



Projekt / Progetto:

Studio delle sponde del lago di Fortezza, finalizzato alla definizione degli elementi geologico-geotecnici per la progettazione di un percorso pedo-ciclabile

Studie des Seeufers von Franzensfeste für die Ermittlung der Geologie und Geotechnik zur Projektierung eines Fußgänger- und Radweges

Angelegt / Inizializzato	22.05.2018	ST				
	22.05.2018	SS				
					31.05.2018	ST
					31.05.2018	SS
	Datum / Data	Abk. / Sigla	Datum / Data	Abk. / Sigla	Datum / Data	Abk. / Sigla
	Erstellung / Redazione		Bearbeitung / Revisione		Prüfung / Controllo	

Inhalt / contenuto :

**RELAZIONE TECNICA SINTETICA
(MOUNTAIN-EERING S.R.L. & ALPIN GEOLOGIE)**

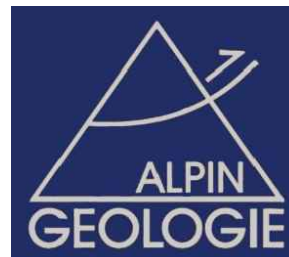
**TECHNISCHER KURZBERICHT
(MOUNTAIN-EERING G.M.B.H. & ALPIN GEOLOGIE)**



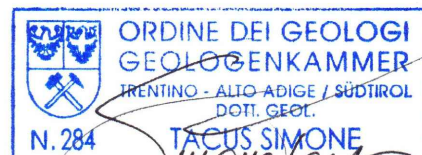
MOUNTAIN-EERING s.r.l.
Società di Ingegneria
Ingenieurgesellschaft
via Volta 13/A Volta str.
I-39100 Bolzano/Bozen
Tel. +39 0471 094781
Fax +39 0471 094782
info@mountain-eering.com
mountain-eering@pec.it
www.mountain-eering.com
MwSt-Nr.02602520211 P.IVA

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI BOLZANO
Dott. Ing. SILVIA SIMONI
Nr. 1918
INGENIEURKAMMER
DER PROVINZ BOZEN

Silvia Simoni



ALPIN GEOLOGIE
Büro für angewandte Geologie
Studio di geologia applicata
via Luis-Zuegg-Straße 70/A
I-39012 Meran/Merano
Tel. +39 0473 490440
Fax +39 0473 490441
info@alpin-geologie.it
mail@pec.alpin-geologie.it
www.alpin-geologie.it
MwSt.-Nr. 01732130214 P. IVA



Tacus Simone

Projekt nr. / n. progetto:

1153bbg

Anlage Nr. / Allegato n.:

-

Maßstab / Scala:

-

Indice

1	Introduzione	1
1	Einleitung	1
2	Informazioni di base	3
2	Grundlagendaten	3
3	Campagna Geognostica e prove di laboratorio	5
3	Erkundungskampagne und Laborversuche	5
4	Inquadramento storico degli interventi antropici	9
4	Geschichtlicher Rahmen der anthropischen Eingriffe	9
5	Quadro Geologico e Geomorfologico	13
5	Geologischer und geomorphologischer Rahmen	13
5.1	Sponda destra del bacino	13
5.1	Rechtes Ufer des Stausees	13
5.2	Sponda sinistra del bacino	15
5.2	Linkes Ufer des Stausees	15
6	Inquadramento Idrogeologico	17
6	Hydrogeologischer Überblick	17
7	Modellazione Geologica	19
7	Geologische Modellierung	19
8	Caratterizzazione Geomeccanica	23
8	Geotechnische Charakterisierung	23
8.1	Rilievo Geostrutturale	29
8.1	Geostrutturale Aufnahmen	29
8.2	Caratterizzazione Geomeccanica	34
8.2	Felsmechanische Charakterisierung	34
9	Indicazioni Progettuali	37

9 Hinweise zum Projekt	37
Bibliografia	41

Elenco delle figure

1.1	Area di studio: planimetria dell'area / Untersuchungsgebiet: Lageplan des Areal	2
3.1	Planimetria dell'ubicazione delle indagini e delle sezioni geologiche / Lageplan der Untersuchungen und geologischen Schnitte	7
4.1	Alto: stralcio della planimetria del 1938 relativa al progetto per la realizzazione dell'invaso, proiettato sull'ortofoto del 2014-2015; Basso: il <i>Gasthof Unterau</i> e la cappelletta del XX secolo (fonte www.fortezzaopenarchive.net) / Oben: Auszug aus dem Lageplan von 1938 zum Projekt zur Errichtung des Stausees, auf das Orthofoto 2014-2015 projiziert; Unten; der <i>Gasthof Unterau</i> und die Kapelle aus dem 20. Jahrhundert (Quelle www.fortezzaopenarchive.net) .	11
5.1	Alto: le due sponde del lago a confronto inquadrare dalla zona del forte asburgico. La sponda orografica sinistra (sulla destra della foto), poco antropizzata, acclive e rocciosa; la sponda orografica destra (sulla sinistra), più dolce, molto antropizzata e con una presenza generalizzata di coperture quaternarie. Basso: venute d'acqua individuate lungo la sponda destra del lago / Oben: Die beiden Ufer des Sees im Vergleich, von der habsburgischen Burg aus gesehen. Das orographisch linke Ufer (rechts im Bild) ist wenig anthropisiert, steil und felsig; das orographisch rechte Ufer (links), ist weniger steil, stark anthropisiert und im Allgemeinen von Quartärablagerungen bedeckt. Unten: Wasseraustritte am rechten Ufer des Sees	16
7.1	Stralcio dell'Allegato 3 che riporta le tracce delle sezioni AB e CD in planimetria / Auszug aus der Anlage 3, mit Angabe der Schnitte AB und CD im Lageplan	21
7.2	Stralcio dell'Allegato 2 che riporta le sezioni AB e CD / Auszug aus der Anlage 2, mit Angabe der Schnitte AB und CD	22
8.1	Valori empirici per le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari litotipi / Empirische Werte für die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der unterschiedlichen Lithotypen (Ausschuss <i>et al.</i> , 2005)	26
8.2	Valori empirici per le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari litotipi / Empirische Werte für die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der unterschiedlichen Lithotypen (Ausschuss <i>et al.</i> , 2005)	27
8.3	Tabella per la definizione della consistenza per litotipi incoerenti / Tabelle für die Definition der Lagerungsdichte von nichtbindigen Böden	28

8.4	Tabella per la definizione della consistenza per litotipi coesivi / Tabelle für die Definition der Konsistenz von bindigen Böden	28
8.5	Fotodocumentazione della stazione geomeccanica 1 / Fotodokumentation der felsmechanischen Station 1	32
8.6	Fotodocumentazione della stazione geomeccanica 2 / Fotodokumentation der felsmechanischen Station 2	33
9.1	Sezione schematica della spalla del ponte sulla sponda sinistra del lago / Schematischer Schnitt des Brückenwiderlagers am linken Ufer des Sees . . .	39

1 Introduzione

Il Comune di Fortezza intende valutare la possibilità di collegare la stazione ferroviaria con il Forte, all'estremità meridionale del lago, mediante un percorso ciclo-pedonale, al fine di valorizzare il territorio comunale e di migliorarne l'attrattività turistica.

Una delle ipotesi presa in considerazione prevede l'utilizzo di una pista ciclabile attualmente dismessa, che corre lungo la sponda in sinistra orografica del lago, e, circa 100 m prima del confine comunale con Naz-Sciaves, la costruzione di un ponte pedociclabile, che permette l'attraversamento del lago fino alla penisola sabbiosa sulla sponda destra. Da qui sino alla fortezza il percorso è stato ipotizzato in adiacenza alla S.S.12.

Su incarico del Comune di Fortezza è stato quindi redatto uno studio finalizzato, attraverso una campagna di rilievi topografici, di sondaggi geognostici, di prove di laboratorio e di prove geofisiche, alla ricostruzione dei caratteri geologici (modellazione geologica) e geologico-tecnici (modellazione geotecnica) dell'intera area (Figura 1.1).

Lo studio si compone di una relazione geologica, una geotecnica e di 9 allegati di supporto e segue un precedente elaborato che gli stessi autori hanno condotto per valutare, alla luce delle vigenti Direttive provinciali in materia di Piani delle Zone di Pericolo e dello stato dell'arte degli strumenti di indagine, l'attuale livello di pericolo idrogeologico in

1 Einleitung

Die Gemeinde Franzensfeste will die Möglichkeit einer Verbindung zwischen dem Bahnhof mit der Burg Franzensfeste am Südende des Sees untersuchen und zwar über einen Fuß- bzw. Radweg, um das Gemeindegebiet aufzuwerten und es touristisch zu erschließen. Eine der Möglichkeiten besteht aus dem Ausbau eines Fahrradweges, der zur Zeit nicht mehr verwendet wird und sich am orographisch linken Ufer des Sees befindet, und aus dem Bau einer Fußgänger-Radbrücke, ca. 100 m vor der Gemeindegrenze Natz-Schabs, die die Überquerung des Sees bis zur sandigen Halbinsel am rechten Ufer ermöglicht. Von hier aus bis zur Festung verläuft die geplante Trasse der SS 12 entlang.

Im Auftrag der Gemeinde Franzensfeste wurde daher eine Studie verfasst, um die geologischen (geologische Modellierung) und geologisch-technischen Eigenschaften (geotechnische Modellierung) des gesamten Gebietes (Abbildung 1.1) festzustellen; dies erfolgte mittels einer topographischen Vermessungskampagne, Erkundungsbohrungen, Laborversuchen und geophysikalischen Versuchen.

Die Studie besteht aus dem geologischen Bericht, dem geotechnischen Bericht und 9 Anlagen und folgt einer vorhergehenden Studie, die dieselben Verfasser auf Grundlage der geltenden Landesrichtlinien zu den Gefahrenzonenplänen und unter Berücksichtigung des Standes der Technik zu den Untersuchungen erstellt haben. Die Studie hatte

cui si trovano il versante in sinistra orografica e la pista ciclabile sottostante e le misure di mitigazione dello stesso (verifica di compatibilità ai sensi del DPP 05.08.2008 n.42 Art.11) con i relativi costi.

Di seguito, sempre su incarico del Comune, vengono esposti, in forma sintetica, i contenuti dello studio esteso commissionato e datato 13.04.2018.

zum Ziel, die bestehende hydrogeologische Gefahr des Hanges in der orographischen Linken und des darunter liegenden Fahrradweges, die Minderungsmaßnahmen (Kompatibilitätsprüfung laut BLH 05.08.2008 Nr. 42, Art 11) und die dazugehörigen Kosten zu prüfen.

Nachfolgend wird im Auftrag der Gemeinde eine Kurzfassung der Studie, mit der man beauftragt wurde und mit 13.04.2018. datiert ist, angeführt.

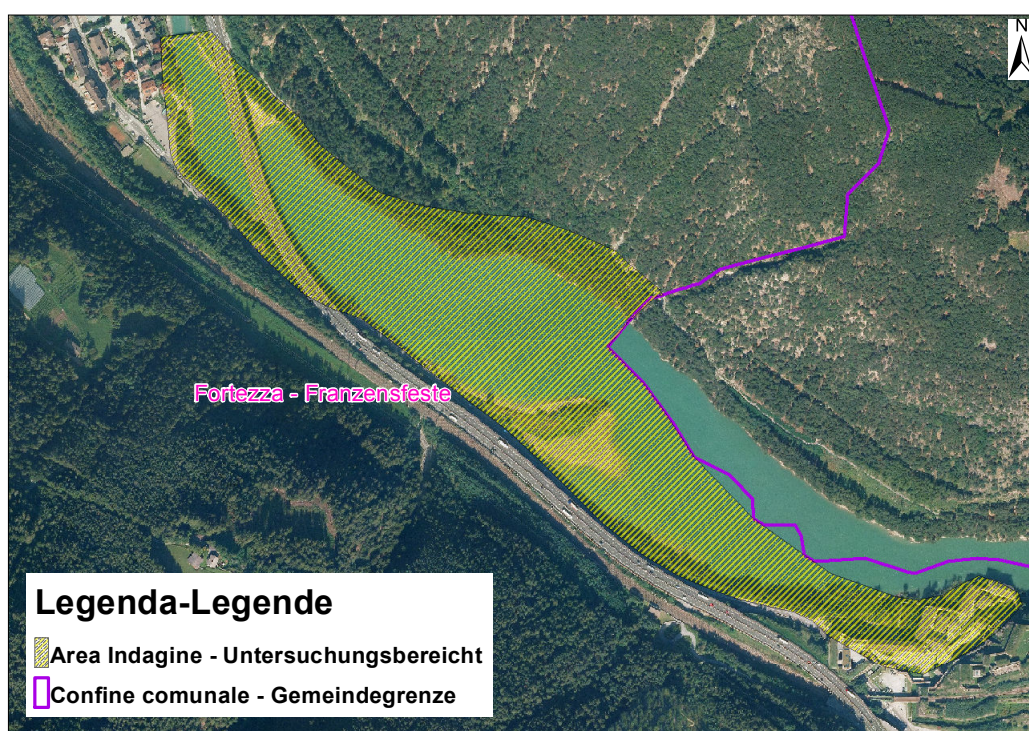


Figura 1.1: Area di studio: planimetria dell'area / Untersuchungsgebiet: Lageplan des Areals

2 Informazioni di base

Per la redazione dello studio sono stati raccolti, consultati ed esaminati tutti i dati provenienti dalle seguenti fonti:

- Foglio 1 e 4A - Passo del Brennero e Bressanone della Carta Geologica d'Italia, scala 1: 100.000;
- Geodati (Geocatalogo, Geobrowser) della Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige;
- Inventario dei fenomeni franosi in Italia (Progetto IFFI);
- Studio per la verifica della compatibilità e pericolosità idrogeologica della porzione di pista ciclabile (Seeweg) intitolato: *Prüfung der Hydrogeologischen Gefahr, Prüfung der Hydrogeologischen Kompatibilität, Kostenschätzung Anlage eines Panoramaweges am Nordost-Ufer des Stausees Franzensfeste*, datato 31.07.2017, realizzato dallo Studio Alpin Geologie di Merano;
- Studio per la verifica della compatibilità e pericolosità idraulica della porzione di pista ciclabile (Seeweg) intitolato: *Studio dei pericoli idraulici, verifica di compatibilità, per la realizzazione di un percorso pedo-ciclabile lungo la sponda Nord-Est del lago di Fortezza, e stima dei costi per la mitigazione del pericolo*, datato 31.07.2017, realizzato da MOUNTAIN-EERING S.r.l. e hydros'.

Per gli aspetti topografici e storici, sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Fogli 12151, 12152 e 12163 della nuova Carta Tecnica della Provincia Autonoma di

2 Grundlagendaten

Um die Studie zu verfassen, wurden folgende Daten gesammelt, konsultiert und untersucht:

- Geologische Karte Italiens im Maßstab 1:100.000, Blätter Nr. 1 und 4A, Brennerpass und Brixen;
- Geodaten (Geokatalog, Geobrowser) des Landes;
- Kataster der Massenbewegungen in Italien (IFFI Projekt);
- Studie zur Kompatibilitätsprüfung und der hydrogeologischen Gefahr des Abschnittes des Radwegs (Seeweg): *Prüfung der Hydrogeologischen Gefahr, Prüfung der Hydrogeologischen Kompatibilität, Kostenschätzung Anlage eines Panoramaweges am Nordost-Ufer des Stausees Franzensfeste*, vom 31.07.2017, verfasst von Alpin Geologie aus Meran;
- Studie zur Kompatibilitätsprüfung und der hydrogeologischen Gefahr des Abschnittes des Radwegs (Seeweg): *Studie der hydraulischen Gefahren, Kompatibilitätsprüfung für die Umsetzung eines Fußgänger-Radweges entlang des nordöstlichen Ufers des Franzensfester Stausees und Kostenschätzung der Minderungsmaßnahmen*, vom 31.07.2017, verfasst von MOUNTAIN-EERING GmbH und hydros'.

Für Topographie und geschichtliche Hinweise wurden folgende Daten verwendet:

- Blätter 12151, 12152 und 12163 der neuen technischen Grundkarte des Landes 1:

- Bolzano 1: 5.000;
- Carta topografica d'Italia alla scala 1:25.000 dell'Istituto geografico Militare (IGM);
 - Modelli di elevazione digitale del terreno, DTM Solar Tirol, DTM 2,5 m x 2,5 m;
 - Ortofoto 2014 - 2015 e precedenti della Provincia Autonoma di Bolzano;
 - Rilievo topografico di dettaglio realizzato da Mountain-eering S.r.l. di Bolzano (Allegato 8);
 - Catasto storico del 1858 reperibile sul Geobrowser della Provincia Autonoma di Bolzano;
 - Planimetria del 1938 relativa al progetto di costruzione della diga di Fortezza fornita da Alperia SpA;
 - Rilievo Batimetrico del giugno 1989 del Serbatoio di Fortezza, Ente Nazionale dell'Energia Elettrica, Ufficio Dighe, fornito da Alperia SpA;
 - Archivio fotografico online: www.fortezzaopenarchive.net;
 - Documentazione storica rinvenuta online (Wikipedia);
 - Documentazione catastale relativa al Bunker n. 3 fornita dal Comune di Fortezza.
- 5.000;
- Topographische Karte Italiens im Maßstab 1:25.000 des Istituto geografico Militare (IGM);
 - Digitale Höhenmodelle, DTM Solar Tirol, DTM 2,5 m x 2,5 m;
 - Orthofoto 2014 - 2015 und vorhergehende des Landes;
 - Detailvermessung, von Mountain-eering GmbH aus Bozen durchgeführt (Anlage 8);
 - Historisches Kataster aus dem Jahr 1858 und im Geobrowser des Landes abrufbar;
 - Lageplan aus dem Jahr 1938 zum Bau des Staudammes von Franzensfeste und von Alperia AG zur Verfügung gestellt;
 - Bathymetrie des Speichers Franzensfeste, Juni 1989, Nationales Amt für elektrische Energie, Amt für Staudämme, von Alperia AG zur Verfügung gestellt;
 - Fotoarchiv, online: www.fortezzaopenarchive.net;
 - Geschichtlicher Hintergrund aus online Quellen (Wikipedia);
 - Katasterunterlagen zum Bunker Nr. 3, von der Gemeinde Franzensfeste zur Verfügung gestellt.

3 Campagna Geognostica e prove di laboratorio

Date le diverse litologie che caratterizzano la sponda destra, prettamente costituita di terreni sciolti, e quella sinistra, costituita da roccia affiorante e subaffiorante, le campagne geognostiche sono state organizzate coerentemente alle caratteristiche dei siti di indagine. In particolare, dopo l'esito negativo della ricerca di documentale e strumentale di ordigni bellici, sono stati eseguiti due carotaggi continui sulla sponda destra (denominati S2 e S3) e due stazioni geomeccaniche (denominate ST-GEO1 e ST-GEO2) sulla sponda sinistra per caratterizzare l'ammasso roccioso, in corrispondenza delle zone dove si ipotizza che sorgeranno le spalle del ponte pedo-ciclabile. Inoltre sono state eseguite tre prove geofisiche di tipo HVSR¹ per estendere le informazioni puntuali ottenute mediante i sondaggi lungo due sezioni. Il quadro riassuntivo è riportato in Tabella 3.1. L'ubicazione delle indagini eseguite è visibile in Figura 3.1 e nell'Allegato 3 *Planimetria dell'area di rilievo*. I dettagli degli esiti delle indagini geognostiche effettuate per lo studio in esame sono consultabili negli Allegati 4, 5, 6 e 7.

¹ Horizontal to Vertical Spectral Ratio

3 Erkundungskampagne und Laborversuche

Aufgrund der unterschiedlichen Lithologien am rechten Ufer (Lockermaterialablagerungen) und am linken Ufer (auftretender und halbauftretender Fels), erfolgte die Erkundungskampagne je nach Eigenschaften des zu untersuchenden Areals. Nach negativem Ausgang der Suche nach Sprengkörpern aus Kriegszeiten (Unterlagen und vor Ort) wurden am rechten Ufer zwei durchgängige Kernbohrungen (S2 und S3) und am linken Ufer zwei felsmechanische Stationen (ST-GEO1 und ST-GEO2) zur Charakterisierung des Gebirges durchgeführt, dort wo die Widerlager der Fußgänger- und Radbrücke aufliegen werden. Außerdem wurden drei geophysikalische Versuche der Art HVSR¹ durchgeführt, um die punktuellen Informationen aus den Bohrungen auf zwei Schnitte auszuweiten. Die Zusammenfassung ist in der Tabelle 3.1 wiedergegeben. Die Lage der durchgeführten Versuche ist in der Anlage 3 *Lageplan des Untersuchungsgebietes* angegeben. Die Details zu den Ergebnissen der Erkundungskampagne für die vorliegende Studie sind in den Anlagen 4, 5, 6 und 7 zu entnehmen.

Tipo di prova Art des Versuchs	Ditta e data esecuzione Firma und Ausführungsdatum	Denominazione Prova / Bezeichnung Versuch	Quota / Kote [m s.l.m.] [m u.d.M.]	Profondità Tiefe ab GOK [m]	
Analisi valutazione rischio bellico residuo / Untersuchung des Restrisikos durch Kriegsmaterial	Consorzio / Konsortium S.T.E.R.N. 04.12.2017	S1	722.0	0-13.0	
		S2	722.0	0-13.0	
		S3	722.0	0-13.0	
Perforazioni a carotaggio continuo Durchgehende Kernbohrungen	Land Service 9-23.01.2018	S2	723.0	0-29.0	
		S3	722.0	0-15.0	
Perforazioni a distruzione di nucleo Zerstörungsbohrungen	Land Service 9-23.01.2018	S2	723.0	29.0 - 33.0	
		S2b	723.0	0 - 7.5	
Prove sismiche passive Seismische Versuche HVSR, punktuell und passiv	Alpin Geologie 27.11.2017	HVSR1	723.0	0-30.0	
		HVSR2	722.0	0-30.0	
		HVSR3	733.0	0-30.0	
Prelievo di campioni lungo le verticali di indagine Probenentnahme entlang der Bohrungen	Land Service 9-23.01.2018	S2/b	715.5 - 715.0	7.5 - 8.0	
		S2	CR1	718.5 - 718.3	4.5 - 4.7
			CR2	715.2 - 715.5	7.4 - 7.7
			CR3	704.9 - 705.2	18.1 - 18.4
		S3	CR4	720.8 - 721.1	1.2 - 1.5
CR5	707.8 - 708.1		14.2 - 14.5		
Limiti di Atterberg Grenzen	Brainstormers 14-21.02.2018	C/1	/	/	
		C/1	/	/	
Prova edometrica (ED) Ödometrischer Versuch	Brainstormers 14-21.02.2018	C/1	/	/	
		C/1	/	/	
Prova di taglio diretto (TD) Direkter Scherversuch	Brainstormers 14-21.02.2018	C/1	/	/	
		C/1	/	/	
Analisi granulometrica Korngrößenanalyse	Brainstormers 14-21.02.2018	C/1	/	/	
		CR2	/	/	
		CR3	/	/	
		CR4	/	/	
		CR5	/	/	

Tabella 3.1: Prospetto riassuntivo delle indagini geognostiche e prove di laboratorio / Zusammenfassung der geognostischen Untersuchungen und der Laborversuche

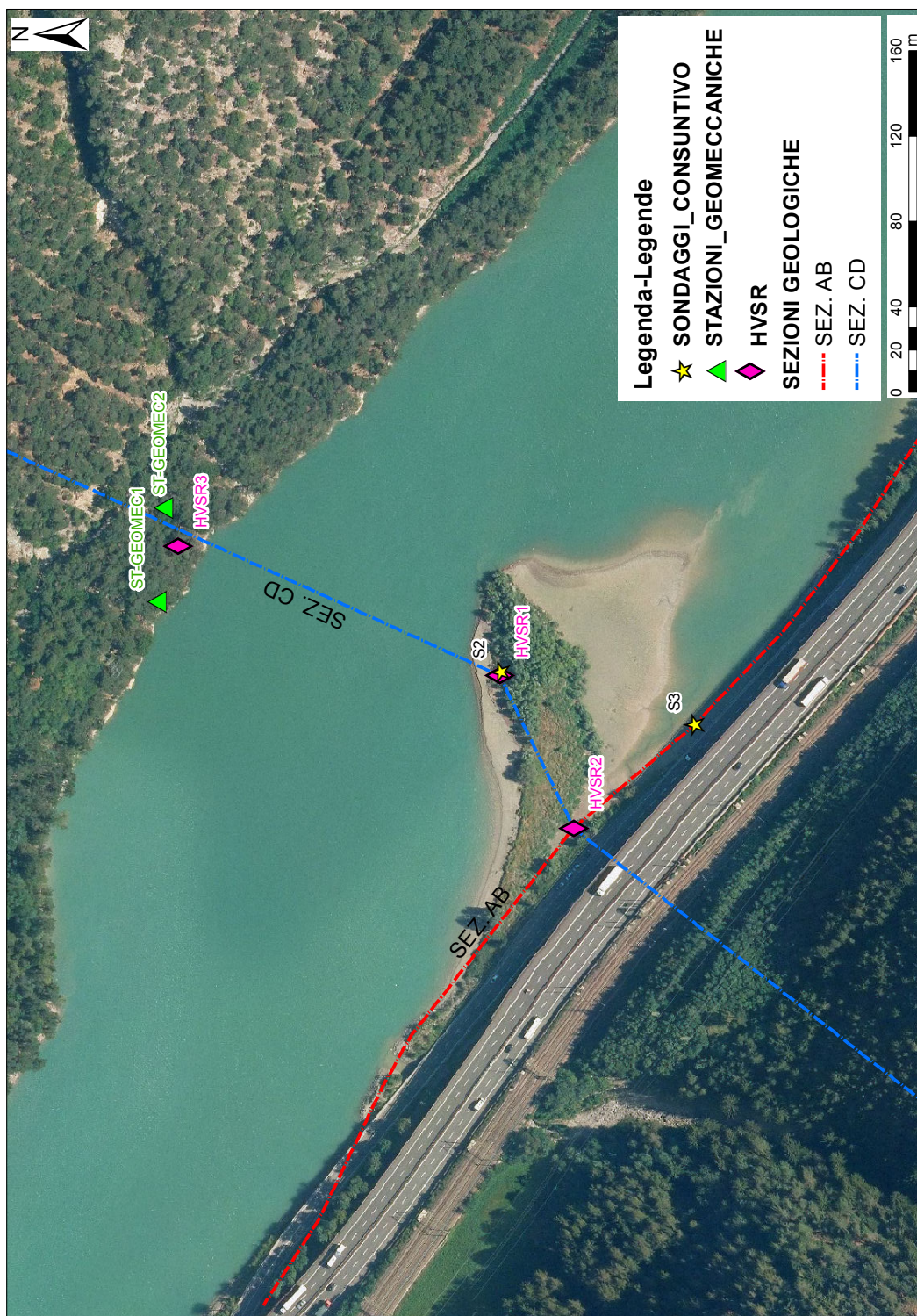


Figura 3.1: Planimetria dell'ubicazione delle indagini e delle sezioni geologiche / Lageplan der Untersuchungen und geologischen Schnitte

4 Inquadramento storico degli interventi antropici

La nascita del paese di Fortezza (Franzensfeste) è riconducibile all'inizio dei lavori per la costruzione delle fortificazioni volute da Francesco I Imperatore d'Austria e realizzate tra il 1833 e il 1838 (Forte alto, medio e basso). Nell'anno 1864 iniziano i lavori per la realizzazione della ferrovia del Brennero nel tratto Bolzano-Brennero inaugurata il 24 agosto del 1867. Nell'anno 1928 viene istituita la SS 12 dell'Abetone e del Brennero, ricalcando, nell'area in esame, il tracciato di una strada preesistente, individuabile sulla mappa catastale del 1858 (antecedente alla costruzione della ferrovia), i cui resti sono tutt'oggi visibili in modo discontinuo lungo le rive del lago. Il tracciato originale viene poi modificato durante i lavori di sbarramento per la realizzazione dell'invaso artificiale (Figura 4.1-alto). Il bacino sommerge il fondovalle quando gli edifici presenti nell'allora località *Prà di Sotto* ed attuale *penisola sabbiosa* (foto nella Figura 4.1-basso, Gasthof Unterrau, cappelletta e masi lungo la strada) erano già stati demoliti con l'impiego di esplosivo (testimonianze dirette degli abitanti).

Durante il ventennio fascista vengono realizzati cinque bunker che, al di là della parte visibile dall'esterno, si sviluppano lungamente in sotterraneo all'interno del versante. Due

4 Geschichtlicher Rahmen der anthropischen Eingriffe

Das Dorf Franzensfeste entstand mit Beginn der Arbeiten zur Burg Franzensfeste, die vom Kaiser Franz I von Österreich vorangetrieben wurden und zwischen 1833 und 1838 erfolgten (obere, mittlere und untere Burg). 1864 begannen die Arbeiten zur Brennerereisenbahn im Abschnitt Bozen-Brenner, die am 24. August 1867 eingeweiht wurde. 1928 wurde die SS 12 des Abetone und des Brenners erbaut, wobei eine bestehende Straßentrasse verwendet wurde und die in der Katastermappe von 1858 (vor dem Bau der Eisenbahn) erkennbar ist; die Reste dieser Straße sind bis zum heutigen Tage mit Unterbrechungen entlang des Ufers des Sees erkennbar. Die ursprüngliche Trasse wurde dann während der Arbeiten zur Errichtung des Stausees verändert (Abbildung 4.1-oben). Das Speicherbecken überflutete den Talboden, als die vorhandenen Gebäude in der damaligen Ortschaft *Unterrau* und jetzigen *sandigen Halbinsel* (Foto in der Abbildung 4.1-unten, Gasthof Unterrau, Kapelle und Höfe entlang der Straße) schon durch Sprengstoff abgebrochen worden waren (direkte Zeugenaussagen der Bewohner).

Während des Faschismus wurden fünf Bunker errichtet, die sich abgesehen vom Abschnitt, der von außen sichtbar ist, länglich innerhalb des Hanges erstrecken. Zwei der

dei cinque bunker ricadono nell'area studiata (Allegato 1) e sono dotati di più accessi e feritoie. Nell'anno 1974 viene inaugurata l'autostrada del Brennero che modifica ulteriormente, con viadotti e rilevati artificiali, la morfologia dei luoghi prossimi all'invaso e la viabilità esistente.

Bunker, die in das Untersuchungsgebiet fallen (Anlage 1) verfügen über mehrere Zugänge und Schießscharten. 1974 wird die Brennerautobahn eingeweiht, die wiederum die Morphologie des Gebietes um den Stausee durch Viadukte und Aufschüttungen sowie den Verkehr verändert.

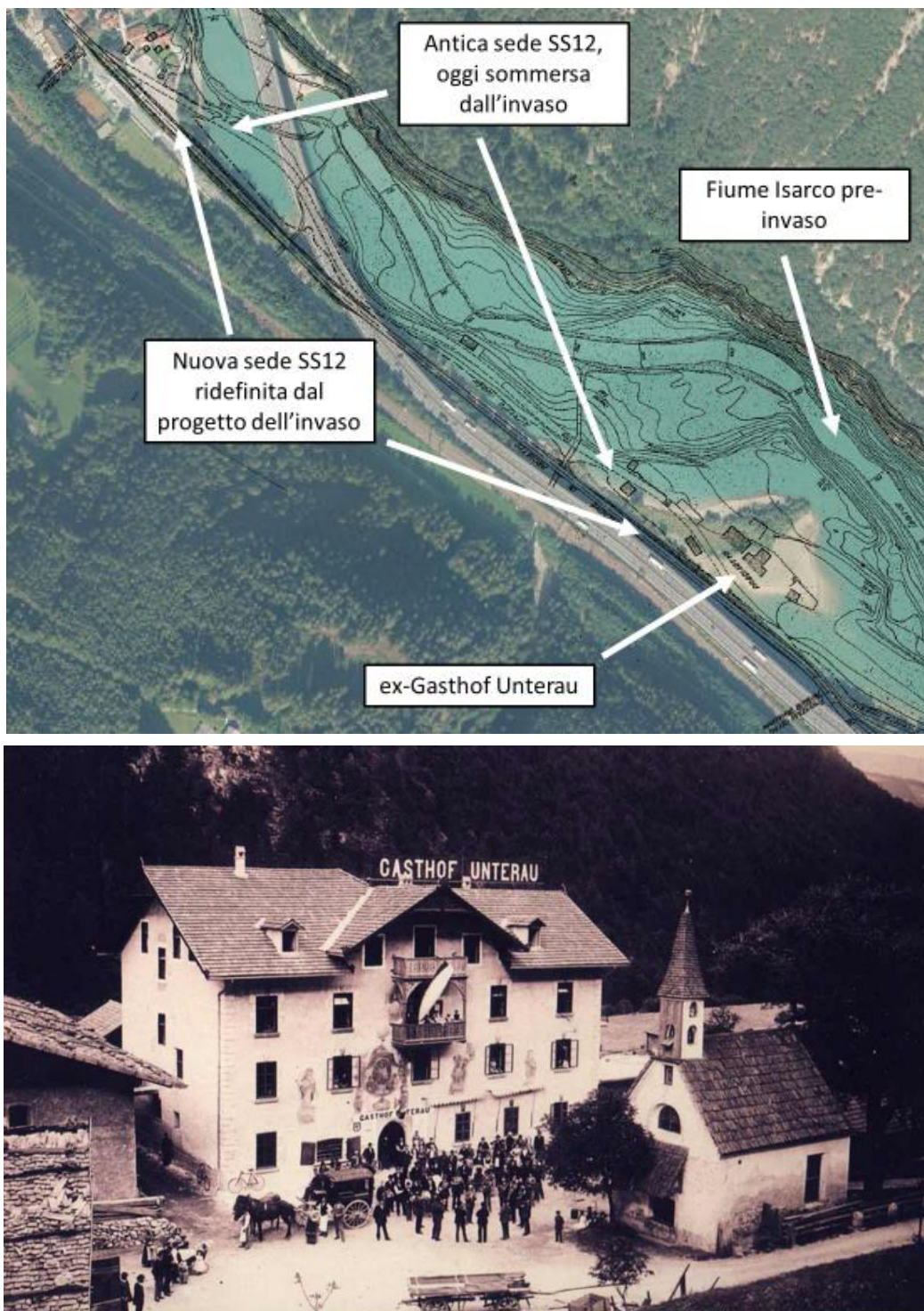


Figura 4.1: Alto: stralcio della planimetria del 1938 relativa al progetto per la realizzazione dell'invaso, proiettato sull'ortofoto del 2014-2015; Basso: il *Gasthof Unterrau* e la cappelletta del XX secolo (fonte www.fortezzaopenarchive.net) / Oben: Auszug aus dem Lageplan von 1938 zum Projekt zur Errichtung des Stausees, auf das Orthofoto 2014-2015 projiziert; Unten; der *Gasthof Unterrau* und die Kapelle aus dem 20. