

File: 1246 Relazione\_2018-10-19.doc

GEMEINDE ABTEI  
COMUNE DI BADIA

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO  
AUTONOME PROVINZ BOZEN

## GEOLOGISCHES GUTACHTEN UND SEISMISCHE CHARAKTERISIERUNG DES PROJEKTGEBIETES

GEMÄSS DEN TECHNISCHEN VORSCHRIFTEN FÜR BAUWERKE, M.D. 17/01/2018

### ERRICHTUNG DES SPEICHER CODES

## RELAZIONE GEOLOGICA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELLA ZONA DI PROGETTO

AI SENSI DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 17/01/2018

### COSTRUZIONE DEL BACINO DI RACCOLTA CODES

#### ALLEGATI / BEILAGEN:

1. GEOLOGISCHE KARTE M 1 : 2.500  
1. CARATA GEOLOGICA S 1 : 2.500
2. GEOLOGISCHE SCHNITTE M 1 : 1.000  
2. SEZIONI GEOLOGICHE S 1 : 1.000
3. BOHRPROFILE UND GEOLOGISCHE SCHNITTE M 1 : 200 – 1 : 500  
3. STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI E SEZIONI GEOLOGICHE S 1 : 200 – 1 : 500
4. HANGSTABILITÄTSBERECHNUNG  
4. VERIFICA DI STABILITA' DEL PENDIO
5. ERGEBNISSE DER LABORVERSUCHE UND DER BOHRLOCHVERSUCHE  
5. RISULTATI DELLE PROVE IN LABORATORIO ED IN SITO
6. FOTODOKUMENTATION  
6. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DATUM / DATA : 20.03.2018

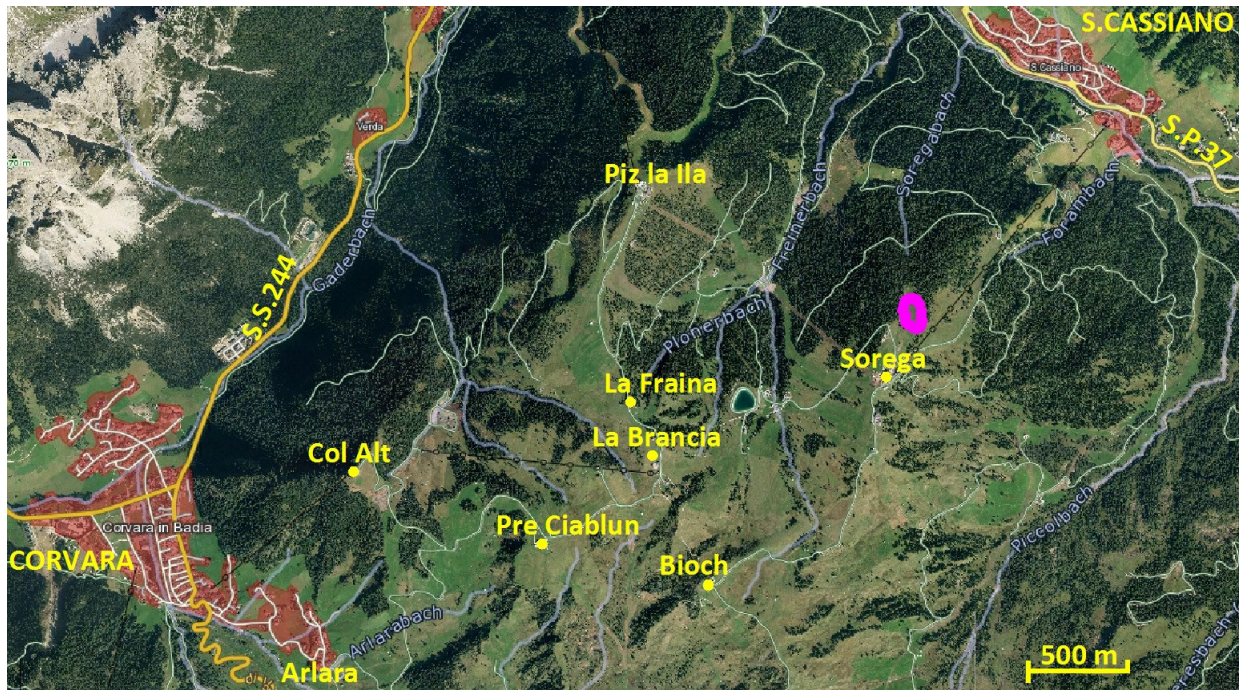
Aggiornamento e revisione 19.10.2018

## 1. PREMESSE

La presente relazione è stata redatta su incarico di Consorzio Ski Carosello, in riferimento al progetto Bacino idrico Codes nel territorio comunale di Badia.

Legislazione di riferimento del presente elaborato sono le Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17/01/2018 e normativa collegata ed il Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24/03/1982.

La zona di progetto si trova sui rilievi compresi tra l'alta Val Badia e la Valle di S.Cassiano, poche centinaia di metri a nord ed a valle della stazione di monte della scivola Sorega e ricade nella parte alta dei bacini idrografici dei Rii Soregabach e Forambach che scorrono verso S.Cassiano (v.Immagine1).



**Immagine 1.** Ortofoto dai servizi web-gis della Provincia Autonoma di Bolzano. Evidenziata in magenta l'area di progetto.

Il bacino in progetto sarà realizzato su un'area attualmente occupata da una pista da sci. Per la realizzazione dell'ampliamento gli scavi raggiungeranno una profondità massima di circa 13 m dal piano di campagna attuale, verrà costruito un rilevato di contenimento sul lato nord ed in parte sul lato est. A valle del rilevato di contenimento ed in continuità con esso verso sud è previsto un deposito dei materiali di scavo.

Nel presente studio per conoscere gli aspetti geologici e geomorfologiche dell'area di progetto sono stati eseguiti rilievi in campagna, ricerche bibliografiche e nelle banche dati provinciali e nazionali.

Per conoscere le proprietà, litologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, geotecniche, dei terreni presenti nel sito di progetto è stata svolta una campagna di indagini in sito ed in laboratorio.

È stata valutata la stabilità globale del versante nella situazione attuale. Sono state proposte le misure di monitoraggio da mettere in atto per verificare la stabilità del complesso formato dal pendio e dalle opere in progetto.

## 2. INFORMAZIONI DI BASE

Per il presente studio sono state consultate ed utilizzate le seguenti basi cartografiche, pubblicazioni e banche dati.

- Carta tecnica della Provincia s. 1:5000 nuovi fogli: 08192, 08193, 07194, 07191.
- Ortofoto e modelli di elevazione digitale (DTM\_utm 2,5x2,5 m) della Provincia Autonoma di Bolzano – Ripartizione informatica – Cartografia Provinciale.
- Topografia originale di progetto fornita da PPS Group.
- Modello di elevazione digitale del terreno (raster 1x1) fornito dal committente in seguito a rilievi fotogrammetrici da elicottero per la mappatura delle piste da sci.
- Carta geologica d'Italia 1:50.000, foglio 028 – La Marmolada e relative note illustrative.
- Carta Geologica Dolomiti occidentali – tavola est (Provincia Autonoma di Bolzano, 2007).
- Carta Geomorfologica dell'Alta Val Badia e relative note illustrative (M.Panizza e altri, 2009).
- Servizi Web-Gis della Provincia Autonoma di Bolzano.
- Raccolta dati del Catasto dei pericoli naturali IFFI.

## 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO TETTONICO E GEOMORFOLOGICO

Nel tardo Permiano e nel Triassico inferiore, l'intera regione dolomitica fu soggetta ad una fase orogenetica che si manifestò attraverso movimenti tettonici di tipo verticale, che suddivisero l'area in una serie di bacini, a diversa subsidenza e con asse in direzione nord-

sud, separati da faglie trascorrenti. Ulteriori spinte tettoniche triassiche, a prevalente componente orizzontale provocarono un vasto sistema di sovrascorrimenti. Durante il Triassico si ebbe anche la fase di attività vulcanica, a cui si deve la formazione dei sedimenti vulcanici e vulcanoclastici. Nel Giurassico prevalse una situazione tettonica distensiva, continuava la subsidenza differenziale tra il bacino Carnico-Bellunese e la piattaforma Atesina il cui limite seguiva circa l'attuale Val Badia. Il sollevamento e la messa in posto dell'attuale regione dolomitica è da ricollegare all'Orogenesi Alpina, soprattutto nelle fasi Mesoalpina (Eocene-Oligocene inferiore) e Neoalpina (Miocene-Attuale). La fase Neoalpina può essere considerata tuttora attiva (Carton et al., 1980). Gli studi di neotettonica hanno infatti permesso di evidenziare, sulla base di indizi morfologici, l'esistenza di lineamenti tettonici attivi nel periodo Pliocene-attuale e di sollevamenti isostatici di tipo differenziale massimi in corrispondenza dei periodi interglaciali pleistocenici e al ritiro dei ghiacciai wurmiani.

