

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELLA DIGA DROVE DI CEPPARELLO



| | | |
|--------------------|--|---------------------|
| Tavola / Elaborato | Nome Elaborato: | Scala: |
| ET.05 | RELAZIONE GEOLOGICA, GEOLOGICO-TECNICA SULLE INDAGINI E SISMICA | |
| | | Data: 18/04/2019 |

| | |
|---|---|
| Settore: | |
|  INGEGNERIE TOSCANI | Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488 |
| | <small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small> |

| | |
|--|---------------------------------------|
| PROGETTAZIONE : | COLLABORATORI : |
| PROGETTISTA - PROJECT MANAGER : ING MARIO CHIARUGI | DOTT. GEOL. CARLO FERRI |
| | DOTT. GEOL. ALESSANDRO AGNELLI |
| GEOLOGO: DOTT. GEOL. NICOLA CEMPINI | PER. AGR. DAVIDE MORETTI |
| ESPROPRI: GEOM. ANDREA PATRIARCHI | GEOM. ANDREA BERNARDINI |

| | |
|---|----------------------------|
| CONSULENTI TECNICI : | COMMESSA I.T. : |
|  WEST Systems | INGT-TPLPD-ACQAC159 |
| PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE E STRUTTURALI : ING. DAVID SETTESOLDI | |

| | |
|---|--|
|  | RESPONSABILE COMMITTENTE : GEOM. ALESSANDRO PIOLI |
|---|--|

| | |
|---|--|
| DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANI : | RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : |
| ING. MARIO CHIARUGI |  ING. ROBERTO CECCHINI |

| Rev. | Data | Descrizione / Motivo della revisione | Redatto | Controllato / Approvato |
|------|------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 00 | 18/04/2019 | Emissione | Soc. IdroGeo Service Srl | |

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | INQUADRAMENTO GEOGRAFICO | 3 |
| 3 | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO | 3 |
| 4 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO | 4 |
| 5 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO | 5 |
| 6 | CONSIDERAZIONI SULLE PERICOLOSITÀ (GEOLOGICA ED IDRAULICA) DEL SITO D’INTERVENTO (ESTRATTI DELLE CARTOGRAFIE DEGLI S.U. VIGENTI E DEI PIANI SOVRAORDINATI DELL’AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL’APPENNINO SETTENTRIONALE, P.A.I. E P.G.R.A.) | 5 |
| 7 | INDAGINI GEOGNOSTICHE | 6 |
| 7.1 | CAMPAGNA GEOGNOSTICA LUGLIO 2005 | 7 |
| 7.2 | CAMPAGNA GEOGNOSTICA OTTOBRE 2006..... | 10 |
| 7.3 | CAMPAGNA GEOGNOSTICA LUGLIO 2016 | 31 |
| 7.4 | CAMPAGNA GEOGNOSTICA MAGGIO 2018..... | 41 |
| 7.5 | CAMPAGNA GEOGNOSTICA OTTOBRE 2018 – febbraio 2019 | 45 |
| 8 | MODELLO DEL SOTTOSUOLO E DEL CORPO DIGA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA, IDROGEOLOGICA E CHIMICA DEI TERRENI INDAGATI | 52 |
| 9 | OTTEMPERANZE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI E CHIARIMENTI DA PARTE DEL MINISTERO DELL’AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE, DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI E DELLA REGIONE TOSCANA – SETTORE OPERE PUBBLICHE DI INTERESSE STRATEGICO REGIONALE | 58 |
| 9.1 | MINISTERO DELL’AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL 12/01/2018 | 60 |
| 9.2 | MINISTERO delle infrastrutture e dei trasporti – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL 24/10/2017 . | 64 |
| 9.3 | REGIONE TOSCANA – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL 29/09/2017..... | 82 |

1 PREMESSA

Su incarico della Soc. Acque S.p.a. vengono esposti e commentati i risultati delle indagini geologiche e geotecniche relative agli interventi di miglioramento della diga "Drove di Cepparello", ricadente ques'ultima al confine fra i comuni di Poggibonsi (SI) e di Barberino Tavarnelle (FI).

Il progetto prevede i seguenti interventi:

- **Interventi di miglioramento sismico**

Gli interventi volti a garantire la stabilità del corpo diga prevedono un ricarico dei paramenti di monte e di valle, in modo da addolcire il pendio ed appesantire il corpo diga al piede

Oltre agli interventi di ricarico dei paramenti, di monte e di valle, del corpo diga si prevede un rinfianco della sponda destra dal lago con materiale che garantisca una stabilità coerente con i fattori di sicurezza previsti dalla normativa vigente.

- **Interventi di miglioramento idraulico**

Gli interventi di adeguamento previsti hanno lo scopo di ripristinare una capacità di smaltimento che migliori sensibilmente il livello di sicurezza rispetto lo stato attuale della diga.

Per i dettagli si rimanda agli elaborati progettuali allegati al presente progetto definitivo.

Si fa presente che l'area in esame risulta soggetta al Vincolo Idrogeologico (RD 3267/23, LR 39/00 s.m.i. e D.P.G.R. n. 32/R del 16/03/2010 Regolamento Forestale della Toscana).

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente (D.M. 17/01/2018 – NTC 2018. D.M. 26/06/2014 – NTD 2014 ed a quanto disposto dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I. - D.P.C.M. 06/05/2005) e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A. - DPCM del 26 ottobre 2016).

Oltre alla normativa vigente il presente documento tiene conto delle integrazioni richieste dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Commissione tecnica di verifica dell'impatto ambientale – VIA e VAS) del 12/01/2018, dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze) del 24/10/2017 e dalla Regione Toscana (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Valutazione Impatto Ambientale, Valutazione Ambientale Strategica, Opere Pubbliche di Interesse Strategico Regionale) del 29/09/2017 oltre che del verbale della visita di vigilanza dei tecnici dell'Ufficio Tecnico per le Dighe di Firenze, facente capo al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, datato 07/03/2017.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto degli interventi (GEO.01) è sita a cavallo dei comuni di Poggibonsi (SI) e di Barberino Tavarnelle (FI), in loc. "Cepparello" ad una distanza di circa 4 Km in direzione N-E dal centro abitato di Poggibonsi e ad una distanza di circa 6 Km in direzione SSE dal centro abitato di Barberino Tavarnelle.

Dal punto di vista morfologico, l'area oggetto degli interventi, è posta all'interno di una stretta valle ad andamento circa E-W, in erosione sui cui versanti affiorano formazioni cretacico-paleoceniche al cui interno scorre il borro Cepparello, confluyente in loc. "P. Scarni" nel torrente Dovre di Tattera a sua volta affluente di destra del fiume Elsa presso il capoluogo comunale di Poggibonsi (SI). Fra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '60 del XX secolo, il sito di interesse è stata oggetto di interventi antropici che hanno portato alla realizzazione dello sbarramento di valle (diga) e del conseguente invaso di monte ("Invaso artificiale Cepparello").

L'area d'intervento è posta ad una quota media assoluta di circa 170 m s.l.m.

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Ai fini di ottenere un corretto inquadramento delle caratteristiche geomorfologiche dell'area, partendo dall'acquisizione delle Carte Geomorfologiche dei Piani Strutturali vigenti (GEO.02) e del Database Geomorfologico della Regione Toscana (GEO.03) è stata eseguita un'indagine di campagna per un'ampia zona comprendente il comparto d'intervento (GEO.04). Con tale indagine è emerso quanto segue.

Il comparto di studio è caratterizzato dalla presenza di alcune forme geomorfologiche naturali di versante quali scarpate d'erosione, aree soggette ad erosione generalizzata, erosioni incanalate per rivoli e alcuni corpi franosi, oltre naturalmente alle forme antropiche associate al corpo diga e alle strutture funzionali all'impianto.

In particolare, in merito alle forme gravitative di versante, sono da segnalare la presenza di tre corpi franosi posti lungo i versanti prospicienti l'invaso antropico: frana quiescente posta sul versante Nord dell'invaso artificiale (sponda destra), frana attiva, posta sul versante S-W (sponda sinistra) e frana quiescente posta anch'esse sul versante S (sponda sinistra). Per la loro ubicazione si rimanda all'elaborato GEO.04 (Carta Geomorfologica – rilievo di dettaglio).

Essendo presenti dei corpi franosi in prossimità dell'invaso antropico, con particolare riferimento alla frana quiescente posta sulla sponda destra e la frana attiva posta sulla sponda sinistra del suddetto invaso, e più in generale al fine di verificare la stabilità delle sponde (destra e sinistra) lungo tutto il tratto di valle oggetto d'intervento, nel § 9 del presente elaborato e in ottemperanza a quanto riportato al cap.7 punto 12 della "Relazione istruttoria del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti" e a quanto riportato al punto 2 della richiesta di integrazioni del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, sono state realizzate sezioni geologiche rappresentative delle sponde di interesse, compresi i contesti di criticità geomorfologica ed effettuate le verifiche di stabilità richieste di cui sopra (per i dettagli si rimanda al § 9 e del presente elaborato).

Allo stato attuale, dalle verifiche di campagna eseguite e dalle verifiche numeriche (calcoli di stabilità), non si rilevano fenomeni morfogenetici in grado di compromettere la fattibilità degli interventi in progetto.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Nell'area di indagine si segnala la presenza di due distinte unità litologiche riferibili a depositi di origine marina di età pliocenica e una formazione costituita da rocce argillitiche ed arenaceo-calcaree, appartenenti al Paleocene (GEO.05, GEO.06 e GEO.07).

L'unità litologica del Pliocene è stata definita in relazione alla prevalenza granulometrica tra le classi tessiturali delle sabbie.

In considerazione di quanto sopra espresso la successione stratigrafica dell'area in esame viene così ad essere costituita dall'alto verso il basso in ordine geometrico dalle seguenti unità litologiche:

- ***Conglomerati marini poligenici (PLIb) – Pliocene***
- ***Sabbie e arenarie gialle (PLIs) – Pliocene***
- ***Pietraforte (PTF) – Paleocene***

L'unità litologica dei Conglomerati marini poligenici (PLIb) è caratterizzata da conglomerati di regola ben cementati, scarsamente organizzati, con matrice sabbiosa in quantità variabile.

Tale unità affiora sul versante Nord dell'invaso antropico (sponda destra), al passaggio fra l'unità delle Sabbie e arenarie gialle (PLIs) e l'unità delle Pietraforte (PTF)

L'unità litologica delle Sabbie e arenarie gialle (PLIs) è caratterizzata da depositi a tessitura sabbioso-limosa di colore giallastro, costituiti da strati spesso alternati di limi e sabbie con spessori variabili tra 0,3 e 0,7 m. Intercalati a tali depositi si riscontrano dei sottili livelli di limo, da debolmente sabbioso ad argilloso, e rare lenti ghiaiose e ciottolose. Detti terreni, talvolta debolmente cementati, danno luogo a scarpate sub-verticali di altezza variabile.

Tale unità affiora rispettivamente a nord e a sud dell'area in oggetto alle quote più alte dei versanti (loc. Monsanto e loc. Sornano).

L'unità litologica della Pietraforte (PTF) è caratterizzata da alternanze di arenarie quarzoso-calcaree e di argilloscisti grigio-scuri. Tale unità affiora estesamente in corrispondenza dell'area in oggetto.

Oltre alle unità litologiche descritte sopra, nell'areale di interesse, ed in particolare all'interno dell'invaso antropico, un orizzonte di spessore massimo di circa 9 m di depositi limosi-argillosi-sabbiosi costituenti il fondo del suddetto vaso. Invece sui versanti prospicienti l'invaso antropico e il corpo diga (sponde destra e sinistra) è presente un orizzonte discontinuo di spessore massimo di circa 1 m di detriti di versante derivanti dall'alterazione (disfacimento) del substrato litoide sottostante. Entrambi gli orizzonti non sono cartografati nel database geologico della Regione Toscana (GEO.06).

Per i dettagli sulla geologia del comparto d'intervento e sul pattern stratigrafico fra le formazioni presenti nell'areale di studio si rimanda alle tavole GEO.05, GEO.06, GEO.07 e GEO.08 (la traccia della sezione geologico-tecnica di dettaglio è riportata sulla tavola GEO.06)

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area oggetto di studio è contraddistinta, dal punto di vista idrogeologico, da materiali caratterizzati da un vario grado di permeabilità e produttività idrica (GEO.09).

I depositi detritici e/o corpi di frana dislocati nell'area indagata sono costituiti da coperture detritiche al tetto delle formazioni di base caratterizzate da permeabilità primaria condizionata da granulometria e dimensioni degli inclusi litoidi nonché dalle caratteristiche e quantità della matrice. In genere a detti depositi è possibile attribuire un grado di permeabilità medio e una produttività idrica scarsa.

I depositi marini sabbiosi appartenenti all'unità litologica del Pliocene (PLIs), in virtù della presenza di una componente limoso-argillosa variabile, mostrano, in generale, una permeabilità definibile come media/medio-bassa e possono essere localmente sede di livelli produttivi di modesta entità.

Infine, alla base di detti terreni è presente il substrato litoide costituito da arenarie torbiditiche quarzoso-calcaree, argilloscisti e argilloscisti siltosi appartenenti alla formazione della Pietraforte. Dal punto di vista idrogeologico questa formazione rocciosa affiorante risulta dotata di permeabilità di tipo secondario (legata al numero e alle dimensioni delle fratture) variabile da bassa a media a seconda del grado di fratturazione della compagine rocciosa.

Si ritiene che la realizzazione degli interventi di progetto, non produrrà alterazioni dell'attuale regime idrogeologico dell'area, in conformità con quanto sancito dall'art. 75 comma 5 del D.P.G.R. n. 48/R del 08.08.2003 e s.m.i. – Regolamento di Attuazione della L.R. 21 marzo 2000 n° 39 “Legge Forestale della Toscana.

6 CONSIDERAZIONI SULLE PERICOLOSITÀ (GEOLOGICA ED IDRAULICA) DEL SITO D'INTERVENTO (ESTRATTI DELLE CARTOGRAFIE DEGLI S.U. VIGENTI E DEI PIANI SOVRAORDINATI DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE, P.A.I. E P.G.R.A.)

Per quanto concerne la pericolosità geologica dell'area in studio, dalle Carte della Pericolosità Geologica dei vigenti Piani Strutturali Comunali, il comparto d'intervento si colloca all'interno di un'area definita a **pericolosità geologica elevata G3** (classe definita ai sensi del D. P. G. R. n.53/R 2011 – GEO.10).

Come da normativa vigente, oltre agli S.U. comunali, sono stati presi in considerazione gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (adesso Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale) per il Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - P.A.I. Da tali elaborati (Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante – Livello di sintesi – scala 1:25.000 e livello di dettaglio – scala 1:10.000) risulta che il comparto in esame è inserito in area **P.F.1 a pericolosità moderata da processi geomorfologici di versante e da frana** (GEO.11).

Per quanto concerne la pericolosità idraulica dell'area in studio, dalle Carte della Pericolosità Idraulica dei vigenti Piani Strutturali Comunali, il comparto d'intervento si colloca all'interno di un'area in parte (ristretta fascia attorno all'alveo del borro Cepparello) definita a **pericolosità idraulica elevata I.3** (classe definita ai sensi del D. P. G. R. n.53/R 2011 – GEO.13) ed in parte (lungo i versanti collinari prospicienti la diga) definita a **pericolosità idraulica bassa I.1** (classe definita ai sensi del D. P. G. R. n.53/R 2011 – GEO.12).

Anche per la pericolosità idraulica, come da normativa vigente, oltre agli S.U. comunali, sono stati presi in considerazione gli elaborati cartografici redatti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per il Piano di Gestione Rischio Alluvioni - P.G.R.A. Da tali elaborati risulta che il comparto in esame è escluso dalle perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica (GEO.13).

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il rilevato della diga e le aree ad esso adiacenti sono stati oggetto, nelle diverse fasi progettuali di una serie di campagne di indagini sia geologiche che geofisiche (vedi Tav. GEO.14):

- Fase Luglio 2005:
 - N.2 sondaggi a carotaggio continuo (S1-S2);
 - N.7 S.P.T. eseguite rispettivamente n.4 sul sondaggio S1 e n.3 sul sondaggio S2;
 - N.1 prelievo di un campione indisturbato prelevato dal sondaggio S1, su cui sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio;

- Fase Ottobre 2006:
 - N.2 sondaggi a carotaggio continuo (S1-S2);
 - N.7 S.P.T. eseguite sul sondaggio S1;
 - N.7 prelievi di campioni di cui n.2 indisturbati e n.5 semidisturbati dal sondaggio S1 su cui sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio;
 - N.2 prelievi di campioni di cui uno indisturbato e uno semi-disturbato dal sondaggio S2, su cui sono state eseguite prove di laboratorio;
 - N.1 prova sismica con tecnica Down-Hole (DH) con onde P e SH all'interno del sondaggio S1;
 - N.5 profili di sismica a rifrazione;
 - Rilievo geostrutturale di dettaglio.
 - Rilievo geomorfologico di dettaglio (sponda sinistra)

- Fase Luglio 2016:
 - N.5 sondaggi a carotaggio continuo (S3-16, S4-16, S5-16, S6-16, S7-16)
 - N.34 prelievi di campioni di cui n.32 indisturbati e n.2 semi-disturbati prelevati n.10 dal sondaggio S3-16, n.9 dal sondaggio S4-16, n.7 dal sondaggio S5-16, n.3 dal sondaggio S6-16 e n.5 dal sondaggio S7-16 da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio;
 - N.13 S.P.T. eseguite rispettivamente n.5 nel sondaggio S3, n.4 nel sondaggio S4 e n.4 nel sondaggio S5;
 - Prospezione geoelettrica costituita da 14 linee (array elettrodi) e n.3 profili elettrici.

- Fase Maggio 2018:
 - N.20 prelievi di campioni (da S1 a S20, fondo invasivo) da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio;
 - Rilievo geomorfologico di dettaglio (sponda destra).

- Fase Ottobre 2018 – Febbraio 2019:
 - N.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1 e S2);
 - N.7 saggi (Sa01 Febbraio 2019, Sa02 Febbraio 2019 e Sa03 Febbraio 2019, Sa03 Febbraio 2019, Sa04 Febbraio 2019, Sa05 Febbraio 2019, Sa06 Febbraio 2019, Sa07 Febbraio 2019) con prelievo di n.7 campioni da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio e n.3 campioni (Sa04 Febbraio 2019, Sa06 Febbraio 2019 e Sa07 Febbraio 2019), da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio;
 - N.1 prova sismica con tecnica Down-Hole (DH) con onde P e SH all'interno del sondaggio S1;
 - N.1 indagine sismica attiva onde Rayleigh
 - N.4 indagini sismiche a stazione singola di tipo HVSR

7.1 CAMPAGNA GEOGNOSTICA LUGLIO 2005

Al fine di ottenere un adeguato quadro conoscitivo della diga stessa e del substrato su cui l'opera idraulica in oggetto insiste sono stati realizzati n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo sul corpo diga (S1 e S2), finalizzati alla precisa ricostruzione stratigrafica e litologica del rilevato s.s. e del sottostante substrato nonché all'ideale parametrizzazione geotecnica degli orizzonti individuati.

Per l'ubicazione dei fori di indagine, posti rispettivamente sul coronamento della diga (quota 189 m s.l.m.) e sul gradone posto a quota 178 m s.l.m. del paramento di valle della stessa, si rimanda alla specifica tavola GEO.14.

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti a rotazione, con carotaggio integrale del terreno attraversato, fino alla profondità massima di -30 m dal p.c. di riferimento per il sondaggio S1 e fino alla profondità massima di -17 m dal p.c. di riferimento per il sondaggio S2; il materiale carotato è stato quindi sistemato in apposite cassette catalogatrici e sottoposto a prove di caratterizzazione geotecnica in situ mediante penetrometro tascabile e scissometro (allegato ET.06.01).

Per l'adeguata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni costituenti il corpo della diga, durante la campagna geognostica, è stato prelevato n° 1 campione indisturbato (con campionatore Shelby), durante la perforazione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo S1. Per i dettagli sui risultati delle prove di laboratorio si rimanda all'allegato ET.06.01 del presente elaborato.

A livello stratigrafico il sondaggio S1 ha messo in evidenza uno spessore di corpo di diga di circa 26 m caratterizzato nei primi 15 m da terreni argillosi con presenza subordinata di limo e misto ghiaia sabbia. A partire da -15 m da p.c. fino a -26,3 m da p.c. è presente un orizzonte di riporto prevalentemente ghiaioso in matrice limoso-argillosa. Il sondaggio S2 presenta un assetto litologico coerente con quanto illustrato nel sondaggio S1 con uno spessore dello sbarramento antropico di circa 13,6 m caratterizzato nei primi 6,4 m da materiale prevalentemente coesivo (argilla con limo e ghiaia) seguito nei restanti metri (fino a -13,6 m da p.c.) da terreni di riporto prevalentemente granulari (ghiaie in matrice limoso argillosa). La differenza di spessore dei singoli orizzonti è imputabile alla diversa quota dei sondaggi (S1 è sito sul coronamento di diga, S2 è sito sul gradone di valle posto circa 11 m sotto S1).

Per i dettagli si rimanda all'allegato ET.06.01 del presente elaborato.

Le analisi eseguite sul suddetto campione sono osservabili nella seguente tabella riassuntiva.

| Campione | Profondità Prelievo (m da p.c.) | Analisi granulometrica (1) | Peso di volume Contenuto acqua | Limiti Atterberg (2) | Limite ritiro | Prova Edometrica con determinazione dei coeff. Cv e K (3) | Prova Triassial e CU | Taglio UU (4) |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------|------------------|---|----------------------------|---------------------|
| S1C1 | -10,00/-10,50 | ● | ● | ● | | | | ● |

(1) per setacciatura (via umida) e per sedimentazione (metodo del densimetro)

(2) limite liquido Wl e limite plastico Wp

(3) prova edometrica a gradini di carico costante con determinazione del Coefficiente di Consolidazione e di Permeabilità

(4) prova di taglio consolidato drenato

I risultati delle suddette analisi effettuate dal laboratorio con certificazione ALGI Terre S.R.L. ELLE TI, riportate nel dettaglio nell'allegato ET.06.01 del presente elaborato, sono schematicamente riassunte nella sottostante tabella.

CAMPIONE S1C1

| | | UNITÀ DI MISURA | RISULTATI |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Contenuto naturale d'acqua | | % | 18,8 |
| Peso di volume | | kg/cm ³ | 0,0021 |
| Peso specifico grani (medio) | | kg/cm ³ | 0,0027 |
| | | | |
| Analisi granulometrica | <i>Ciottoli</i> | % | 0 |
| | <i>Ghiaia</i> | % | 20 |
| | <i>Sabbia</i> | % | 23 |
| | <i>Limo</i> | % | 31 |
| | <i>argilla</i> | % | 26 |
| | | | |
| Limiti di Atterberg | <i>Limite liquidità</i> | % | 38 |
| | <i>Limite di plasticità</i> | % | 20 |
| | <i>Indice di plasticità</i> | % | 18 |
| | | | |
| Taglio diretto UU | Angolo attrito | ° | 32 |
| | Coesione | kg/cm ² | 0,14 |
| | | | |

In sintesi, il campione analizzato è classificabile dal punto di vista granulometrico come "*limo argilloso-sabbioso con inclusi ghiaiosi*".

I valori delle proprietà indici fanno classificare il terreno in esame sulla Carta di Casagrande come argilla inorganica di media plasticità (CL). L'indice di plasticità (18,00 %) classifica il terreno nel campo plastico (grado di plasticità). Il limite di liquidità è pari a 38,00 %.

La prova di taglio diretto UU (non consolidato non drenato) ha fornito i seguenti parametri geotecnici: $\phi = 32^\circ$; $C_u = 0,14 \text{ kg/cm}^2$.

Sugli orizzonti litologicamente significativi ma non campionabili sono state invece realizzate complessivamente n. 7 prove Standard Penetration Test (S.P.T.) all'interno dei fori di sondaggio (4 delle quali all'interno del foro di sondaggio S1), i cui risultati sono schematizzati di seguito:

| Profondità di esecuzione (in m) | N° colpi misurati su 3 intervalli di 15 cm | Risultati prova SPT eseguita secondo le norme A.G.I. (n° colpi) |
|--|---|--|
| S1 | | |
| da - 3,00 a -3,45 | 2/4/8 | 12 |
| da - 16,50 a -16,95 | 7/13/15 | 28 |
| da - 18,00 a -18,45 | 5/15/19 | 34 |
| Da -20,80 a -21,25 | 33/50 in 10 cm | Rif. |
| S2 | | |
| da - 3,00 a -3,45 | 2/2/2 | 4 |
| da - 6,00 a -6,45 | 3/4/5 | 9 |
| da - 12,00 a -12,45 | 16/9/12 | 21 |

Le suddette prove SPT, unitamente alle prove di caratterizzazione geotecnica in situ eseguite con penetrometro tascabile e scissometro (v. stratigrafie schematiche dell'allegato ET.06.01), hanno permesso di ottenere una caratterizzazione geotecnica degli orizzonti litologici attraversati.

All'interno di ciascuno dei fori di sondaggio sono stati inseriti n° 2 piezometri tipo Casagrande alle profondità indicate nelle rispettive stratigrafie schematiche.

La lettura dei livelli acquiferi all'interno dei suddetti punti di controllo è stata oggetto di ripetute campagne di misura che hanno fornito quote con valori compatibili con eventuali oscillazioni stagionali.

Di seguito si riportano le misure piezometriche realizzate nel marzo 2007. Si fa presente che il sondaggio S1 presenta due quote di filtraggio (primo filtraggio -14 m / -16 m da p.c., secondo filtraggio -28 m / - 30 m da p.c.). Anche il sondaggio S2 presenta due quote di filtraggio (primo filtraggio -7,5 m / -9 m da p.c., secondo filtraggio -15 m / - 17 m da p.c.).

| Punto d'indagine | Quota piezometrica rispetto al p.c. attuale di riferimento (a sinistra livello misurato all'interno del corpo diga - a destra livello misurato nel substrato) | Quota piezometrica assoluta (m s.l.m.) (a sinistra livello misurato all'interno del corpo diga - a destra livello misurato nel substrato) |
|--|--|--|
| S1 _(luglio 2005) (sommità diga) | -16,10 / -25,80 | 172,90 / 163,20 |
| S2 _(luglio 2005) (gradone lato valle) | -15,10 / - | 162,90 / - |

Come osservabile nella sezione litostratigrafica trasversale al corpo di diga riportata qui di seguito (Fig. 1), e ricostruita sulle informazioni disponibili nel 2005, le acque dell'invaso del Cepparello si infiltrano parzialmente all'interno del corpo della diga, producendo condizioni di saturazione nei terreni di riporto della porzione di monte dell'opera idraulica. Malgrado la presenza di una componente limoso-argillosa abbondante (matrice dei terreni granulari ghiaiosi e ciottolosi), in relazione alla generale eterogeneità dei terreni di riporto e, soprattutto, alla presenza delle frazioni sabbiosa e ghiaiosa, quest'ultima talora predominante, è stato localizzato un livello piezometrico significativo all'interno dello sbarramento stesso. La superficie di saturazione mostra comunque un repentino abbattimento procedendo dal coronamento (piezometri in sommità diga) verso la porzione di valle (piezometro sul gradone di valle – S2 - luglio 2005) indicando comunque che i terreni di riporto messi in opera sono complessivamente ben drenati.

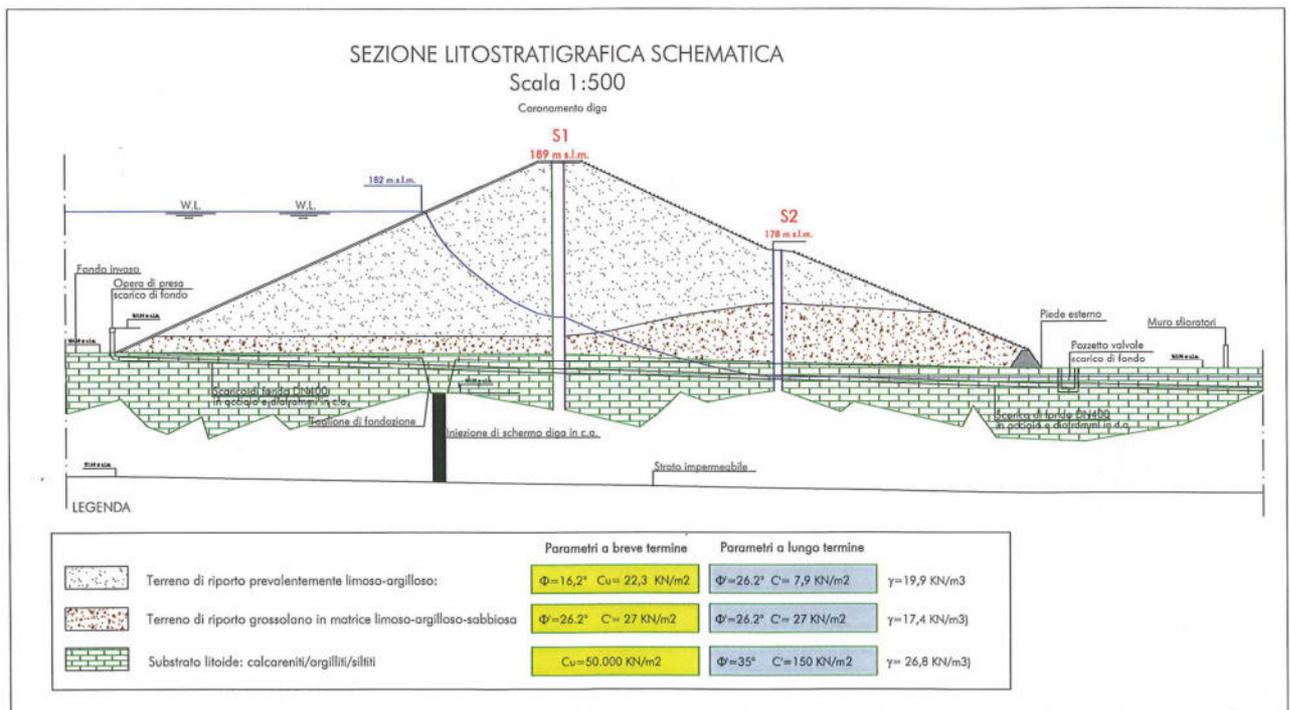


Fig. 1 – Sezione litostratigrafica schematica trasversale al corpo di diga (2005)

7.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA OTTOBRE 2006

Al fine di implementare i dati raccolti nella campagna di luglio 2005, ad ottobre 2006 sono stati realizzati ulteriori n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo sul corpo diga (S1 e S2), finalizzati alla precisa ricostruzione stratigrafica e litologica del rilevato s.s. e del sottostante substrato nonché all'ideale parametrizzazione geotecnica degli orizzonti individuati (allegato ET.06.02).

Per l'ubicazione dei fori di indagine, posti entrambi sul coronamento della diga (quota 189 m s.l.m.), si rimanda alla specifica tavola GEO.14.

Per l'adeguata caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni costituenti il corpo della diga, durante la suddetta campagna geognostica, sono stati prelevati alcuni campioni all'interno degli orizzonti ritenuti più significativi. In particolare, sono stati prelevati n° 7 campioni, di cui 2 indisturbati (con campionatore Shelby) e 5 semidisturbati, durante la perforazione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo S1 e n° 2 campioni (uno indisturbato e l'altro semidisturbato) all'interno del foro di sondaggio S2 (allegato ET.06.02). Le analisi eseguite sui suddetti campioni sono osservabili nelle seguenti tabelle riassuntive.

