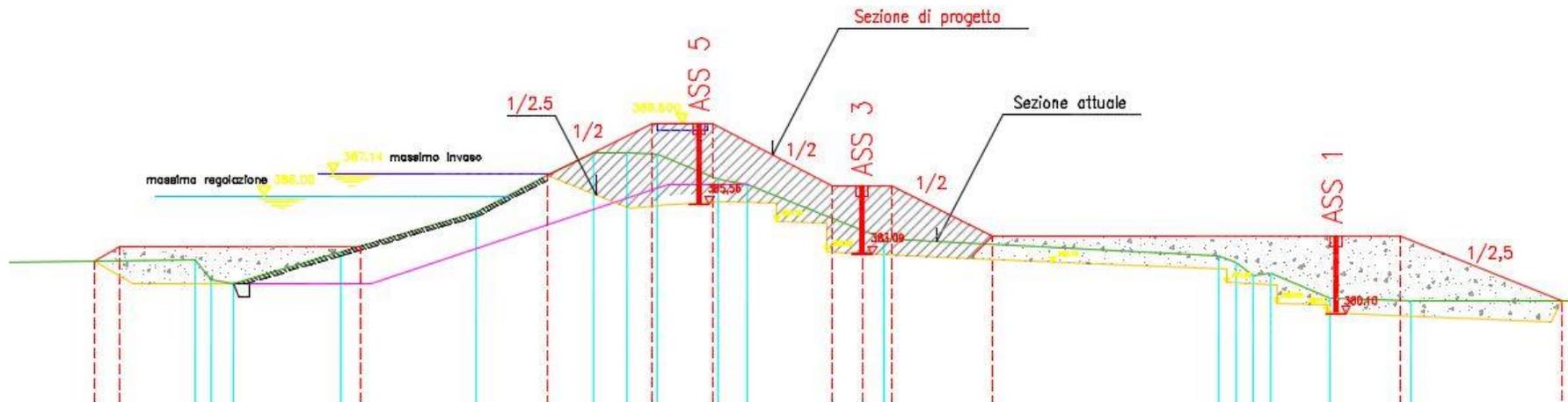
Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Installazione e controllo degli assestimetri a piastra durante i lavori

Per il controllo dei cedimenti del rilavato durante i lavori e dopo sono stati installati 6 assestimetri a piastra disposti rispettivamente sulla sezione C1 (denominati ASS1, 3 e 5) e sulla sezione I1 (denominati ASS 2, 4, 6).

La base metallica con impronta da 50x50 cm è stata adagiata sul piano di scavo, previo livellamento con sabbia, prima dell'esecuzione dei rilevati; mentre il controllo è avvenuto tramite livellazione periodica della testa del tubo verticale collegato alla base e protetto da un tubo camicia corrugato. L'asta è stata poi prolungata con appositi manicotti in funzione dell'avanzamento dei rilevati.