La zona di progetto si trova sui rilievi compresi tra l'alta Val Badia e la Valle di S.Cassiano.

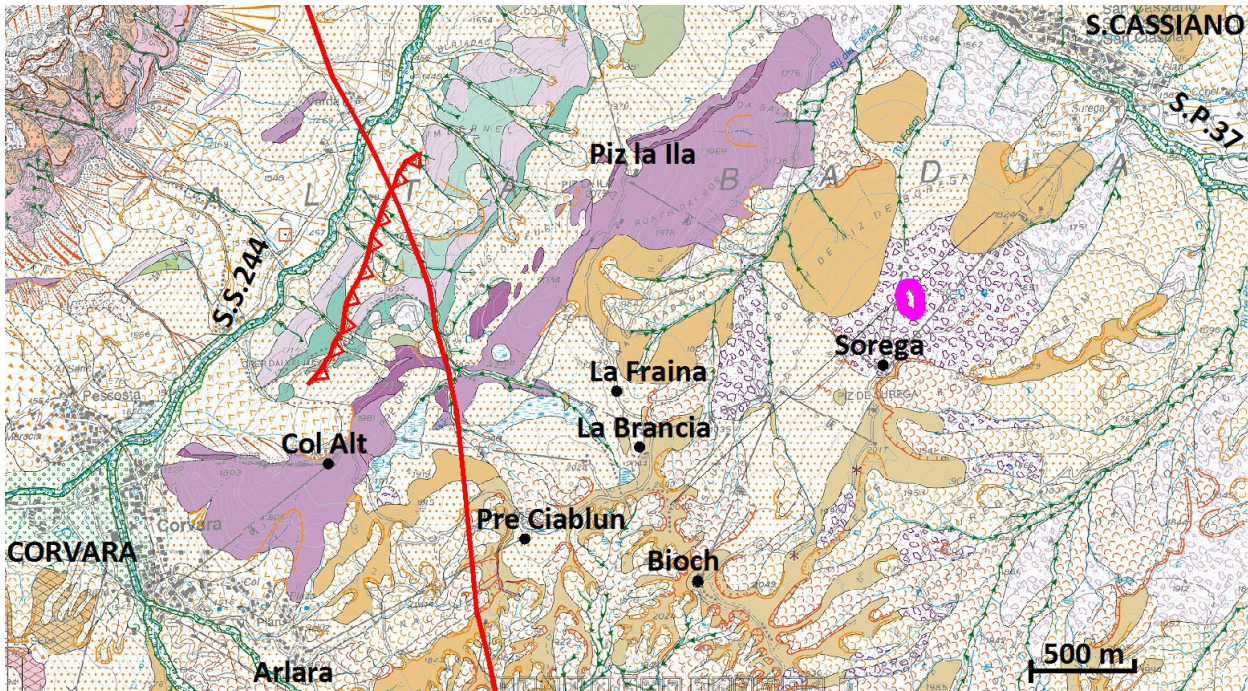
In quest'area, lungo il versante Col Alto –Pralongià, la direzione di immersione degli strati è generalmente verso SE (compresa tra N 110 e N 130). Il versante rappresenta difatti il fianco meridionale dell'anticlinale di Col Alto – Piz La Villa, una struttura compressiva a prevalente vergenza dinarica ribaltata e collassata sul versante settentrionale del Col Alto – Piz la Villa (riferibile alla fase terziaria Mesoalpina o Neoalpina precoce).

Le faglie identificate dalla cartografia geologica nell'area di interesse intersecano la superficie oltre 2 km ad ovest della zona di progetto (v. Immagine 2).

Sul versante in destra orografica del Rio Gadera, a sud di Corvara, un sovrascorrimento vergente verso NO porta la Formazione di Contrin a sovrascorrere sulla Formazione di Buchenstein con il conseguente raddoppio nella serie stratigrafica di queste due formazioni. Questo lineamento è riportato come faglia presunta nella Carta Geomorfologica dell'Alta Val Badia (M.Panizza e altri – 2009) e sulla Carta Geologica delle Dolomiti Occidentali della Provincia Autonoma di Bolzano (Brandner e altri - 2007).

Una seconda faglia, (riportata esclusivamente nella Carta Geomorfologica dell'Alta Val Badia -2009), è stata descritta come faglia trascorrente destra con andamento NNW-SSE. Nel versante Col Alto - Pralongià tale faglia corrisponde praticamente con l'allineamento Rio Fraina, scarpata subverticale di Braida Fraida (Pre Ciablun), Passo Incisa. Sulla base dell'allineamento di elementi geomorfologici, (dislocazioni delle creste montuose, deviazioni

dei corsi d'acqua superficiali, posizione delle frane) è stato ipotizzato una riattivazione di questa struttura nel periodo Pliocene – Quaternario. L'attività recente di questa faglia sarebbe tra le cause dei fenomeni franosi tra Col Alto e Pralongià (Corsini & Panizza 2003). Non esiste alcuna evidenza o ipotesi che questa faglia costituisca una struttura sismogenetica. (si veda anche cap.7)



**Immagine 2.** Estratto della Carta Geomorfológica dell'Alta Val Badia, 2009 – modificato. Evidenziati in rosso il sovrascorrimento e la faglia neotettonica descritte nel testo, in magenta l'area di progetto.

Dal punto di vista stratigrafico e litologico i rilievi compresi tra l'alta Val Badia e la Valle di S.Cassiano sono costituiti da formazioni rocciose della successione sedimentaria permio-giurassica e da vulcaniti e vulcanoclastiti triassiche.

In particolare nell'area di interesse per questo studio il substrato roccioso è formato dalle formazioni di Wengen (Ladinico sup. - Carnico inf.) e di S.Cassiano (Ladinico sup. - Carnico inf.).

La Formazione di Wengen ha potenze comprese tra 0 e 250 m, è costituita da un'alternanza di arenarie poligeniche di colore bruno scuro, spesso a frazione vulcanoclastica prevalente, e di strati argilloso-marnosi nerastri. Nella parte bassa della Formazione, questi ultimi risultano fortemente ridotti, possono presentarsi mal stratificati e risultano difficilmente distinguibili dai litotipi del Gruppo del Fernazza. Verso l'alto le torbiditi terrigene diventano più fini, intercalandosi, a volte, con calcareniti più o meno marnose. Tali

livelli ibridi, presenti a Braia Fralda (Pre Ciablun) e Punta Trieste (tra Col Alto e Pralongià), mostrano cambiamenti laterali di facies e contatti sfumati che ne complicano l'inquadramento stratigrafico.

La Formazione di Wengen nel complesso risulta praticamente impermeabile. Anche eventuali sistemi di giunti interconnessi tendono ad essere intasati rapidamente da riempimenti di terreni fini derivanti dall'alterazione dei litotipi della formazione stessa.

La formazione di S.Cassiano ha potenze comprese tra 0 e 200 m, è costituita da marne e marne calcaree stratificate intercalate a livelli di calcareniti. In alcuni casi, verso l'alto, possono rinvenirsi calcari neritici scarsamente dolomitizzati. Può verificarsi localmente la presenza grossi blocchi calcarei organogeni (Calcari del Cipit).

Nella Formazione di S.Cassiano, soprattutto nei livelli calcarenitici e calcarei, si può verificare una certa permeabilità per fessurazione.

Nell'area di progetto e sui rilievi circostanti la copertura quaternaria è costituita principalmente da depositi glaciali e da estesi corpi di frana.

I depositi glaciali sono costituiti da ghiaie e ciottoli poligenici- tra cui filladi - immersi in matrice di sabbie limo-argillose ed occasionali blocchi.

Prevalentemente ad est dell'area di interesse di questo studio è nota la presenza di depositi di blocchi di dolomite con diametri superiori a un metro, meno arrotondati, e con matrice meno fine di quella dei depositi dell'ultimo massimo glaciale.

Un campione di carbone prelevato da uno scavo fatto vicino a Piz de Surega, ad un'altezza di 1937 m è stato datato 16.610 cal BP (Panizza et altri 2011). Questo dimostrerebbe come almeno il settore centrale dell'Alta Badia fosse già libero dai ghiacci durante l'ultimo massimo glaciale.

Nei corpi di frana i precedenti depositi glaciali rimaneggiati possono risultare mescolati con prodotti eluviali e colluviali derivanti dal disfacimento del materiale costituente il substrato roccioso (Formazioni di Wengen, S.Cassiano, Gruppo del Fernazza).

I rilievi compresi tra l'alta Val Badia e la Valle di S.Cassiano presentano forme arrotondate dovute all'erosività dei litotipi costituenti. I principali processi che hanno concorso a creare l'attuale conformazione del paesaggio sono l'azione dei ghiacciai, i processi di ambiente periglaciale, l'azione delle acque superficiali con la formazione di vallecole e scarpate erosive, i processi gravitativi di versante, l'intervento dell'uomo che ha modificato la morfologia per i propri usi.

Tra i processi di versante particolare importanza hanno avuto dalla fine dell'ultima glaciazione ad oggi estesi fenomeni franosi indicati con il nome di "colate lente di terra". Si tratta di scivolamenti dei terreni sciolti superficiali originati dalla disgregazione dei litotipi pelitici delle Formazioni di S.Cassiano e di Wengen, caratterizzati da movimenti su superfici di scorrimento multiple poste a profondità diverse e da deformazioni plastiche dell'intero corpo di frana. Le colate di terra più estese in superficie, presenti nella valle principale a sud est del centro abitato di Corvara, possono raggiungere profondità anche superiori a 50m.

In alcuni casi le colate lente di terra possono evolvere dando origine a colate rapide di detrito (si veda cap.successivo, frana di Piz Surega).

I versanti costituiti da rocce tenere ed impermeabili (p. es. argille, marne, siltiti), ed il loro manto d'alterazione superficiale e/o le coltri di detrito sature d'acqua che li ricoprono, sono localmente interessate da movimenti di soliflusso. Anche in questo caso si tratta di movimenti lenti riconoscibili per la formazione di lobi, ondulazioni del terreno, forme incurvate della vegetazione, danni ai manufatti ed alle infrastrutture.

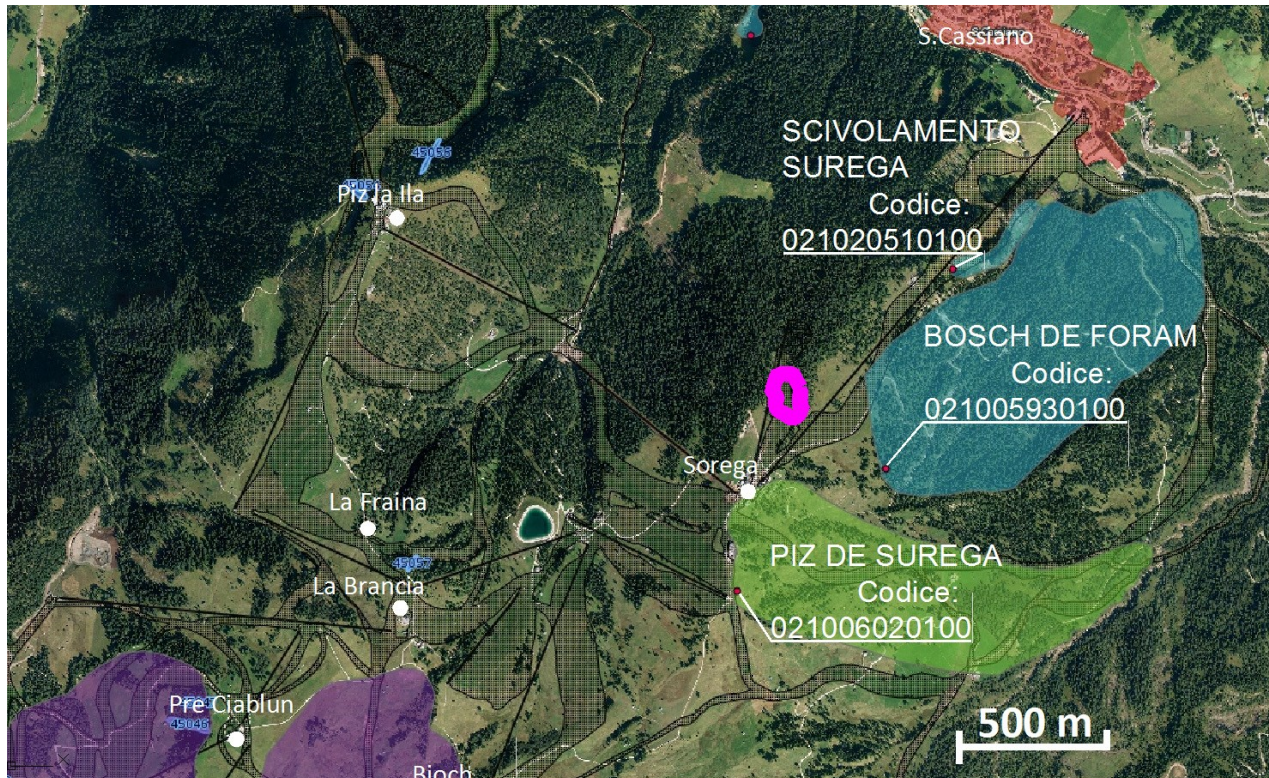
Dall'altopiano tra Pralongià e Piz la Ila verso la valle di S. Cassiano il reticolo idrografico si presenta formato da collettori sub-paralleli e scarsamente gerarchizzati (Freinerbach, Soregabach, Forambach, Piccolbach, Stoeresbach). Questo tipo di reticolo idrografico indica un controllo strutturale di fratture subparallele su superfici acclivi caratterizzate da terreni a bassa permeabilità. Sul versante ovest, verso l'Alta Val Badia, il reticolo idrografico si presenta sub-dendritico.

#### 4. PERICOLI NATURALI NOTI

In relazione ai fenomeni franosi noti (v. Immagine 3) nell'area circostante il sito di progetto viene di seguito riportata una sintesi delle informazioni contenute nelle schede Iffi di riferimento fornite dai competenti uffici provinciali.

Nome della frana: PIZ DE SUREGA Codice: 021006020100

(date osservazioni: 09/10/1998; 01/05/2012) è definito come un fenomeno complesso composto da scivolamento rotazionale di roccia estremamente lento e colata rapida di detrito. La data dell'ultimo evento annotato nella scheda è 01/05/2012: cit. *"Colamento del materiale sciolto quaternario, Materiale coinvolto 10-5 m da p.c. ; i movimenti sono noti degli anni 90 in poi"*.



**Immagine 3.** Ortofoto dai servizi web-gis della Provincia Autonoma di Bolzano. Indicati con i colori verde ed azzurro i 3 fenomeni franosi più vicini all'area del bacino in progetto descritti nelle schede Iffi citate di seguito. In magenta l'area di progetto.

Nome della frana: BOSCH DE FORAM      Codice: 021005930100

Il fenomeno è definito come: cit. *“Grande frana di scivolamento rotazionale in roccia. La parte superiore è attiva, la parte basale inattiva”*. Cit. *“Frana di scivolamento ben individuabile nei suoi elementi morfologici. La frana nel complesso risulta inattiva dalle foto del 1985. Da notare però la presenza nel materiale spostato di diffusi dissesti superficiali con scivolamenti e soliflusso”*.

Nome della frana: SCIVOLAMENTO SUREGA      Codice: 021020510100

Il fenomeno è descritto come: cit. *“Il fenomeno comincia a 1790 m e scende fino a ca. 1560m. Ha una lunghezza di ca.500m e larghezza di meno di 70m. Si tratta di uno scivolamento rotazionale che interessa i sedimenti superficiali sciolti, ovvero till indifferenziato di sedimenti glaciali-periglaciali. I dati storici confermano l'attività della frana nel 2001. (LPM 45782) e anche durante i rilievi si è mostrata attiva” (15/03/2017). “Gli spessori coinvolti per il fenomeno sono compresi fra i 2 e i 10 m. In generale la velocità stimata è maggiore di 3 m/min, si è stimato un tempo di ritorno minore di 30 anni”*.



## 5. INDAGINI SVOLTE

Per il presente studio è stato effettuato un rilievo geologico e geomorfologico dell'area che comprende il sito di progetto.

Sono stati inoltre eseguiti 4 sondaggi a carotaggio continuo, dei quali 2 fino alla profondità di 25 m (BS1, BS2) ed uno fino alla profondità di 30 m (, BS3, BS4).

Nei fori di sondaggio sono stati installati dei piezometri.

Durante l'avanzamento sono state eseguite sette prove pressiometriche Menard (v. Allegato 3).

Dalle carote di sondaggio sono stati inoltre prelevati 8 campioni per prove di laboratorio:

- 7 analisi granulometriche complete,
- 2 determinazioni dei limiti di Atterberg,
- 7 determinazioni del peso di volume,
- 5 prove di permeabilità,
- 4 prove di costipazione Proctor standard.

(v. Allegato 5).

## 6. MODELLO GEOLOGICO

### 6.1 QUADRO GEOMORFOLOGICO, LITOLOGICO, STRATIGRAFICO E IDROGEOLOGICO

L'area di progetto è situata fra i 1970 e 1920 metri di quota su un versante esposto a nord.

Oltre 200 m a sud del sito di progetto, presso Piz Sorega, la parte più alta del versante raggiunge la quota di 2000 m.

Da Piz Sorega fino al sito di progetto il versante degrada con forma regolare (si tratta di una pista da sci) con pendenza costante attorno ai 9°. Solo 40 m a valle del sito di progetto la pendenza media del versante aumenta fino a 20°.

Nella zona più bassa del sito di progetto, verso nord, il versante forma un leggero avvallamento con asse N-S. Alcune decine di metri a valle del sito di progetto in questo avvallamento scorrono le acque del Rio Sorega che hanno inciso un solco di ruscellamento profondo pochi metri dalla superficie circostante.

La dorsale che da Piz Sorega si allunga verso nord limita ad ovest la zona di progetto. La cresta della dorsale risulta 20 m più alta rispetto alla superficie topografica attuale dell'area nella quale verrà realizzato lo scavo per il bacino.

A lato del sito di progetto verso est il pendio forma una breve scarpata alta 10 - 15 m e con pendenze comprese tra 30° e 55°. Alla base di questa scarpata per una lunghezza di 50 m circa si sviluppa una leggera contropendenza. Dall'insieme delle osservazioni effettuate in campagna, sulle ortofoto e sui modelli di elevazione del terreno, si ritiene che si tratti dell'orlo di un'antica nicchia di frana ora inattiva. Il terreno a valle di questa scarpata degrada verso est con inclinazione media di 16°. Non sono presenti segni di attività recente di questo presunto del fenomeno franoso (fessure sulla superficie, erosioni e danni alla copertura vegetale, ondulazioni anomale e/o rigonfiamenti, curvatura dei fusti degli alberi etc.).

A sud del sito di progetto e sul versante che da Piz Surega degrada verso est, sono presenti i cigli superiori di nicchie di frana attive. Si tratta dei fenomeni descritti al capitolo precedente e nominati nelle schede IFFI: "Piz de Surega" e "Bosch de Foram". Per questi fenomeni si ha notizie di attività recente e di locali riattivazioni. Le zone superiori presso i cigli sono soggette a continue manutenzione per la presenza delle piste da sci e della stazione di monte della sciovvia. Questa manutenzione può occultare alcune evidenze superficiali degli scivolamenti e d'altra parte evita e tiene sotto controllo la propagazione dei suddetti fenomeni verso monte. In ogni caso si ritiene che questi fenomeni anche nelle loro evoluzioni future non interesseranno l'area di progetto e non verranno influenzati dalla realizzazione del bacino in progetto.

In superficie il sito di progetto è caratterizzato da depositi glaciali formati da un accumulo caotico di ghiaie e ciottoli poligenici e occasionali blocchi immersi in matrice di sabbie limo-argillose. Lo scavo per il bacino avverrà in questo tipo di terreno.

Sotto questo livello tutti i sondaggi (con l'eccezione di BS3) hanno incontrato un deposito di blocchi calcareo-dolomitici con diametri anche superiori a un metro, meno arrotondati, e con matrice meno fine di quella dei depositi soprastanti. Si tratta probabilmente dei resti di morene frontali e laterali precedenti all'ultimo massimo glaciale.

Solo i sondaggi BS1 e BS3 hanno raggiunto il substrato roccioso, alle profondità di 24 e 15,6 m.

In particolare: nel sondaggio BS1 tra 24 e 25 m erano presenti litotipi marnosi arenacei completamente disgregati a formare sabbie ghiaiose limose grigio scure nelle quali la struttura massiva originaria era difficilmente riconoscibile.

Nel sondaggio BS3 tra 15,6 e 25 m erano presenti arenarie vulcaniche, argille e marne di colore grigio scure fittamente stratificate e localmente disgregate. La stratificazione rispetto all'asse verticale della carota appariva inclinata tra 5° e 15°.

Questi litotipi sono stati attribuiti nel presente studio alla Formazione di Wengen. La Formazione di S.Cassiano costituita da litologie simili risulta affiorante a meno di 300 m presso Piz Sorega.

Generalmente la Formazione di San Cassiano è stratigraficamente sovrapposta a quella di Wengen ma in quest'area geografica le due formazioni risultano in rapporto di eteropia laterale, reciprocamente interdigitate e quindi può risultare un assetto stratigrafico che implica la successione sulla stessa verticale di materiali rocciosi appartenenti ad una e all'altra formazione.

Considerando le caratteristiche geotecniche di queste due formazioni, in relazione al progetto in esame, esse risultano assimilabili, per la similitudine dei litotipi costituenti, per la sostanziale eguaglianza della struttura generale, delle modalità di alterazione e della degradabilità.

Nel sondaggio BS3 tra le profondità di 9,2 e 15,6 m (appoggiato sul substrato roccioso e sottoposto ai depositi glaciali presenti per 9 m a partire dalla superficie) è stato attraversato un deposito costituito da una mescolanza caotica di materiali glaciali rimaneggiati con prodotti colluviali derivanti dal disfacimento del materiale costituente il substrato roccioso (Formazioni di Wengen, S.Cassiano). Questo livello rappresenta probabilmente un antico fenomeno gravitativo precedente all'ultima fase glaciale che ha interessato questo versante.

I materiali della copertura detritica superficiale sono risultati tutti molto consolidati e poco permeabili, con permeabilità comprese tra  $10^{-8}$  e  $10^{-10}$  m/s (si veda le prove di permeabilità eseguite allegati 5 e 3). Anche le formazioni rocciose sottostanti sono sostanzialmente poco permeabili, per la natura dei litotipi e dei prodotti di alterazione che tendono a riempire i giunti.

Nei terreni del sito di progetto, nella copertura detritica e nell'ammasso roccioso non è presente una falda continua ma solo singole vie di deflusso delle acque che attraversano i livelli di terreno più grossolano. Queste vie di deflusso concentrate oltre che nei livelli di terreno più grossolano sono più probabili all'interfaccia tra il suolo vegetale attuale ed i terreni sottostanti, all'interfaccia tra il substrato roccioso e i terreni sciolti, attraverso eventuali sistemi di giunti continui nella parte più superficiale ed allentata del substrato

roccioso, (come testimoniano occasionali riempimenti di calcite osservati nei giunti dell'ammasso roccioso carotato con il sondaggio BS3).

Si ritiene che l'esecuzione del progetto non comporterà modifiche significative alla circolazione idrica sotterranea nel bacino di pertinenza.

Nei piezometri installati il livello piezometrico è stato misurato a profondità comprese tra 13,00 m (02.11.2017) e di 9,02 m (26.07.2018) nel piezometro BS1, tra -15,10 m (02.11.2017) e 14,98 m (26.07.2018) nel piezometro BS3, a 12,10 m (26.07.2018) nel piezometro BS2, ed a 14,76 m (26.07.2018) nel piezometro BS4.

## 6.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

In generale tutti i depositi quaternari che costituiscono i terreni sciolti nel sito di progetto sono risultati molto addensati – sovraconsolidati e poco permeabili.

Lo scavo in progetto sarà realizzato nei depositi glaciali che costituiscono il primo strato di terreno a partire dalla superficie.

Questi depositi sono costituiti da una mescolanza caotica di ghiaie calcaree-dolomitiche, da subangolari a subarrotondate, con matrice limosa-sabbiosa ben graduata e talvolta debolmente argillosa. Dalle osservazioni eseguite sulle carote dei sondaggi questo terreno può essere definito granosostenuto, i clasti sono a contatto tra loro lungo gli spigoli o lungo i lati costituendo uno scheletro continuo granulare. La matrice fine risulta sovra consolidata e conferisce all'insieme un aspetto compatto. Inoltre nelle dalle analisi granulometriche svolte risulta un coefficiente di uniformità sempre ampiamente superiore a 15 ( $469 \geq u_c \geq 1833$ , v. allegato 5), tipico di un terreno ben assortito, cioè composto da particelle di varie dimensioni, che possono arrivare ad una compattezza d'insieme considerevole, raggiungendo così uno stato di addensamento elevato. L'addensamento è un parametro influente nel comportamento meccanico del terreno, in quanto un maggior stato di addensamento significa grani più vicini tra loro e con maggior numero di punti di contatto, a cui consegue un maggior grado di mutuo incastro e una porosità inferiore. Tutto ciò significa avere un sistema con compressibilità inferiore, resistenza al taglio più elevata e bassa permeabilità.

Localmente lo scavo sarà interessato da livelli di terreno diverso da quello sopra descritto. Nella zona sud-ovest, in corrispondenza del sondaggio BS4 per 2 metri a partire dalla superficie sono presenti i terreni di un deposito antropico. Si tratta di ghiaia sabbiosa

limosa con tracce di resti vegetali. Questo terreno esaminato nelle carote di sondaggio risulta mediamente addensato – consistente.

Nella zona sud-est, in corrispondenza del sondaggio BS3, lo scavo presso il fondo del bacino potrebbe lambire un deposito costituito da una mescolanza caotica di materiali glaciali rimaneggiati con prodotti colluviali derivanti dal disfacimento del substrato roccioso. Questo deposito è composto da limo argilloso, ghioso, sabbioso. Anche questo terreno risulta sovra-consolidato e presenta un aspetto solido sebbene non risulti granosostenuto come i soprastanti depositi glaciali.

Il volume significativo di terreno al quale verrà trasmesso il carico del rilevato di contenimento realizzato verso valle sarà costituito in profondità anche da un deposito di blocchi e dal substrato roccioso.

Il deposito di blocchi è costituito da elementi calcareo – dolomitici con diametri anche superiori a un metro con matrice di ghiaia sabbiosa debolmente limosa. Blocchi, ciottoli e clasti si presentano meno arrotondati di quelli del soprastante deposito glaciale. Anche in questo caso il deposito nel suo insieme e la matrice tra i blocchi risultano molto addensati.

Il substrato roccioso è formato da arenarie vulcaniche, argille e marne fittamente stratificate. Superficialmente può essere presente uno strato eluviale formato da sabbie ghiaiose limose molto addensate – sovraconsolidate con transizione graduale (nello spazio di alcuni metri) all'ammasso roccioso con struttura litica continua.

Su campioni prelevati dalle carote di sondaggio (BS1 tra 16 e 17 m e BS3 tra 11 e 14 m) sono state eseguite delle prove dei limiti di consistenza di Atterberg, (v. allegato 5). Queste hanno permesso di valutare il grado di plasticità della frazione fine presente: 1 - nella matrice dei depositi glaciali, 2 - nella mescolanza di materiali glaciali rimaneggiati con colluvio.

Plottando il limite liquido e l'indice plastico dedotti da queste prove sul diagramma di plasticità di Casagrande per entrambe i campioni ci si colloca nel campo delle argille inorganiche di media plasticità. Tra i due campioni di terreno testati i depositi glaciali risultano relativamente meno plastici (Grafico 4).

Tramite le relazioni proposte dalla letteratura è possibile valutare il rapporto tra angolo di attrito residuo ed angolo d'attrito di picco della frazione fine in relazione all'indice plastico ed al contenuto di argilla (Skempton 1985, Grafico 5). Il contenuto di argilla è stato determinato sui campioni in oggetto tramite analisi granulometriche (v. allegato 5).

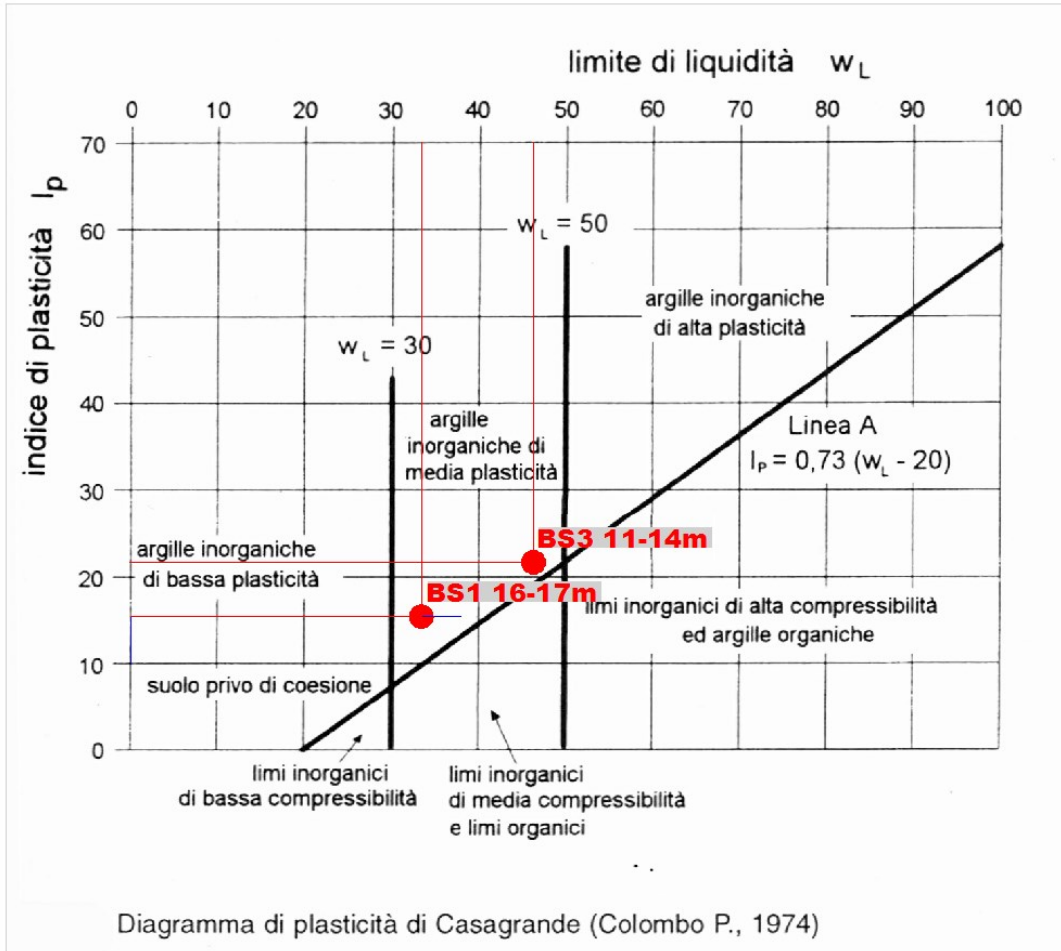


Grafico 4

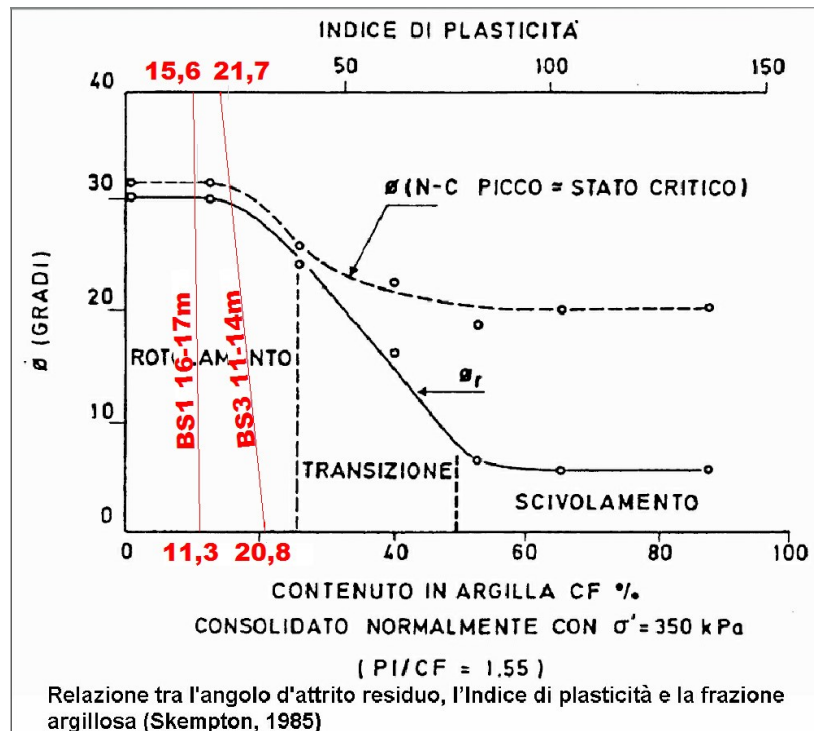


Grafico 5

Una ulteriore relazione che tra indice plastico e angolo di attrito è quella proposta da Freiberg (Grafico 6).

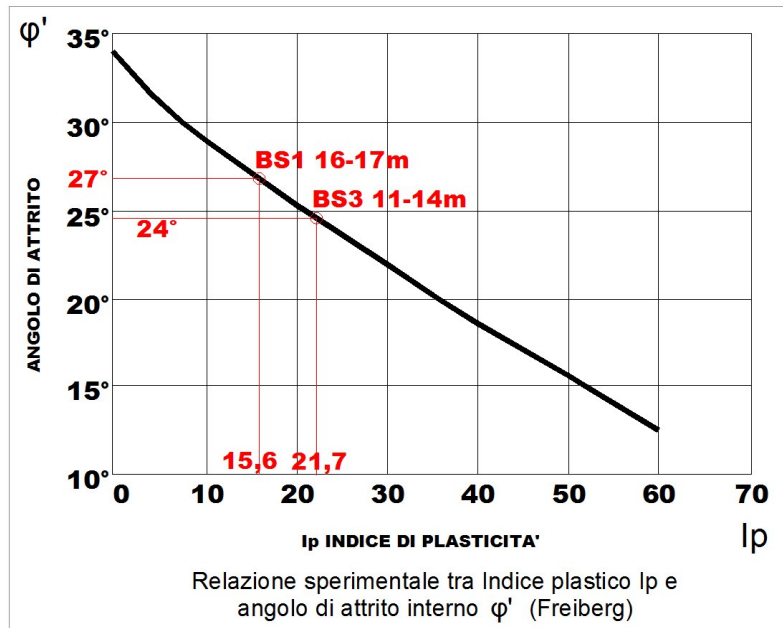


Grafico 6

Su campioni prelevati dalle carote di sondaggio sono state eseguite delle prove di costipamento Proctor standard, (v. allegato 5). Queste hanno permesso di determinare il tenore in acqua ottimale per ottenere il massimo addensamento dei seguenti terreni: 1 - depositi glaciali, 2 - mescolanza di materiali glaciali rimaneggiati con colluvio. Nei depositi glaciali il tenore in acqua ottimale è compreso tra 5,1% e 5,5%. Nella mescolanza tra materiali glaciali rimaneggiati e colluvio il tenore in acqua ottimale risulta 16%.

Per la migliore caratterizzazione dei terreni sono effettuate anche una serie di prove in sito nei fori di sondaggio. In particolare: prove penetrometriche dinamiche SPT e prove pressiometriche – Menard.

Dalle prove SPT, previa correzione in funzione del rendimento (60%) e della profondità di prova, sono stati dedotti l'angolo d'attrito e il modulo elastico (Tabella 7). secondo le relazioni proposte dalla letteratura e più adatte al caso in esame.

Per l'angolo d'attrito sono state utilizzate la correlazione di Schertmann e secondo Japanese National Railway.

Il modulo elastico è stata calcolato secondo il metodo proposto da Jamiolkowski per il parametro  $E_{25}$ . In pratica si stima il modulo di Young secante cui corrisponde un grado di

mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%. Questo stato di sollecitazione meglio corrisponde alla realtà operativa del contesto progettuale.

Si precisa che molte delle prove SPT effettuate sono andate a rifiuto, in pratica con un numero di colpi = 50 non si è riusciti a spingere in profondità la punta per 15 cm contemplati in ognuno dei tre intervalli previsti.

Questo risultato è stato considerato come un effetto del grado di addensamento dei terreni testati ma anche della presenza di ciottoli ed elementi di ghiaia grossolana che falsano il risultato della prova. Per questo motivo, assumendo un ipotesi a favore della sicurezza, nei seguenti calcoli per le prove andate a rifiuto è stato assunto un valore di  $N_{SPT}$  pari agli ultimi valori utili, ovvero al doppio dell'ultimo valore utile.

Anche dalle prove pressiometriche – Menard sono stati dedotti i valori di angolo d'attrito e modulo elastico del terreno. In questo caso per dedurre i parametri geotecnici sono state considerate le correlazioni indicate dallo stesso centro studi Menard rispettivamente con la pressione limite, e con il modulo pressiometrico (Grafico 8 e Tabella 9).



TIPO DI TERRENO DIN 18196	SONDAGGIO E PROFONDITA' PROVA (m)	NSpt	N'60	VALORI DI $\varphi$ CALCOLATI DALLA CORRELAZIONE CON N'60		
				$\varphi$ SECONDO SCHERTMANN ( $\varphi$ picco)	$\varphi$ SECONDO JAPANESE NATIONAL RAILWAY	E25 SECONDO Jamiolkowski [Mpa]
	<b>BS1</b>					
	3,0	22	24,5	43	34	20
	6,0	78	69,3	46	47	48
	9,0	38	28,0	43	35	23
	13,0	33	19,9	42	32	17
	15,0	100	57,2	46	44	41
	<b>BS2</b>					
	3,0	100	109,7	46	56	77
	6,0	34	29,4	43	36	24
	8,3	60	44,6	45	41	34
	12,0	74	45,0	45	41	34
	15,0	100	54,8	45	44	40
	<b>BS3</b>					
	3,0	88	99,9	46	53	68
	6,0	64	58,4	46	45	40
	9,0	53	40,5	44	40	31
	12,0	100	65,6	46	46	43
	15,0	100	57,5	46	44	39
	<b>BS4</b>					
	3,0	70	76,8	46	49	54
	6,0	100	86,5	46	51	61
	9,0	34	25,3	43	34	21
	12,0	34	20,7	43	33	18
	15,0	100	52,9	45	43	39
	18,0	88	43,2	45	40	33
	21,0	98	44,9	45	41	34
	24,0	100	42,9	45	40	33
	27,0	100	40,4	44	40	31
	30,0	100	38,2	44	39	30

**Tabella 7.** Sintesi dei risultati ottenuti e valori dedotti dalle prove penetrometriche dinamiche SPT

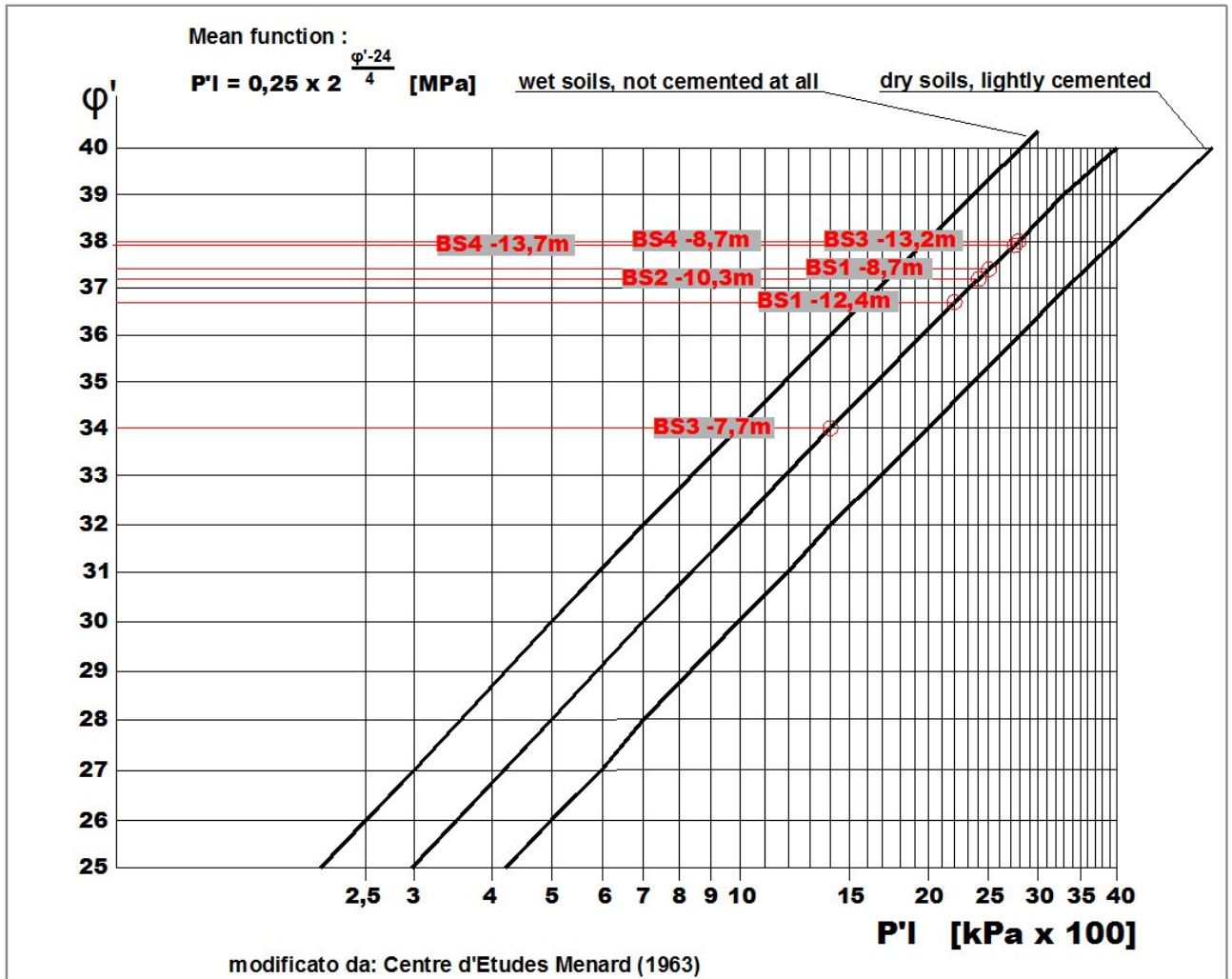


Grafico 8

$E_{\gamma} = E_M / \alpha$   
 $E_{\gamma}$  modulo di compressione sferico assimilabile al modulo di Young  $E_y$  (Menard)

sondaggio	profondità	$E_M$ [MPa]	$\alpha$	$E_{\gamma}$ [MPa]
<b>BS1</b>	<b>8,7</b>	<b>53,3</b>	<b>1/3</b>	<b>160</b>
<b>BS1</b>	<b>12,4</b>	<b>48,9</b>	<b>1/3</b>	<b>147</b>
<b>BS2</b>	<b>10,3</b>	<b>48,2</b>	<b>1/3</b>	<b>145</b>
<b>BS3</b>	<b>7,7</b>	<b>29,6</b>	<b>1/3</b>	<b>89</b>
<b>BS3</b>	<b>13,2</b>	<b>92,6</b>	<b>2/3</b>	<b>139</b>
<b>BS4</b>	<b>8,7</b>	<b>29,6</b>	<b>1/3</b>	<b>130</b>
<b>BS4</b>	<b>13,7</b>	<b>85,8</b>	<b>1/3</b>	<b>257</b>

Tabella 9



$$\begin{aligned} mb &= 3.947 \\ s &= 0.0075 \\ a &= 0.504 \end{aligned}$$

L' intervallo dello sforzo principale minimo entro il quale è stata eseguita la linearizzazione del criterio di Hoek and Brown per ottenere i parametri di Mohr-Coulomb:

$$\text{sig3max} = 0,45 \text{ MPa}$$

Ne seguono:

i parametri equivalenti di Mohr-Coulomb:

$$\begin{aligned} \text{--coesione} & & c &= 0,121 \text{ MPa} \\ \text{--angolo di attrito} & & \text{phi} &= 40^\circ \text{ degrees} \end{aligned}$$

i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso - Rock Mass Parameters:

$$\begin{aligned} \text{--resistenza a trazione} & & \text{sigt} &= -0.012 & \text{MPa} \\ \text{(ammasso roccioso)} & & & & \\ \text{--resistenza a compressione uniassiale} & & \text{sigc} &= 0.283 & \text{MPa} \\ \text{(ammasso roccioso)} & & & & \\ \text{--resistenza a compressione globale} & & \text{sigcm} &= 2.155 & \text{MPa} \\ \text{(ammasso roccioso)} & & & & \\ \text{--modulo di deformazione dell'ammasso roccioso} & & \text{Erm} &= 257 & \text{MPa} \end{aligned}$$

In relazione all'insieme delle considerazioni svolte in questo capitolo, alle misure e prove effettuate in sito ed in laboratorio per ogni terreno identificato possono essere proposti dei valori operativi dei parametri geotecnici basati sul giudizio. I valori proposti per un terreno naturale allo stato indisturbato naturalmente varieranno quando lo stesso terreno verrà scavato, frantumato, vagliato, steso e costipato per la formazione del rilevato di contenimento.

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELLA ZONA DI PROGETTO

L'area di progetto in comune di Badia è classificata in zona sismica 4 secondo Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003 n.3274.

I valori di  $N_{\text{SPT}}$  equivalente per i primi 30 m dal piano di campagna sono stati calcolati lungo le verticali di indagine dei 4 sondaggi effettuati nel sito di progetto e risultano:

$$N_{\text{SPT},30} = 58 \text{ per il sondaggio BS1,}$$

$$N_{\text{SPT},30} = 83 \text{ per il sondaggio BS2,}$$

$N_{SPT,30}=86$  per il sondaggio BS3,

$N_{SPT,30}=56$  per il sondaggio BS4.

Questi valori, sulla base di relazioni empiriche di comprovata affidabilità riconducono il tipo di suolo nella categoria B (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

In relazione all'andamento della superficie nel sito di progetto e nei pendii circostanti la categoria topografica assegnata dell'area di progetto è T2 (pendii con inclinazione media  $> 15^\circ$ ).

Considerando la granulometria dei terreni presenti nel sito di progetto e la magnitudo massima degli eventi attesi, le caratteristiche delle acque sotterranee, la verifica a liquefazione può essere esclusa.

Oltre 2 km ad ovest della zona di progetto è presente una faglia con andamento NNW-SSE. Sulla base dell'allineamento di elementi geomorfologici, (dislocazioni delle creste montuose, deviazioni dei corsi d'acqua superficiali, posizione delle frane) è stata ipotizzata una riattivazione di questa struttura nel periodo Pliocene – Quaternario. Non esiste alcuna evidenza o ipotesi che questa faglia costituisca una struttura sismogenetica, inoltre tale struttura non è classificata come sorgente sismogenetica o faglia capace nelle basi di dati e cataloghi delle fonti più autorevoli: DISS (Database of Individual Seismogenic Sources – INGV) catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults – ISPRA).

Considerando l'insieme delle informazioni geomorfologiche, litologiche, stratigrafiche non sono presenti ulteriori particolari aspetti morfologici e geologici rilevanti agli effetti del comportamento in presenza di sisma.

## 9. STABILITA' DEL PENDIO IN CONDIZIONI NATURALI

La stabilità dei versanti presenti a monte del sito di progetto verso sud e verso ovest ed a valle del sito di progetto verso nord e verso est è stata verificata nelle condizioni naturali attuali.

I modelli stratigrafici considerati nelle verifiche sono derivati dalle sezioni geologiche rappresentate in maniera completa negli allegati 2 e 3. I parametri geotecnici considerati nelle verifiche (si veda seguenti tavole illustrative) sono valori operativi basati sul giudizio

dedotti in modo ragionato e cautelativo sulla base delle diverse prove svolte, come esposto nel cap.6.2. Considerando la presenza all'interno del pendio di vie di deflusso preferenziali delle acque di versante a titolo cautelativo per i terreni sono stati considerati i pesi di volume saturo.

Anche da queste verifiche il versante interessato dal progetto risulta stabile, il fattore di sicurezza risulta sempre  $> 1,4$ .

Le zone potenzialmente meno stabili (con i fattori di sicurezza più bassi) sono risultate sempre quelle più superficiali. In pratica sulla base del modello stratigrafico sviluppato e delle verifiche svolte nel versante studiato non sono state individuate zone potenzialmente meno stabili in profondità.

## 10. INDICAZIONI PER L'ESECUZIONE DEL PROGETTO

### 10.1 RIUTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO

La gran parte dei materiali di scavo potranno esser riutilizzati per la formazione dei rilevati di contenimento. Non potranno essere impiegati i terreni organici o con resti vegetali. A tal proposito si evidenzia che verso sud-ovest, in corrispondenza del sondaggio BS4 per 2 metri a partire dalla superficie sono presenti i terreni di un deposito antropico. Si tratta di ghiaia sabbiosa limosa con tracce di resti vegetali.

In cantiere sarà necessaria la dotazione di un frantoio per la frantumazione ed il vaglio del materiale di scavo riutilizzato. Si ritiene che la dimensione massima ammissibile per gli elementi più grossolani potrà esser compresa tra  $\varnothing = 100 - 150$  mm.

Sarà necessario non esporre i materiali scavati agli eventi meteorici prima della messa in opera e dopo la messa in opera, prima dell'ultimazione del rilevato. In pratica i materiali di scavo che verranno riutilizzati devono essere coperti con nylon o depositati in mucchi a forma conica. Anche i singoli strati già stesi e costipati per la formazione del rilevato andranno coperti con nylon alla fine di ogni giornata lavorativa.

### 10.2 FONDAZIONE E FORMAZIONE DEL RILEVATO

Il rilevato di sbarramento verso valle andrà realizzato con il materiale migliore, sarà ammissibile l'uso di materiali granulari con maggiore abbondanza di componenti limose-argillose solo oltre la quota di massimo invaso.

Dopo la rimozione dei terreni di copertura, le superfici che risulteranno inclinate andranno modellate a formare una “gradinata” per garantire dei piani d’appoggio orizzontali per i rilevati di contenimento.

I terreni per la formazione del rilevato andranno stesi e costipati per singoli strati con puntuali verifiche della percentuale d’acqua e del grado di costipamento.

Le proprietà geotecniche e di permeabilità dei terreni presenti sul piano di fondazione e nel volume d’influenza dell’opera garantiranno la tenuta del fondo dell’invaso e la stabilità delle sezioni di imposta se queste verranno correttamente dimensionate ed eseguite secondo le indicazioni riportate in precedenza.

In ogni caso sarà necessario impermeabilizzare il bacino di raccolta.

Anche le sponde del bacino risulteranno stabili se le indicazioni relative al riutilizzo dei materiali di scavo e alla formazione del rilevato verranno osservate.

Quindi, considerando anche quanto esposto in precedenza sulla stabilità generale dei versanti, si può affermare che l’ubicazione del bacino è sicura e idonea per la realizzazione dell’opera in progetto.

### 10.3 STABILITA’ DELLE SCARPATE DI SCAVO E GESTIONE DELLE ACQUE DI VERSANTE

Gli scavi più importanti riguarderanno i lati sud ed ovest dove parte del bacino verrà realizzato per sbancamento del pendio. In queste zone si raggiungeranno profondità di scavo di circa 13 m dal piano di campagna attuale. L’angolo di inclinazione previsto in progetto per le sponde del bacino, che coincidono con le scarpate di scavo, è attorno ai 20°.

Sui lati nord ed est, verso valle, si raggiungeranno profondità di scavo di circa 9 m (lato est), e 5 m (lato nord), dal piano di campagna. L’angolo di inclinazione previsto in progetto per le sponde del bacino è di 27°.

Si ritiene che gli angoli di inclinazione previsto in progetto e le caratteristiche geotecniche dei terreni che formeranno le scarpate di scavo garantiranno la stabilità degli scavi.

In ogni caso le verifiche di stabilità delle scarpate dovranno essere effettuate secondo la vigente normativa. In corso d’opera andrà verificata la rispondenza dei terreni effettivamente presenti con quelli individuati e caratterizzati tramite le indagini svolte.

Sebbene nel versante non sia presente una falda continua si prevede la presenza di singole vie di deflusso delle acque di versante più probabili nel suolo superficiale, attraversano i livelli di terreno più grossolano e all'interfaccia tra il substrato roccioso e i terreni sciolti soprastanti.

Se sulle pareti o sul fondo dello scavo dovessero verificarsi venute d'acqua sarà necessario realizzare dei drenaggi per allontanare le acque senza lasciarle ruscellare e disperdersi nell'area dello scavo. All'occorrenza i drenaggi andranno realizzati con tubi drenanti, ghiaia, tessuto non tessuto, (ad esempio per la realizzazione di tappeti drenanti alla base delle scarpate di scavo, etc.).

Inoltre sarà opportuno realizzare un fosso di guardia sulla superficie a monte dello scavo per evitare che le acque che defluiscono nel terreno a livello del suolo o quelle che potrebbero ruscellare in superficie in corrispondenza di precipitazioni particolarmente intense confluiscono nello scavo.

## 11. MISURE E CONTROLLI

Attualmente il versante interessato dal progetto non mostra segni di instabilità. In ogni caso si procederà con l'installazione di tre inclinometri fino alla profondità di 30 m (I1, I2 e I3 nell'Allegato1), ad est e sud-est del bacino in progetto, per il monitoraggio di eventuali fenomeni di lento scivolamento verso valle.

Prove di carico su piastra e determinazioni della percentuale d'acqua contenuta nel terreno andranno effettuate sui singoli strati dopo la loro stesura e compattazione. Si ritiene che un modulo Ev2 ammissibile dovrà essere compreso tra 50 e 150 MN/m<sup>2</sup> per ghiaie sabbiose e tra 30 e 55 MN/m<sup>2</sup> per ghiaie e sabbie limose.

## 12. INCERTEZZE DEL MODELLO GEOLOGICO

Le incertezze del modello geologico sviluppato nella presente relazione sono legate ad eventuali variabilità laterale dei terreni ed alla presenza di vie di deflusso concentrato delle acque di versante che in ogni caso considerando il potenziale bacino di riferimento a monte dell'opera in progetto si prevedono modeste.

Considerando l'insieme delle indagini svolte e delle informazioni raccolte in relazione all'entità del progetto si ritiene di aver raggiunto un buon grado di affidabilità del modello.



Durante la realizzazione dell'opera dovrà essere controllata la rispondenza tra il modello geologico di riferimento qui esposto e la situazione effettiva, aggiornando eventualmente il modello geotecnico ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

### 13. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14/01/2008 e il Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24/03/1982.

I terreni che saranno scavati per la formazione del bacino selezionati, frantumati e vagliati saranno adatti per la costruzione del rilevato di contenimento verso valle.

Le proprietà meccaniche e di permeabilità dei terreni presenti nel volume d'influenza dell'opera garantiranno la tenuta del fondo dell'invaso e la stabilità delle sezioni di imposta se queste verranno correttamente dimensionate ed eseguite secondo le indicazioni riportate in precedenza.

Anche le sponde del bacino risulteranno stabili se le indicazioni relative al riutilizzo dei materiali di scavo per la formazione dei rilevati, al pronto drenaggio di eventuali venute d'acqua e alla verifica delle scarpate di scavo verranno osservate.

La realizzazione del progetto non influenzerà in modo significativo il deflusso delle acque sotterranee nell'area circostante.

Dalle indagini e misure effettuate risulta che il sito di progetto del bacino risulta sicuro ed idoneo dal punto di vista idrogeologico.

Dr. Hermann Nicolussi