A livello stratigrafico S1 ed S2 mostrano un assetto simile con uno spessore del corpo diga variabile da 21 m (S2) a 25 m (S1) e una stratigrafia caratterizzata, nei primi 18/21 m da terreni prevalentemente argilloso limoso con presenza crescente di clasti a partire da -10/-12 m da p.c. seguita da un secondo orizzonte di base prevalentemente ghiaioso in matrice limoso argillosa (allegato ET.06.02). La stratigrafia suddetta è coerente con quanto rilevato nei sondaggi S1 e S2 del 2005 (allegato ET.06.01).

| Campione | Profondità Prelievo (m da p.c.) | Analisi granulometrica (1) | Peso di volume Contenuto acqua | Limiti Atterberg (2) | Limite ritiro | Prova Edometrica con determinazione dei coeff. Cv e K (3) | Prova Triassial e CU | Taglio CD (4) |
|--------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------|------------------|---|----------------------------|---------------------|
| S1C1 | -3,00/-3,50 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| S1C2 | -6,00/-6,50 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| S1Cr3 | -9,70/-10,20 | ● | ● | ● | ● | ● | | ● |
| S1Cr4 | -14,5/-15,00 | ● | ● | ● | ● | ● | | ● |
| S1Cr5 | -15,0/-15,30 | ● | ● | ● | ● | ● | | ● |
| | | | | | | | | |
| S2C1 | -12,0/-12,50 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| S2Cr2 | -20,4/-20,60 | ● | ● | ● | ● | ● | | ● |

(1) per setacciatura (via umida) e per sedimentazione (metodo del densimetro)

(2) limite liquido Wl e limite plastico Wp

(3) prova edometrica a gradini di carico costante con determinazione del Coefficiente di Consolidazione e di Permeabilità

(4) prova di taglio consolidato drenato

Le analisi eseguite sui campioni S1Cr6 e S1Cr7 prelevati sono osservabili nella seguente tabella riassuntiva.

| Campione | Profondità prelievo (m da p.c.) | Prova di compressione uniassiale (5) | Point Load Test (6) | Parametri fisici (7) |
|--------------|---------------------------------------|--|------------------------|-------------------------|
| S1Cr6 | -25,7/-26,0 | | ● | ● |
| S1Cr7 | -26,0/-26,2 | ● | | ● |

- (5) determinazione di σ a rottura;
- (6) resistenza alla compressione uniassiale esercitata con carico puntuale
- (7) peso di volume.

All'interno del foro di sondaggio S1 gli orizzonti litologicamente significativi ma non campionabili sono stati oggetto di prove Standard Penetration Test in avanzamento, finalizzate a verificare il grado di consistenza dei terreni attraversati. Per le cui profondità di esecuzione e i risultati ottenuti si rimanda alla seguente tabella riassuntiva:

| Profondità di esecuzione (in m) | N° colpi misurati su 3 intervalli di 15 cm | Risultati prova SPT eseguita secondo le norme A.G.I. (n° colpi) |
|--|---|--|
| S1 (ottobre 2006) | | |
| da - 3,00 a -3,45 | 6/3/4 | 7 |
| da - 6,00 a -6,45 | 6/7/8 | 15 |
| da - 10,00 a -10,45 | 8/10/18 | 28 |
| da -12,00 a -12,45 | 4/4/8 | 12 |
| da -15,00 a -15,45 | 8/8/11 | 19 |
| da -18,00 a -18,45 | 8/13/15 | 28 |
| da -21,00 a -21,45 | 7/11/15 | 26 |

Per la completa visione dei risultati delle analisi di laboratorio si rimanda comunque nell'allegato ET.06.02 del presente elaborato.

Qui di seguito si riporta una breve descrizione dei risultati delle prove di laboratorio eseguite su i suddetti campioni.

Per quanto riguarda il campione S1C1 l'indice di plasticità (24,7 %) classifica il terreno nel campo plastico. Lo stato di consistenza è efficacemente rappresentato dall'indice di consistenza (1,03 %) che colloca il terreno in oggetto in uno stato semisolido. Il limite liquido è pari a 46,7 % mentre il limite di ritiro risulta essere pari a 12,0 %, di molto inferiore al contenuto d'acqua naturale del campione (19,90 %).

Il campione S1C2 è risultato essere nel campo plastico (21,2 %) e, dal punto di vista della consistenza (0,89 %), in uno stato solido-plastico. Il limite liquido è pari a 40,8 % mentre il limite di ritiro risulta essere pari a 12,8 %, di molto inferiore al contenuto d'acqua naturale del campione (20,00 %).

Il campione S1Cr3 è classificabile come plastico (l'indice di plasticità 25,3%) e si trova in uno stato semisolido (indice di consistenza pari a 1,02 %). Il limite liquido è pari a 43,4 % mentre il limite di ritiro risulta essere pari a 14,1 %, inferiore al contenuto d'acqua naturale del campione (19,7%).

Per quanto riguarda il campione S1Cr4 l'indice di plasticità (24,3 %) classifica il terreno nel campo plastico. Lo stato di consistenza è efficacemente rappresentato dall'indice di consistenza (1,23 %) che colloca il terreno in oggetto in uno stato semisolido. Il limite liquido è pari a 43,9 % mentre il limite di ritiro risulta essere pari a 16,1 %, di poco inferiore al contenuto d'acqua naturale del campione (18,9 %).

Il campione S1Cr5 è classificato nel campo plastico (23,5%) e, dal punto di vista della consistenza (1,12%), in uno stato semisolido. Il limite liquido e il limite di ritiro sono rispettivamente pari a 44,1% e 10,8%, quest'ultimo di molto inferiore al contenuto d'acqua naturale del campione (18,9%).

Riguardo al campione S2C1 l'indice di plasticità (32,6 %) classifica il terreno nel campo plastico. Lo stato di consistenza, rappresentato dall'indice di consistenza (1,01 %), colloca il terreno in oggetto in uno stato semisolido. Il limite liquido è pari a 54% mentre il limite di ritiro risulta essere pari a 11,7%, inferiore al contenuto d'acqua naturale del campione (18,4 %).

Il campione S2Cr2 è infine classificabile come plastico (Indice Plastico 20,0%) e semisolido (Indice di consistenza pari a 1,32%). Il limite liquido è pari a 43,2%, il limite di ritiro è pari a 16,5%, mentre il contenuto d'acqua naturale del campione è pari a 17,4%.

Di seguito sono riassunti i risultati delle suddette analisi:

| Campione | Umidità Naturale | LL | LP | IP | IC | WR | Classificazione sulla Carta di Casagrande |
|-----------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| S1C1 | 19,90 | 46,7 | 21,9 | 24,7 | 1,03 | 12,0 | CL |
| S1C2 | 20,00 | 40,8 | 19,5 | 21,2 | 0,89 | 12,8 | CL |
| S1Cr3 | 19,70 | 43,4 | 18,1 | 25,3 | 1,02 | 14,1 | CL |
| S1Cr4 | 18,90 | 43,9 | 19,6 | 24,3 | 1,23 | 16,1 | CL |
| S1Cr5 | 19,70 | 44,1 | 20,7 | 23,5 | 1,12 | 10,8 | CL |
| | | | | | | | |
| S2C1 | 18,40 | 54,0 | 21,7 | 32,6 | 1,01 | 11,7 | CH |
| S1Cr2 | 17,40 | 43,2 | 23,2 | 20,0 | 1,32 | 16,5 | CL |

Come emerge chiaramente dalla tabella sopra riportata, i campioni di terreno analizzati sono classificabili nella Carta di Casagrande come "argilla inorganica di media plasticità" (CL) ad eccezione del campione S2C1 ricadente nel campo delle "argille inorganiche di alta plasticità" (CH).

Dal punto di vista dello stato di consistenza i terreni in esame sono classificabili come "semisolidi", ad eccezione del campione S1C2 classificabile invece come "solido-plastico".

I valori dei limiti di ritiro determinati si attestano nell'intervallo compreso tra 10,8 e 16,5%.

Le prove di taglio effettuate, simulanti le condizioni a lungo termine, hanno determinato i seguenti parametri geotecnici (certificati di prova n° 1973-2014/2005):

- campione S1Cr3-un valore di coesione pari a 0,010 Kg/cmq ed un angolo di attrito pari a 31,5°;
- campione S1Cr4-un valore di coesione pari a 0,004 Kg/cmq ed un angolo di attrito pari a 26,0°;
- campione S1Cr5-un valore di coesione pari a 0,095 Kg/cmq ed un angolo di attrito pari a 24,6°;
- campione S2Cr2-un valore di coesione pari a 0,270 Kg/cmq ed un angolo di attrito pari a 26,2°.

I risultati delle prove triassiali CU sono schematizzati di seguito:

| Campione | Profondità di prelievo (m) | Φ (°) | C (Kg/cm ²) | Φ' (°) | C' (Kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| S1C1 | -3,00/-3,50 | 16,2 | 0,223 | 26,2 | 0,079 |
| S1C2 | -6,00/-6,50 | 19,4 | 0,081 | 28,9 | 0,045 |
| S2C1 | -12,00/-12,50 | 14,5 | 0,149 | 24,4 | 0,030 |

ϕ e C: valori di coesione e angolo di attrito determinati in condizioni consolidate-non drenate.

ϕ' e C': valori di coesione e angolo di attrito effettivi, determinati in condizioni consolidate-drenate.

Per quanto riguarda le prove edometriche si segnalano i seguenti risultati:

| Campione | Cr (indice di ricomprensione) | Cc (indice di compressione) | Cs (indice di rigonfiamento) | Cv(*) (coeff. di consolidazione) cm ² /sec | K(**) (coeff. di permeabilità) (cm/sec) |
|-----------------|---|---------------------------------------|--|--|--|
| S1C1 | 0,05953 | 0,16804 | 0,03337 | 8,66x10 ⁻⁴ | 2,11x10 ⁻⁸ |
| S1C2 | 0,04880 | 0,16049 | 0,03433 | 2,85x10 ⁻⁴ | 5,1x10 ⁻⁹ |
| S1Cr3 | 0,03057 | 0,16392 | 0,04110 | 4,27x10 ⁻⁴ | 6,2x10 ⁻⁹ |
| S1Cr4 | 0,09653 | 0,17141 | 0,04181 | 4,82x10 ⁻⁴ | 5,20x10 ⁻⁹ |
| S1Cr5 | 0,05130 | 0,15903 | 0,02984 | 1,019x10 ⁻³ | 9,00x10 ⁻⁹ |
| | | | | | |
| S2C1 | 0,05100 | 0,18090 | 0,04214 | 6,31x10 ⁻⁴ | 6,20x10 ⁻⁹ |
| S2Cr2 | 0,11177 | 0,27150 | 0,05396 | 1,730x10 ⁻³ | 1,92x10 ⁻⁸ |

(*) valore ottenuto per un campo di pressioni applicato variabile da 49,0 KPa a 98,1 KPa (ad eccezione di quello relativo al campione S1C1 ottenuto per carichi compresi tra 24,5 e 49 KPa), rappresentativo della situazione reale.

(**)valore ottenuto per un campo di pressioni applicato variabile da 49,0 KPa a 98,1 KPa (ad eccezione di quello relativo al campione S1C1 ottenuto per carichi compresi tra 24,5 e 49 KPa), rappresentativo della situazione reale.

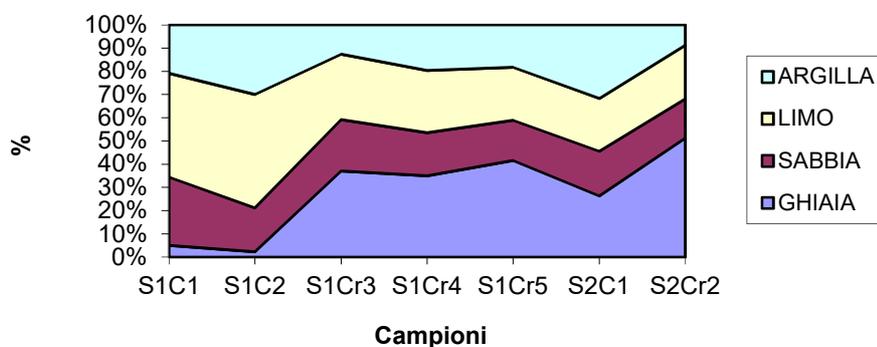
Al fine di evidenziare potenziali e pericolosi moti di filtrazione incontrollati all'interno del corpo diga s.s. durante la prova edometrica è stata effettuata anche la determinazione del coefficiente di permeabilità degli orizzonti litologici che lo costituiscono.

Le prove di permeabilità eseguite in cella edometrica hanno fornito, per tutti i campioni analizzati, coefficienti di permeabilità molto bassi/al limite dell'impermeabilità compresi tra 2,11 x10⁻⁸ cm/sec e 5,10x10⁻⁹ cm/sec (v. precedente tabella).

I campioni prelevati all'interno del corpo diga sono stati sottoposti a specifiche analisi granulometriche. Come chiaramente osservabile nella sottostante tabella riassuntiva e nel relativo diagramma ad area è stata evidenziata una generale predominanza della frazione ghiaiosa (26,4-51,3%) immersa in abbondante matrice limoso-argilloso-sabbiosa.

| Campione | Ghiaia (%) | Sabbia (%) | Limo (%) | Argilla (%) | Classificazione A.G.I. |
|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|--|
| S1C1 | 5,0 | 29,5 | 44,7 | 20,8 | <i>Limo argillosa con sabbia</i> |
| S1C2 | 2,3 | 18,9 | 48,9 | 29,9 | <i>Limo argillosa con sabbia</i> |
| S1Cr3 | 37,1 | 22,1 | 28,3 | 12,6 | <i>Ghiaia con limo sabbiosa argillosa</i> |
| S1Cr4 | 35,0 | 18,6 | 26,8 | 19,6 | <i>Ghiaia con limo argillosa sabbiosa</i> |
| S1Cr5 | 41,6 | 17,4 | 22,7 | 18,3 | <i>Ghiaia limosa argillosa sabbiosa</i> |
| S2C1 | 26,4 | 19,2 | 22,8 | 31,7 | <i>Ghiaia con argilla limosa sabbiosa</i> |
| S2C2 | 51,3 | 16,9 | 23,1 | 8,7 | <i>Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa</i> |

Analisi granulometrica dei campioni prelevati nel corpo della Diga di Cepparello



Sui campioni S1Cr6 (profondità di prelievo tra -25,70 e -26,00 m) e S1Cr7 (profondità di prelievo tra -26,00 e -26,20 m dal p.c.) sono state effettuate, oltre alla determinazione del Peso di volume di ciascuno di essi, un Point Load Strength Index e una prova di compressione uniassiale rispettivamente. Il Point Load Test (S1Cr6) permette in particolare di ottenere, con approssimazione statistica, una stima piuttosto attendibile della resistenza a compressione della roccia, dando una valutazione geomeccanica della litologia testata.

La misura dell'indice di resistenza (Indice di Point load strength), si ottiene con l'ausilio di uno strumento costituito da un martinetto idraulico che comprime il provino, a forma di parallelepipedo opportunamente preparata, contro una struttura di contrasto rappresentata da due punte coniche aventi la stessa dimensione. Sull'apposito manometro viene poi visualizzato il valore di pressione che corrisponde alla rottura del campione.

Dalle dimensioni del provino (rapportate al diametro equivalente D_e) e dal valore del carico applicato si ricava l'indice di resistenza I_s che andrà corretto attraverso un fattore di correzione legato alla forma del provino. Il parametro corretto I_s (50) permette di ottenere il valore di resistenza alla compressione monoassiale, plottando i valori di resistenza al punzonamento.

L'esecuzione della prova di Point Load sul campione S1Cr6 (quattro provini) ha fornito un valore medio di resistenza alla compressione monoassiale pari a $\sigma=104,225$ MPa (1.062,78 Kg/cmq).

Nelle classificazioni delle rocce proposte da vari autori, valori di σ compresi tra 100 e 200 MPa indicano rocce molto resistenti (ISRM, 1979).

La prova di compressione uniassiale effettuata sul campione S1Cr7 ha fornito il valore di $\sigma=99,1$ MPa (1.010,52 Kg/cmq) (v. allegato ET.06.02)

Il peso di volume determinato per il litotipo roccioso in questione (calcarenite grigio-scura-nerastra) campioni S1Cr6 e S1Cr7 è risultato pari a 2,68 g/cmc. Tale valore è specifico del materiale litico (campione prelevato roccia calcarea). È opportuno specificare che tale valore (peso di volume) non tiene conto della componente argillosa e argillita presente all'interno della formazione della Pietraforte, avente quest'ultima un peso di volume inferiore, per cui l'ammasso roccioso nel suo complesso ha necessariamente un valore di peso di volume inferiore al valore della componente litica.

Entrambi i fori di sondaggio sono stati provvisti di piezometro e, in particolare, il sondaggio geognostico S2 è stato attrezzato con Piezometro di Casagrande.

La lettura dei livelli acquiferi all'interno dei suddetti punti di controllo è stata oggetto di ripetute campagne di misura che hanno fornito quote con valori compatibili con eventuali oscillazioni stagionali.

Di seguito si riportano quindi esclusivamente le misure piezometriche realizzate nel marzo 2007.

| Punto d'indagine | Quota piezometrica rispetto al p.c. attuale di riferimento <i>(a sinistra livello misurato all'interno del corpo diga – a destra livello misurato nel substrato</i> | Quota assoluta piezometrica s.l.m. <i>(a sinistra livello misurato all'interno del corpo diga – a destra livello misurato nel substrato</i> |
|---|---|---|
| S1 _(ottobre 2006) (sommità diga) | -23,40 / - | 165,60 / - |
| S2 _(ottobre 2006) (sommità diga) | -18,60 / -23,30 | 170,40 / 165,70 |

I risultati del monitoraggio piezometrico confermano il quadro idrogeologico descritto nel § 7.1 a cui si rimanda per i dettagli.

Sempre nella sessione di Ottobre 2006 sono stati eseguiti approfondimenti geognostici mediante indagini geofisiche indirette, finalizzate all'ottenimento della caratterizzazione sismostratigrafica ed al calcolo dei parametri elastico-dinamici dei terreni presenti.

In particolare in detta zona sono state realizzate un'indagine mediante sismica down-hole con onde P ed SH all'interno del foro di sondaggio S1 (Ottobre 2006 - coronamento diga) e n.5 profili sismici a rifrazione con onde P nella porzione posta a monte della strada di accesso al corpo diga s.s.. L'esatta ubicazione delle suddette indagini è riportata nella tavola GEO.14.

La metodologia “down-hole” è stata applicata all’interno del sondaggio S1, realizzato a carotaggio continuo e attrezzato con tubo di rivestimento per un totale di 24 m indagati.

Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio SH tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio (Fig. 2).

Operativamente per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità si impiega un geofono da pozzo munito di un ricevitore costituito da tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro.

Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, viene calato all’interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d’onda prodotti dalle energizzazioni eseguite in superficie.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde di compressione P, mentre per le onde di taglio SH si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che viene colpita lateralmente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l’individuazione dell’onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata; orientando la sorgente di energizzazione in superficie a 45° rispetto ad punto cardinale, si può così avere un completo controllo nell’analisi del treno d’onda che attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d’onda diversi: uno per le onde P e l’altro per le onde SH.

La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 3.5 m mentre il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

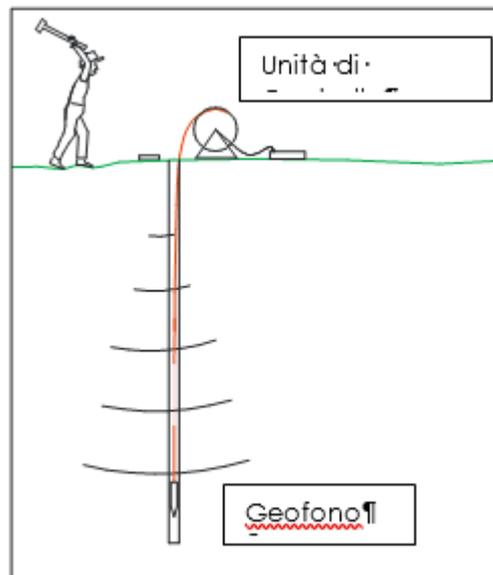


Fig. 2 – Schema del Sistema di acquisizione

Un’unità esterna di controllo gestisce le fasi di ancoraggio e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità vengono registrate mediante un sismografo digitale per la loro successiva elaborazione.

Per maggiori dettagli riguardo la metodologia d’indagine e, soprattutto, per la metodica di elaborazione dei dati raccolti in campagna si rimanda allo specifico allegato ET.06.02.

In base ai risultati ottenuti dall’indagine sismica tramite down-hole, si registrano valori di Vs compresi tra un massimo di 1648 m/sec e un minimo di 160 m/sec.

L'indagine ha messo in evidenza la presenza dei seguenti orizzonti sismici principali:

a) **1° orizzonte** (da p.c. a -10,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità delle onde sismiche:

| | |
|--|--|
| $308\text{m/sec} < V_p < 745\text{ m/sec}$ | $160\text{ m/sec} < V_s < 259\text{ m/sec.}$ |
|--|--|

Detto orizzonte corrisponde a limi argillosi debolmente sabbiosi con clasti arenacei;

b) **2° orizzonte** (da -10,00 a -21,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità delle onde sismiche:

| | |
|---|--|
| $914\text{m/sec} < V_p < 1553\text{ m/sec}$ | $328\text{m/sec} < V_s < 648\text{ m/sec}$ |
|---|--|

Detto orizzonte corrisponde a limi argillosi debolmente sabbiosi consistenti, con clasti arenacei e ghiaie;

c) **3°orizzonte** (da -21,00 a -23,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità delle onde sismiche:

| | |
|--|---|
| $1884\text{m/sec} < V_p < 1897\text{ m/sec}$ | $1010\text{ m/sec} < V_s < 1060\text{ m/sec}$ |
|--|---|

Detto orizzonte corrisponde a clasti arenacei e marnosi in limo argilloso;

d) **4°orizzonte** (da -23,00 a -24,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità delle onde sismiche:

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| $V_p=2974\text{ m/sec}$ | $V_s=1648\text{ m/sec}$ |
|-------------------------|-------------------------|

Detto orizzonte corrisponde al substrato roccioso dell'area.

Al fine di valutare le condizioni stratigrafiche e di stabilità (viste le pendenze in gioco si è utilizzata l'unica metodica logisticamente possibile) del versante sinistro su cui è previsto l'adeguamento dello sfioratore, sono stati eseguiti n° 5 profili di sismica a rifrazione (onde P) superficiale (di lunghezza pari a 46 ml ciascuno) lungo la strada di accesso al corpo diga, utilizzando una spaziatura di 2 m per un totale di 230 m di rilievo.

Operativamente la prova consiste nello stendimento di cavi sismici nella zona da indagare ai quali vengono collegati i geofoni precedente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite. L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche si effettua sia mediante massa battente da 5/20 Kg sia tramite l'utilizzo del cannone sismico. L'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (trigger), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (shot points), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (end), esternamente (offset) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali).

La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

La procedura d'elaborazione dati consiste nella lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata (1° fase) e successiva elaborazione mediante specifici metodi di calcolo (2° fase).

I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (dromocrone) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica (t_0), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni dello stendimento. Per le specifiche riguardo la metodologia di calcolo e l'elaborazione dei dati si rimanda allo specifico allegato ET.06.02.

Nel suo insieme l'indagine ha messo in evidenza in genere la presenza di tre orizzonti sismici con le seguenti classi di velocità delle onde di compressione P:

- **V1 = 257 – 425 m/sec.**
- **V2 = 737 – 1.092 m/sec.**
- **V3 = 1.606 – 4.029 m/sec.**

Lungo il profilo Ps5 è visibile un quarto orizzonte sismico con velocità V4 = 2.800 m/sec.

Sulla base delle suddette classi di velocità sismiche e dei dati di carattere litostratigrafico in nostro possesso riguardanti l'area in esame sono stati individuati i seguenti orizzonti sismici:

- a) 1° orizzonte sismico: terreno naturale areato e a materiali di copertura;
- b) 2° orizzonte sismico: substrato alterato o materiali detritici;
- c) 3° e 4° orizzonte sismico: substrato roccioso formato da arenarie e siltiti della Formazione della Pietraforte. Per questo orizzonte si possono avere variazioni orizzontali delle velocità sismiche dovute a eventuali variazioni della giacitura degli strati rispetto alla linea sismica, al grado e all'orientazione della fratturazione ed a eventuali variazioni nelle percentuali dei litotipi che costituiscono il substrato (nel caso specifico nel rapporto arenarie/siltiti).

Infine, nella campagna di indagine del 2006 è stato realizzato un rilievo geostrutturale di dettaglio degli affioramenti rocciosi posti in corrispondenza della sponda destra del paramento.

Lo scopo di detto rilievo è stato quello di determinare le caratteristiche geomeccaniche dei versanti rocciosi ed eseguirne le relative verifiche di stabilità.

Il presente studio si è quindi articolato nelle seguenti tre fasi.

1° FASE

- Modellizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso considerato come un mezzo continuo equivalente: questo, pur essendo interessato da numerose superfici di discontinuità (in prevalenza giunti di strato), nel suo insieme viene ritenuto come un mezzo isotropo (Classificazione di Bieniawski 1976 e di Barton 1979).

2° FASE

- Modellizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso considerato come un mezzo discontinuo, dove le superfici di discontinuità (fratture e stratificazione) e la roccia integra vengono considerati separatamente; quindi verranno analizzate le caratteristiche meccaniche della roccia intatta e le proprietà meccaniche delle superfici di discontinuità (Stima della resistenza meccanica c e ϕ dei giunti attraverso la relazione di Barton).

3° FASE

- Dopo avere determinato le caratteristiche geomeccaniche sia dell'ammasso roccioso intatto che delle superfici di discontinuità si è proceduto all'analisi cinematica delle condizioni di stabilità geostrutturali della sponda destra della diga dell'invaso in oggetto.

I dati ricavati dal rilievo geomeccanico sono stati utilizzati per la determinazione della qualità dell'ammasso roccioso esprimibile attraverso appositi indici che hanno lo scopo di permettere una valutazione preliminare delle caratteristiche geomeccaniche della compagine litoide.

Diverse sono le classificazioni tecniche note in letteratura, le più importanti delle quali sono quelle di Deere (1964), Bieniawski (1973 e successive modifiche), Wickham (1972) e di Barton (1979). Nel presente studio l'ammasso roccioso è stato caratterizzato utilizzando i metodi di Bieniawski (1976) e di Barton (1979).

La formazione rocciosa ("Pietraforte" – flysch arenaceo) che affiora estesamente lungo la sponda destra dell'invaso Cepparello, pur essendo interessata da numerose superfici di discontinuità (in prevalenza giunti di strato), nel suo insieme è stata considerata come un mezzo isotropo (mezzo continuo equivalente) e quindi, ai fini della valutazione delle sue caratteristiche, valutato nella sua globalità, senza distinzione tra matrice rocciosa e discontinuità.

Il principio degli indici di qualità della roccia è quello di dare un valore numerico ai diversi parametri che controllano il comportamento dell'ammasso, in modo da tenere conto del tipo di roccia e del suo stato di alterazione e/o fratturazione.

La classificazione di Bieniawski (1976) definisce un indice globale chiamato BRMR (Basic Mass Rating) valutato tramite la somma di 5 indici:

$$\mathbf{BRMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5}$$

dove:

| | |
|-----------|---|
| A1 | Co: Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta E' stata calcolata mediante prove sclerometriche in situ ottenendo un valore di 50-100 kg/cmq a cui corrisponde un indice A1 = 7 |
| A2 | RQD%: (Rock Quality Designation): <i>percentuale di recupero modificata</i> Il valore RQD è stato calcolato indirettamente tramite il metodo di Palmstron ottenendo un valore di RQD = 0,73 a cui corrisponde A2= 17 |
| A3 | s: Spaziatura delle discontinuità Sono state considerate delle discontinuità comprese nell'intervallo 30 – 100 mm; nel nostro caso le discontinuità sono rappresentate in prevalenza dalle superfici di strato che hanno una spaziatura di 25 – 60 cm per cui abbiamo un indice A3 = 20 |
| A4 | Condizioni dei giunti Nel nostro caso l'arenaria rientra nel campo dei valori dato da "Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia dura" a cui corrisponde un indice A4= 12 |
| A5 | Condizioni idrauliche dei giunti I giunti si presentano completamente asciutti per cui corrisponde un indice A5 = 10 |
| Ic | Indice di correzione |

La somma degli indici di cui sopra da:

$$\mathbf{BRMR = 66}$$

Facendo riferimento alla tabella relativa alla qualità dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1976) abbiamo:

Classificazione di Bieniawski del 1976

| PARAMETRI | | | INTERVALLI DI VALORI | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|--|---|---|---|---|---|------|-----|
| 1 | RESISTENZA ROCCIA INTATTA | Carico puntuale (Mpa) | >8 | 4-8 | 2-4 | 1-2 | Non applicabile | | |
| | | Compressione monoassiale(MPa) | >200 | 100-200 | 50-100 | 25-50 | 10-25 | 3-10 | 1-3 |
| | Indice | | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| 2 | RQD (%) | | 90-100 | 75-90 | 50-75 | 25-50 | <25 | | |
| | Indice | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | SPAZIATURA GIUNTI (m) | | >3 | 1-3 | 0,3-1 | 0,05-0,3 | <0,05 | | |
| | Indice | | 30 | 25 | 20 | 10 | 5 | | |
| 4 | CONDIZIONE GIUNTI | | Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura | Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia dura | Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia tenera | Superfici lisce o laminate o riempimento <5mm o apertura 1-5mm. Giunti continui | Riempimento tenero con spessore >5mm o giunti aperti >5 mm. Giunti continui | | |
| | Indice | | 25 | 20 | 12 | 6 | 0 | | |
| 5 | CONDIZIONI IDRAULICHE | Afflusso per 10m di lunghezza del tunnel (litri/min) | Assente | | < 25 | 25-125 | >125 | | |
| | | Rapporto Pressione acqua nei giunti/Pressione naturale in sito | 0 | | 0-0,2 | 0,2-0,5 | >0,5 | | |
| | | Condizioni generali | Giunti asciutti | | Umidi | Acqua in debole pressione | Gravi problemi idraulici | | |
| | Indice | | 10 | | 7 | 4 | 0 | | |

La somma dei 5 indici parziali fornisce il Basic RMR (BRMR).

Per la stima dell'indice di correzione Ic si è fatto riferimento alla seguente tabella:

| Orientamento dei giunti | | Molto favorevole | Favorevole | Discreto | Sfavorevole | Molto sfavorevole |
|-------------------------|--------|------------------|------------|----------|-------------|-------------------|
| Gallerie e miniere | Indice | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| Fondazioni | | 0 | -2 | -5 | -15 | -25 |
| Versanti | | 0 | -5 | -7 | -50 | -60 |

Applicando alla BRMR la correzione Ic si ottiene l'indice RMR, correlato alla qualità dell'ammasso roccioso e alle sue caratteristiche meccaniche secondo la seguente tabella:

$$\mathbf{RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) - Ic = 61}$$

| RMR | 0-25 | 25-50 | 50-70 | 70-90 | 90-100 |
|---------------|----------------|----------|-----------|---------|--------|
| CLASSE | V | IV | III | II | I |
| QUALITA' | Molto scadente | Scadente | Discreta | Buona | Ottima |
| Coesione(Mpa) | <0,1 | 0,1-0,15 | 0,15-0,20 | 0,2-0,3 | >0,3 |
| φ (°) | <30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | >45 |

| Classificazione C.S.I.R. - Rock Mass Rating 1976 (Bieniawski) | | | | | |
|---|----------------|---------------|--------------------------------|----------------|--------------------|
| CLASSIF. | BMRH (stimato) | RMR (stimato) | Qualità dell' ammasso roccioso | Coesione (kPa) | Angolo d'attrito φ |
| III | 66 | 61 | Discreta | 150 - 200 | 35° - 40° |
| A1 - Resistenza roccia integra | | | | | |
| A1 = 7 | | | | | |
| A2 - Rock Quality Designation | | | | | |
| A2 = 17 | | | | | |
| A3 - Spaziatura dei giunti | | | | | |
| A3 = 20 | | | | | |
| A4 - Condizione dei giunti | | | | | |
| A4 = 12 | | | | | |
| A5 - Condizioni idrauliche | | | | | |
| A5 = 10 | | | | | |
| A6 - Orientamento dei giunti | | | | | |
| A6 = -5 | | | | | |
| BRMR (Basic RMR) = A1 + A2 + A3 + A4 - A5 | | | | | |
| RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 | | | | | |
| GSI (Geological Strength Index) = A1 - A2 + A3 + A4 + 10 = 66 | | | | | |

Classificazione di Bieniawski del 1976

Nella classificazione di Barton (1979) l'indice Q viene calcolato attraverso la relazione:

$$Q = \frac{RQDJ_r J_w}{J_n J_a SRF}$$

Le grandezze espresse al secondo membro hanno il seguente significato.

- RQD % (Rock Quality Designation): tiene conto della suddivisione della massa rocciosa.
- Jn (Joint Set Number): dipende dal numero di famiglie di giunti presenti nell'ammasso roccioso. Viene ricavato dalla seguente tabella:

| Jn (Joint Set Number) | Jn |
|---|----------|
| A Roccia compatta o poche discontinuità | 0 - 1 |
| B Una famiglia di discontinuità | 2 |
| C Una famiglia di discontinuità + random | 3 |
| D Due famiglie di discontinuità | 4 |
| E Due famiglie di discontinuità + random | 9 |
| F Tre famiglie di discontinuità | 6 |
| G Tre famiglie di discontinuità + random | 12 |

| | |
|--|----|
| H Quattro famiglie di discontinuità, random, intensamente fratturato | 15 |
| I Rocce fratturate, terrose | 20 |

- Jr (Joint Roughness Number): dipende dalla rugosità delle superfici di discontinuità.

| Jr (Joint Roughness Number) | Jr |
|--|------------|
| Pareti delle fratture a contatto o con tratti beanti < 10 cm | |
| A fratture discontinue | 4 |
| B rugose, irregolari, ondulate | 3 |
| C ondulate, lisce | 2 |
| D ondulate a facce levigate | 1.5 |
| E planari, ruvide o irregolari | 1.5 |
| F planari lisce | 1.0 |
| G planari a facce levigate | 0.5 |
| Pareti delle fratture aperte | |
| H minerali argillosi nei giunti, fratture non a contatto | 1.0 |
| I zone sabbiose, ghiaiose o fratturate | 1.0 |

- Ja (Joint Alteration Number): dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento.

| Ja (Joint Alteration Number) | Ja |
|--|----------|
| A Riempimento impermeabile, duro, strettamente cicatrizzato | 0.75 |
| B Bordi fratture inalterati, superfici autoreggenti | 1 |
| C Bordi fratture leggermente alterati, rivestiti di minerali non ammorbiditi, particelle sabbiose | 2 |
| D Rivestimento limoso-argilloso o sabbioso-argilloso | 3 |
| E Rivestimento di minerali ammorbiditi con argille rigonfianti | 4 |
| F Particelle sabbiose, roccia disgregata libera da argilla | 4 |
| G Riempimenti di minerali argillosi non rigonfianti, continui | 6 |
| H Riempimenti di minerali argillosi ammorbiditi | 8 |
| J Riempimenti di minerali argillosi rigonfianti | 8-12 |

- Jw (Joint Water Number): dipende dalle condizioni idrogeologiche.

| Jw (Joint Water reduction factor) | Jw |
|--|----------|
| A Scavo secco o afflussi minimi (< 5 l/min localmente) | 1 |
| B Sporadici getti del materiale di riempimento dei giunti | 0.66 |
| C Pressioni elevate in rocce competenti con giunti non riempiti (afflussi sostenuti) | 0.5 |
| D Come C, consistenti getti di materiali dai giunti | 0.33 |
| E Colpi d'acqua decrescenti nel tempo | 0.2-0.1 |
| F Colpi d'acqua costanti nel tempo | 0.1-0.05 |

- S.R.F. (Stress Reduction Factor): è indicativo dello stato di sollecitazione che interessa l'ammasso roccioso.

| SRF(Stress Reduction Factor) | SRF |
|--|------------|
| Zone deboli interessanti lo scavo - distacchi di volumi di roccia nel cavo | |
| A Zone deboli multiple con argille o rocce disgregate chimicamente, rocce del contorno del cavo molto allentate | 10 |
| B Singole zone deboli con argille o rocce disgregate chimicamente (prof. di scavo < 50m) | 5 |
| C Come B ma con prof. di scavo > 50 m | 2.5 |
| D Zone di frattura multiple in rocce competenti, senza argilla rocce del contorno molto allentate (qualsiasi profondità) | 7.5 |
| E Singole zone di frattura in rocce competenti, senza argilla con prof. di scavo < 50 m | 5 |
| F Come E ma con prof. di scavo > 50 m | 2.5 |
| G Giunti allentati aperti, rocce intensamente fratturate Sugar cube (qualsiasi profondità) | 5 |
| Problemi di tensione in rocce competenti | |
| H Tensione bassa vicino alla superficie | 2.5 |
| J Tensione media | 1 |
| K Tensione alta, struttura molto compatta | 0.5-2 |
| L Scoppi di roccia moderati | 5-10 |
| M Scoppi di roccia forti | 10-20 |
| Roccia compressa, flusso plastico di rocce incompetenti sotto pressione | |
| N Flusso plastico medio, pressione moderata | 5-10 |
| O Flusso plastico forte, pressione forte | 10-20 |
| Roccia rigonfiante, rigonfiamento dipendente dall'acqua | |
| P Pressione di rigonfiamento media | 5-10 |
| Q Pressione di rigonfiamento forte | 10-20 |

L'indice Q system è diviso in 9 intervalli cui corrispondono altrettante classi di ammasso roccioso. Nel nostro caso abbiamo:

| Classificazione N.G.I. - Q System (Barton, Lien e Lunde) | | | | | |
|---|---------------|--------------|--------------------------------|----------------|----------------------|
| Q | BMR (stimato) | MR (stimato) | Qualità dell' ammasso roccioso | Coesione (MPa) | Angolo d'attrito (°) |
| 7,30000 | 70 | 62 | Mediocre | 0,35 | 40 |
| Jn - numero di famiglie di giunti: | | | | | |
| Una famiglia di giunti con ulteriori giunti sparsi | | | | | |
| Jn = 3,0 | | | | | |
| Jr - scabrezza del giunto: | | | | | |
| Giunti scabri o irregolari, piani | | | | | |
| Jr = 1,5 | | | | | |
| Ja - alterazione della superficie del giunto: | | | | | |
| Pareti del giunto leggerm.alterate, coperte da un sottile strato di minerali non ammorbidenti, particelle sabbiose e/o di roccia fratturata | | | | | |
| Ja = 2,0 | | | | | |
| Jw - fattore di riduzione per l'acqua nei giunti | | | | | |
| Scavo asciutto o afflusso minimo d'acqua | | | | | |
| Jw = 1,0 | | | | | |
| SRF - fattore di riduzione delle tensioni | | | | | |
| Basse tensioni vicino alla superficie ($\sigma_3/\sigma_1 > 200$, $(\sigma_3/\sigma_1) > 13$) | | | | | |
| SRF = 2,5 | | | | | |
| Rock Quality Designation | | | | | |
| RQD % = 73,0 | | | | | |

Considerando invece la formazione rocciosa come un mezzo discontinuo è stata posta particolare attenzione all'analisi delle singole discontinuità che lo interessano.

Negli ammassi rocciosi fratturati la resistenza meccanica dei giunti, espressa in valori di c_i e ϕ_i , si può ottenere attraverso le relazioni proposte da Barton.

I valori di coesione e angolo di resistenza al taglio variano in funzione dello sforzo normale efficace (σ_n') agente. Questi i passaggi di calcolo:

$$\tau = \sigma_n' \tan \left[\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n'} \right) \right];$$

$$c_i = \tau - \sigma_n \tan \phi_i$$

dove:

σ_n = sforzo normale efficace agente sul piano

JRC = coefficiente di rugosità

JCS = resistenza a compressione monoassiale determinata sulla superficie del giunto

ϕ_b = angolo di attrito di base della roccia assunto = 35° (dati bibliografici)

La caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità presenti è stata fatta utilizzando i seguenti parametri:

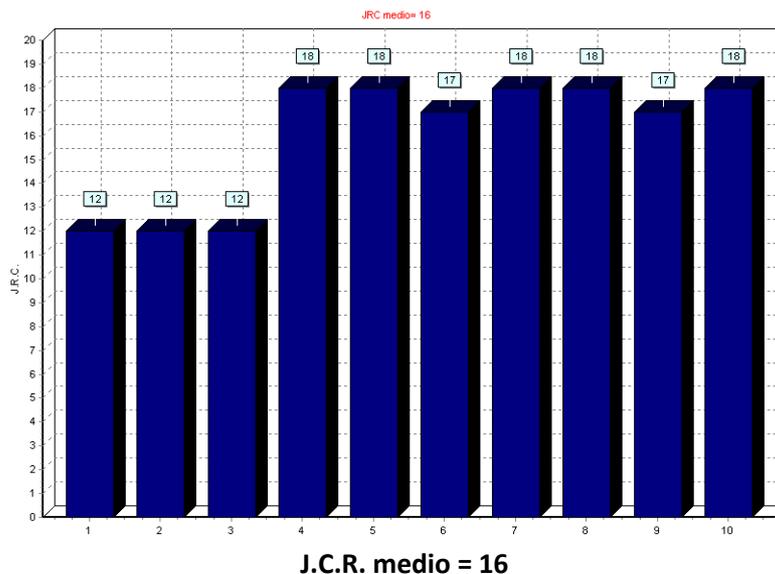
- 1) - orientamento
- 2) - spaziatura
- 3) - rugosità
- 4) - apertura
- 5) – riempimento

I termini JRC (cioè il coefficiente di rugosità del giunto, variabile tra 0 e 20; da Barton, 1976) e JCS (resistenza a compressione delle pareti del giunto) esprimono rispettivamente il termine relativo all'asperità e quello riguardante lo stato di alterazione delle pareti della discontinuità.

Il valore dei due coefficienti è stato ricavato in questo modo:

- Determinazione in situ della scabrezza delle superfici di discontinuità mediante Pettine di Barton e determinazione dell'indice JRC (Joint Roughness Coefficient): tutte le fratture rilevate hanno un profilo di scabrezza riferibile alla classe 6 e 9 di Barton (1973) a cui corrispondono i seguenti indici JRC:

| STIMA DEL JOINT ROUGHNESS COEFFICIENT (J.C.R.) DAI PROFILI DI BARTON | | |
|---|--------|--------|
| Famiglia discontinuità | classe | J.C.R. |
| S1 | 6 | 12 |
| S2 | 6 | 12 |
| S3 | 6 | 12 |
| S4 | 9 | 18 |
| S5 | 9 | 18 |
| S6 | 9 | 17 |
| S7 | 9 | 18 |
| S8 | 9 | 18 |
| S9 | 9 | 17 |
| S10 | 9 | 18 |

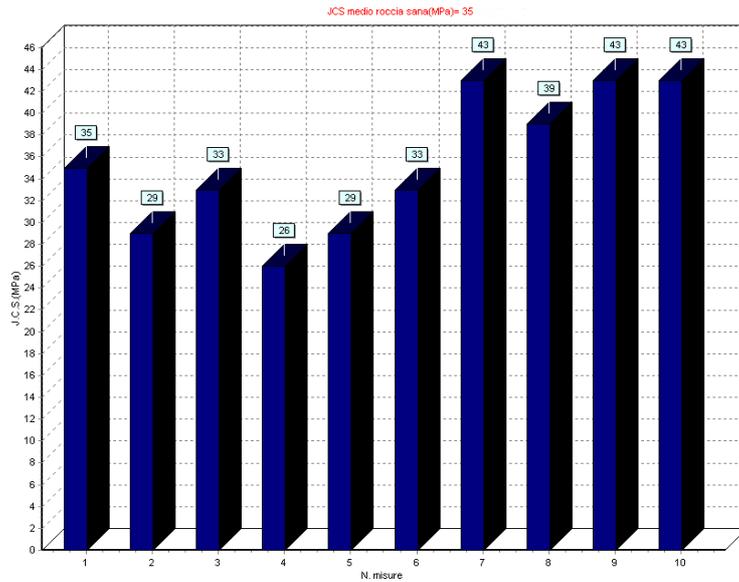


- Determinazione dell'alterazione delle pareti della superficie di discontinuità attraverso le prove sclerometriche. La valutazione del valore di JCS è stata fatta con Martello di Schmidt sulle superfici delle fratture e con l'indice di durezza ottenuto è stata calcolata la resistenza a compressione monoassiale della roccia (da Hoek e Bray, 1981).

Sono stati ottenuti valori di resistenza a compressione monoassiale variabili da 42 a 50 MPa considerando un peso di volume della roccia di 26,0 KN/m³

| STIMA DEL COMPRESSIVE STRENGTH (J.C.S.) CON IL MARTELLO DI SCHMIDT | | | | |
|--|--------|----------------------|-----------------|--------------|
| Famiglia | Indice | Angolo di misura (°) | Indice corretto | J.C.S. (MPa) |
| S1 | 30 | 135 | 23 | 35 |
| S2 | 28 | 135 | 20 | 29 |
| S3 | 30 | 135 | 22 | 33 |
| S4 | 26 | 135 | 18 | 26 |
| S5 | 25 | 135 | 20 | 29 |
| S6 | 28 | 135 | 22 | 33 |
| S7 | 28 | 45 | 27 | 43 |
| S8 | 26 | 45 | 25 | 39 |
| S9 | 28 | 45 | 27 | 43 |
| S10 | 28 | 45 | 27 | 43 |

| | |
|---|-----------------------------|
| Peso di volume della roccia (kN/mc) = 26,00 | Angolo di attrito base= 35° |
| Angolo di attrito residuo= 15° | J.C.S. medio = 35 |

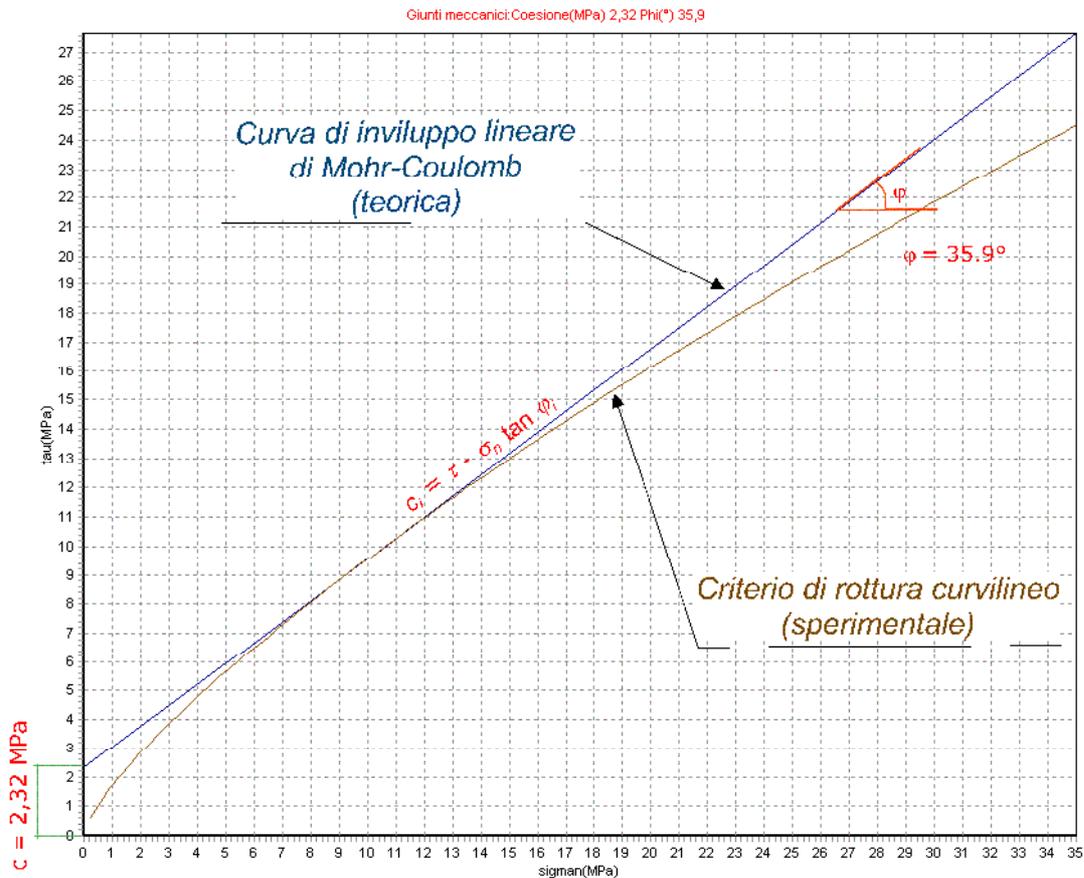


J.C.S. medio = 35

L'angolo di attrito (ϕ) e la relativa coesione lungo le singole discontinuità, calcolato con misure dirette di compressione monoassiale (Criterio di Barton) è pari a:

ϕ = angolo di attrito = 35,9°

c = coesione = 2.32 Mpa



Resistenza di una roccia con presenza di discontinuità

I cinematismi che i blocchi delimitati dalle superfici di discontinuità e dalle pareti della sponda della diga possono assumere sono i seguenti:

1. - Scivolamento su un piano
2. - Scivolamento di un cuneo
3. - Ribaltamento.

Tutte le verifiche sono state condotte utilizzando un software specifico (MecRocce-2.1 della Program Geo). Il programma utilizza per la rappresentazione grafica di linee e piani la proiezione stereografica equiangola sulla semisfera inferiore.

In estrema sintesi, si riportano i poli delle famiglie di discontinuità sulla proiezione stereografica: si identificano come potenzialmente critiche solo quelle che ricadono all'interno di un'area critica per la stabilità dell'ammasso roccioso, individuata sulla suddetta proiezione. Il criterio di delimitazione dell'area critica varia in relazione al cinematismo.

| | <i>Immersione</i> | <i>Inclinazione</i> |
|----------------------|-------------------|---------------------|
| <i>Sponda invaso</i> | 200° | 80° |

Per avere scivolamento su un piano devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

- La frattura deve “venire a giorno”. Affinché ciò si realizzi è necessario che la frattura abbia una inclinazione minore del versante. Indicando con α l'inclinazione del versante e δ quella della frattura per avere scivolamento dovremo avere: $\alpha > \delta$.
- Il vettore che rappresenta la forza peso del blocco deve essere inclinato rispetto al polo della superficie di scivolamento di un angolo maggiore di φ , indicando con φ l'angolo di attrito superficiale sulle superficie di scorrimento. Quindi, nel caso di piani di scivolamento sottoposti solo alla forza di gravità, il cedimento è possibile solo se la superficie è più inclinata di φ . Dall'analisi delle caratteristiche geomeccaniche dei piani di frattura (la cui metodologia d'indagine è indicata nel precedente paragrafo) è stato assunto un valore cautelativo di $\varphi = 35^\circ$.
- Il blocco deve essere “libero” dalla massa rocciosa; considerato che un blocco elementare è formato da un minimo di quattro facce si possono avere le seguenti combinazioni:
 - Fronte versante, superficie di scivolamento e altre due fratture che intersecandosi con la superficie di scivolamento delimitano il blocco potenzialmente instabile.
 - Superficie orizzontale (es. superficie del gradone), sottostante fronte variamente inclinato e due fratture tra di loro intersecanti.

Ricorrendo, per la soluzione del problema, alla rappresentazione grafica mediante proiezione stereografica equiangola (sfera di proiezione inferiore) affinché siano soddisfatte le tre condizioni sopra indicate è necessario che la proiezione del vettore D (vettore inclinazione del piano di discontinuità) sia compreso nella mezza luna (area in rigato rosso nei certificati allegati) delimitato dalla traccia ciclografica del piano che rappresenta il fronte cava (arco di cerchio in colore nero) e il piccolo cerchio di apertura $90^\circ - \varphi$.

DIAGRAMMA N° 1 (allegato ET.06.02)

Come si può osservare dai grafici allegati nessun vettore inclinazione (D) delle discontinuità litologiche cade nell'area in rigato rosso per cui su di esse non può essere possibile lo scivolamento planare di un blocco.

Le condizioni affinché il cinematiso del ribaltamento sia possibile sono le seguenti:

- a) Ammasso roccioso discreto con superfici di svincolo laterale.
- b) Le superfici di discontinuità devono avere la stessa direzione del versante. Nell'analisi abbiamo assunto che questa condizione sia rispettata anche con variazioni angolari di $\pm 30^\circ$. In proiezione stereografica questa condizione è imposta riportando due coni di apertura $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ aventi asse orizzontale e direzione uguale alla direzione del fronte cava.
- c) Le superfici di discontinuità devono essere a reggipoggio.
- d) Il versante deve essere sufficientemente inclinato. Poiché la superficie di contatto aria – roccia è soggetta a uno sforzo di taglio nullo, lo sforzo principale massimo σ_1 è parallelo al pendio. Se le discontinuità hanno un angolo di resistenza al taglio φ , lo scorrimento su di esse potrà aver luogo solo se lo sforzo principale massimo σ_1 forma un angolo maggiore di φ rispetto alla normale agli strati. Condizione per lo scorrimento strato su strato è che l'angolo tra la normale alle superfici di discontinuità e il pendio sia maggiore di φ . Se l'inclinazione delle discontinuità è δ , allora il ribaltamento con un pendio inclinato α può avvenire se $(90^\circ - \delta) + \varphi < \alpha$.

In proiezione stereografica questo significa che il ribaltamento può avvenire solo se il polo delle discontinuità immerge come il versante con una inclinazione minore dell'angolo $\alpha - \varphi$.

Ricorrendo, anche per la soluzione del problema del ribaltamento, alla rappresentazione grafica mediante proiezione stereografica equiangola, avremo un possibile ribaltamento di un blocco allorché in proiezione stereografica i poli delle discontinuità cadono nell'area con rigato in verde che rappresenta la risultante della combinazione delle tre condizioni sopra espone.

DIAGRAMMA N° 2 (allegato ET.06.02)

Si possono verificare le condizioni per il ribaltamento di blocchi. Si tratterebbe comunque di fenomeni localizzati e di piccola entità.

Lo scivolamento di un cuneo di roccia delimitato da due superfici di discontinuità può avvenire o lungo la linea formata dall'intersezione delle due superfici di frattura oppure su uno dei due piani che delimitano il blocco.

Anche per l'analisi di questo tipo di cinematiso valgono le condizioni espresse sopra:

- a) La linea d'intersezione deve avere una inclinazione minore del versante, cioè deve "venire a giorno";
- b) La linea d'intersezione tra le due discontinuità deve essere sufficientemente inclinata, cioè deve essere inclinata di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito medio tra le due fratture.

Ricorrendo ancora, per la soluzione del problema, alla rappresentazione grafica mediante proiezione stereografica equiangola, avremo un possibile scivolamento di un cuneo di roccia, delimitato da due generiche fratture x e y, allorché la proiezione stereografica della linea d'intersezione lx-y tra le due superfici di discontinuità cade nell'area in rigato nero delle figure allegate.

DIAGRAMMA N° 3 (allegato ET.06.02)

Come si può osservare dalla figura allegata alcuni dei sistemi di discontinuità possono generare cunei potenzialmente instabili, in quanto le loro linee di intersezione sono disposte a franapoggio ed hanno un angolo di scivolamento inferiore a quello dell'angolo di attrito mobilabile.

7.3 CAMPAGNA GEOGNOSTICA LUGLIO 2016

A luglio 2016, ai fini di migliorare ancora di più la definizione della caratterizzazione stratigrafico-strutturale del corpo diga e delle caratteristiche meccaniche dei terreni costituenti, è stata eseguita una nuova campagna di indagini geognostiche incentrata sui terreni costituenti il corpo della diga. Durante la campagna geognostica, sono stati eseguiti n. 5 sondaggi a carotaggio continuo, n. 3 sul coronamento e n. 2 sulla balza intermedia di valle. Per l'ubicazione dei fori di indagine, si rimanda alla specifica tavola GEO.14.

A livello stratigrafico i sondaggi confermano l'assetto litologico dello sbarramento antropico descritto nei capitoli precedenti. In particolare, nei sondaggi S3, S4 e S5 si osserva un orizzonte superficiale di circa 10/15 m di spessore caratterizzato da una prevalenza di terreni limoso/argillosi con presenza subordinata di materiale ghiaioso/ciottoloso. Al di sotto la prevalenza passa ai materiali granulari ghiasoso/ciottolosi/sabbiosi con presenza subordinata di materiali limoso/argilloso. Spostandosi lungo il fianco di valle del corpo di diga (sondaggi S6 e S7) la prevalenza maggiore spetta ai materiali ciottolosi/ghiaioso/sabbiosi.

In totale sono stati prelevati 32 campioni indisturbati e 2 campioni rimaneggiati

Le analisi eseguite sui suddetti campioni sono osservabili nelle seguenti tabelle riassuntive.

| Campione | Profondità Prelievo (m da p.c.) | Analisi granulomet rica (1) | Peso di volume Contenuto acqua | Limiti Atterberg (2) | Prova E.L.L. | Prova Triassiale UU | Prova Triassiale CIU | Taglio CD (4) |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|
| S316C1 | -1,50/-1,80 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S316C3 | -4,20/-4,70 | ● | ● | ● | | | ● | |
| S316C4 | -5,40/-5,85 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S316C5 | -7,15/7,65 | ● | ● | ● | | | ● | |
| S316C6 | -9,00/-9,50 | ● | ● | ● | | | ● | |
| S316C7 | -10,70/-11,20 | ● | ● | ● | | | | |
| S316C8 | -12,50/-13,00 | ● | ● | ● | ● | | ● | |
| S316C9 | -14,50/-14,80 | ● | ● | ● | | ● | | |
| S316C10R | -17,20/-17,70 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S316C11R | -22,00/-22,50 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|
| S416C1 | -1,70/-2,00 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S416C2 | -3,00/-3,30 | ● | ● | ● | | | ● | |
| S416C3 | -4,10/-4,65 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S416C4 | -6,00/-6,50 | ● | ● | ● | ● | | ● | |
| S416C5 | -7,60/-8,10 | ● | ● | ● | ● | | ● | |
| S416C6 | -9,00/-9,50 | ● | ● | ● | | | | ● |
| S416C7 | -11,85/-12,25 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S416C8 | -14,50/-15,00 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S416C9 | -16,00/-16,50 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| | | | | | | | | |
| S516C1 | -1,50/-1,80 | ● | ● | ● | | ● | | |
| S516C2 | -3,30/-3,80 | ● | ● | ● | | | ● | |
| S516C3 | -7,40/-7,90 | ● | ● | ● | | | ● | |
| S516C4 | -9,00/-9,50 | ● | ● | ● | ● | | ● | |
| S516C5 | -12,00/-12,50 | ● | ● | ● | | | | |
| S516C6 | -13,10/-13,50 | ● | ● | ● | | ● | | ● |
| S516C7 | -14,50/-15,00 | ● | ● | ● | | | | |
| | | | | | | | | |
| S616C1 | -1,10/-1,50 | ● | ● | ● | | ● | | |
| S616C2 | -3,20/-3,60 | ● | ● | ● | | | | ● |
| S616C3 | -5,00/-5,40 | ● | ● | ● | | ● | | |
| | | | | | | | | |
| S716C1 | -1,50/-1,80 | ● | ● | ● | | | | |
| S716C3 | -2,80/-3,00 | ● | ● | ● | ● | | | |
| S716C4 | -3,00/-3,40 | ● | ● | ● | ● | ● | | ● |
| S716C5 | -4,10/-4,60 | ● | ● | ● | | | | |
| S716C6 | -5,00/-5,35 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

All'interno dei fori di sondaggio i terreni sono stati oggetto di prove Standard Penetration Test in avanzamento, finalizzate a verificare il grado di consistenza dei terreni attraversati. Per le cui profondità di esecuzione e i risultati ottenuti si rimanda alla seguente tabella riassuntiva:

| Profondità di esecuzione (in m) | N° colpi misurati su 3 intervalli di 15 cm | Risultati prova SPT eseguita secondo le norme A.G.I. (n° colpi) |
|--|---|--|
| S316 | | |
| da - 9,50 a -9,95 | 4-6-7 | 13 |
| da - 13,00 a -13,45 | 5-9-15 | 24 |
| da - 15,90 a -16,35 | 9-11-8 | 19 |
| da -19,30 a -19,75 | 17-14-22 | 36 |
| da -22,50 a -22,95 | 10-12-16 | 36 |

| | | |
|---------------------|------------|-----|
| S416 | | |
| da - 9,50 a -9,95 | 4-8-9 | 17 |
| da - 12,70 a -13,15 | 4-12-13 | 25 |
| da - 17,50 a -17,95 | 14-33-21 | 54 |
| da -19,50 a -19,95 | 11-7-9 | 16 |
| S516 | | |
| da - 9,50 a -9,95 | 3-2-4 | 6 |
| da - 12,50 a -12,95 | 6-10-11 | 21 |
| da - 16,00 a -16,45 | 3-6-9 | 15 |
| da -19,00 a -19,15 | 26-Rifiuto | Rif |

Per la completa visione dei risultati delle analisi di laboratorio si rimanda comunque nell'allegato ET.06.03 del presente elaborato.

Qui di seguito si riporta una breve descrizione dei risultati delle prove di laboratorio eseguite su i suddetti campioni.

I risultati delle prove triassiali CU sono schematizzati di seguito:

| Campione | Profondità di prelievo (m) | Φ' (°) | C' (Kg/cm²) |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
| S316C3 | -4,20/-4,70 | 23,4 | 0,27 |
| S316C5 | -7,15/-7,65 | 25,5 | 0,00 |
| S316C6 | -9,00/-9,50 | 24,3 | 0,22 |
| S316C8 | -12,50/-13,00 | 22,7 | 0,30 |

| | | | |
|---------------|-------------|------|------|
| S416C2 | -3,00/-3,30 | 27,6 | 0,11 |
| S416C4 | -6,00/-6,50 | 22,5 | 0,24 |
| S416C5 | -7,60/-8,10 | 26,7 | 0,10 |
| S516C2 | -3,30/-3,80 | 28,0 | 0,08 |
| S516C3 | -7,40/-7,90 | 23,7 | 0,17 |
| S516C4 | -9,00/-9,50 | 22,5 | 0,24 |

ϕ' e C' : valori di coesione e angolo di attrito effettivi, determinati in condizioni consolidate-drenate.

I risultati delle prove triassiali UU sono schematizzati di seguito:

| Campione | Profondità di prelievo (m) | Cu (Kg/cm²) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| S316C1 | -1,50/-1,80 | 0,43 |
| S316C4 | -5,40/-5,85 | 0,29 |
| S316C9 | -14,50/-14,80 | 1,31 |
| S316C10R | -12,50/-13,00 | 1,07 |
| S316C11R | -22,00/-22,50 | 1,05 |
| S416C1 | -1,70/-2,00 | 1,75 |
| S416C3 | -4,10/-4,65 | 0,38 |
| S416C7 | -11,85/-12,25 | 0,57 |
| S416C8 | -14,50/-15,00 | 0,59 |
| S416C9 | -16,00/-16,50 | 0,45 |
| S516C1 | -1,50/-1,80 | 0,72 |
| S516C6 | -13,10/-13,50 | 0,28 |
| S616C1 | -1,10/-1,50 | 1,11 |
| S616C3 | -5,00/-5,40 | 0,41 |
| S716C4 | -3,00/-3,40 | 0,31 |
| S716C5 | -5,00/-5,35 | 0,71 |

C : valori di coesione determinati in condizioni consolidate-non drenate.

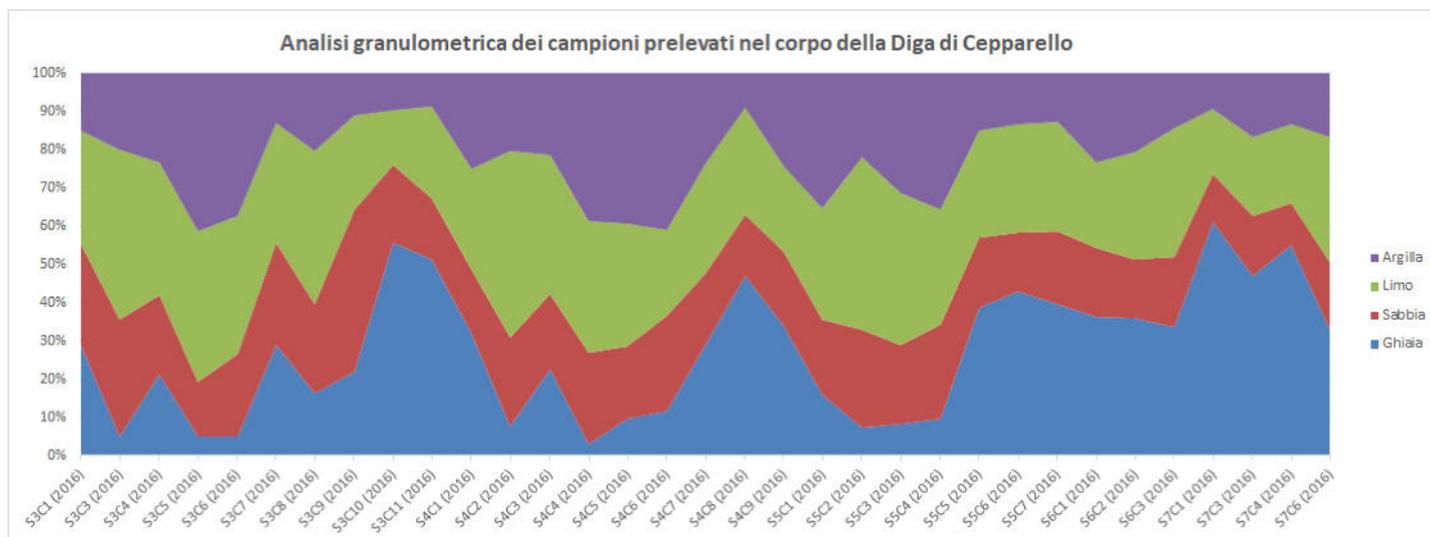
Per quanto riguarda le prove di taglio diretto si segnalano i seguenti risultati:

| Campione | Profondità di prelievo (m) | Φ' (°) | C' (Kg/cm²) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| S316C1 | -1,50/-1,80 | 34,5 | 0,06 |
| S316C4 | -5,40/-5,85 | 31,5 | 0,11 |
| S316C10R | -17,20/-17,70 | 30,9 | 0,00 |
| S316C11R | -22,00/-22,50 | 26,7 | 0,00 |
| S416C1 | -1,70/-2,00 | 33,0 | 0,00 |
| S416C3 | -4,10/-4,65 | 31,2 | 0,40 |
| S416C6 | -9,00/-9,50 | 34,0 | 0,00 |
| S416C7 | -11,85/-12,25 | 30,8 | 0,00 |
| S416C8 | -14,50/-15,00 | 29,8 | 0,00 |
| S416C9 | -16,00/-16,50 | 35,7 | 0,00 |
| S516C6 | -13,10/-13,50 | 29,0 | 0,00 |
| S616C2 | -3,20/-3,60 | 32,2 | 0,00 |
| S716C4 | -3,00/-3,40 | 30,9 | 0,00 |
| S716C6 | -5,00/-5,35 | 31,3 | 0,00 |

I campioni prelevati all'interno del corpo diga sono stati sottoposti a specifiche analisi granulometriche. Come chiaramente osservabile nella sottostante tabella riassuntiva è stata evidenziata una generale predominanza della frazione ghiaiosa (26,4-51,3%) immersa in abbondante matrice limoso-argilloso-sabbiosa.

| Campione | Ghiaia (%) | Sabbia (%) | Limo (%) | Argilla (%) | Classificazione A.G.I. |
|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|--|
| S316C1 | 29,08 | 26,25 | 29,73 | 14,94 | <i>Limo con ghiaia e sabbia argillosa</i> |
| S316C3 | 4,91 | 30,76 | 44,38 | 19,95 | <i>Limo con sabbia argillosa</i> |
| S316C4 | 21,15 | 20,81 | 34,76 | 23,29 | <i>Limo con ghiaia sabbia e argilla</i> |
| S316C5 | 4,98 | 14,23 | 39,31 | 41,47 | <i>Argilla con limo sabbioso</i> |
| S316C6 | 4,84 | 21,70 | 35,95 | 37,51 | <i>Argilla con limo sabbioso</i> |
| S316C7 | 28,92 | 26,54 | 31,65 | 12,90 | <i>Limo con ghiaia e sabbia argilloso</i> |
| S316C8 | 16,16 | 23,33 | 40,20 | 20,31 | <i>Limo sabbioso argilloso ghiaioso</i> |
| S316C9 | 22,01 | 42,23 | 24,72 | 11,04 | <i>Sabbia limosa ghiaiosa argillosa</i> |
| S316C10R | 55,56 | 20,42 | 14,32 | 9,70 | <i>Ghiaia sabbiosa limosa debolmente argillosa</i> |

| | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|--|
| S316C11R | 51,27 | 16,12 | 23,81 | 8,81 | <i>Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa</i> |
| S416C1 | 32,03 | 16,65 | 26,27 | 25,05 | <i>Ghiaia con limo e argilla sabbiosi</i> |
| S416C2 | 7,44 | 23,46 | 48,90 | 20,21 | <i>Limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso</i> |
| S416C3 | 22,77 | 19,43 | 35,59 | 21,21 | <i>Limo ghiaioso argilloso sabbioso</i> |
| S416C4 | 2,77 | 24,13 | 34,24 | 38,87 | <i>Argilla con limo sabbioso</i> |
| S416C5 | 9,44 | 19,13 | 32,07 | 39,35 | <i>Argilla con limo sabbioso debolmente ghiaioso</i> |
| S416C6 | 11,75 | 24,70 | 22,49 | 41,05 | <i>Argilla sabbiosa limosa ghiaiosa</i> |
| S416C7 | 29,02 | 18,49 | 28,75 | 23,73 | <i>Ghiaia con limo argilloso sabbioso</i> |
| S416C8 | 47,10 | 15,95 | 27,90 | 9,06 | <i>Ghiaia con limo sabbioso debolmente argillosa</i> |
| S416C9 | 33,94 | 19,42 | 22,31 | 24,33 | <i>Ghiaia argillosa limosa sabbiosa</i> |
| S516C1 | 15,86 | 19,87 | 28,77 | 35,5 | <i>Argilla con limo sabbioso ghiaioso</i> |
| S516C2 | 7,19 | 25,72 | 44,93 | 22,15 | <i>Limo con sabbia argillosa debolmente ghiaiosa</i> |
| S516C3 | 8,14 | 20,68 | 39,70 | 31,48 | <i>Limo con argilla sabbiosa debolmente ghiaiosa</i> |
| S516C4 | 9,62 | 24,60 | 30,17 | 35,61 | <i>Argilla con limo sabbioso debolmente ghiaiosa</i> |
| S516C5 | 38,51 | 18,43 | 28,14 | 14,93 | <i>Ghiaia limosa sabbiosa argillosa</i> |
| S516C6 | 43,05 | 15,19 | 28,40 | 13,36 | <i>Ghiaia con limo sabbiosa argillosa</i> |
| S516C7 | 39,73 | 18,79 | 28,63 | 12,85 | <i>Ghiaia con limo sabbiosa argillosa</i> |
| S616C1 | 36,38 | 17,85 | 22,48 | 23,29 | <i>Ghiaia argillosa limosa sabbiosa</i> |
| S616C2 | 35,98 | 15,29 | 28,11 | 20,61 | <i>Ghiaia con limo argillosa sabbiosa</i> |
| S616C3 | 33,76 | 18,04 | 33,96 | 14,24 | <i>Limo con ghiaia sabbiosa argillosa</i> |
| S716C1 | 61 | 12,48 | 17,15 | 9,37 | <i>Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa</i> |
| S716C3 | 46,79 | 15,80 | 20,86 | 16,55 | <i>Ghiaia limosa argillosa sabbiosa</i> |
| S716C4 | 55 | 10,91 | 20,76 | 13,34 | <i>Ghiaia limosa argillosa sabbiosa</i> |
| S716C5 | 49,44 | 10,82 | | | CARENZA DI MATERIALE |
| S716C6 | 33,03 | 17,71 | 32,61 | 16,65 | <i>Ghiaia con limo sabbioso argilloso</i> |



I fori S3/16, S4/16 S5/16 e S6/16 di sondaggio sono stati provvisti di doppio piezometro Casagrande.

Durante la fase di terebrazione dei sondaggi geognostici, sono state realizzate anche delle prove Lefranc al fine di caratterizzare, anche dal punto di vista idrogeologico, il corpo diga. Le prove sono state eseguite con l'invaso antropico vuoto.

Per i dettagli sulle modalità di esecuzioni delle suddette prove si rimanda all' allegato ET.06.03 del presente elaborato.

Qui di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti (Tab. 1):

| Sondaggio | Profondità di prova (m da p.c.) | K (m/s) da prova a carico variabile | K (m/s) da prova a carico costante |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| S3-16 | 5,5-6,0 | impermeabile | impermeabile |
| S3-16 | 10,5-11,5 | abortito | - |
| S3-16 | 14,5-14,8 | $5,7 \times 10^{-6}$ | $4,5 \times 10^{-5}$ |
| S3-16 | 17,8-18,5 | $9,3 \times 10^{-9}$ | - |
| S3-16 | 21,0-21,6 | $3,4 \times 10^{-6}$ | $1,9 \times 10^{-4}$ |
| S4-16 | 6,0-6,6 | $1,1 \times 10^{-8}$ | - |
| S4-16 | 10,5-11,0 | $9,8 \times 10^{-7}$ | $3,3 \times 10^{-5}$ |
| S4-16 | 14,5-15,0 | $4,5 \times 10^{-6}$ | $3,5 \times 10^{-5}$ |
| S4-16 | 17,5-18,0 | 4×10^{-6} | - |
| S4-16 | 20,5-21,1 | - | $1,8 \times 10^{-4}$ |
| S5-16 | 6,0-6,5 | $2,2 \times 10^{-8}$ | - |
| S5-16 | 10,5-11,0 | $2,6 \times 10^{-5}$ | $2,2 \times 10^{-4}$ |
| S5-16 | 13,0-13,5 | $6,4 \times 10^{-6}$ | $9,2 \times 10^{-5}$ |
| S5-16 | 17,5-18,0 | - | 4×10^{-4} |

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' "k" in cm/sec (scala logaritmica)

| | 10 ² | 10 ¹ | 1,0 | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----|--|------------------|------------------|---|------------------|------------------|---|------------------|------------------|
| PERMEABILITA' | | | | BUONA | | | SCARSA | | | PRATICAMENTE NULLA | | |
| TIPO DI TERRENO | GHIAIA PULITA | | | SABBIE PULITE, MISCOLANZE DI SABBIA PULITA E GHIAIA | | | SABBIE MOLTO FINI, LIMI ORGANICI E INORGANICI, MISCOLANZE DI SABBIE LIMO E ARGILLA, TILL GLACIALE DEPOSITI STRATIFICATI DI ARGILLA, ECC | | | TERRENI IMPERMEABILI CIOE' ARGILLE OMOGENEE AL DI SOTTO DELLA ZONA INFLUENZATA DAGLI AGENTI ATMOSFERICI | | |
| | | | | TERRENI IMPERMEABILI MODIFICATI DALL'AZIONE DELLA VEGETAZIONE E DEGLI AGENTI ATMOSFERICI | | | | | | | | |

Tab. 1 – Sintesi dei risultati delle prove Lefranc eseguite nei sondaggi terebrati nel corpo diga

Viste le caratteristiche del rilevato esistente, al fine di meglio comprendere la morfologia costruttiva del corpo diga, sono state eseguite delle indagini geoelettriche tridimensionali che hanno permesso di meglio caratterizzare almeno la porzione di valle del corpo diga. Per l'ubicazione degli stendimenti geoelettrici, si rimanda alla specifica tavola GEO.14 e all'allegato ET.06.01.

La prospezione geofisica oggetto del presente studio ha avuto come scopo la creazione di un modello 3D della resistività elettrica del sottosuolo, coincidente con porzione del corpo della diga del Cepparello. Dall'analisi del modello elettrotomografico 3D sono emerse alcune peculiarità, esposte di seguito secondo un criterio prettamente geofisico.

Nell'allegato ET.06.03 sono riportate varie sezioni del modello elettrico 3D, secondo piani orizzontali e verticali; tali sezioni permettono di analizzare in dettaglio i risultati dell'elaborazione tomografica 3D. In particolare, si evince la presenza di un corpo resistivo (prevalentemente granulare), localizzato nella parte centrale e di valle del modello 3D. La porzione superficiale del paramento di monte risulta invece essere caratterizzata da litotipi con caratteristiche conduttive (e quindi prevalentemente coesivo - Fig. 3).

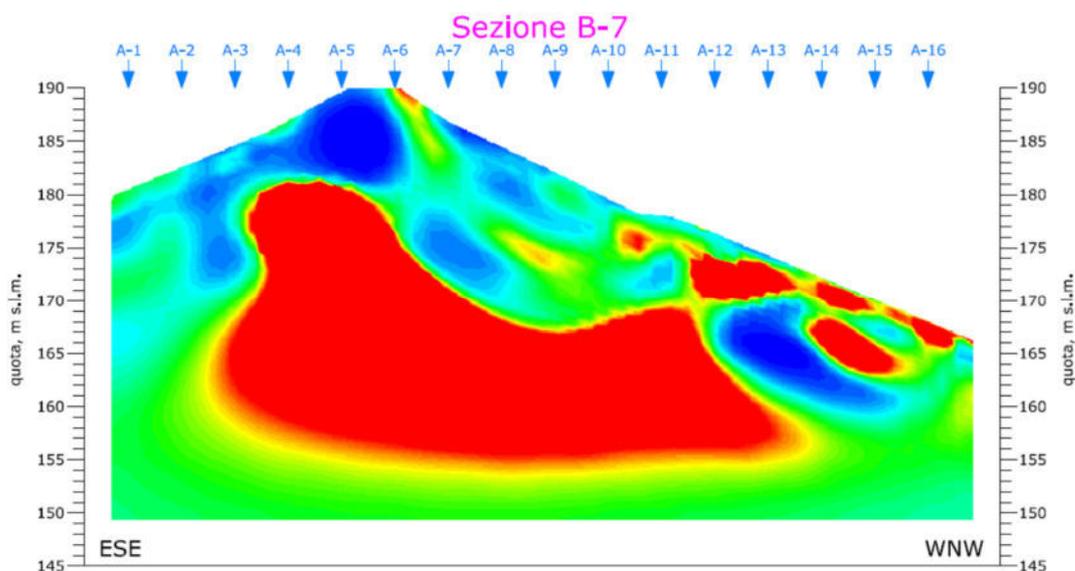


Fig. 3 - estratta dal report indagine geoelettrica– Sezione verticale del modello 3D, condotta da ESE a WNW, in corrispondenza dell'asse mediano della diga del Cepparello.

Il corpo definito resistivo mostra una discreta continuità ed omogeneità, sia verticale che laterale. Tale continuità accenna leggermente a disgregarsi procedendo verso le sponde della diga, mentre è possibile definire una debole immersione del nucleo resistivo della diga verso la sponda sinistra (Fig. 4).

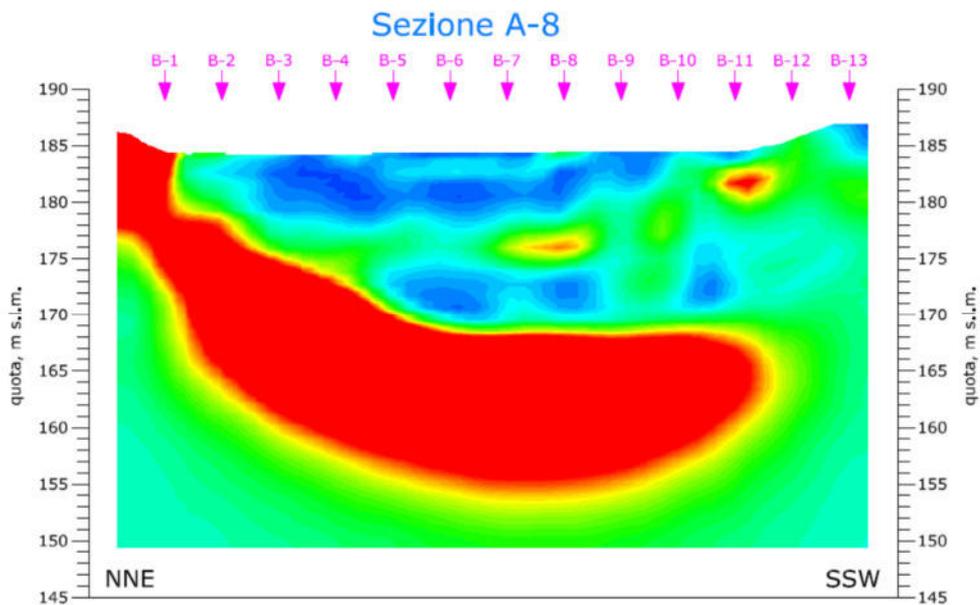


Fig. 4 - estratta dal report indagine geoelettrica – Sezione verticale del modello 3D, condotta da NNE a SSW ortogonalmente all'asse mediano della diga, in corrispondenza della porzione centrale del paramento di valle.

Le sezioni orizzontali eseguite intorno alla quota 166 metri s.l.m. indicano un'interruzione del corpo resistivo prevalentemente granulare (Fig. 5), imputabile, probabilmente, alla presenza dello scarico di fondo della diga, come si può notare anche sulle sezioni verticali condotte ortogonalmente all'asse mediano, nella zona marginale del paramento di valle della diga (Fig. 6). La presenza dello scarico di fondo risulta più difficile da riconoscere man mano che le sezioni verticali sul corpo diga procedono verso il coronamento, poiché direttamente aumenta distanza dello scarico dalla superficie.

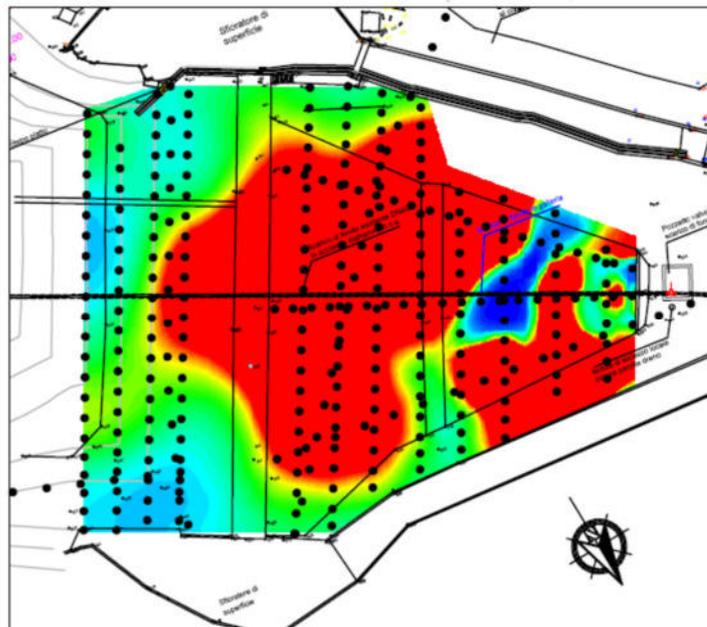


Fig. 5 - estratta dal report indagine geoelettrica – Sezione orizzontale del modello 3D, alla quota di 166 metri s.l.m.; si può notare che il corpo resistivo si localizza in modo forte sulla porzione centrale del paramento di valle, con apparente disagregazione sul margine occidentale.

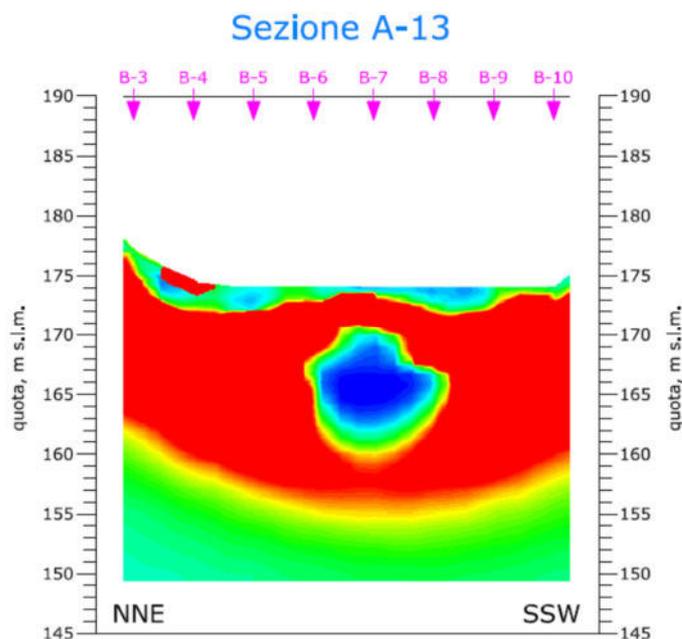
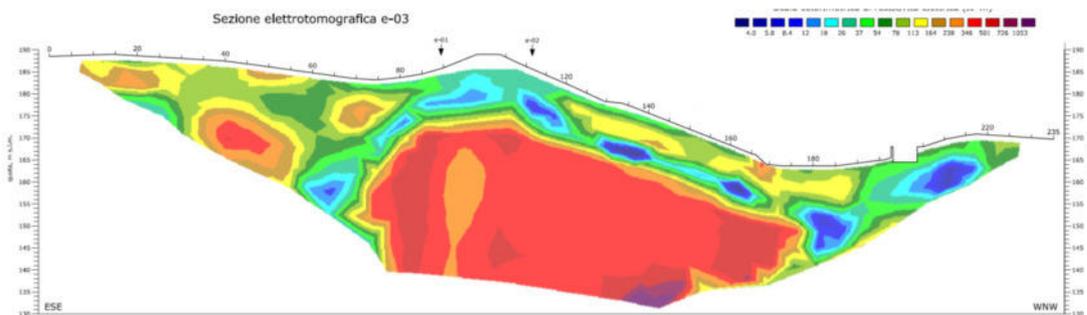
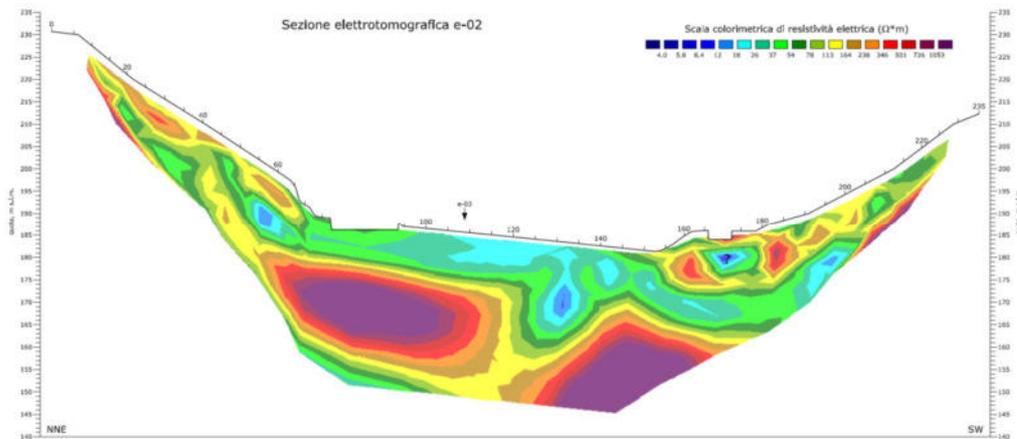


Fig. 6- estratta dal report indagine geoelettrica – Sezione verticale del modello 3D, condotta da NNE a SSW ortogonalmente all'asse mediano della diga, in corrispondenza del margine occidentale del paramento di valle. L'anomalia conduttiva al centro è riferibile alla presenza dello scarico di fondo.

I profili elettrici e-01, e-02, e-03, acquisiti con passo 5 metri trasversalmente e longitudinalmente al corpo diga, sono stati elaborati anche con software 2D dedicato (Res2Dinv). Dall'analisi delle sezioni elettrotomografiche è emersa, anche in questo caso, la presenza di un corpo resistivo che occupa massivamente la porzione centrale del corpo della diga del Cepparello (Fig. 7 e Fig. 8). In prossimità della

sponda sinistra, si evince una breve lacuna, dovuta con molta probabilità alla presenza di una struttura parallela all'asse (prog. 150m del profilo e-02).



I fianchi della diga del Cepparello appaiono costituiti entrambi dallo stesso materiale, che mostra un comportamento elettricamente resistivo e piuttosto caotico (probabilmente litotipi lapidei arenacei con alternanze).

7.4 CAMPAGNA GEOGNOSTICA MAGGIO 2018

A maggio 2018 nell'ambito della progettazione definitiva sono state condotte ulteriori indagini conoscitive sui terreni interessati dalle lavorazioni mediante il prelievo di n. 20 campioni di matrice solida di terreno (fondo invasivo) per le analisi della qualità delle terre nell'area dell'invaso. Per l'ubicazione dei punti di prelievo dei campioni, si rimanda alla specifica tavola GEO.14

I certificati di laboratorio delle analisi chimiche emessi dal laboratorio Ambiente s.c. sono riportati nell'allegato ET.06.04.

Nelle seguenti tabelle sono ricapitolati i valori dei principali parametri ricercati.

Da tali analisi emerge che i campioni di terra prelevati nell'area dell'invaso sono conformi ai valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale).

I terreni movimentati nel corso delle lavorazioni nell'area dell'invaso (sia quelli sedimentati nell'area prossima allo sbarramento sia quelli in situ), come suddetto, rientrano nei valori limite di cui alla colonna A della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06 e, pertanto, non dovranno essere smaltiti come rifiuto. Preliminarmente all'effettivo prelievo dei fanghi di fondo invasato per gli interventi di progetto, verrà eseguito un nuovo prelievo di campioni con conseguente ulteriore analisi al fine di verificare che il materiale prelevato rientri nuovamente nei valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale). In caso contrario verrà seguita la procedura di smaltimento dei fanghi come rifiuti ai sensi della normativa vigente in materia.

In particolare, le terre provenienti dalle attività di scotico e di scavo del corpo diga saranno riutilizzate ai sensi dell'art. 185 del D. Lgs.152/06 comma 1 punto c), che definisce le condizioni di esclusione dall'applicazione della parte quarta del suddetto decreto.

Il punto c) dell'art. 185 del D.Lgs.152/06 esclude dall'applicazione della parte quarta:

c) il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato.

Mentre le terre provenienti dalla movimentazione dei sedimenti accumulati all'interno del serbatoio saranno trattate ai sensi dell'art. 185 del D. Lgs.152/06 comma 3 che esclude dall'applicazione della parte quarta:

[...] i sedimenti spostati all'interno di acque superficiali o nell'ambito delle pertinenze idrauliche ai fini della gestione delle acque e dei corsi d'acqua o della prevenzione di inondazioni o della riduzione degli effetti di inondazioni o siccità o ripristino dei suoli se è provato che i sedimenti non sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000, e successive modificazioni.

| Parametri | Unità di misura | 16LA26197 Punto P1 | 16LA26207 Punto P2 | 16LA26208 Punto P3 | 16LA26209 Punto P4 | 16LA26210 Punto P5 | 16LA26211 Punto P6 | 16LA26212 Punto P7 | 16LA26213 Punto P8 | 16LA26214 Punto P9 | 16LA26215 Punto P10 | L(A) [mg/kg] | L(B) [mg/kg] |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Residuo secco a 105 °C | [%p/p] | 94 | 96 | 96 | 96 | 96 | 94 | 96 | 96 | 95 | 95 | – | – |
| Antimonio | [mg/kg] | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 10 | 30 |
| Arsenico | [mg/kg] | 5.0 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 6.1 | 5.3 | 6.0 | 6.1 | 6.8 | 6.1 | 20 | 50 |
| Berillio | [mg/kg] | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 2 | 10 |
| Cadmio | [mg/kg] | 0.21 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | 0.20 | < 0.2 | < 0.2 | 0.21 | 0.23 | 0.20 | 2 | 15 |
| Cobalto | [mg/kg] | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13 | 14 | 13 | 20 | 250 |
| Cromo totale | [mg/kg] | 25 | 30 | 31 | 31 | 31 | 28 | 30 | 31 | 36 | 31 | 150 | 800 |
| Cromo (VI) | [mg/kg] | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | 2 | 15 |
| Mercurio | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 5 |
| Nichel | [mg/kg] | 37 | 43 | 44 | 44 | 45 | 39 | 43 | 44 | 51 | 44 | 120 | 500 |
| Piombo | [mg/kg] | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 100 | 1000 |
| Rame | [mg/kg] | 66 | 60 | 61 | 63 | 64 | 55 | 62 | 64 | 73 | 63 | 120 | 600 |
| Selenio | [mg/kg] | 0.50 | < 0.3 | 0.31 | < 0.3 | < 0.3 | < 0.3 | 0.30 | < 0.3 | 0.32 | < 0.3 | 3 | 15 |
| Composti Organostannici | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 350 |
| Tallio | [mg/kg] | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.19 | 0.19 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.19 | 1 | 10 |
| Vanadio | [mg/kg] | 24 | 28 | 28 | 28 | 29 | 26 | 28 | 29 | 33 | 29 | 90 | 250 |
| Zinco | [mg/kg] | 61 | 76 | 76 | 78 | 79 | 68 | 76 | 79 | 87 | 77 | 150 | 1500 |
| Idrocarburi C<12 | [mg/kg] | 0.84 | < 0.28 | < 0.36 | < 0.36 | < 0.35 | < 0.36 | < 0.35 | < 0.32 | < 0.35 | < 0.37 | 10 | 250 |
| Idrocarburi C>12 | [mg/kg] | < 5 | < 5 | < 5 | 13 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 50 | 750 |

Tab. 2 – Sintesi indagini sulla qualità delle terre nell'area dell'invaso. Campioni da P1 a P10 (data prelievo 04/05/2018).

| Parametri | Unità di misura | 16LA26216 Punto P11 | 16LA26217 Punto P12 | 16LA26218 Punto P13 | 16LA26219 Punto P14 | 16LA26220 Punto P15 | 16LA26221 Punto P16 | 16LA26222 Punto P17 | 16LA26223 Punto P18 | 16LA26224 Punto P19 | 16LA26225 Punto P20 | L(A) [mg/kg] | L(B) [mg/kg] |
|-------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Residuo secco a 105 °C | [%p/p] | 95 | 95 | 96 | 96 | 95 | 94 | 95 | 96 | 96 | 95 | – | – |
| Antimonio | [mg/kg] | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 10 | 30 |
| Arsenico | [mg/kg] | 5.8 | 5.6 | 6.3 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.2 | 5.5 | 6.4 | 5.2 | 20 | 50 |
| Berillio | [mg/kg] | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.4 | 1.0 | 2 | 10 |
| Cadmio | [mg/kg] | 0.21 | < 0.2 | 0.21 | < 0.2 | < 0.2 | 0.21 | 0.22 | < 0.2 | 0.20 | < 0.2 | 2 | 15 |
| Cobalto | [mg/kg] | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 14 | 11 | 20 | 250 |
| Cromo totale | [mg/kg] | 32 | 29 | 32 | 30 | 31 | 32 | 33 | 30 | 31 | 24 | 150 | 800 |
| Cromo (VI) | [mg/kg] | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | 2 | 15 |
| Mercurio | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 5 |
| Nichel | [mg/kg] | 44 | 41 | 46 | 42 | 44 | 45 | 47 | 42 | 45 | 33 | 120 | 500 |
| Piombo | [mg/kg] | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 15 | 13 | 100 | 1000 |
| Rame | [mg/kg] | 63 | 61 | 66 | 61 | 63 | 65 | 67 | 60 | 67 | 52 | 120 | 600 |
| Selenio | [mg/kg] | 0.31 | 0.37 | < 0.3 | < 0.3 | 0.31 | < 0.3 | < 0.3 | < 0.3 | 0.31 | 0.44 | 3 | 15 |
| Composti Organostannici | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 350 |
| Tallio | [mg/kg] | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.21 | 0.16 | 1 | 10 |
| Vanadio | [mg/kg] | 29 | 28 | 30 | 28 | 29 | 30 | 31 | 28 | 29 | 23 | 90 | 250 |
| Zinco | [mg/kg] | 77 | 72 | 81 | 74 | 78 | 79 | 80 | 73 | 87 | 59 | 150 | 1500 |
| Idrocarburi C<12 | [mg/kg] | < 0.3 | < 0.35 | < 0.38 | < 0.36 | < 0.42 | < 0.4 | < 0.39 | < 0.37 | < 0.33 | < 0.37 | 10 | 250 |
| Idrocarburi C>12 | [mg/kg] | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 50 | 750 |

Tab. 3 – Sintesi indagini sulla qualità delle terre nell'area dell'invaso. Campioni da P11 a P20 (data prelievo 04/05/2018).

7.5 CAMPAGNA GEOGNOSTICA OTTOBRE 2018 – FEBBRAIO 2019

Sempre nell'anno 2018 fra i mesi di Ottobre e di Dicembre sono stati eseguite ulteriori indagini sia di carattere geotecnico che geofisico qui di seguito brevemente riassunte:

- N.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1 e S2);
- N.1 prova sismica con tecnica Down-Hole (DH) con onde P e SH all'interno del sondaggio S1;
- N.1 indagine sismica attiva onde Rayleigh
- N.4 indagini sismiche a stazione singola di tipo HVSR
- N.7 saggi geognostici con campionamento per prove geotecniche di laboratorio e analisi di laboratorio

Per l'ubicazione delle suddette indagini si rimanda all'apposta tavola GEO.14.

Per quanto riguarda i sondaggi a carotaggio continuo essi sono stati realizzati lungo la sponda sinistra del corpo di diga ed in particolare a valle della passerella pedonale di valle (a margine della vasca di dissipazione) e immediatamente a valle della passerella pedonale di monte. Per i dettagli sulle stratigrafie dei sondaggi si rimanda allegato ET.06.04 del presente elaborato.

Qui di seguito si riporta una breve sintesi dei risultati dei suddetti sondaggi:

I sondaggi geognostici a carotaggio continuo hanno evidenziato che la sponda sinistra del corpo di diga presenta un primo orizzonte di copertura dello spessore di circa -3,5 m da p.c. caratterizzato da un primo sub-orizzonte di circa 0,60 m di terreno vegetale seguito da un secondo sub-orizzonte limoso argilloso debolmente sabbioso compatto di colore marrone dello spessore di circa 0,50 / 1,50 m seguito a sua volta da un terzo sub-orizzonte caratterizzato da terreni limoso sabbiosi, più sabbioso nella porzione di monte e più limoso nella porzione di valle fino a diventare prevalentemente argilloso con presenza di elementi argillitici e siltitici. A seguire vi è un secondo orizzonte di substrato alterato caratterizzato da roccia da altamente fratturata a fratturata (siltite, arenarie, calcari) in matrice limoso argillosa con presenza all'interno di sub-orizzonti argillitici grigio scuri. La fratturazione risulta con un'orientazione da fortemente inclinata a verticale.

In corrispondenza del sondaggio S1 è stata eseguito, nella stessa campagna geognostica un'indagine mediante sismica down-hole con onde P ed SH.

La metodologia "down-hole" è stata applicata all'interno del sondaggio S1, realizzato a carotaggio continuo e attrezzato con tubo di rivestimento per un totale di 24 m indagati.

Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio SH tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio (Fig. 9).

Operativamente per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità si impiega un geofono da pozzo munito di un ricevitore costituito da tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo tre direzioni: uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro.

Il geofono da pozzo, munito di un sistema teleguidato di orientazione azimutale e di ancoraggio meccanico alle pareti del rivestimento, viene calato all'interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo di rivestimento, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni eseguite in superficie.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde di compressione P, mentre per le onde di taglio SH si utilizza una trave di legno posta a diretto contatto col terreno, gravata dal peso di un automezzo, che viene colpita lateralmente: le battute destra e sinistra vengono sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata in senso orizzontale che viene generata; orientando la sorgente di energizzazione in superficie a 45° rispetto ad punto cardinale, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che attraversa i terreni da investigare. In questo modo per ogni punto di energizzazione si hanno due treni d'onda diversi: uno per le onde P e l'altro per le onde SH.

La distanza sorgente-boccaforo è stata fissata in 4.8 m mentre il passo delle registrazioni è stato di 1 m.

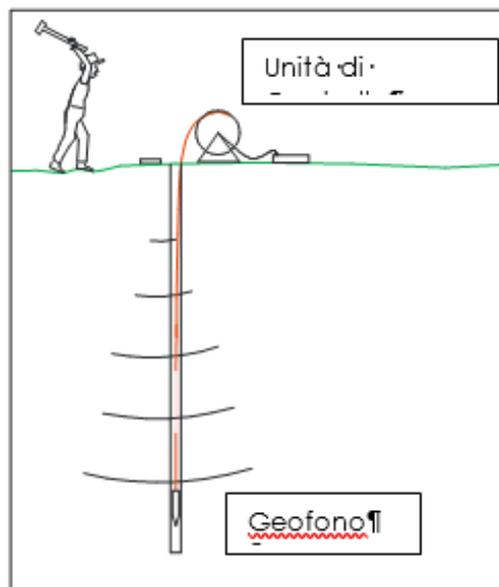


Fig. 9 – Schema del Sistema di acquisizione

Un'unità esterna di controllo gestisce le fasi di ancoraggio e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità vengono registrate mediante un sismografo digitale per la loro successiva elaborazione.

Per maggiori dettagli riguardo la metodologia d'indagine e, soprattutto, per la metodica di elaborazione dei dati raccolti in campagna si rimanda allo specifico allegato ET.06.04.

In base ai risultati ottenuti dall'indagine sismica tramite down-hole, si registrano valori di Vs medi compresi tra un massimo di 1.721 m/sec e un minimo di 462 m/sec.

L'indagine ha messo in evidenza la presenza dei seguenti orizzonti sismici principali:

- a) **1° orizzonte** (da p.c. a -2,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità medie delle onde sismiche:

| | |
|--------------|---------------|
| Vp 558 m/sec | Vs 462 m/sec. |
|--------------|---------------|

Detto orizzonte corrisponde al terreno di copertura;

- b) **2° orizzonte** (da -2,00 a -20,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità medie delle onde sismiche:

| |
|-----------------------------|
| Vp da 1403 m/sec a 2798 m/s |
|-----------------------------|

| |
|-----------------------------|
| Vs da 773 m/sec a 1114 m/s. |
|-----------------------------|

Detto orizzonte corrisponde alla porzione maggiormente alterata del substrato;

c) **3°orizzonte** (da -20,00 a -32,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità delle onde sismiche:

| |
|-----------------------------|
| Vp da 2798 m/sec a 4812 m/s |
|-----------------------------|

| |
|------------------------------|
| Vs da 1114 m/sec a 1721 m/s. |
|------------------------------|

Gli orizzonti 2 e 3 corrispondono al substrato roccioso, parzialmente alterato nella porzione sommitale (orizzonte 2) e più compatto nella parte profonda indagata (orizzonte 3);

Per i dettagli si rimanda all' allegato ET.06.04 del presente elaborato.

Sempre in ambito geofisico è stato realizzato uno stendimento sismico con onde Rayleigh.

Al fine di identificare eventuali risonanze di sito e fornire ulteriori vincoli nella definizione del profil Vs nei sismostrati più profondi, sono state effettuate acquisizioni ed analisi con le metodologie MFA (Multiple Filter Analysis). Le acquisizioni sono state svolte mediante un geofono triassiale, ovvero una terna calibrata con geofoni da 2 Hz (frequenza propria); le successive analisi per la definizione del profilo della velocità di propagazione delle onde di superficie sono state condotte con il software HoliSurface.

L'analisi della propagazione ("dispersione") delle onde di superficie, eseguita in modalità attiva con la metodologia MFA (Multiple Filter Analysis), si basa sulle cosiddette velocità di gruppo ed è stata condotta con offset pari a 27 m.

Per maggiori dettagli riguardo la metodologia d'indagine e, soprattutto, per la metodica di elaborazione dei dati raccolti in campagna si rimanda allo specifico allegato ET.06.04.

L'indagine geofisica è coerente ai risultati della prova down-hole in quanto anche in questo caso sono messi in luce tre orizzonti sismici:

a) **1° orizzonte** (da p.c. a -2,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità medie delle onde sismiche:

| |
|-------------------|
| Vs max 600 m/sec. |
|-------------------|

Detto orizzonte corrisponde al terreno di copertura;

b) **2° orizzonte** (da -2,00 a -25,00 m di profondità) contraddistinto dalle seguenti velocità medie delle onde sismiche:

| |
|-------------------|
| Vs max 900 m/sec. |
|-------------------|

Detto orizzonte corrisponde alla porzione maggiormente alterata del substrato;

c) **3°orizzonte** (da -25,00 a -massima profondità indagata) contraddistinto dalle seguenti velocità delle onde sismiche:

| |
|-----------------|
| Vs da 1800 m/s. |
|-----------------|

Anche in questo gli orizzonti 2 e 3 corrispondono al substrato roccioso, parzialmente alterato nella porzione sommitale (orizzonte 2) e più compatto nella parte profonda indagata (orizzonte 3).

Lungo la sponda sinistra nel tratto di collegamento fra il sondaggio S1 e il sondaggio S2 sono state eseguite quattro indagini sismiche passive a stazione singola HVSR.

Con le misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola (HVSR) è possibile individuare quali frequenze di vibrazione del terreno potrebbero essere oggetto di amplificazione (frequenze di risonanza). D'altro canto, il valore di queste frequenze è determinato dal rapporto fra la velocità media delle onde S nelle coperture e lo spessore di queste ultime. Per questo motivo, i risultati di queste misure possono essere utilizzati per vincolare il modello geologico e, una volta note le velocità delle onde di taglio nelle coperture, definire la morfologia sepolta del basamento sismico o comunque delle unità litostratigrafiche più competenti.

Le misure eseguite su terreno libero, sono caratterizzate da una durata di 30 minuti ciascuna, con frequenza d'acquisizione di 128 Hz.

Tutte le acquisizioni sono state analizzate secondo il protocollo formulato da Picozzi et al. (2005). In particolare, il segnale della singola traccia è stato diviso in finestre non sovrapposte di 20 secondi, su ciascuna delle quali è stata rimossa la deriva lineare eventualmente presente (detrending) ed applicato un tapering coseno per una frazione del 5% della durata totale della finestra. Gli spettri ricavati sulle diverse componenti sono stati lisciati con una finestra mobile triangolare d'estensione pari al 10% della frequenza centrale. Si è quindi costruita, in ogni finestra, una curva HVSR, combinando le due componenti spettrali orizzontali in media geometrica. Rimosse manualmente le finestre affette da marcati fenomeni transienti, tali curve sono state combinate, ottenendo una curva HVSR media, con il relativo intervallo di confidenza al 95%.

Le misure effettuate hanno messo in evidenza la presenza di un substrato roccioso prossimo alla superficie con valori di profondità del contrasto di impedenza poste a quote inferiori ai 10 m da p.c.

Per maggiori dettagli riguardo la metodologia d'indagine e, soprattutto, per la metodica di elaborazione dei dati raccolti in campagna si rimanda allo specifico allegato ET.06.04.

Al fine di caratterizzare i terreni che saranno oggetto di movimento terra per il rinfianco e il ringrosso della diga, ad inizio dell'anno 2019 sono stati eseguiti n.7 saggi geognostici lungo la sponda Est dell'invaso antropico. I saggi si sono spinti fino ad una profondità massima di circa -2,4 m da p.c. Per i dettagli sulla stratigrafia si rimanda all' allegato ET.06.05 del presente elaborato. Qui di seguito se ne riporta una breve sintesi:

- Sa01
 - 0 m / -0,20 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-argillosa
 - -0,20 m da p.c. / - 0,80 m da p.c.: orizzonte con alternanza di strati prevalentemente argillosi o prevalentemente limosi con abbondanti clasi di dimensioni da mm a cm
 - da -0,80 m da p.c.: Subtrato litoide
- Sa02
 - 0 m / -0,30 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-argillosa
 - -0,30 m da p.c. / - 1,80 m da p.c.: orizzonte con alternanza di strati prevalentemente argillosi o prevalentemente limosi con abbondanti clasi di dimensioni da mm a cm
- Sa03
 - 0 m / -0,30 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-argillosa

- -0,30 m da p.c. / - 2,30 m da p.c.: orizzonte prevalentemente argillosi con limo con presenza rilevante di livelli torbosi
- da -2,30 m da p.c.: Subtrato litoide

- Sa04
 - 0 m / -0,20 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-argillosa
 - -0,20 m da p.c. / - 0,80 m da p.c.: orizzonte sabbioso limoso con presenza di livelletti prevalentemente argillosi
 - -0,80 m da p.c. / - 1,40 m da p.c.: orizzonte argilloso limoso con presenza di clasti con dimensioni da mm a cm
 - da -1,40 m da p.c.: Subtrato litoide

- Sa05
 - 0 m / -0,20 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-argillosa
 - -0,20 m da p.c. / - 0,60 m da p.c.: orizzonte sabbioso limoso con presenza di livelletti prevalentemente argillosi
 - -0,60 m da p.c. / - 1,00 m da p.c.: orizzonte prevalentemente argillosi con limo con presenza rilevante di livelli torbosi

- Sa06
 - 0 m / -0,30 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-sabbiosa
 - -0,30 m da p.c. / - 1,50 m da p.c.: orizzonte con alternanza di strati prevalentemente argillosi o prevalentemente limosi con abbondanti clasi di dimensioni da mm a cm

- Sa07
 - 0 m / -0,20 m da p.c.: Terreno vegetale con abbondanti resti vegetali in matrice limoso-sabbiosa
 - -0,20 m da p.c. / - 1,40 m da p.c.: orizzonte con alternanza di strati prevalentemente argillosi o prevalentemente limosi con abbondanti clasi di dimensioni da mm a cm
 - da -1,40 m da p.c.: Subtrato litoide

Dai saggi sono stati prelevati n.7 campioni che sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio.

Sui campioni sono state eseguite le seguenti prove:

- Prova Proctor standard
- Prova di Espansione Laterale Libera (ELL – all’optimum proctor)
- Prova di taglio CD (all’optimum proctor)
- Limiti di Atterberg
- Classificazione granulometrica HRB-AASHOO
- Peso di volume naturale e peso di volume saturo
- Prova Edometrica (all’optimum proctor)

Le suddette prove sono attualmente in fase di elaborazione. Appena disponibili provvederemo ad integrare la presente documentazione con i certificati dei risultati delle suddette prove geotecniche corredati da opportuno commento.

Dai saggi Sa04, Sa06 e Sa07 sono stati prelevati ulteriori n.3 campioni che sono stati sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio.

Per i dettagli sulle prove effettuati e sui relativi risultati si rimanda all' allegato ET.06.05 del presente elaborato.

Qui di seguito si riporta una breve sintesi dei risultati ottenuti (Tab. 4).

| Sa4 | | | | |
|---------------------------------------|--------|------------|--------|-------|
| Parametro | valore | incertezza | Limite | U.M. |
| Arsenico | 6,1 | +1,5 | 20 | mg/kg |
| Cadmio | 0,46 | +0,17 | 2 | mg/kg |
| Cobalto | 11 | +2 | 20 | mg/kg |
| Cromo totale | 32 | +6 | 150 | mg/kg |
| Cromo esavalente | <0,2 | | 2 | mg/kg |
| Mercurio | <0,25 | | 1 | mg/kg |
| Nichel | 31 | +6 | 120 | mg/kg |
| Piombo | 11 | +2 | 100 | mg/kg |
| Rame | 59 | +10 | 120 | mg/kg |
| Zinco | 60 | +10 | 150 | mg/kg |
| Idrocarburi C>12 | <5 | | 50 | mg/kg |
| Pirene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(a)antracene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(a)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Benzo(b)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(k)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Crisene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(g,h,i)perilene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)antracene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Indenopirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,e)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,i)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,l)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Som.Idrocarburi policiclici Aromatici | <1 | | 10 | mg/kg |
| Benzene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Etilbenzene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Stirene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Toluene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Xileni | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Idrocarburi leggeri C<12 | <1 | | 10 | mg/kg |
| Amianto | <1000 | | 1000 | mg/kg |
| Eluato di recupero | | | | |
| pH | 7,56 | +0,15 | 5,5/12 | |
| Conducibilità | 130 | +17 | | µS/cm |
| Temperatura | 17,8 | | | °C |
| COD | <15 | | 30 | mg/l |
| Cianuri | <25 | | 50 | µg/l |
| Arsenico | <5 | | 50 | µg/l |
| Bario | <0,1 | | 1 | µg/l |
| Berillio | <2 | | 10 | µg/l |
| Cadmio | <2 | | 5 | µg/l |
| Cobalto | <25 | | 250 | µg/l |
| Cromo totale | <5 | | 50 | µg/l |
| Rame | <0,01 | | 0,05 | µg/l |
| Mercurio | <1 | | 1 | µg/l |
| Nichel | <5 | | 10 | µg/l |
| Piombo | <5 | | 50 | µg/l |
| Selenio | <5 | | 10 | µg/l |
| Vanadio | <25 | | 250 | µg/l |
| Zinco | <0,3 | | 3 | mg/l |
| Cloruri | 2,5 | +0,7 | 100 | mg/l |
| Fluoruri | 0,24 | +0,10 | 1,5 | mg/l |
| Solfati | 13 | +3 | 250 | mg/l |
| Nitrati | <2 | | 50 | mg/l |
| Amianto | <10 | | 30 | mg/l |

| Sa6 | | | | |
|---------------------------------------|--------|------------|--------|-------|
| Parametro | valore | incertezza | Limite | U.M. |
| Arsenico | 9 | +2,1 | 20 | mg/kg |
| Cadmio | 0,36 | +0,13 | 2 | mg/kg |
| Cobalto | 9,4 | +2,1 | 20 | mg/kg |
| Cromo totale | 24 | +5 | 150 | mg/kg |
| Cromo esavalente | <0,2 | | 2 | mg/kg |
| Mercurio | <0,25 | | 1 | mg/kg |
| Nichel | 31 | +6 | 120 | mg/kg |
| Piombo | <10 | | 100 | mg/kg |
| Rame | 36 | +7 | 120 | mg/kg |
| Zinco | 55 | +10 | 150 | mg/kg |
| Idrocarburi C>12 | 13 | +3 | 50 | mg/kg |
| Pirene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(a)antracene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(a)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Benzo(b)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(k)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Crisene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(g,h,i)perilene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)antracene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Indenopirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,e)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,i)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,l)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Som.Idrocarburi policiclici Aromatici | <1 | | 10 | mg/kg |
| Benzene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Etilbenzene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Stirene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Toluene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Xileni | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Idrocarburi leggeri C<12 | <1 | | 10 | mg/kg |
| Amianto | <1000 | | 1000 | mg/kg |
| Eluato di recupero | | | | |
| pH | 7,38 | +0,15 | 5,5/12 | |
| Conducibilità | 57 | +7 | | µS/cm |
| Temperatura | 17,6 | | | °C |
| COD | <15 | | 30 | mg/l |
| Cianuri | <25 | | 50 | µg/l |
| Arsenico | <5 | | 50 | µg/l |
| Bario | <0,1 | | 1 | µg/l |
| Berillio | <2 | | 10 | µg/l |
| Cadmio | <2 | | 5 | µg/l |
| Cobalto | <25 | | 250 | µg/l |
| Cromo totale | <5 | | 50 | µg/l |
| Rame | <0,01 | | 0,05 | µg/l |
| Mercurio | <1 | | 1 | µg/l |
| Nichel | <5 | | 10 | µg/l |
| Piombo | <5 | | 50 | µg/l |
| Selenio | <5 | | 10 | µg/l |
| Vanadio | <25 | | 250 | µg/l |
| Zinco | <0,3 | | 3 | mg/l |
| Cloruri | 2,7 | +0,7 | 100 | mg/l |
| Fluoruri | 0,23 | +0,09 | 1,5 | mg/l |
| Solfati | 4,3 | +1,1 | 250 | mg/l |
| Nitrati | <2 | | 50 | mg/l |
| Amianto | <10 | | 30 | mg/l |

| Sa7 | | | | |
|---------------------------------------|--------|------------|--------|-------|
| Parametro | valore | incertezza | Limite | U.M. |
| Arsenico | 5,3 | +1,3 | 20 | mg/kg |
| Cadmio | 0,41 | +0,15 | 2 | mg/kg |
| Cobalto | 12 | +3 | 20 | mg/kg |
| Cromo totale | 29 | +6 | 150 | mg/kg |
| Cromo esavalente | 0,22 | +0,09 | 2 | mg/kg |
| Mercurio | <0,25 | | 1 | mg/kg |
| Nichel | 31 | +6 | 120 | mg/kg |
| Piombo | <10 | | 100 | mg/kg |
| Rame | 86 | +14 | 120 | mg/kg |
| Zinco | 50 | +9 | 150 | mg/kg |
| Idrocarburi C>12 | 14 | +3 | 50 | mg/kg |
| Pirene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(a)antracene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(a)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Benzo(b)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(k)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Crisene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(g,h,i)perilene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)antracene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Indenopirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,e)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,i)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,l)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Som.Idrocarburi policiclici Aromatici | <1 | | 10 | mg/kg |
| Benzene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Etilbenzene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Stirene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Toluene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Xileni | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Idrocarburi leggeri C<12 | <1 | | 10 | mg/kg |
| Amianto | <1000 | | 1000 | mg/kg |
| Eluato di recupero | | | | |
| pH | 7,44 | +0,15 | 5,5/12 | |
| Conducibilità | 82 | +11 | | µS/cm |
| Temperatura | 17,6 | | | °C |
| COD | <15 | | 30 | mg/l |
| Cianuri | <25 | | 50 | µg/l |
| Arsenico | <5 | | 50 | µg/l |
| Bario | <0,1 | | 1 | µg/l |
| Berillio | <2 | | 10 | µg/l |
| Cadmio | <2 | | 5 | µg/l |
| Cobalto | <25 | | 250 | µg/l |
| Cromo totale | <5 | | 50 | µg/l |
| Rame | <0,01 | | 0,05 | µg/l |
| Mercurio | <1 | | 1 | µg/l |
| Nichel | <5 | | 10 | µg/l |
| Piombo | <5 | | 50 | µg/l |
| Selenio | <5 | | 10 | µg/l |
| Vanadio | <25 | | 250 | µg/l |
| Zinco | <0,3 | | 3 | mg/l |
| Cloruri | <0,2 | | 100 | mg/l |
| Fluoruri | 0,54 | +0,19 | 1,5 | mg/l |
| Solfati | <2 | | 250 | mg/l |
| Nitrati | <2 | | 50 | mg/l |
| Amianto | <10 | | 30 | mg/l |

Tab. 4– Sintesi indagini sulla qualità delle terre sponda est dell'invaso. Campioni Sa04, Sa06 e Sa07 (data prelievo 20/02/2019).

Da tali analisi emerge che i campioni di terra prelevati sulla sponda est dell'invaso sono conformi ai valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) pertanto, potranno essere interamente riutilizzati per i rinfianchi e per il rimodellamento morfologico. Preliminarmente all'effettiva movimentazione terra di progetto, verrà eseguito un nuovo prelievo di campioni con conseguente ulteriore analisi al fine di verificare che il materiale prelevato rientri nuovamente nei valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale). In caso contrario verrà seguita la procedura di smaltimento dei terreni come rifiuti ai sensi della normativa vigente in materia.

8 MODELLO DEL SOTTOSUOLO E DEL CORPO DIGA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA, IDROGEOLOGICA E CHIMICA DEI TERRENI INDAGATI

Dalle varie campagne geognostiche portate a termine nell'area d'interesse nei vari anni succedutisi, costituite da indagini di tipo diretto, indiretto e analisi di laboratorio (sia geotecniche che chimiche), è stato possibile affinare ed effettuare la ricostruzione stratigrafica e geotecnica dei principali domini litologici presenti nell'area.

A livello generale, il contesto in esame ha messo in evidenza un modello del sottosuolo caratterizzato da un terreno di copertura caratterizzato da materiale detritico in matrice limoso argilloso debolmente sabbioso dello spessore massimo di circa 3m da p.c. (ubicate sulle sponde dell'invaso antropico) seguito da un substrato litoide caratterizzato da alternanza di orizzonti siltitici, arenacei e calcarei. Il substrato roccioso presenta nei suoi primi 15/20 m un'alterazione, con fratturazioni che si presentano da sub-verticali a verticali, che decresce progressivamente. Al di sopra del suddetto modello, (cronologicamente ed in parte stratigraficamente) poggia il corpo di diga antropico.

Ai fini della progettazione sono stati caratterizzati, da un punto di vista geotecnico e/o chimico, le seguenti unità:

- **unità 1 – corpo diga;**
- **unità 2 – terreno di copertura/depositi di fondo invaso**
- **unità 3 – substrato litoide alterato**
- **unità 4 - substrato litoide**

Il corpo diga è un corpo antropico in terra che presenta una lieve differenziazione litologica al proprio interno. Le prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dal corpo diga, fra il 2005 e il 2016, hanno mostrato una struttura interna così descrivibile (Fig. 10 e Fig. 11):

- **Orizzonte 1a:** orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente coesivi (limo argilloso) con abbondante matrice granulare (sabbia e ghiaia). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte sommitale del corpo diga con estensione fino alla base dello stesso nella sua porzione di monte.
- **Orizzonte 1b:** orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente granulari (ciottoli, ghiaia con sabbia) con abbondante matrice coesiva (limo argilloso). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte basale del corpo diga con una prevalenza nella porzione centrale e di valle della stessa

Come è possibile osservare dal grafico riportato in Fig. 10, gli orizzonti 1a e 1b mostrano rispettivamente una prevalenza di terreni coesivi (prevalentemente limosi) e di terreni granulari (prevalentemente ghiaiosi) in una matrice comunque abbondantemente granulare o coesiva a seconda se si tratta di orizzonte 1a o 1b.

| Strato 1a | | | | |
|-------------|--------|--------|-------|---------|
| | Ghiaia | Sabbie | Limo | Argilla |
| | % | % | % | % |
| S1 (2005) | 20 | 23 | 31 | 26 |
| S1C1 (2006) | 5 | 29,5 | 44,7 | 20,8 |
| S1C2 (2006) | 2,3 | 18,9 | 48,9 | 29,9 |
| S3C3 (2016) | 4,91 | 30,76 | 44,38 | 19,95 |
| S3C4 (2016) | 21,15 | 20,81 | 34,76 | 23,28 |
| S3C5 (2016) | 4,98 | 14,23 | 39,31 | 41,48 |
| S3C6 (2016) | 4,84 | 21,7 | 35,95 | 37,51 |
| S3C8 (2016) | 16,16 | 23,33 | 40,2 | 20,31 |
| S4C2 (2016) | 7,44 | 23,46 | 48,9 | 20,2 |
| S4C3 (2016) | 22,77 | 19,43 | 36,59 | 21,21 |
| S4C4 (2016) | 2,77 | 24,13 | 34,24 | 38,86 |
| S4C5 (2016) | 9,44 | 19,13 | 32,07 | 39,36 |
| S5C1 (2016) | 15,86 | 19,87 | 28,87 | 35,4 |
| S5C2 (2016) | 7,19 | 25,72 | 44,93 | 22,16 |
| S5C3 (2016) | 8,14 | 20,68 | 39,7 | 31,48 |
| S5C4 (2016) | 9,62 | 24,6 | 30,17 | 35,61 |

| Strato 1b | | | | |
|--------------|--------|--------|-------|---------|
| | Ghiaia | Sabbie | Limo | Argilla |
| | % | % | % | % |
| S1C3 (2006) | 37,1 | 22,1 | 28,3 | 12,5 |
| S1C4 (2006) | 35 | 18,6 | 26,8 | 19,6 |
| S1C5 (2006) | 41,6 | 17,4 | 22,7 | 18,3 |
| S2C1 (2006) | 26,4 | 19,2 | 22,8 | 31,6 |
| S2C2 (2006) | 51,3 | 16,9 | 23,1 | 8,7 |
| S3C9 (2016) | 22,01 | 42,23 | 24,72 | 11,04 |
| S3C10 (2016) | 55,56 | 20,42 | 14,32 | 9,7 |
| S3C11 (2016) | 51,27 | 16,12 | 23,81 | 8,81 |
| S4C8 (2016) | 47,1 | 15,95 | 27,9 | 9,05 |
| S4C9 (2016) | 33,94 | 19,42 | 22,31 | 24,33 |
| S5C5 (2016) | 38,51 | 18,43 | 28,14 | 14,92 |
| S5C6 (2016) | 43,05 | 15,19 | 28,4 | 13,36 |
| S5C7 (2016) | 39,73 | 18,79 | 28,63 | 12,85 |
| S6C1 (2016) | 36,38 | 17,85 | 22,48 | 23,29 |
| S6C2 (2016) | 35,98 | 15,29 | 28,11 | 20,62 |
| S6C3 (2016) | 33,76 | 18,04 | 33,96 | 14,24 |
| S7C1 (2016) | 61 | 12,48 | 17,15 | 9,37 |
| S7C3 (2016) | 46,79 | 15,8 | 20,86 | 16,55 |
| S7C4 (2016) | 55 | 10,91 | 20,76 | 13,33 |
| S7C6 (2016) | 33,03 | 17,71 | 32,61 | 16,65 |

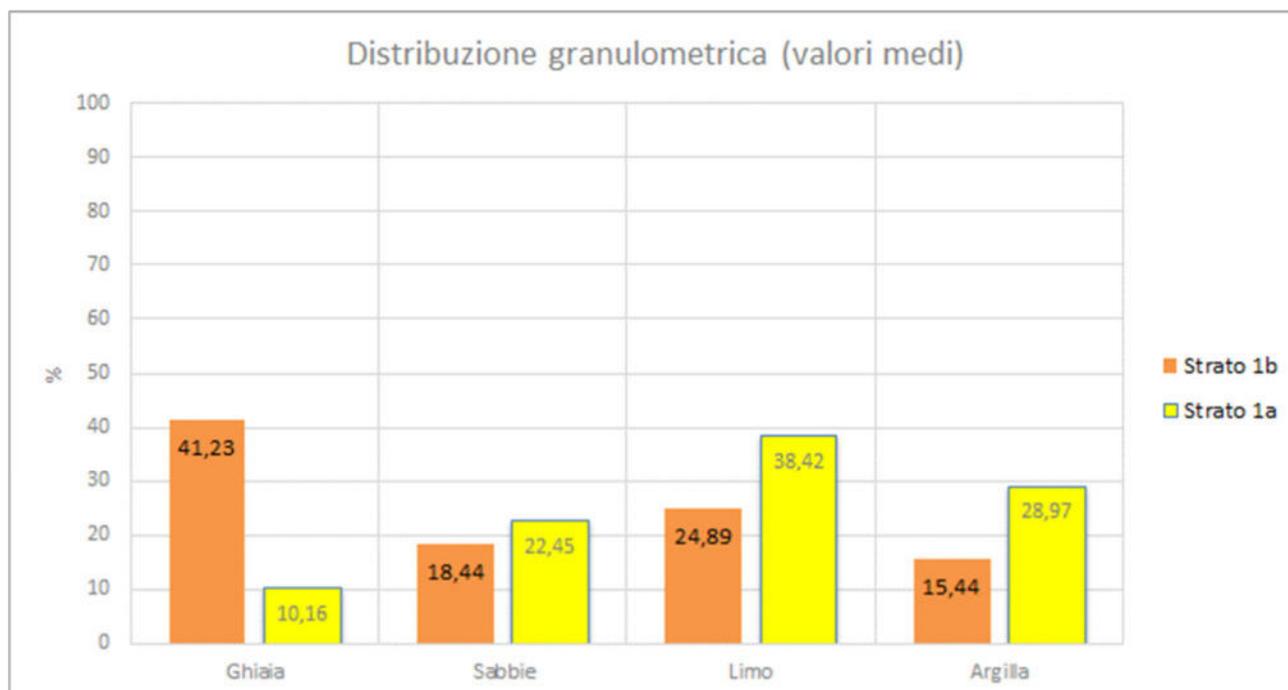


Fig. 10 – Classificazione granulometrica dei campioni prelevati dal corpo diga. In alto le percentuali di ghiaia, sabbia, limo e argilla suddivisi in orizzonte 1a e 1b. In basso la distribuzione granulometrica dei campioni medi appartenenti all'orizzonte 1a e 1b

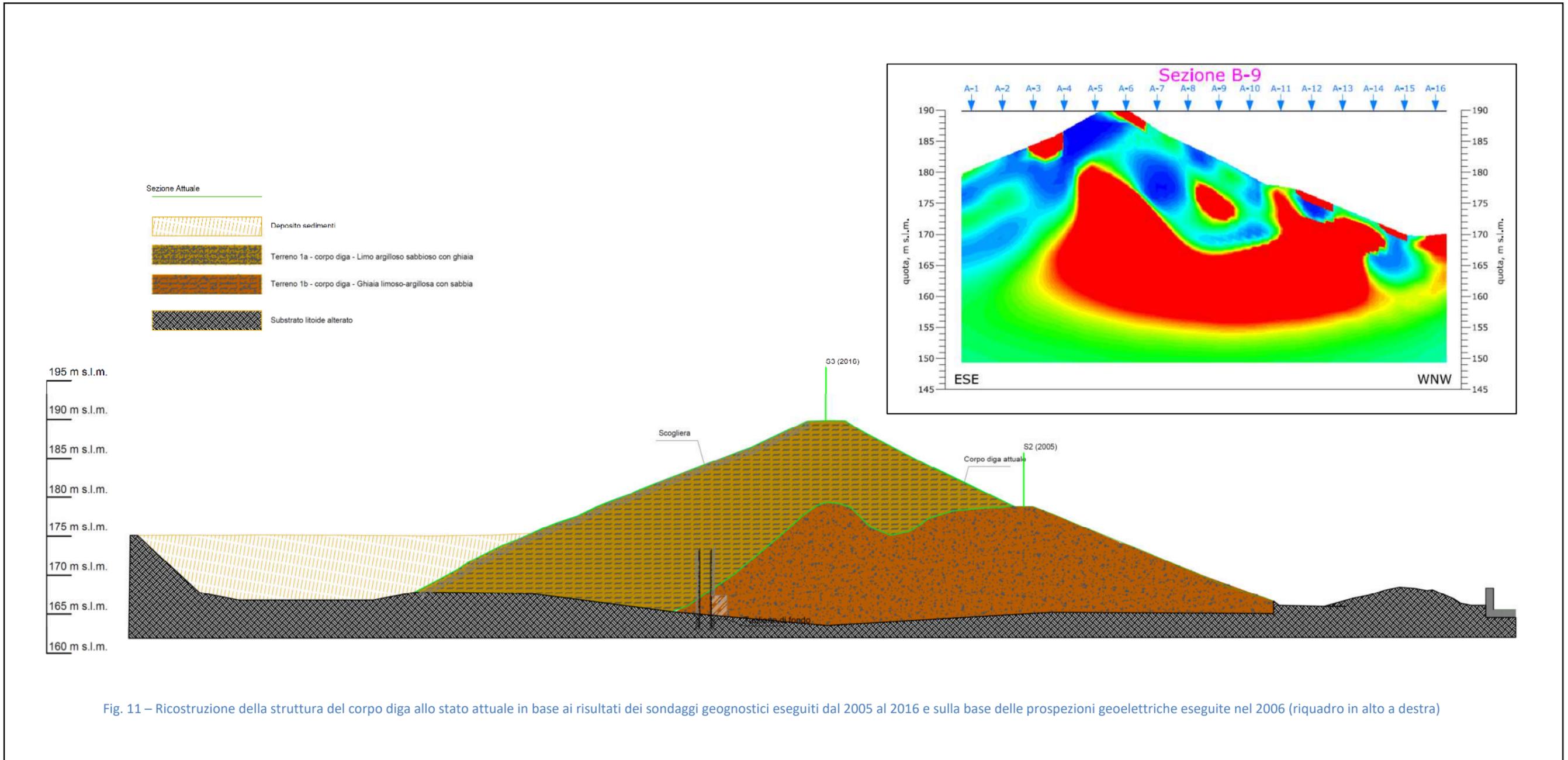


Fig. 11 – Ricostruzione della struttura del corpo diga allo stato attuale in base ai risultati dei sondaggi geognostici eseguiti dal 2005 al 2016 e sulla base delle prospezioni geoelettriche eseguite nel 2006 (riquadro in alto a destra)

Oltre alla caratterizzazione litologica, il corpo diga è stato studiato anche dal punto di vista geotecnico e idrogeologico. I campioni prelevati dal suo interno sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio. Anche in questo caso i campioni sono stati suddivisi in base all'orizzonte di appartenenza (1a o 1b). Oltre a ciò nella campagna di indagine del 2016 sui sondaggi eseguiti sono state effettuate prove Lefranc al fine di ottenere valori di coefficiente di permeabilità e quindi una classificazione idrogeologica del corpo diga, che è stata sistematizzata ed elaborata anche alla luce dei risultati dei risultati della permeabilità derivanti dalle prove edometriche del 2006. Qui di seguito si riportano i valori medi caratteristici ottenuti, suddivisi per orizzonte 1a e 1b (Tab. 5).

| Parametri geotecnici | Unità di misura | 1A | 1B |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| | | Corpo diga fine | Corpo diga grossolano |
| Peso di volume | kg/m ³ | 2025 | 2063 |
| Peso di volume saturo | kg/m ³ | 2069 | 2115 |
| ϕ' | (°) | 26,4 | 29,9 |
| c' | kPa | 12,4 | 3,4 |
| c_u | kPa | 67,3 | 70,2 |
| κ | m/s | 1,10E-05 | 1,46E-04 |

Tab. 5– Parametri caratteristi medi degli orizzonti 1a e 1b del corpo diga

Al di sotto del corpo diga si riscontra un primo orizzonte naturale di materiale limoso-argilloso con abbondanti clasti siltitici, argillitici, arenacei e calcareo-marnosi fino alla profondità di circa – 1,5 m / -4 m da p.c. derivante prevalentemente dal processo di alterazione e disgregazione del substrato litoide. Essendo tale terreno oggetto di riutilizzo (materiale da prelevare dalla sponda est dell'invaso antropico in quantità sufficiente ai fini progettuali) per il ringrosso della diga, sono stati, eseguiti lungo la sponda est dell'invaso antropico, a febbraio 2019, n.7 saggi geognostici, da cui sono stati prelevati n.7 campioni da sottoporre a prove geotniche di laboratorio e n.3 campioni da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio (vedi allegato ET.06.05).

Le prove geotecniche di laboratorio sui n.7 campioni prelevati dai saggi geognostici a febbraio 2019 sono attualmente in fase di elaborazione. Appena disponibili provvederemo ad integrare la presente documentazione con i certificati dei risultati delle suddette prove geotecniche corredati da opportuno commento.

I 3 campioni sottoposti ad analisi chimiche di laboratorio hanno permesso di evidenziare se il terreno da prelevare per il rinfiacco è conforme, in termini chimici, ai valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale).

Come è possibile osservare dai risultati riportati nella Tab. 4 del presente elaborati i campioni di terra prelevati sulla sponda est dell'invaso, sono conformi ai valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) pertanto, non dovranno essere smaltiti come rifiuti. Preliminarmente all'effettiva movimentazione di terra di progetto, verrà eseguito un nuovo prelievo di campioni con conseguente ulteriore analisi al fine di verificare che il materiale prelevato rientri nuovamente nei valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale). In caso contrario verrà seguita la procedura di smaltimento dei terreni come rifiuti ai sensi della normativa vigente in materia.

Sempre nell'ambito dei terreni di copertura, sono stati caratterizzati, in questo caso solo dal punto di vista chimico, i fanghi di fondo invaso depositasi nel corso degli anni. L'invaso, allo stato attuale presenta uno spessore massimo di fanghi sedimentati di circa 9 m. Il progetto prevede oltre agli interventi strutturali sul corpo diga anche interventi accessori di messa in sicurezza idraulica, idrogeologica e sismica del comparto d'intervento. Fra i suddetti interventi si prevede la "dragatura" del fondo invaso al fine rimuovere parte del deposito sedimentario formatosi nel corso degli anni.

A Maggio 2018 sono stati prelevati, n.20 campioni di terreno su cui sono state effettuate le analisi chimiche riportate nelle Tab. 2, Tab. 3e allegato ET.06.04).

Da tali analisi emerge che i campioni di terra prelevati nell'area dell'invaso sono conformi ai valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale).

I terreni movimentati nel corso delle lavorazioni nell'area dell'invaso (sia quelli sedimentati nell'area prossima allo sbarramento sia quelli in situ) rientrano nei valori limite di cui alla colonna A della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/06 e, pertanto, non dovranno essere smaltiti come rifiuto.

Le terre provenienti dalla movimentazione dei sedimenti accumulati all'interno e del serbatoio saranno trattate ai sensi dell'art. 185 del D. Lgs.152/06 comma 3 che esclude dall'applicazione della parte quarta:

[...] i sedimenti spostati all'interno di acque superficiali o nell'ambito delle pertinenze idrauliche ai fini della gestione delle acque e dei corsi d'acqua o della prevenzione di inondazioni o della riduzione degli effetti di inondazioni o siccità o ripristino dei suoli se è provato che i sedimenti non sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000, e successive modificazioni.

Preme specificare, come riportato anche nel § 7.4 del presente elaborato, che propedeuticamente alla gradatura del fango di fondo invaso verrà effettuato nuovamente una campagna di campionamenti al fine di confermare i risultati chimici registrati a maggio 2018 (vedi allegato ET.06.05). Nel caso in cui alcuni valori degli analiti analizzati non rientrassero nei limiti di legge previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A, il materiale dragato verrà gestito come rifiuto nei termini previsti dalla normativa vigente.

Al di sotto del terreno di copertura è presente un substrato litoide facente parte della formazione della Pietraforte (PTF) caratterizzato da un'alternanza di orizzonti siltici, arenacei e calcarei. Dal rilievo geomeccanico eseguito sulla sponda destra del corpo di diga (vedi allegato ET.06.02 del presente elaborato) è risultato un ammasso roccioso classificabile come discreto (indice RMR = 61) con un RQD del 73% presenza di giunti asciutti aventi superfici scabre e parametri geomeccanici lungo le singole discontinuità riassumibili nei seguenti parametri:

- ϕ – angolo di attrito = 35,9°
- c = coesione = 2,32 MPa

Nella campagna geognostica del 2006 sono stati prelevati, dal sondaggio S1 due campioni di substrato litoide (S1Cr6 e S1Cr7) che hanno permesso una caratterizzazione geomeccanica della fondazione del corpo diga.

Sui campioni S1Cr6 (profondità di prelievo tra -25,70 e -26,00 m) e S1Cr7 (profondità di prelievo tra -26,00 e -26,20 m dal p.c.) sono state effettuate, oltre alla determinazione del Peso di volume di ciascuno di essi, un Point Load Strength Index e una prova di compressione uniassiale rispettivamente. Il Point Load Test (S1Cr6) permette in particolare di ottenere, con approssimazione statistica, una stima piuttosto attendibile della resistenza a compressione della roccia, dando una valutazione geomeccanica della litologia testata.

La misura dell'indice di resistenza (Indice di Point load strength), si ottiene con l'ausilio di uno strumento costituito da un martinetto idraulico che comprime il provino, a forma di parallelepipedo opportunamente

preparata, contro una struttura di contrasto rappresentata da due punte coniche aventi la stessa dimensione. Sull'apposito manometro viene poi visualizzato il valore di pressione che corrisponde alla rottura del campione.

Dalle dimensioni del provino (rapportate al diametro equivalente D_e) e dal valore del carico applicato si ricava l'indice di resistenza I_s che andrà corretto attraverso un fattore di correzione legato alla forma del provino. Il parametro corretto $I_s(50)$ permette di ottenere il valore di resistenza alla compressione monoassiale, plottando i valori di resistenza al punzonamento.

L'esecuzione della prova di Point Load sul campione S1Cr6 (quattro provini) ha fornito un valore medio di resistenza alla compressione monoassiale pari a $\sigma=104,225$ MPa (1062,78 Kg/cmq).

Nelle classificazioni delle rocce proposte da vari autori, valori di σ compresi tra 100 e 200 MPa indicano rocce molto resistenti (ISRM, 1979).

La prova di compressione uniassiale effettuata sul campione S1Cr7 ha fornito il valore di $\sigma=99,1$ MPa (1010,52 Kg/cmq) (v. allegato ET.06.02)

In termini di stabilità l'ammasso roccioso presenta alcune criticità per fenomeni di scivolamento e di ribaltamento che necessitano di interventi di messa in sicurezza tramite disaggi delle porzioni più pericolanti, chiodatura (se necessario) e messa in opera di reti paramassi. Le criticità già menzionate sopra, sono avvalorate anche dal rinvenimento lungo il muro di sponda destra di detriti distaccatisi dal versante rilevato (GEO.15).

In virtù di ciò sono stati definiti, per il suddetto ammasso roccioso (substrato litoide alterato) i seguenti parametri caratteristici

| Parametri geotecnici | Unità di misura | Substrato |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| Peso di volume | kg/m ³ | 2400 |
| Peso di volume saturo | kg/m ³ | 2450 |
| ϕ' | (°) | 35,9 |
| c' | kPa | 2320,0 |
| c_u | kPa | 50000,0 |
| κ | m/s | 1,00E-07 |

Tab. 6– Parametri caratteristici dell'ammasso roccioso (substrato litoide alterato)

Preme sottolineare che i valori riportati sopra sono valori che tengono conto dell'ammasso roccioso, nel suo insieme, e non le singole litologie costituenti l'ammasso. In virtù di ciò, ad esempio, il peso di volume, sia naturale che saturo, presenta valori inferiori rispetto ai risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dal substrato (vedi allegato ET.06.02) che invece sono stati eseguiti sui campioni litico (roccia calcarea), poco rappresentativo quindi dell'ammasso roccioso.

Il substrato litoide alterato tende progressivamente a ridurre il suo grado di alterazione con la profondità. Dalle indagini geofisiche eseguite sulla sponda sinistra è emerso un possibile passaggio ad un substrato meno alterato ad una profondità minima di circa -20 m / -25 m da p.c.

9 OTTEMPERANZE ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI E CHIARIMENTI DA PARTE DEL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE, DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI E DELLA REGIONE TOSCANA – SETTORE OPERE PUBBLICHE DI INTERESSE STRATEGICO REGIONALE

Come espresso in premessa, nei vari step progettuali a supporto del progetto di “interventi di miglioramento della diga Drove di Cepparello” sono pervenute da parte degli enti interessati nel procedimento richieste di integrazioni e chiarimenti. In particolare, il **Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Commissione Tecnica di Verifica dell’Impatto Ambientale – VIA e VAS)** con comunicazione del 12/01/2018, chiede quanto segue per le competenze di carattere geologico:

- 2) *Approfondire anche mediante simulazioni con modelli di calcolo nelle condizioni più sfavorevoli, le indagini sulle criticità relative a dissesti/frane/movimenti gravitativi presso l’area d’intervento, con particolare attenzione all’area in frana (P.F.3) posta in destra idraulica subito a monte del corpo diga;*
- 5) *Fornire documentazione di approfondimento inerente alla problematica della gestione dei materiali durante la fase di cantiere, predisponendo uno specifico Piano di Utilizzo Terre che individui potenziali siti/impianti/discariche per l’approvvigionamento/deposito/conferimento.*

Precedentemente il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze)** con comunicazione del 24/10/2017 ha chiesto quanto segue per le competenze di carattere geologico:

- *12 Geomorfologia e verifiche dei versanti: si richiede una caratterizzazione dal punto di vista geologico e geotecnico del versante destro.... Per entrambi i versanti, destro e sinistro, in corrispondenza degli sfioratori effettuare una restituzione di sezioni geologiche e geotecniche e relative verifiche di stabilità al fine di dimostrare la fattibilità delle opere ed individuare le eventuali opere di stabilizzazione da prevedere. Riguardo al fenomeno di instabilità del versante destro, sulla destra poco a valle della vasca di dissipazione dello scarico superficiale, annotato durante le visite di vigilanza presso lo sbarramento, si richiede di ottemperare alla prescrizione impartita in ultimo con nota prot. N.6.098 del 07/03/2017 ed inserire quanto richiesto nella relazione geologica del progetto al fine di scongiurare effetti di tale fenomeno sul cantiere;*
- *13 Campagne geognostiche: caratterizzazione geologico-tecnica: si richiede di allegare alla relazione geologico-tecnica la planimetria con l’ubicazione dei sondaggi della campagna del 2016. Non si concorda a pieno con la definizione delle caratteristiche dei materiali del rilevato, considerato come unica unità omogenea,L’argomento in ogni caso deve essere affrontato tramite una specifica relazione geotecnica, che espliciti anche il modello geotecnico di riferimento ed affronti gli argomenti geotecnici indicati nei precedenti paragrafi;*
- *14 Materiale di rinfiacco: il materiale di rinfiacco, qualsiasi ne sia la provenienza, deve essere caratterizzato dal punto di vista geotecnico mediante prelievo di un numero congruo di campioni da sottoporre a adeguate analisi di laboratorio;*
- *15 Modellazione del corpo diga e della fondazione: la modellazione del corpo diga come unità omogenea di caratteristiche pari alla media dei valori ottenuti dalle analisi dei campioni prelevati durante la campagna geognostica del 2016,...., non risulta adeguatamente supportata ed appare scarsamente cautelativa. Si richiede inoltre di esplicitare come sono stati ricavati i parametri*

caratteristici della fondazione. Infine, si richiede una caratterizzazione del materiale di rifianco basata anch'essa sui risultati di analisi di provini prelevanti dal sito di cava...

Sempre il **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Ufficio Tecnico per le dighe di Firenze)**, a seguito del sopralluogo eseguito in data 1/03/2017 ha comunicato, tramite verbale della visita, in data 07/03/2017, quanto segue:

- *Frana in sponda sinistra: Durante la visita è stata osservata la presenza di fogliame nella canaletta di drenaggio e una via d'acqua preferenziale che recapita nella canaletta stessa, probabilmente accentuata dalle recenti piogge. Si ribadisce al Gestore la prescrizione relativa alla manutenzione della canaletta di drenaggio con relativa pulizia periodica e si prescrive di prevedere una protezione localizzata della canaletta stessa in corrispondenza della via d'acqua osservata*

Infine, la **Regione Toscana – Direzione Ambiente ed Energia (Settore V.I.A./V.A.S. e Opere Pubbliche di Interesse Strategico Regionale)** con comunicazione del 29/09/2017 chiede quanto segue, per quanto riguarda le competenze di carattere geologico:

- *2. Aspetti progettuali – Geologia: visto il tipo di progetto ed il suo inserimento nell'assetto geologico e geomorfologico locale, risulta necessario che il Gestore definisca la modalità di gestione di tutti i lavori previsti in destra idraulica per evitare possibili attivazioni dell'area in frana (P.F.3) subito a monte del corpo diga*
- *3a Suolo e sottosuolo - Gestione sedimenti e materiali di scavo: oltre ad integrare quanto presentato fornendo le informazioni di cui ai ... punti 1 e 2 e specifiche osservazioni relative al punto 3 si ritiene necessario che il Gestore integri il programma di indagine di caratterizzazione dei sedimenti al fine di valutare la variabilità della concentrazione dei contaminanti su un congruo numero di verticali di campionamento, ... ed integrare il set di parametri estendendo le determinazioni analitiche anche ai fitofarmaci riportati nel documento allegato:*
 1. *Non è fornita una planimetria indicante la posizione dei punti di campionamento, né sono riportate le coordinate geografiche che ne consentono la georeferenziazione...;*
 2. *Non è fornita una valutazione degli spessori dei sedimenti presenti nell'invaso;*
 3. *Per la caratterizzazione degli stessi (depositi di fondo invasato) è necessario procedere anche a campionamenti profondi, che consentano di indagare eventuali disomogeneità di composizione in senso verticale...*

Deve inoltre essere specificato se siano previste eventuali aree di deposito intermedio dei materiali di scavo, qualora se ne prevedano ulteriori oltre a quella già individuata nell'area del cantiere principale.

- *19 metodologie di analisi: ...Si ritiene necessario inoltre prevedere adeguate e/o ulteriori metodologie di analisi, che prendono in considerazione le verifiche relative alla liquefazione...*

9.1 MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL 12/01/2018

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS) nella comunicazione del 12/01/2018 chiede, per la parte geologica, quanto segue:

- *2) Approfondire anche mediante simulazioni con modelli di calcolo nelle condizioni più sfavorevoli, le indagini sulle criticità relative a dissesti/frane/movimenti gravitativi presso l'area d'intervento, con particolare attenzione all'area in frana (P.F.3) posta in destra idraulica subito a monte del corpo diga;*
- *5) Fornire documentazione di approfondimento inerente alla problematica della gestione dei materiali durante la fase di cantiere, predisponendo uno specifico Piano di Utilizzo Terre che individui potenziali siti/impianti/discardiche per l'approvvigionamento/deposito/conferimento.*

Per quanto riguarda il primo punto (punto n.2), in questa fase sono state fatte n.2 verifiche di stabilità (stato attuale e stato di progetto) lungo la sezione n.4 (GEO.04) intersecante il corpo di frana quiescente posto sulla sponda destra dell'invaso antropico. Lungo la suddetta sezione, i sopralluoghi eseguiti hanno mostrato il seguente assetto geolitologico (Fig. 12):

- Orizzonte 1: corpo di frana/detritico avente uno spessore massimo di circa 1 m/1,5 m
- Orizzonte 2: substrato alterato caratterizzato da litotipi facenti capo alla formazione della pietraforte. Spessore minimo di circa 20 m
- Orizzonte 3: substrato (meno alterato) caratterizzato da litotipi facenti capo alla formazione della pietraforte.

Le verifiche sono state realizzate tramite il programma SSAP 4.9.9 del Dott. Geol. Ph.D. Lorenzo Borselli. Gli orizzonti suddetti sono stati caratterizzati, da un punto di vista geotecnico secondo quanto riportato nella Tab. 7

| Parametri geotecnici | Unità di misura | Copertura/corpo di frana | Substrato alterato | Substrato |
|-----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------|
| Peso di volume | kg/m ³ | 1720 | | |
| Peso di volume saturo | kg/m ³ | 1850 | | |
| ϕ' | (°) | 21,0 | | |
| c' | kPa | 6,3 | | |
| sigci | Mpa | | 3,0 | 75,0 |
| GSI | | | 50,0 | 65,0 |
| mi | | | 17,0 | 17,0 |
| di | | | 1,0 | 1,0 |

Tab. 7– Parametri caratteristici dell’ammasso roccioso (substrato litoide alterato) e dei terreni di copertura. I valori c' e ϕ' , inerenti i terreni sono ridotti secondo la serie A2+M2+R2 delle NTC2018. I parametri inerenti l’ammasso roccioso sono stati ricavati tramite il software ORMAS 1.0 (<http://www.roozbehgm.com/codes/ormas/ormas.html>)¹

I risultati delle verifiche hanno mostrato una condizione di stabilità pur con valori minimi di fattore di sicurezza leggermente maggiori rispetto al valore minimo previsto dalla normativa vigente (condizione bordel-line). In conseguenza di ciò, in accordo con il Gestore, è stato deciso di realizzare, in fase iniziale dei lavori di progetto, un’opera di ingegneria ambientale caratterizzata da palificate o viminate in legname lungo il corpo di frana al fine di garantire la stabilità della porzione di versante interessata dalla criticità geomorfologica rilevata. Il tutto corredato da un opportuno sistema di regimazione delle acque al fine di evitare ruscellamento incontrollate lungo le porzioni di versante che presentano potenziali condizioni di criticità geomorfologica (vedi tavola GEO.15).

Qui di seguito si riportano i valori minimi di fattore di sicurezza calcolati nelle verifiche di stabilità riportate nell’allegato ET.06.06:

- **Stato attuale:**
 - FS_minimo: 1.1764
- **Stato di progetto:**
 - FS_minimo: 1,2926

Lo stato di progetto prevede un leggero incremento della coesione (c' da 6,3 KPa – stato attuale a 7,3 KPa – stato di progetto) a seguito della messa in opera delle palificate previste dal presente progetto.

¹ Sigci : sforzo compressive uniassiale della roccia intatta (substrato alterato, arenaria) , GSI: indice dello sforzo geologico per rocce fratturate (vedi Fig. 13), mi: valore associato al tipo di roccia dell’ammasso (arenaria), D: fattore di disturbo (vedi Fig. 14)

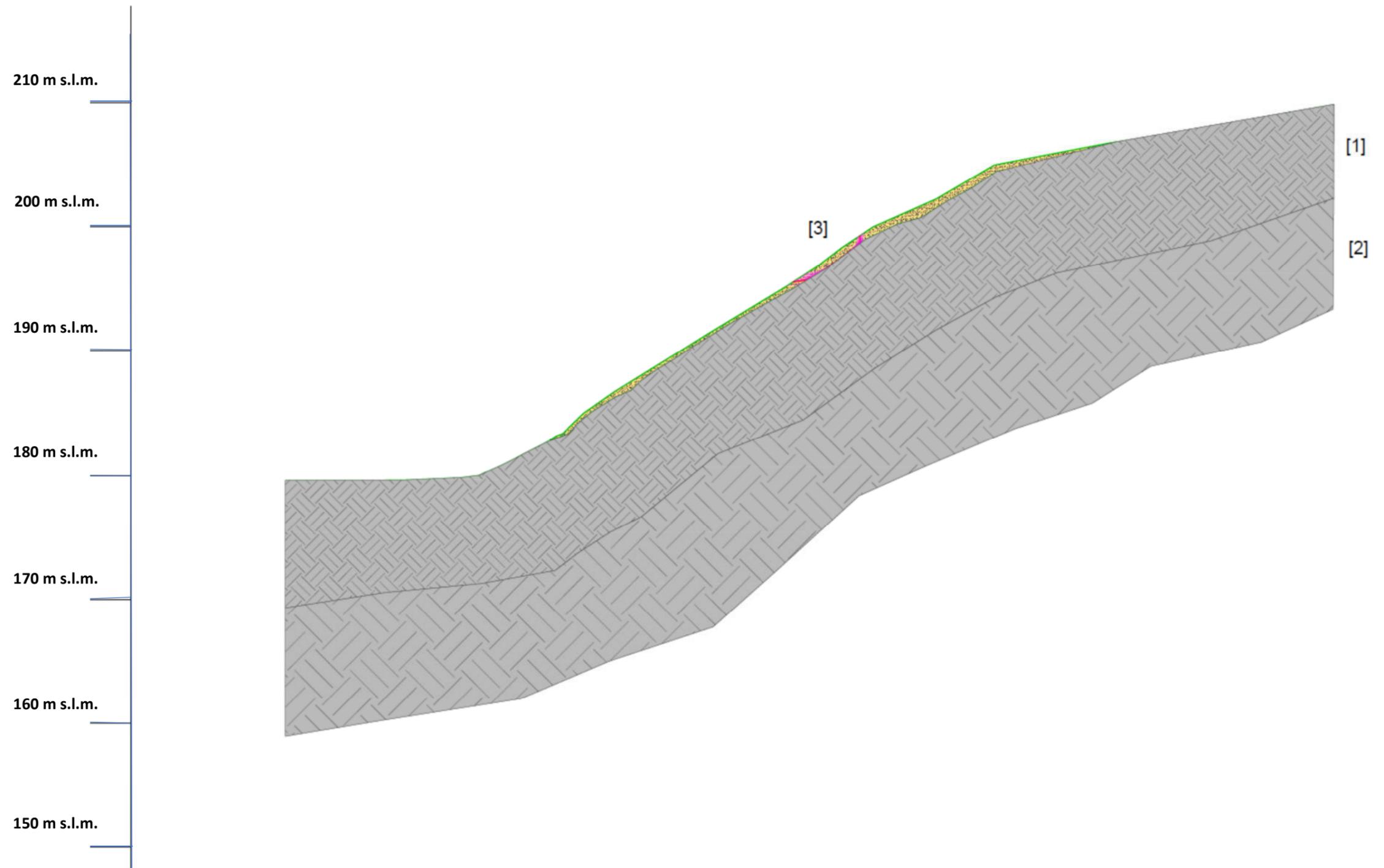


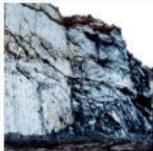
Fig. 12 – Sezione geologica n.4 lungo la sponda destra dell’invaso antropico. 1: substrato alterato, 2 substrato con minor gradi alterazione, 3 corpo di frana quiescente superficiale. In rosso le superfici di potenziale scivolamento del corpo frana con valori di FS minimi derivanti dall’algoritmo di calcolo del software SSAP (metodo Borselli)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)
 From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

| STRUCTURE | SURFACE CONDITIONS | DECREASING SURFACE QUALITY → | | | |
|---|---|------------------------------|-----|--|-----|
|  INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities | VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces | | | | |
|  BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets | GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces | 90 | 80 | | N/A |
|  VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets | FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces | | 70 | | |
|  BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity | POOR Sticksided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments | | 60 | | |
|  DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces | VERY POOR Sticksided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings | | 50 | | |
|  LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes | | | 40 | | |
| | | | 30 | | |
| | | | 20 | | |
| | | | 10 | | |
| | | N/A | N/A | | |

Fig. 13 – Tabella di riferimento per il parametron GSI

Disturbance Factor (D) Dialog

| Appearance of rock mass | Description of rock mass | Suggested value of D |
|---|--|--|
|  | Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance. | D=0.7 Good blasting D=1.0 Poor blasting |
|  | Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. | D=1.0 Production blasting |
| | In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less. | D=0.7 Mechanical excavation |

Disturbance factor D

Fig. 14 – Tabella di riferimento per il parametron D

Per quanto riguarda il secondo punto (punto 5) si rimanda all'elaborato ET.19 "Piano di Utilizzo delle Terre".

9.2 MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL 24/10/2017

Il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (Ufficio tecnico per le dighe di Firenze) nella comunicazione del 24/10/2017 chiede, per la parte geologica, quanto segue:

- *12 Geomorfologia e verifiche dei versanti: si richiede una caratterizzazione dal punto di vista geologico e geotecnico del versante destro.... Per entrambi i versanti, destro e sinistro, in corrispondenza degli sfioratori effettuare una restituzione di sezioni geologiche e geotecniche e relative verifiche di stabilità al fine di dimostrare la fattibilità delle opere ed individuare le eventuali opere di stabilizzazione da prevedere. Riguardo al fenomeno di instabilità del versante destro, sulla destra poco a valle della vasca di dissipazione dello scarico superficiale, annotato durante le visite di vigilanza presso lo sbarramento, si richiede di ottemperare alla prescrizione impartita in ultimo con nota prot. N.6.098 del 07/03/2017 ed inserire quanto richiesto nella relazione geologica del progetto al fine di scongiurare effetti di tale fenomeno sul cantiere;*
- *13 Campagne geognostiche: caratterizzazione geologico-tecnica: si richiede di allegare alla relazione geologico-tecnica la planimetria con l'ubicazione dei sondaggi della campagna del 2016. Non si concorda a pieno con la definizione delle caratteristiche dei materiali del rilevato, considerato come unica unità omogenea,L'argomento in ogni caso deve essere affrontato tramite una specifica relazione geotecnica, che espliciti anche il modello geotecnico di riferimento ed affronti gli argomenti geotecnici indicati nei precedenti paragrafi;*
- *14 Materiale di rinfianco: il materiale di rinfianco, qualsiasi ne sia la provenienza, deve essere caratterizzato dal punto di vista geotecnico mediante prelievo di un numero congruo di campioni da sottoporre a adeguate analisi di laboratorio;*
- *15 Modellazione del corpo diga e della fondazione: la modellazione del corpo diga come unità omogenea di caratteristiche pari alla media dei valori ottenuti dalle analisi dei campioni prelevati durante la campagna geognostica del 2016,...., non risulta adeguatamente supportata ed appare scarsamente cautelativa. Si richiede inoltre di esplicitare come sono stati ricavati i parametri caratteristici della fondazione. Infine, si richiede una caratterizzazione del materiale di rinfianco basata anch'essa sui risultati di analisi di provini prelevanti dal sito di cava...*
- *19 metodologie di analisi: ...Si ritiene necessario inoltre prevedere adeguate e/o ulteriori metodologie di analisi, che prendono in considerazione le verifiche relative alla liquefazione...*

Per quanto riguarda il primo punto (punto n. 12) sono state predisposte n. 7 sezioni geologico-tecniche su cui sono state eseguite verifiche di stabilità lungo il versante, sia nelle condizioni attuali che nelle condizioni di progetto, attraverso l'utilizzo del software SSAP 4.9.9.

Per l'ubicazione delle tracce di sezione oggetto di verifica di stabilità si rimanda alla tavola GEO.04 per i risultati delle verifiche si rimanda all'allegato ET.06.06.

Le verifiche sono state eseguite con i seguenti parametri geotecnici ridotti (secondo la combinazione A2+M2+R2 - Tab. 8). La scelta di ridurre i parametri geotecnici anche nelle condizioni attuali e per porzioni di versante non oggetto di interventi di progetto va nella direzione della massima cautela e garantisce un miglior confronto fra le condizioni in esame (stato attuale e stato di progetto – entrambi verificate con parametri ridotti).

| Parametri geotecnici | Unità di misura | Copertura/corpo di frana | Substrato alterato | Substrato |
|-----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------|
| Peso di volume | kg/m ³ | 1720 | | |
| Peso di volume saturo | kg/m ³ | 1850 | | |
| ψ' | (°) | 21,0 | | |
| c' | kPa | 6,3 | | |
| sigci | Mpa | | 3,0 | 75,0 |
| GSI | | | 50,0 | 65,0 |
| mi | | | 17,0 | 17,0 |
| di | | | 1,0 | 1,0 |

Tab. 8– Parametri caratteristici dell’ammasso roccioso (substrato litoide alterato) e dei terreni di copertura. I valori c' e ψ' , inerenti i terreni sono ridotti secondo la serie A2+M2+R2 delle NTC2018. I parametri inerenti l’ammasso roccioso sono stati ricavati tramite il software ORMAS 1.0 (<http://www.roozbehgm.com/codes/ormas/ormas.html>)²

Nel caso di presenza di corpi di frana lungo il versante (sez.n.4 e n.5) la condizione di progetto è stata simulato migliorando leggermente la coesione drenata del corpo di frana, in quanto in entrambi i casi il progetto prevede la messa in opera di interventi di ingegneria ambientale (palificate e/o viminate in legname) associati alla realizzazione di sistema di regimazione delle acque che eviti il ruscellamento incontrollato lungo i versanti interessati dalle maggiori criticità morfologiche.

Per quanto riguarda la stratigrafia lungo le sezioni analizzate essa è stata estrapolata incrociando i risultati delle prove geoelettriche, dei sondaggi geognostici e dei sopralluoghi geomorfologici eseguiti lungo i versanti medesimi. A livello generale è possibile riscontrare il seguente schema stratigrafico:

- 1° orizzonte di materiale detritico in matrice limoso-argillosa discontinuo (presente solo lungo le porzioni di versante meno ripide) avente uno spessore massimo stimato di circa 1/1,5 m
- 2° orizzonte: substrato litoide alterato dello spessore massimo stimato di circa 20/25 m
- 3° orizzonte: substrato litoide con grado di alterazione inferiore al precedente

Le verifiche di stabilità sono state realizzate tutte in condizioni dinamiche (presenza di sisma) utilizzando coefficienti sismici, orizzonti e verticali, derivanti dallo studio di risposta sismica locale eseguito a supporto del presente studio (vedi allegato ET.06.07) ridotti ai sensi delle NTC2018 secondo un fattore di riduzione cautelativo di 0,28:

² Sigci : sforzo compressive uniaxiale della roccia intatta (substrato alterato, arenaria) , GSI: indice dello sforzo geologico per rocce fratturate (vedi Fig. 13), mi: valore associato al tipo di roccia dell’ammasso (arenaria), D: fattore di disturbo (vedi Fig. 14)

$$K_h = 0,051$$

$$K_v = 0,0255$$

Nella Tab. 9 si riportano i valori dei fattori di sicurezza derivanti dalle verifiche di stabilità, suddivisi per sezione e per condizione di verifica (stato attuale e stato di progetto).

Come è possibile osservare dalla Tab. 9 le sezioni su cui sono state effettuate le verifiche di stabilità presentano fattori di sicurezza minimi sempre superiori al valore minimo di sicurezza previsto dalla normativa vigente ($FS = 1,1$) tranne in un caso in cui è leggermente inferiore (Sez. 5 – stato attuale con FS minimo pari a 1,09). Tale sezione corrisponde alla sezione posta lungo la frana attiva cartografata e rilevata sulla sponda sinistra. In questo caso, come anche lungo la sezione n.4 (stato attuale), corrispondente alla sezione lungo la frana quiescente cartografata e rilevata sulla sponda destra (con fattore di sicurezza leggermente superiore al valore minimo previsto dalla normativa vigente – 1,18), è stato scelto, per la sicurezza dell'opera e delle maestranze che dovranno realizzarla di installare, lungo le porzioni di versante, caratterizzate dalla maggiore criticità morfologica, opere di ingegneria ambientale (palificate e/o viminate in legname) corredate da sistemi di regimazione delle acque superficiali. Tali interventi saranno realizzati propedeuticamente al cantiere di progetto e potranno garantire, secondo il Gestore, le condizioni di sicurezza geomorfologica previste dalla normativa vigente.

Sempre osservando i fattori di sicurezza minimi calcolati, si osserva che lungo la sezione n.3 si registra un fattore di sicurezza minimo, nelle condizioni di progetto, leggermente minore rispetto al fattore di sicurezza minimo, nelle condizioni attuali. Tale anomalia è associata al fatto che lungo, tale sezione lo sfioratore di progetto presenta una profondità maggiore rispetto alla quota dello sfioratore nelle condizioni attuali, ovvero in questo punto il progetto si prevede un approfondimento dello sfioratore, rispetto alla condizione attuale, che comporta uno scavo al piede del versante. Tale scavo ha leggermente influenzato il fattore di sicurezza nella verifica suddetta. Tuttavia, sia nella condizione di progetto che nella condizione attuale si registrano valori di fattore di sicurezza minimi ampiamente superiori al valore minimo di progetto, pur considerando, in entrambi i casi (condizione attuale e di progetto) parametri geotecnici ridotti secondo la combinazione A2+M2+R2 così come indicata nelle NTC 2018.

Al fine di garantire la corretta e sicura realizzazione delle opere si prevede, oltre a quanto riportato sopra, per il versante prospiciente allo sfioratore destro (lato valle), interventi di messa in sicurezza qui di seguito schematizzati e riportati nella tavola GEO.15:

- Disgaggio degli elementi litoidi pericolanti o potenzialmente instabili per i loro aspetti geomeccanici nell'ambito dell'ammasso roccioso di appartenenza;
- Messa in opera di rete paramassi lungo la porzione di versante indicata nella tavola GEO.15;
- Consolidamento della parete rocciosa tramite chiodatura da effettuarsi nel caso in cui lo stato di stabilità dell'ammasso roccioso presenta criticità non risolvibili con la sola messa in opera della rete paramassi e a seguito delle operazioni di disgaggio suddette

Per quanto riguarda la rete paramassi essa interesserà solo la porzione di valle dello sfioratore destro. Questo in quanto lo sfioratore destro mostra, sul lato di monte, la presenza di un muro che costeggia tutto lo sfioratore tranne nella zona di valle che in virtù di ciò verrà messa in sicurezza tramite l'installazione della rete paramassi.

| Sezione | Sez.1 - Stato attuale | Sez.1 - Stato di progetto | Sez.2 - Stato attuale | Sez.2 - Stato di progetto | Sez.3 - Stato attuale | Sez.3 - Stato di progetto | Sez.4 - Stato attuale |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| FS | 1,2117 | 1,2342 | 1,1977 | 1,2036 | 1,4879 | 1,4715 | 1,1764 |
| FS (limite) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Sezione | Sez.4 - Stato di progetto | Sez.5 - Stato attuale | Sez.5 - Stato di progetto | Sez.26- Stato attuale | Sez.6 - Stato di progetto | Sez.7 - Stato attuale | Sez.7 - Stato di progetto |
| FS | 1,297 | 1,0915 | 1,2378 | 1,2771 | 1,3157 | 1,2896 | 1,327 |
| FS (limite) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

Tab. 9– Risultati delle verifiche di stabilità dei versanti. (FS rappresenta il fattore di sicurezza minimo registrato lungo le sezioni di interesse dal programma SSAP)

Per quanto riguarda il secondo punto e il quarto punto (punto 13 e punto 15), in questa fase è stato prodotto un elaborato grafico che riassume tutte le indagini eseguite dal 2005 ad oggi. Per i dettagli sull'ubicazione delle indagini riferite all'anno solare 2016 si rimanda al suddetto elaborato grafico (EGG.13). In merito alla struttura geolitologica del corpo diga, come mostrato nel § 8 del presente elaborato, le indagini eseguite dal 2005 al 2016 all'interno del perimetro del corpo diga (allegati 1,2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10) hanno evidenziato una leggera dicotomia litologica riassumibile secondo il seguente schema:

- Orizzonte 1a: orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente coesivi (limo argilloso) con abbondante matrice granulare (sabbia e ghiaia). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte sommitale del corpo diga con estensione fino alla base dello stesso nella sua porzione di monte.
- Orizzonte 1b: orizzonte caratterizzato da terreni prevalentemente granulari (ghiaia con sabbia) con abbondante matrice coesiva (limo argilloso). Tale orizzonte è riscontrabile nella parte basale del corpo diga con una prevalenza nella porzione centrale e di valle della stessa

Come è possibile osservare dal grafico riportato in Fig. 15, gli orizzonti 1a e 1b mostrano rispettivamente una prevalenza di terreni coesivi (prevalentemente limosi) e di terreni granulari (prevalentemente ghiaiosi) in una matrice comunque abbondantemente granulare o coesiva a seconda se si tratta di orizzonte 1a o 1b.

A livello geometrico i suddetti orizzonti si sovrappongono secondo lo schema riportato in Fig. 16. Tale schema è basato, oltre che sulle stratigrafie dei sondaggi che intersecano la sezione di riferimento anche sulla base dei risultati delle prospezioni geoelettriche eseguite nel 2016 sul corpo diga.

In virtù di ciò la caratterizzazione geotecnica e anche idrogeologica del corpo diga, presentata originariamente come una successione di parametri medi facenti capo ad un unico volume terrigeno, in questa fase è stata suddivisa in orizzonte 1a e 1b. In Tab. 10 sono riportati i valori caratteristici dei due domini costituenti il corpo diga. Tali valori sono stati ricavati come media dei valori dei singoli campioni prelevati dal corpo diga dal 2005 al 2016 e sottoposti a prove geotecniche di laboratorio (vedi allegati 2, 4 e 9). Per quanto riguarda i valori di coefficienti di permeabilità essi sono stati ricavati come media dei risultati delle prove Lefranc eseguite nei sondaggi terebrati nel 2016 (Tab. 1). Per le caratteristiche edometriche sono stati anche in questa valori derivanti dalla media dei parametri calcolati dalle prove geotecniche di laboratorio (Tab. 11).

Per quanto riguarda l'orizzonte di fondazione esso è rappresentato da substrato alterato, facente capo alla formazione della Pietraforte (PTF), sormontato da un orizzonte di terreno limoso-argilloso con abbondanti clasti aventi uno spessore massimo di circa 4 m. Il terreno di copertura è stato sottoposto ad una campagna di campionamenti, nel febbraio 2019, eseguiti sulla sponda est dell'invaso antropico, basata sull'esecuzione di n.7 saggi geognostici. I campioni prelevati sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio. Tali prove sono attualmente in fase di realizzazione. Appena disponibili provvederemo ad integrare la presente documentazione con i certificati dei risultati delle suddette prove geotecniche corredati da opportuno commento.

Per quanto riguarda il substrato alterato litoide nell'anno solare 2006 sono state eseguite alcune indagini geognostiche atte a definire le caratteristiche geotecniche dell'ammasso roccioso di interesse. In particolare, dal sondaggio S1 sono stati prelevati due campioni di roccia su cui sono state eseguite una prova PLT (Point Load Test) ed una prova di compressione uniassiale al fine di caratterizzare la roccia (come unità litoide compatta). In contemporanea è stato eseguito, sul versante destro dell'invaso un rilievo geostrutturale che ha permesso di caratterizzare l'ammasso roccioso (unità litoide fratturata). Per quanto riguarda i valori di c' e ϕ' essi derivano dal rilievo geostrutturale, in quanto rappresentativi dell'ammasso roccioso. I valori di peso di volume naturale e peso di volume saturi essi derivano dalle prove geotecniche di laboratorio opportunamente diminuite in virtù del fatto che in laboratorio, i campioni analizzati non tengono conto della variabilità parametrica all'interno di un ammasso roccioso. I valori di coesione non drenata (c_u) e di coefficiente di permeabilità sono stati ricavati da letteratura, prendendo a riferimenti i valori più cautelativi possibili.

Sempre nell'ambito delle campagne geognostiche (punto 13) al fine di caratterizzare, ancora con maggior dettaglio, gli aspetti sismici locali del sito, è stato eseguito, in questa fase, uno studio di risposta sismica locale. Per i dettagli si rimanda all'allegato ET.06.07 del presente elaborato.

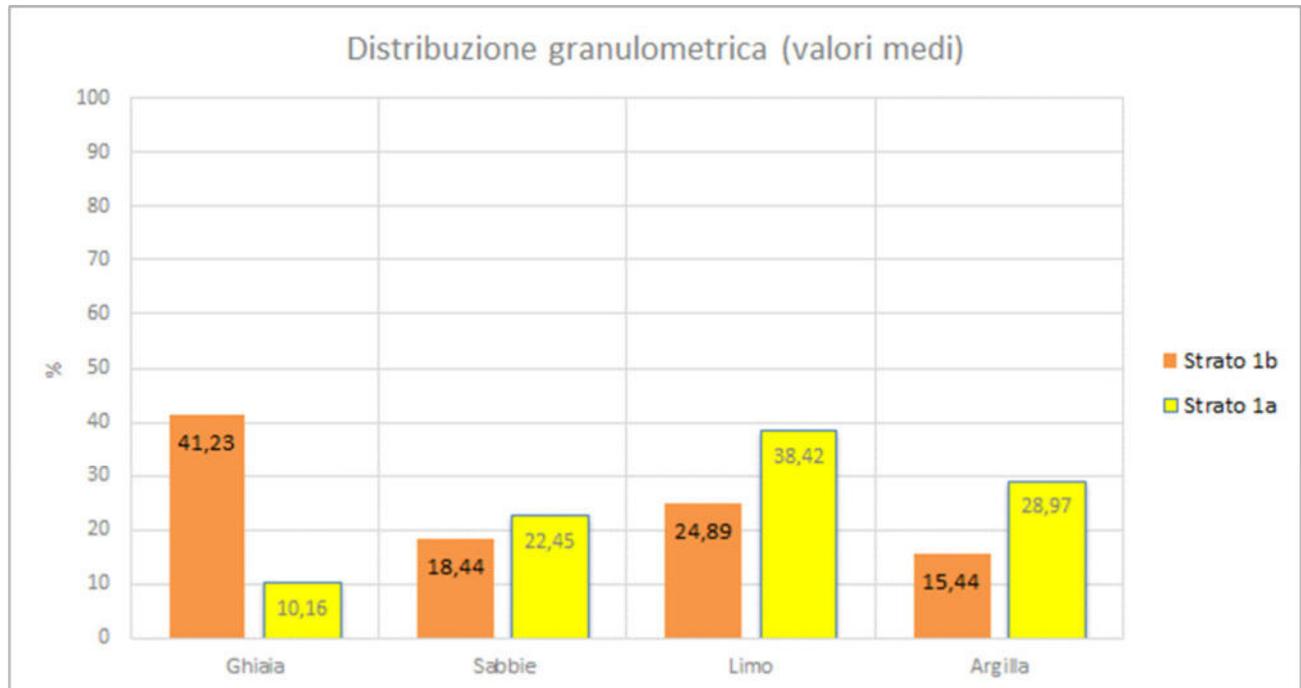


Fig. 15 –Distribuzione granulometrica dei campioni (valori medi) suddivisi in orizzonte 1a e 1b

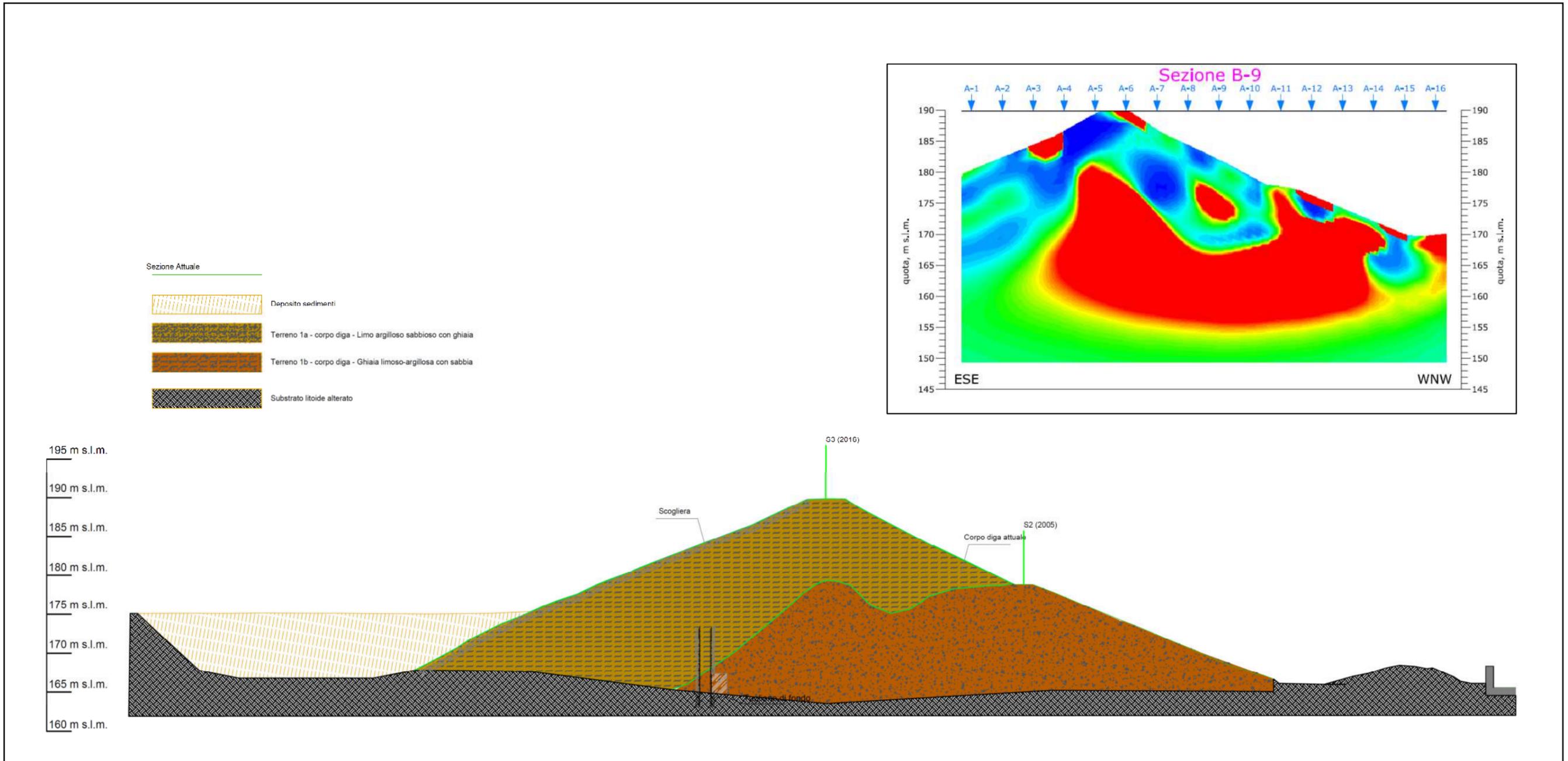


Fig. 16 – Ricostruzione della struttura del corpo diga allo stato attuale (sez-n4. – vedi tav. EG04) in base ai risultati dei sondaggi geognostici eseguiti dal 2005 al 2016 e sulla base delle prospezioni geoelettriche eseguite nel 2006 (riquadro in alto a destra)

| Parametri geotecnici | Unità di misura | 1A | 1B |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| | | Corpo diga fine | Corpo diga grossolano |
| Peso di volume | kg/m ³ | 2025 | 2063 |
| Peso di volume saturo | kg/m ³ | 2069 | 2115 |
| ϕ' | (°) | 26,4 | 29,9 |
| c' | kPa | 12,4 | 3,4 |
| c_u | kPa | 67,3 | 70,2 |
| κ | m/s | 1,10E-05 | 1,46E-04 |

Tab. 10– Parametri caratteristi medi degli orizzonti 1a e 1b del corpo diga

| Campione | Profondità m da p.c. | Cr (indice di ricomprensione) | Cc (indice di compressione) | Cs (indice di rigonfiamento) | Cv (coeff. di consolidazione) cm ² /sec |
|----------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| S1C1 | -3 | 0,05953 | 0,16804 | 0,03337 | 8,66x10 ⁻⁴ |
| S1C2 | -6 | 0,04880 | 0,16049 | 0,03433 | 2,85x10 ⁻⁴ |
| S1Cr3 | -9,7 | 0,03057 | 0,16392 | 0,04110 | 4,27x10 ⁻⁴ |
| S1Cr4 | -14,5 | 0,09653 | 0,17141 | 0,04181 | 4,82x10 ⁻⁴ |
| S1Cr5 | -15 | 0,05130 | 0,15903 | 0,02984 | 1,019x10 ⁻³ |
| | | | | | |
| S2C1 | -12 | 0,05100 | 0,18090 | 0,04214 | 6,31x10 ⁻⁴ |
| S2Cr2 | -20,4 | 0,11177 | 0,27150 | 0,05396 | 1,730x10 ⁻³ |

Tab. 11– Risultati delle prove edometriche eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi del 2006. In giallo i campioni facenti capo all'orizzonte 1a del corpo diga. In arancione i campioni facenti capo all'orizzonte 1b del corpo diga.

| Parametri geotecnici | Unità di misura | Substrato |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| Peso di volume | kg/m ³ | 2400 |
| Peso di volume saturo | kg/m ³ | 2450 |
| ϕ' | (°) | 35,9 |
| c' | kPa | 2320,0 |
| c_u | kPa | 50000,0 |
| κ | m/s | 1,00E-07 |

Tab. 12– Parametri caratteristici dell'ammasso roccioso (substrato litoide alterato)

| Parametri | Unità di misura | 16LA26197 Punto P1 | 16LA26207 Punto P2 | 16LA26208 Punto P3 | 16LA26209 Punto P4 | 16LA26210 Punto P5 | 16LA26211 Punto P6 | 16LA26212 Punto P7 | 16LA26213 Punto P8 | 16LA26214 Punto P9 | 16LA26215 Punto P10 | L(A) [mg/kg] | L(B) [mg/kg] |
|-------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Residuo secco a 105 °C | [%p/p] | 94 | 96 | 96 | 96 | 96 | 94 | 96 | 96 | 95 | 95 | – | – |
| Antimonio | [mg/kg] | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 10 | 30 |
| Arsenico | [mg/kg] | 5.0 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 6.1 | 5.3 | 6.0 | 6.1 | 6.8 | 6.1 | 20 | 50 |
| Berillio | [mg/kg] | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 2 | 10 |
| Cadmio | [mg/kg] | 0.21 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | 0.20 | < 0.2 | < 0.2 | 0.21 | 0.23 | 0.20 | 2 | 15 |
| Cobalto | [mg/kg] | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 13 | 14 | 13 | 20 | 250 |
| Cromo totale | [mg/kg] | 25 | 30 | 31 | 31 | 31 | 28 | 30 | 31 | 36 | 31 | 150 | 800 |
| Cromo (VI) | [mg/kg] | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | 2 | 15 |
| Mercurio | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 5 |
| Nichel | [mg/kg] | 37 | 43 | 44 | 44 | 45 | 39 | 43 | 44 | 51 | 44 | 120 | 500 |
| Piombo | [mg/kg] | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 12 | 14 | 14 | 15 | 14 | 100 | 1000 |
| Rame | [mg/kg] | 66 | 60 | 61 | 63 | 64 | 55 | 62 | 64 | 73 | 63 | 120 | 600 |
| Selenio | [mg/kg] | 0.50 | < 0.3 | 0.31 | < 0.3 | < 0.3 | < 0.3 | 0.30 | < 0.3 | 0.32 | < 0.3 | 3 | 15 |
| Composti Organostannici | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 350 |
| Tallio | [mg/kg] | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.19 | 0.19 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 0.19 | 1 | 10 |
| Vanadio | [mg/kg] | 24 | 28 | 28 | 28 | 29 | 26 | 28 | 29 | 33 | 29 | 90 | 250 |
| Zinco | [mg/kg] | 61 | 76 | 76 | 78 | 79 | 68 | 76 | 79 | 87 | 77 | 150 | 1500 |
| Idrocarburi C<12 | [mg/kg] | 0.84 | < 0.28 | < 0.36 | < 0.36 | < 0.35 | < 0.36 | < 0.35 | < 0.32 | < 0.35 | < 0.37 | 10 | 250 |
| Idrocarburi C>12 | [mg/kg] | < 5 | < 5 | < 5 | 13 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 50 | 750 |

Tab. 13 – Sintesi indagini sulla qualità delle terre nell'area dell'invaso. Campioni da P1 a P10 (data prelievo 04/05/2018).

| Parametri | Unità di misura | 16LA26216 Punto P11 | 16LA26217 Punto P12 | 16LA26218 Punto P13 | 16LA26219 Punto P14 | 16LA26220 Punto P15 | 16LA26221 Punto P16 | 16LA26222 Punto P17 | 16LA26223 Punto P18 | 16LA26224 Punto P19 | 16LA26225 Punto P20 | L(A) [mg/kg] | L(B) [mg/kg] |
|-------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Residuo secco a 105 °C | [%p/p] | 95 | 95 | 96 | 96 | 95 | 94 | 95 | 96 | 96 | 95 | – | – |
| Antimonio | [mg/kg] | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | 10 | 30 |
| Arsenico | [mg/kg] | 5.8 | 5.6 | 6.3 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.2 | 5.5 | 6.4 | 5.2 | 20 | 50 |
| Berillio | [mg/kg] | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.4 | 1.0 | 2 | 10 |
| Cadmio | [mg/kg] | 0.21 | < 0.2 | 0.21 | < 0.2 | < 0.2 | 0.21 | 0.22 | < 0.2 | 0.20 | < 0.2 | 2 | 15 |
| Cobalto | [mg/kg] | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 14 | 11 | 20 | 250 |
| Cromo totale | [mg/kg] | 32 | 29 | 32 | 30 | 31 | 32 | 33 | 30 | 31 | 24 | 150 | 800 |
| Cromo (VI) | [mg/kg] | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | < 0.2 | 2 | 15 |
| Mercurio | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 5 |
| Nichel | [mg/kg] | 44 | 41 | 46 | 42 | 44 | 45 | 47 | 42 | 45 | 33 | 120 | 500 |
| Piombo | [mg/kg] | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 14 | 14 | 13 | 15 | 13 | 100 | 1000 |
| Rame | [mg/kg] | 63 | 61 | 66 | 61 | 63 | 65 | 67 | 60 | 67 | 52 | 120 | 600 |
| Selenio | [mg/kg] | 0.31 | 0.37 | < 0.3 | < 0.3 | 0.31 | < 0.3 | < 0.3 | < 0.3 | 0.31 | 0.44 | 3 | 15 |
| Composti Organostannici | [mg/kg] | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | 1 | 350 |
| Tallio | [mg/kg] | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.21 | 0.16 | 1 | 10 |
| Vanadio | [mg/kg] | 29 | 28 | 30 | 28 | 29 | 30 | 31 | 28 | 29 | 23 | 90 | 250 |
| Zinco | [mg/kg] | 77 | 72 | 81 | 74 | 78 | 79 | 80 | 73 | 87 | 59 | 150 | 1500 |
| Idrocarburi C<12 | [mg/kg] | < 0.3 | < 0.35 | < 0.38 | < 0.36 | < 0.42 | < 0.4 | < 0.39 | < 0.37 | < 0.33 | < 0.37 | 10 | 250 |
| Idrocarburi C>12 | [mg/kg] | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | 50 | 750 |

Tab. 14 – Sintesi indagini sulla qualità delle terre nell'area dell'invaso. Campioni da P11 a P20 (data prelievo 04/05/2018).

| Sa4 | | | | | Sa6 | | | | | Sa7 | | | | |
|---------------------------------------|--------|------------|--------|-------|---------------------------------------|--------|------------|--------|-------|---------------------------------------|--------|------------|--------|-------|
| Parametro | valore | incertezza | Limite | U.M. | Parametro | valore | incertezza | Limite | U.M. | Parametro | valore | incertezza | Limite | U.M. |
| Arsenico | 6,1 | +1,5 | 20 | mg/kg | Arsenico | 9 | +2,1 | 20 | mg/kg | Arsenico | 5,3 | +1,3 | 20 | mg/kg |
| Cadmio | 0,46 | +0,17 | 2 | mg/kg | Cadmio | 0,36 | +0,13 | 2 | mg/kg | Cadmio | 0,41 | +0,15 | 2 | mg/kg |
| Cobalto | 11 | +2 | 20 | mg/kg | Cobalto | 9,4 | +2,1 | 20 | mg/kg | Cobalto | 12 | +3 | 20 | mg/kg |
| Cromo totale | 32 | +6 | 150 | mg/kg | Cromo totale | 24 | +5 | 150 | mg/kg | Cromo totale | 29 | +6 | 150 | mg/kg |
| Cromo esavalente | <0,2 | | 2 | mg/kg | Cromo esavalente | <0,2 | | 2 | mg/kg | Cromo esavalente | 0,22 | +0,09 | 2 | mg/kg |
| Mercurio | <0,25 | | 1 | mg/kg | Mercurio | <0,25 | | 1 | mg/kg | Mercurio | <0,25 | | 1 | mg/kg |
| Nichel | 31 | +6 | 120 | mg/kg | Nichel | 31 | +6 | 120 | mg/kg | Nichel | 31 | +6 | 120 | mg/kg |
| Piombo | 11 | +2 | 100 | mg/kg | Piombo | <10 | | 100 | mg/kg | Piombo | <10 | | 100 | mg/kg |
| Rame | 59 | +10 | 120 | mg/kg | Rame | 36 | +7 | 120 | mg/kg | Rame | 86 | +14 | 120 | mg/kg |
| Zinco | 60 | +10 | 150 | mg/kg | Zinco | 55 | +10 | 150 | mg/kg | Zinco | 50 | +9 | 150 | mg/kg |
| Idrocarburi C>12 | <5 | | 50 | mg/kg | Idrocarburi C>12 | 13 | +3 | 50 | mg/kg | Idrocarburi C>12 | 14 | +3 | 50 | mg/kg |
| Pirene | <0,01 | | 5 | mg/kg | Pirene | <0,01 | | 5 | mg/kg | Pirene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(a)antracene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg | Benzo(a)antracene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg | Benzo(a)antracene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(a)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Benzo(a)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Benzo(a)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Benzo(b)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg | Benzo(b)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg | Benzo(b)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Benzo(k)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg | Benzo(k)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg | Benzo(k)fluorantene | <0,01 | | 0,5 | mg/kg |
| Crisene | <0,01 | | 5 | mg/kg | Crisene | <0,01 | | 5 | mg/kg | Crisene | <0,01 | | 5 | mg/kg |
| Benzo(g,h,i)perilene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Benzo(g,h,i)perilene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Benzo(g,h,i)perilene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)antracene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,h)antracene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,h)antracene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Indenopirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Indenopirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Indenopirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,e)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,e)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,e)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,h)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,h)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,h)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,i)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,i)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,i)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Dibenzo(a,l)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,l)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Dibenzo(a,l)pirene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Som.Idrocarburi policiclici Aromatici | <1 | | 10 | mg/kg | Som.Idrocarburi policiclici Aromatici | <1 | | 10 | mg/kg | Som.Idrocarburi policiclici Aromatici | <1 | | 10 | mg/kg |
| Benzene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Benzene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg | Benzene | <0,01 | | 0,1 | mg/kg |
| Etilbenzene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Etilbenzene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Etilbenzene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Stirene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Stirene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Stirene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Toluene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Toluene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Toluene | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Xileni | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Xileni | <0,05 | | 0,5 | mg/kg | Xileni | <0,05 | | 0,5 | mg/kg |
| Idrocarburi leggeri C<12 | <1 | | 10 | mg/kg | Idrocarburi leggeri C<12 | <1 | | 10 | mg/kg | Idrocarburi leggeri C<12 | <1 | | 10 | mg/kg |
| Amianto | <1000 | | 1000 | mg/kg | Amianto | <1000 | | 1000 | mg/kg | Amianto | <1000 | | 1000 | mg/kg |
| Eluato di recupero | | | | | Eluato di recupero | | | | | Eluato di recupero | | | | |
| pH | 7,56 | +0,15 | 5,5/12 | | pH | 7,38 | +0,15 | 5,5/12 | | pH | 7,44 | +0,15 | 5,5/12 | |
| Conducibilità | 130 | +17 | | µS/cm | Conducibilità | 57 | +7 | | µS/cm | Conducibilità | 82 | +11 | | µS/cm |
| Temperatura | 17,8 | | | °C | Temperatura | 17,6 | | | °C | Temperatura | 17,6 | | | °C |
| COD | <15 | | 30 | mg/l | COD | <15 | | 30 | mg/l | COD | <15 | | 30 | mg/l |
| Cianuri | <25 | | 50 | µg/l | Cianuri | <25 | | 50 | µg/l | Cianuri | <25 | | 50 | µg/l |
| Arsenico | <5 | | 50 | µg/l | Arsenico | <5 | | 50 | µg/l | Arsenico | <5 | | 50 | µg/l |
| Bario | <0,1 | | 1 | µg/l | Bario | <0,1 | | 1 | µg/l | Bario | <0,1 | | 1 | µg/l |
| Berillio | <2 | | 10 | µg/l | Berillio | <2 | | 10 | µg/l | Berillio | <2 | | 10 | µg/l |
| Cadmio | <2 | | 5 | µg/l | Cadmio | <2 | | 5 | µg/l | Cadmio | <2 | | 5 | µg/l |
| Cobalto | <25 | | 250 | µg/l | Cobalto | <25 | | 250 | µg/l | Cobalto | <25 | | 250 | µg/l |
| Cromo totale | <5 | | 50 | µg/l | Cromo totale | <5 | | 50 | µg/l | Cromo totale | <5 | | 50 | µg/l |
| Rame | <0,01 | | 0,05 | µg/l | Rame | <0,01 | | 0,05 | µg/l | Rame | <0,01 | | 0,05 | µg/l |
| Mercurio | <1 | | 1 | µg/l | Mercurio | <1 | | 1 | µg/l | Mercurio | <1 | | 1 | µg/l |
| Nichel | <5 | | 10 | µg/l | Nichel | <5 | | 10 | µg/l | Nichel | <5 | | 10 | µg/l |
| Piombo | <5 | | 50 | µg/l | Piombo | <5 | | 50 | µg/l | Piombo | <5 | | 50 | µg/l |
| Selenio | <5 | | 10 | µg/l | Selenio | <5 | | 10 | µg/l | Selenio | <5 | | 10 | µg/l |
| Vanadio | <25 | | 250 | µg/l | Vanadio | <25 | | 250 | µg/l | Vanadio | <25 | | 250 | µg/l |
| Zinco | <0,3 | | 3 | mg/l | Zinco | <0,3 | | 3 | mg/l | Zinco | <0,3 | | 3 | mg/l |
| Cloruri | 2,5 | +0,7 | 100 | mg/l | Cloruri | 2,7 | +0,7 | 100 | mg/l | Cloruri | <0,2 | | 100 | mg/l |
| Fluoruri | 0,24 | +0,10 | 1,5 | mg/l | Fluoruri | 0,23 | +0,09 | 1,5 | mg/l | Fluoruri | 0,54 | +0,19 | 1,5 | mg/l |
| Solfati | 13 | +3 | 250 | mg/l | Solfati | 4,3 | +1,1 | 250 | mg/l | Solfati | <2 | | 250 | mg/l |
| Nitrati | <2 | | 50 | mg/l | Nitrati | <2 | | 50 | mg/l | Nitrati | <2 | | 50 | mg/l |
| Amianto | <10 | | 30 | mg/l | Amianto | <10 | | 30 | mg/l | Amianto | <10 | | 30 | mg/l |

Tab. 15– Sintesi indagini sulla qualità delle terre sponda est dell'invaso. Campioni Sa04, Sa06 e Sa07 (data prelievo 20/02/2019).

Per quanto riguarda il terzo punto (punto 14), al fine di caratterizzare il materiale che verrà riutilizzato per il rinfianco, nel mese di Febbraio del 2019, sono stati eseguiti n.7 saggi geognostici sulla sponda est dell'invaso antropico (per i dettagli sull'ubicazione dei punti di campionamento si rimanda alla tavola GEO.14). Dai suddetti saggi sono stati prelevati n.7 campioni di terreni che sono sottoposti alle seguenti prove geotecniche di laboratorio:

- Prova Proctor standard
- Prova di Espansione Laterale Libera (ELL – all'optimum proctor)
- Prova di taglio CD (all'optimum proctor)
- Limiti di Atterberg
- Classificazione granulometrica HRB-AASHOO
- Peso di volume naturale e peso di volume saturo
- Prova Edometrica (all'optimum proctor)

Le suddette prove sono attualmente in fase di elaborazione. Appena disponibili provvederemo ad integrare la presente documentazione con i certificati dei risultati delle suddette prove geotecniche corredati da opportuno commento.

In aggiunta a ciò, sempre ai fini del riutilizzo delle terre per il rinfianco sono stati prelevati n.27 campioni (20 dal fondo lago e 7 dai saggi geognostici suddetti) da sottoporre ad analisi chimiche di laboratorio. Le analisi hanno prodotto i risultati riportati nelle Tab. 13, Tab. 14 e Tab. 15

Da tali analisi emerge che i campioni di terra prelevati sulla sponda est e dal fondo dell'invaso sono conformi ai valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) pertanto, potranno essere interamente riutilizzati per i rinfianchi e per il rimodellamento morfologico. Preliminarmente all'effettiva movimentazione terra di progetto, verrà eseguito un nuovo prelievo di campioni con conseguente ulteriore analisi al fine di verificare che il materiale prelevato rientri nuovamente nei valori limite previsti dal D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale). In caso contrario verrà seguita la procedura di smaltimento dei fanghi come rifiuti ai sensi della normativa vigente in materia.

Per quanto riguarda il quinto punto (punto 19), in questa fase è stato realizzato uno studio sulla liquefacibilità del corpo diga, nelle condizioni di progetto, che ha tenuto conto dei seguenti tre aspetti:

- Struttura geolitologica del corpo diga nelle condizioni di progetto;
- Caratterizzazione sismica locale del sito di interesse
- Struttura idrogeologica del corpo diga nelle condizioni di progetto.

Per quanto riguarda la struttura geolitologica del corpo diga nelle condizioni di progetto, è stato preso a riferimento la sez.n.5 (vedi tavola EG.03). Su tale sezione è stato riportato l'assetto geolitologico attuale (basato sui sondaggi geognostici intercettati dalla sezione di riferimento e sulla risultante delle prospezioni geoelettriche poste nelle vicinanze). In aggiunta è stato riportato l'orizzonte superficiale di ringrosso caratterizzato da terreni prevalentemente limoso-argillosi derivanti dalla movimentazione terra di progetto della sponda Est dell'invaso antropico (Fig. 17).

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica locale sono stati presi a riferimento i risultati dello studio di risposta sismica locale eseguito a supporto del presente progetto definitivo e a cui si rimanda per i dettagli.

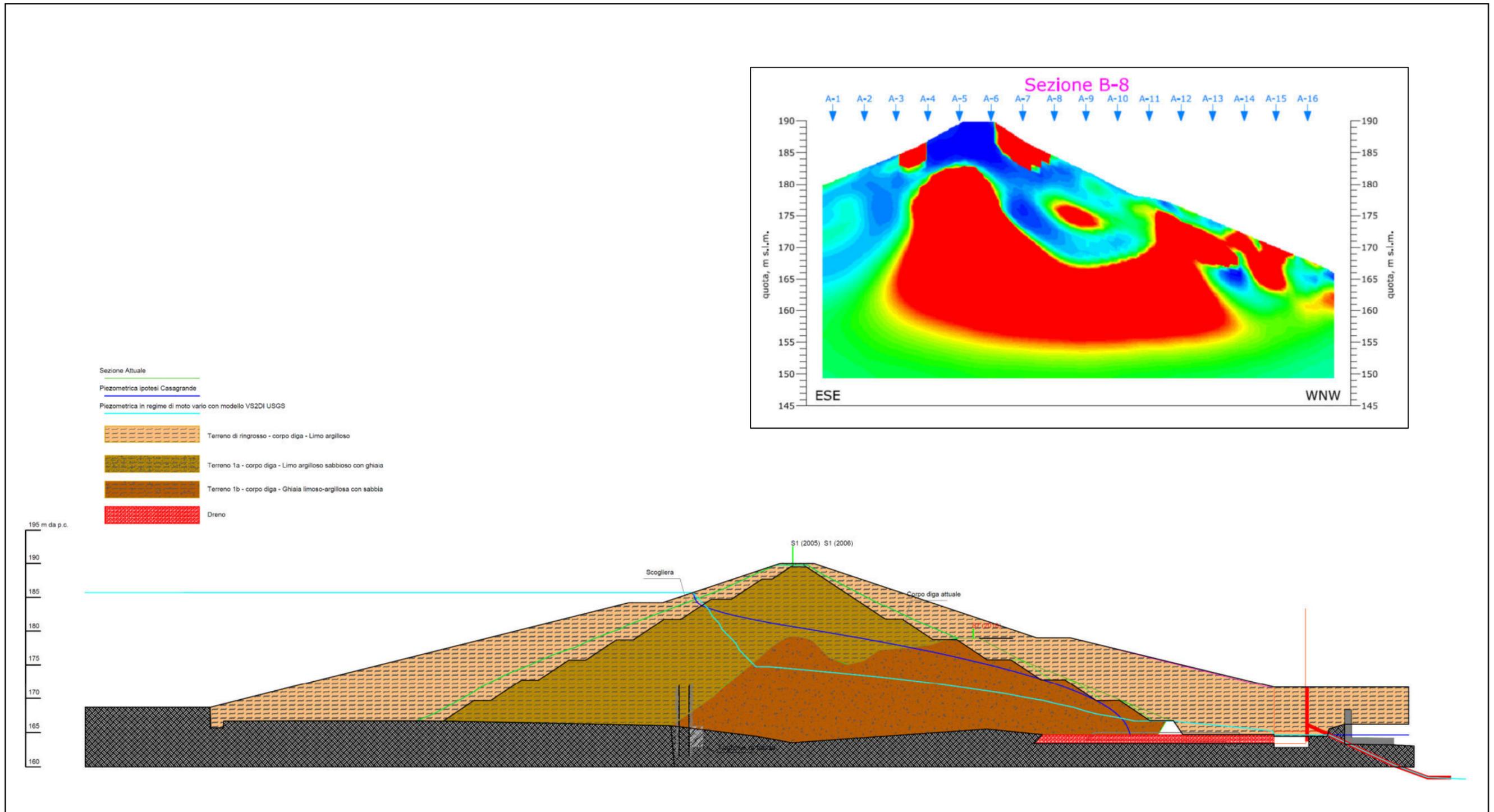


Fig. 17 – Ricostruzione della struttura del corpo diga allo stato di progetto (sez.n.5 – vedi Tav. EG.03) in base ai risultati dei sondaggi geognostici eseguiti dal 2005 al 2016 e sulla base delle prospezioni geoelettriche eseguite nel 2006 (riquadro in alto a destra)

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, come è possibile osservare dalla Fig. 17 il corpo diga di progetto conserverà al proprio interno il nucleo di materiale prevalentemente granulare ampliando il profilo attuale con un ringrosso, sia lato monte che lato valle, costituito da terreni prevalentemente coesivi derivante dalla movimentazione terra della sponda Est dell'invaso antropico.

Al fine di verificare la condizione più cautelativa possibile, è stato preso a riferimento, per la presente verifica, il livello piezometrico più alto stimato sulla base dei filtraggi di Casagrande posti nel sondaggio di riferimento sito sul coronamento del corpo diga (punto di massimo volume della componente granulare nel corpo diga e di massima altezza piezometrica).

Qui di seguito si riporta la tabella riassuntiva di tutte le misure piezometriche eseguite sui sondaggi posti sul corpo diga:

| Punto d'indagine | Quota piezometrica rispetto al p.c. attuale di riferimento <i>(a sinistra livello misurato all'interno del corpo diga – a destra livello misurato nel substrato)</i> | Quota piezometrica assoluta (m s.l.m.) <i>(a sinistra livello misurato all'interno del corpo diga – a destra livello misurato nel substrato)</i> |
|--|--|--|
| S1 _(luglio 2005) (sommità diga) | -16,10 / -25,80 | 172,90 / 163,20 |
| S2 _(luglio 2005) (gradone lato valle) | -15,10 / - | 162,90 / - |
| S1 _(ottobre 2006) (sommità diga) | -23,40 / - | 165,60 / - |
| S2 (ottobre 2006) (sommità diga) | -18,60 / -23,30 | 170,40 / 165,70 |

Tab. 16– Risultati delle misure piezometriche eseguite nei sondaggi ubicati sul corpo diga

Per la verifica sono stati presi a riferimento sia i risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi del corpo diga (Tab. 17) sia l'andamento delle VS in profondità derivanti dalle prove geofisiche eseguite anch'esse sul corpo diga (Tab. 18).

| | SPT | Profondità m da p.c. |
|-----------|-------|-------------------------|
| S1(2005) | 12,00 | -3 |
| | 28 | -16,5 |
| | 34 | -18 |
| | 60 | -20,8 |
| S2(2005) | 4 | -3 |
| | 9 | -6 |
| | 21 | -12 |
| S1 (2006) | 7 | -3,5 |
| | 15 | -6,5 |
| | 28 | -10,2 |
| | 12 | -12 |
| | 19 | -15,3 |
| | 28 | -18 |
| S3 (2016) | 26 | -21 |
| | 13 | -9,5 |
| | 24 | -13 |
| | 19 | -15,9 |
| | 36 | -19,3 |
| S4 (2016) | 36 | -22,5 |
| | 17 | -9,5 |
| | 25 | -12,7 |
| | 54 | -17,5 |
| S5 (2016) | 16 | -19,5 |
| | 6 | -9,5 |
| | 21 | -12,5 |
| | 15 | -16 |
| | rif | -19 |

Tab. 17– Risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi terebrati nel corpo diga dal 2005 al 2016. In giallo la porzione di corpo diga associabile all’orizzonte 1a. In arancione la porzione di corpo diga associabile all’orizzonte 1b

| Z | Vp | Vs | | | G | E | K |
|----|--------|--------|------------------|------|------|-------|-------|
| m | m/sec. | m/sec. | t/m ³ | - | MPa | MPa | MPa |
| 1 | 308 | 160 | 2.0 | 0.31 | 51 | 135 | 121 |
| 2 | 347 | 184 | 2.0 | 0.31 | 67 | 176 | 151 |
| 3 | 466 | 225 | 2.0 | 0.35 | 102 | 274 | 300 |
| 4 | 528 | 214 | 2.0 | 0.40 | 92 | 257 | 436 |
| 5 | 424 | 234 | 2.0 | 0.28 | 109 | 280 | 214 |
| 6 | 570 | 241 | 2.0 | 0.39 | 116 | 324 | 495 |
| 7 | 534 | 231 | 2.0 | 0.38 | 107 | 295 | 428 |
| 8 | 654 | 224 | 2.0 | 0.43 | 101 | 289 | 720 |
| 9 | 580 | 239 | 2.0 | 0.40 | 114 | 320 | 520 |
| 10 | 745 | 259 | 2.0 | 0.43 | 134 | 384 | 932 |
| 11 | 1011 | 344 | 2.0 | 0.43 | 237 | 680 | 1730 |
| 12 | 1008 | 385 | 2.0 | 0.41 | 296 | 838 | 1637 |
| 13 | 958 | 359 | 2.0 | 0.42 | 258 | 731 | 1492 |
| 14 | 1065 | 328 | 2.0 | 0.45 | 215 | 622 | 1984 |
| 15 | 914 | 414 | 2.0 | 0.37 | 343 | 939 | 1215 |
| 16 | 944 | 453 | 2.0 | 0.35 | 410 | 1108 | 1236 |
| 17 | 1150 | 445 | 2.0 | 0.41 | 396 | 1118 | 2117 |
| 18 | 1390 | 394 | 2.0 | 0.46 | 311 | 905 | 3448 |
| 19 | 1553 | 492 | 2.0 | 0.44 | 484 | 1398 | 4177 |
| 20 | 1376 | 527 | 2.0 | 0.41 | 555 | 1571 | 3047 |
| 21 | 1313 | 648 | 2.0 | 0.34 | 841 | 2251 | 2327 |
| 22 | 1884 | 1010 | 2.1 | 0.30 | 2144 | 5565 | 4594 |
| 23 | 1897 | 1060 | 2.1 | 0.27 | 2359 | 6007 | 4410 |
| 24 | 2974 | 1648 | 2.3 | 0.28 | 6250 | 15979 | 12015 |

| | |
|----|--------------------------------|
| Z | Profondità |
| Vp | Velocità onde di compressione |
| Vs | Velocità onde di taglio |
| | Densità |
| | Modulo di Poisson |
| G | Modulo taglio |
| E | Modulo di Young |
| K | Modulo di rigidità volumetrica |

Tab. 18– Risultati della prova DownHole eseguita nel sondaggio S1 (2006). In giallo la porzione di corpo diga associabile all’orizzonte 1a. In arancione la porzione di corpo diga associabile all’orizzonte 1b

Per la verifica della liquefacibilità del corpo diga nelle condizioni di progetto sono stati utilizzati i seguenti metodi:

- **Metodi basati su prove SPT**
 - Youd & Idriss (2001)
 - Iwasaki et al. (1978;1984)
 - Tokimatsu & Yoshimi (1983)
 - Seed & Idriss (1982)
 - Seed et al. (1985)
 - Rauch (1998)
 - Eurocodice 8

- **Metodi basati sull’andamento delle Vs**
 - Andrus & Stokoe (1997)

La scelta di utilizzare più metodi (controllo incrociato) va nella direzione della massima cautela al fine di verificare secondo più metodi possibile la possibilità che possa instaurarsi un fenomeno di liquefazione del corpo diga in condizioni dinamiche.

Qui di seguito si riportano i dati di base utilizzati per le verifiche suddette. Nella Fig. 19 vengono riportati i risultati delle verifiche eseguite.

DATI INSERITI

| | | | |
|-------------------|--------------------|---------|---------|
| $H_{falda} = 9,3$ | $a_{max/g} = 0,26$ | $R = 5$ | $M = 5$ |
|-------------------|--------------------|---------|---------|

STRATIGRAFIA TERRENO

| | | | |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | $S_{TOT} = 23,00$ | |
| PRIMO STRATO | $H_1 = 7$ | SECONDO STRATO | |
| Parametri da inserire | Parametri calcolati | Parametri da inserire | Parametri calcolati |
| $H_1 = 7$ | $\gamma_{H2O} = 1,000$ | $H_2 = 21$ | $\gamma_{H2O} = 1,000$ |
| $\gamma = 2,019$ | $\sigma_{vo} = 1,413$ | $\gamma = 2,032$ | $\sigma_{vo} = 4,267$ |
| $N_{SPT} = 9$ | $\sigma_{vd} = 1,413$ | $N_{SPT} = 23$ | $\sigma_{vd} = 3,097$ |
| $d_{50} = 0,04$ | $P_{neutra} = 0,000$ | $d_{50} = 0,4$ | $P_{neutra} = 1,170$ |
| $S_1 = 11$ | $r_d = 0,946$ | $S_2 = 12$ | $r_d = 0,618$ |
| $FC = 35$ | $N_1 = 7,500$ | $FC = 35$ | $N_1 = 7,500$ |
| | $N_c = 7,5$ | | $N_c = 0$ |

N.B.: Inserire i valori corrispondenti nelle celle colorate in giallo chiaro.

DATI INSERITI

| | | | |
|-------------------|--------------------|---------|---------|
| $H_{falda} = 9,3$ | $a_{max/g} = 0,26$ | $R = 5$ | $M = 5$ |
|-------------------|--------------------|---------|---------|

STRATIGRAFIA TERRENO

| | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | $S_{TOT} = 23,00$ | |
| PRIMO STRATO | $H_1 = 11$ | SECONDO STRATO | $H_2 = 12$ |
| Parametri | Parametri calcolati | Parametri | Parametri calcolati |
| $H_1 = 11$ | $\gamma_{H2O} = 1,00$ | $H_2 = 12$ | $\gamma_{H2O} = 1,00$ |
| $\gamma = 2,019$ | $\sigma_{vo} = 2,22$ | $\gamma = 2,032$ | $\sigma_{vo} = 2,44$ |
| $V_S = 221$ | $\sigma_{vd} = 2,05$ | $V_S = 414$ | $\sigma_{vd} = 2,17$ |
| $V_{S1C} = 210$ | $P_{neutra} = 0,17$ | $V_{S1C} = 210$ | $P_{neutra} = 0,27$ |
| $S_1 = 11$ | $r_d = 0,88$ | $S_2 = 12$ | $r_d = 0,88$ |
| $FC = 35$ | | $FC = 23$ | |
| $V_{S1} = 184,67$ | | $V_{S1} = 341,17$ | |

Fig. 18 – Dati di base per le verifiche di liquefacibilità del corpo diga. H_{falda} : profondità del livello piezometrico di riferimento (m da p.c.). $a_{max/g}$: accelerazione massimo sito specifica. M : magnitudo massima sito specifica. R : distanza minima dove si registra la magnitudo massima sito specifica (km). H_1 : profondità della prova SPT nell'orizzonte 1a (m da p.c.). H_2 : profondità della prova SPT nell'orizzonte 1b (m da p.c.). γ : Peso specifico dei terreni di riferimento (g/cm³). N_{SPT} : numero di colpi medio registrati negli orizzonti di riferimento. d_{50} : diametro del 50% del passante riferita alla curva granulometrica di riferimento (valore minimo inseribile 0,04 mm). FC : frazione fine contenuta nel deposito sabbioso (valore massimo inseribile 35%). V_S : Velocità media delle onde S registrati negli orizzonti di riferimento (m/sec)

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI YESIAN E WHITMAN (1978)

CALCOLO ESEGUIBILE

FORMULE:

$$Sc_{terremoto} = \left(\frac{0,5 \cdot M}{R+1} \right) \cdot \frac{H}{\sigma'_{v0}}$$

$$Sc_{terreno} = \dots$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|-----------|-----------|
| 11 | 1,145 | 1,092 |
| | 1,200 | 1,200 |

DISTANZA EPICENTRALE DEL SISMA (MIGLIA) R = 3,107

1,0 > ILP = R = 3,107 M = 5

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|-------------------|-------------------|
| | 0,954 | 0,910 |
| | Non Liquefacibile | Non Liquefacibile |

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI IWASAKI ET AL. (1978-1984)

FORMULE:

$$CRR = 0,0882 \cdot N_{SPT}^1 \cdot \sqrt{\sigma'_{v0} + 0,7} + \log_{10} \left(\frac{0,35}{d_{50}} \right)$$

$$CRR = 0,0882 \cdot N_{SPT}^1 \cdot \sqrt{\sigma'_{v0} + 0,7} - 0,5$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|----------------------------|---|
| 11 | 2,445 | 2,903 |
| | 1,003 | 2,461 |
| | 0,042 | 0,038 |
| | 0,95 | 0,62 |
| 1,0 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s 58,256 Verificato |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) 58,256 Verificato |

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978) Molto Basso

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI YOUD E IDRISS (2001)

FORMULE:

$$Na = N_{SPT} \cdot \left(\frac{1,7}{\sigma'_{v0} + 0,7} \right) + N_f$$

$$CRR = \frac{Na}{90}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|----------------------------|---|
| 11 | #VALORE! | 5,851 |
| | #VALORE! | 0,065 |
| | 0,042 | 0,038 |
| | 0,95 | 0,62 |
| 1,3 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s #VALORE! 1,723 Verificato |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) #VALORE! 1,723 Verificato |

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI RAUGH (1998)

FORMULE:

$$CRR = \frac{1}{34 - (N_{160}) + 135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_{160}) + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|----------------------------|--|
| 11 | 0,129 | 0,183 |
| | 0,042 | 0,038 |
| | 0,95 | 0,62 |
| 1 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s 3,064 Verificato |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) 3,064 Verificato |

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI TOKIMATSU E YOSHIMI (1983)

FORMULE:

$$Na = N_{SPT} \cdot \left(\frac{1,7}{\sigma'_{v0} + 0,7} \right) + N_f$$

$$CRR = a \cdot C \cdot \left[\frac{16 \cdot \sqrt{Na}}{100} + \frac{16 \cdot \sqrt{Na}}{C_n} \right]$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|-----------------------------|----------------------------|--|
| 11 | 16,928 | 15,214 |
| | 0,330 | 0,236 |
| | 0,042 | 0,038 |
| | 0,95 | 0,62 |
| Sabbie sciolte | 1,3 | < F _s = CRR/CSR |
| Sabbie mediamente addensate | 1,5 | < F _s = CRR/CSR |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) 7,862 Verificato |

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE SISMICHE)
METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)

FORMULE:

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,25}$$

$$CRR = 0,03 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{s1C} - V_{s1})} - \frac{0,9}{V_{s1C}}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|----------------------------|--|
| 11 | 184,674 | 341,166 |
| | 0,134 | 0,338 |
| | 0,042 | 0,043 |
| | 0,88 | 0,86 |
| 1 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s 3,152 Verificato |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) 3,152 Verificato |

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978) Molto Basso

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI SEED ET AL. (1985)

FORMULE:

$$CRR = \frac{a + c \cdot N + e \cdot N^2 + g \cdot N^3}{1 + b \cdot N + d \cdot N^2 + f \cdot N^3 + h \cdot N^4}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|----------------------------|--|
| 11 | 0,127 | 0,186 |
| | 0,042 | 0,038 |
| | 0,95 | 0,62 |
| 1 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s 3,024 Verificato |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) 3,024 Verificato |

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978) Molto Basso

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
 (DA PROVE DINAMICHE SPT)
METODO DI SEED E IDRISS (1982)

FORMULE:

$$Na = N_{SPT} \cdot \left(\frac{1,7}{\sigma'_{v0} + 0,7} \right) + N_f$$

$$CRR = \frac{Na}{90}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vm}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vm}}{\sigma'_{vm}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

| Spessore | 1° STRATO | 2° STRATO |
|----------|----------------------------|---|
| 11 | #VALORE! | 5,851 |
| | #VALORE! | 0,065 |
| | 0,042 | 0,038 |
| | 0,95 | 0,62 |
| 1,3 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s #VALORE! 1,723 Verificato |
| 1,25 | < F _s = CRR/CSR | M = 5 F _s (O.P.C.M.) #VALORE! 1,723 Verificato |

Fig. 19 – Risultati delle verifiche di liquefabilità

9.3 REGIONE TOSCANA – RICHIESTA DI INTEGRAZIONI DEL 29/09/2017

La Regione Toscana (Settore VIA, VAS e Opere Pubbliche di Interesse Strategico Regionale) nella comunicazione del 29/09/2017 chiede, per la parte geologica, quanto segue:

- *2. Aspetti progettuali – Geologia: visto il tipo di progetto ed il suo inserimento nell’assetto geologico e geomorfologico locale, risulta necessario che il Gestore definisca la modalità di gestione di tutti i lavori previsti in destra idraulica per evitare possibili attivazioni dell’area in frana (P.F.3) subito a monte del corpo diga*

- *3a Suolo e sottosuolo - Gestione sedimenti e materiali di scavo: oltre ad integrare quanto presentato fornendo le informazioni di cui ai ... punti 1 e 2 e specifiche osservazioni relative al punto 3 si ritiene necessario che il Gestore integri il programma di indagine di caratterizzazione dei sedimenti al fine di valutare la variabilità della concentrazione dei contaminanti su un congruo numero di verticali di campionamento, ... ed integrare il set di parametri estendendo le determinazioni analitiche anche ai fitofarmaci:*
 1. *Non è fornita una planimetria indicante la posizione dei punti di campionamento, né sono riportate le coordinate geografiche che ne consentono la georeferenziazione...;*
 2. *Non è fornita una valutazione degli spessori dei sedimenti presenti nell’invaso;*
 3. *Per la caratterizzazione degli stessi (depositi di fondo invasato) è necessario procedere anche a campionamenti profondi, che consentano di indagare eventuali disomogeneità di composizione in senso verticale...*

Deve inoltre essere specificato se siano previste eventuali aree di deposito intermedio dei materiali di scavo, qualora se ne prevedano ulteriori oltre a quella già individuata nell’area del cantiere principale.

Per quanto riguarda il primo punto (punto 2), si dichiara quanto segue. Il corpo di frana quiescente, rilevato anche durante i sopralluoghi geomorfologici a supporto del presente progetto definitivo (eseguiti nel 2018) e classificato nel Piano stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) come a pericolosità geomorfologica elevata (P.F.3), è stato oggetto di verifica di stabilità, sia nelle condizioni attuali che di progetto (sez.n.4 - Fig. 12 e 6.6). In entrambe le condizioni (stato attuale e stato di progetto) non è stato superato il fattore di sicurezza previsto dalla normativa vigente (**Stato attuale FS minimo 1,1764, Stato di progetto FS minimo 1,2926**). In virtù della condizione attuale che vede un fattore di sicurezza minimo prossimo al fattore di sicurezza limite previsto dalla normativa vigente (FS = 1,1), il Gestore ha concordato di realizzare, per il presente progetto, interventi di ingegneria Ambientale sul corpo di frana (palificate e/o viminate in legname) al fine di migliorare lo stato di consolidazione dell’orizzonte superficiale alterato. È opportuno aggiungere anche, che il suddetto corpo di frana è posto a quote altimetriche e distanze molto elevate rispetto al contesto lavorativo di progetto e di conseguenza è possibile affermare che i lavori di progetto non avranno riflesso sulla stabilità del corpo di frana suddetto.

Tuttavia, considerato che l’opera di progetto ha interesse strategico e considerato che le verifiche di stabilità sono sempre accompagnate da limitazioni derivanti dal fatto di simulare una condizione reale che presenta variabili infinitesimamente maggiori rispetto a quelle prese a riferimento per le verifiche, come suddetto in accordo con il Gestore è stato stabilito di realizzare, in fase iniziale dei lavori, un’opera di ingegneria Ambientale, sul corpo di frana, caratterizzata da palificate e/o viminate in legname lungo il corpo di frana al fine di garantire la massima stabilità della porzione di versante interessata dalla criticità geomorfologica rilevata (vedi tavola GEO.6.7). In aggiunta alla messa in opera di interventi di ingegneria Ambientale il Gestore prevede di realizzare un opportuno sistema di regimazione delle acque di ruscellamento superficiale al fine

di evitare fenomeni di ruscellamento incontrollato sul corpo frana che possono influire negativamente sulla stabilità dello stesso.

Per quanto riguarda il secondo punto (punto 3a) il Gestore specifica quanto segue. In questa fase progettuale sono stati realizzati n.20 campionamenti dei sedimenti di fondo lago (fustelle di lunghezza 1 m). L'ubicazione dei campionamenti è visibile nella tavola EGG.13. Qui di seguito si riporano le coordinate geografiche dei punti di campionamento

| ID | X | Y |
|-------------------|-------------|-------------|
| S1 (Maggio 2018) | 1677200,414 | 4817510,125 |
| S2 (Maggio 2018) | 1677219,014 | 4817502,145 |
| S3 (Maggio 2018) | 1677238,054 | 4817492,274 |
| S4 (Maggio 2018) | 1677257,555 | 4817483,634 |
| S5 (Maggio 2018) | 1677279,395 | 4817474,164 |
| S6 (Maggio 2018) | 1677300,865 | 4817464,204 |
| S7 (Maggio 2018) | 1677187,843 | 4817494,065 |
| S8 (Maggio 2018) | 1677207,474 | 4817485,304 |
| S9 (Maggio 2018) | 1677225,794 | 4817477,034 |
| S10 (Maggio 2018) | 1677244,004 | 4817468,114 |
| S11 (Maggio 2018) | 1677270,335 | 4817455,154 |
| S12 (Maggio 2018) | 1677288,295 | 4817445,833 |
| S13 (Maggio 2018) | 1677195,603 | 4817469,794 |
| S14 (Maggio 2018) | 1677213,104 | 4817458,014 |
| S15 (Maggio 2018) | 1677233,494 | 4817449,664 |
| S16 (Maggio 2018) | 1677259,144 | 4817438,103 |
| S17 (Maggio 2018) | 1677280,085 | 4817428,613 |
| S18 (Maggio 2018) | 1677182,923 | 4817455,284 |
| S19 (Maggio 2018) | 1677200,963 | 4817443,134 |
| S20 (Maggio 2018) | 1677223,094 | 4817432,513 |

Tab. 19– Coordinate geografiche (GAUSS BOAGA) dei punti di campionamento dei sedimenti di fondo lago (Maggio 2018)

L'invaso ha uno spessore di sedimenti pari a circa 9 m.

Come specificato nel § 7.4 nella fase successiva di progettazione verrà eseguita nuovamente una campagna di campionamenti dei sedimenti al fine di confermare la loro idoneità (chimica) ai sensi del D.Lgs. 152/06, Parte Quarta, Titolo V, All. 5, Tab. 1 colonna A. Nella suddetta fase verranno eseguiti campionamenti anche a profondità maggiori al fine di evidenziare eventuali disomogeneità della composizione verticale dei sedimenti. I campioni saranno sottoposti, oltre ai set analitici già verificati, anche ai set analiti inerenti i fitofarmaci indicati nella richiesta di integrazioni.

I campioni dovranno essere conformi ai valori soglia stabiliti dalla normativa comunitaria (Decisione 2000/532/CE del 3 Maggio 2000 e s.m.i). In caso contrario verrà seguita la procedura di smaltimento dei fanghi come rifiuti ai sensi della normativa vigente in materia.

Al fine di garantire la corretta e sicura realizzazione delle opere si prevede, per il versante prospiciente allo sfioratore destro, interventi di messa in sicurezza qui di seguito schematizzati e riportati nella tavola GEO.15:

- Disgaggio degli elementi litoidi pericolanti o potenzialmente instabili per i loro aspetti geomeccanici nell'ambito dell'ammasso roccioso di appartenenza;
- Messa in opera di rete paramassi lungo la porzione di versante indicata nella tavola GEO.15;
- Consolidamento della parete rocciosa tramite chiodatura da effettuarsi nel caso in cui lo stato di stabilità dell'ammasso roccioso presenta criticità non risolvibili con la sola messa in opera della rete paramassi e a seguito delle operazioni di disgaggio suddette

Per quanto riguarda la rete paramassi essa interesserà solo la porzione di valle dello sfioratore destro. Questo in quanto lo sfioratore destro mostra, sul lato di monte, la presenza di un muro che costeggia tutto lo sfioratore tranne nella zona di valle che in virtù di ciò verrà messa in sicurezza tramite l'installazione della rete paramassi.