Sezione C1

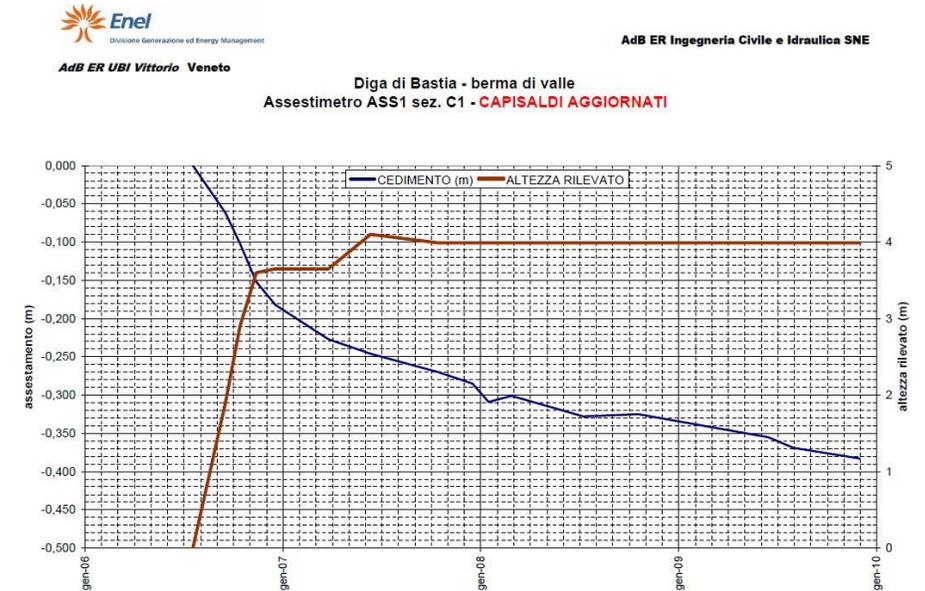
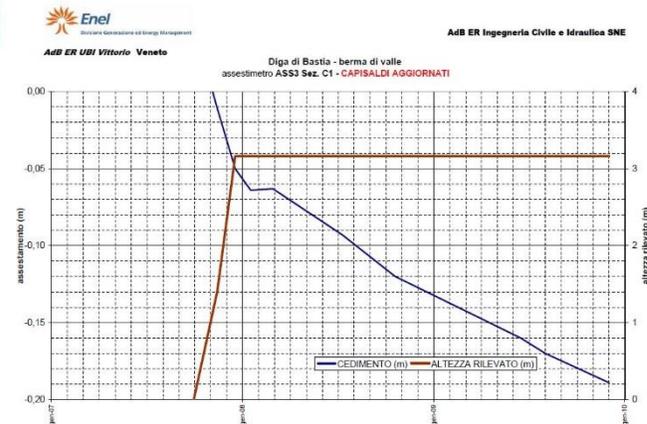
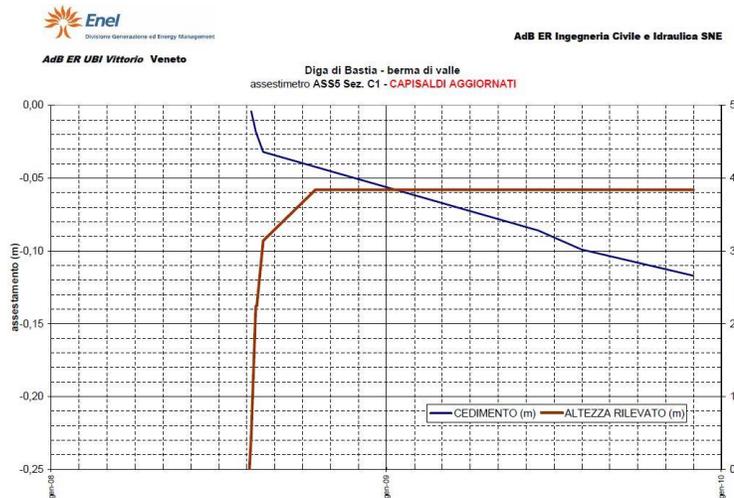
DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Diagramma degli abbassamenti risultanti dagli assestimetri a piastra durante i lavori

In corrispondenza della sezione C1, più significativa, sono stati registrati abbassamenti di **5 cm** sulla parte alta a livello del coronamento a fronte di un a ricarica di 4 m circa, **12 cm** sulla berma intermedia e **38 cm** al piede diga verso il fosso di guardia, ove il terreno era più compressibile come già evidenziato in progetto. Infatti, in questa sezione sulla fondazione della berma, si è stimato un cedimento di 73 cm all'85% del completamento della consolidazione primaria (anno 2040).



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Controllo in opera dei terreni utilizzati per la formazione dei rilevati durante i lavori

Entrambe le miscele limose (tipo A) e granulari (tipo C), oltre ai controlli preliminari durante i campi prova, hanno subito delle verifiche qualitative costanti tramite prove geotecniche in sito e in laboratorio con la seguente cadenza:

Ogni 1.000 m³ di materiale steso fino a 10.000 m³ e ogni 2.000 m³ di materiale steso oltre i 10.000 m³

- Determinazione del volume in sito con volumometro a sabbia e determinazione dell'umidità (con forno in cantiere) e analisi granulometrica di laboratorio con determinazione dei limiti di Atterberg.(plastico e liquido);

Ogni 5.000 m³ di materiale steso

- Analisi granulometrica di laboratorio con determinazione dell'umidità dei limiti di Atterberg (plastico e liquido);

Ogni 10.000 m³ di materiale steso

- Prove integrative di laboratorio: curva di compattazione Proctor, prova di permeabilità a flusso costante, prova triassiale Tx CIU
- Inoltre sono stati effettuati controlli giornalieri dell'**umidità residua del materiale trattato nel forno e della temperatura in uscita sia del terreno che dell'aria, secondo le prescrizioni dell'Autorità di Controllo**

DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Determinazione della densità in cantiere del terreno riportato con volumometro a sabbia

I controlli di cantiere sono stati eseguiti da incaricato del CESI

Il metodo di misura prevede di praticare un foro nel terreno e di riempirlo tramite apposita attrezzatura contenente sabbia calibrata di peso specifico noto. Dalla differenza tra il peso iniziale e quello finale è possibile calcolare il volume della sabbia necessari al riempimento del foro.

Il peso specifico del terreno umido è calcolato dividendo il peso del materiale asportato nel foro per il volume del foro; dopodichè il materiale viene asciugato con un forno ed è ripesato per stabilire il contenuto di umidità.



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Controllo dei terreni impiegati per il rilevato durante i lavori

Esempio di certificato di prova materiale granulare tipo C ogni 2000 m³

ismes E un marchio CESI

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME IN SITO CON VOLUMOMETRO A SABBIA

| | | | |
|------|-------------|-----------------|--------------|
| rev. | data emiss. | esperimentatore | responsabile |
| 0 | 13/09/2006 | Caselli | Caselli |

Normativa di riferimento: ASTM D1556/00
 N° certificato di prova: 6/1
 N° verbale di accettazione: 6/06

Committente: **IMPRESA SALVATI**
 Cantiere: **DIGA DI BASTIA**
 Materiale: **TIPO C**
 Progressivo/Sezione: **10000/C1**
 Profondità [m]: **0,1 - 0,25**
 Prova: **γ1**
 Data prova: **05/09/2006**

| Cadenza controllo | Data | Volume progressivo | Riferimento | Sezione | Quota |
|-------------------|------------|--------------------|-----------------------|---------|--------|
| [m] | [gg/mm/aa] | [m ³] | Bornino di valle | | [m] |
| 2.000 | 05/09/2006 | 10.000 | 25 m collettore dreni | C1 | 381,40 |

Attrezzatura utilizzata

| | |
|--|---------|
| Identificazione bidone/i sabbia: | A |
| Identificazione cono sabbia: | V1 |
| Peso bidone/i + sabbia A (gr): | 7145,0 |
| Peso sabbia nel cono B (gr): | 1518,25 |
| Densità secca di riferimento sabbia C (gr/cm ³): | 1,33 |

Valori di prova

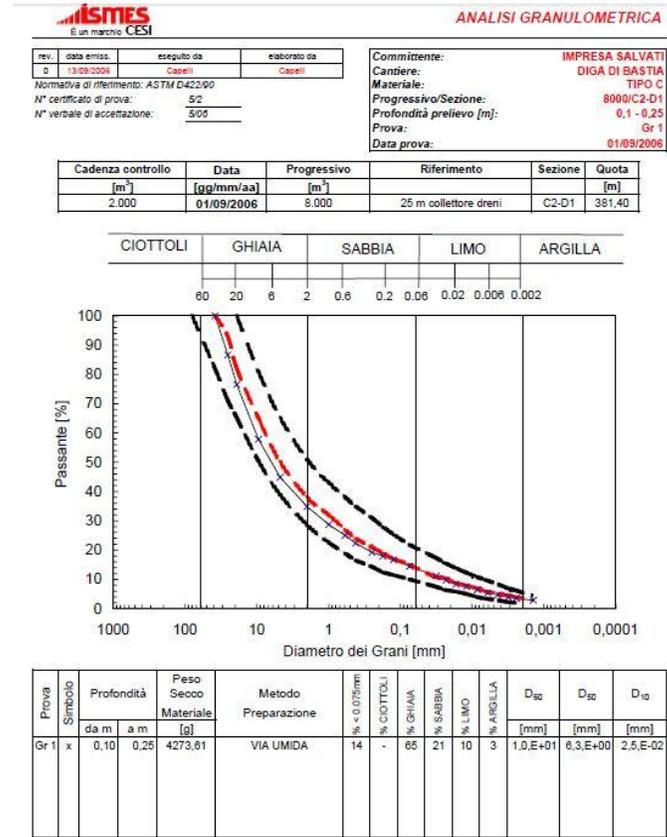
| | |
|--|--------|
| Peso bidone/i + sabbia residua (D) (gr) | 3954,5 |
| Peso sabbia nel foro (E=A-B-D) (gr) | 1672,3 |
| Volume del foro (F=E/C) (cm ³) | 1257,3 |
| Peso materiale umido asportato (G) (gr) | 2951,0 |
| Peso materiale secco asportato (H) (gr) | 2762,0 |

Risultati di prova

| | |
|--|-------|
| Umidità materiale asportato $I=(G-H)/H$ (%) | 6,8 |
| Peso di volume umido misurato $L=G/F \cdot 9,81$ (KN/m ³): | 23,02 |
| Peso di volume secco misurato $M=H/F \cdot 9,81$ (KN/m ³): | 21,55 |

Norma di riferimento: ASTM D 1556 - 90
 Temperatura di prova (C): _____

Note:
 Prelievo ogni 2000m³ di materiale steso



DIGA DI BASTIA (BL)

Ripristino del manto erboso (anno 2010)



In ottemperanza al progetto, al termine dei lavori di ricarica e posa dei cavidotti di alimentazione della strumentazione di controllo della diga, sul paramento di valle ed sul paramento di monte **è stato ripristinato il manto erboso con funzione di protezione antierosiva.**

A tal fine è stata eseguita una **idrosemina potenziata**, con miscuglio opportunamente studiato in funzione delle caratteristiche del terreno (Ph basico e carenza di azoto) e caratterizzato dall'impiego di specie erbacee con **apparato radicale profondo e a ridotta crescita della biomassa epigea.**

La semina è stata preceduta da trattamento diserbante della flora avventizia e leggera erpicatura del fondo troppo compatto.

Miscuglio erbaceo

| COMPONENTE | DOSE g/m ² |
|--|-----------------------|
| Semente | 35 |
| Fertilizzante organo minerale complesso con microelementi a lenta cessione | 30 |
| Fertilizzante azotato a pronto effetto | 25 |
| Mulch di fibre di legno a matrice legata | 80 |
| Mulch di cellulosa | 80 |
| Ammendante organico | 160 |
| Aggrappante/fissativo | 3 |
| Collanti naturali | 25 |
| TOTALE | 438 |

| SPECIE | VARIETA' | % in peso |
|-----------------------|---------------|-----------|
| Lolium perenne | Mondial | 20 |
| Festuca arundinacea | Chochise | 30 |
| Festuca arundinacea | Asterix | 11 |
| Festuca rubra | Echo | 15 |
| Poa trivialis | Solo | 2 |
| Festuca pratense | Laura | 6 |
| Lotus Corniculatus | Leo | 3 |
| Trifoglio repens nano | Ronny/Huia | 3 |
| Lupinella | | 3 |
| Veccia comune | Aneto/Nitra | 5 |
| Cynodon Dactylon | Casino Royale | 2 |

DIGA DI BASTIA (BL)

Ripristino del manto erboso (anno 2010)

Preparazione del fondo
(6 settembre 2010)



Idrosemina
(15 settembre 2010)



Attecchimento
(al 19 novembre 2010)



DIGA DI BASTIA (BL)

Lavori per il ripristino del franco idraulico (anni dal 2006 al 2009)



Impiego di manodopera, tempi e importo dei lavori

Per l'esecuzione dei lavori dal **2006 al 2009** è stato necessario l'impiego di circa **55.000** ore di manodopera, con un organico medio di **7/8** persone al giorno.

Nei periodi invernali e in occasione di basse temperature o precipitazioni i lavori sono stati sospesi perché incompatibili con l'ottenimento dei parametri progettuali e ovviamente per motivi di sicurezza dovuti ai rischi derivanti dalla scivolosità delle piste e dei piani di posa.

In molti casi, dopo precipitazioni particolarmente intense, è stato necessario attendere ulteriori giorni per l'asciugatura e provvedere alla rimozione dello stato superficiale alterato.

La spesa totale è risultata circa **4 milioni di €** (compresa la fornitura del gas da ENEL Energia) con un costo unitario medio complessivo di terreno posto in opera di circa **37 €/m³**

DIGA DI BASTIA (BL)

Prove d'invaso per il collaudo dei lavori di ripristino del franco idraulico
(anno 2010 e 2013)



dic-2009 Al termine dei lavori sono state avviate le procedure con l'Autorità di Controllo per l'esecuzione dei necessari invasi sperimentali per il collaudo dei lavori eseguiti.

mag-giu-lug-2010 Prima prova d'invaso fino a quota 385,15 m s.l.m. (quota massima di esercizio);

mag-giu-lug-2013 Seconda prova d'invaso fino a quota 386,00 m s.l.m. (quota di massima regolazione).



DIGA DI BASTIA (BL)

Prove d'invaso per il collaudo dei lavori di ripristino del franco idraulico
(anno 2010 e 2013)



DIGA DI BASTIA (BL)

Collaudo dei lavori per il ripristino del franco idraulico (anno 2016)



Gennaio 2016

Conclusione delle operazioni di collaudo della Commissione di Collaudo e successiva approvazione della Direzione Generale Dighe (apr-2016) della Relazione di Collaudo della Commissione incaricata

Grazie per l'attenzione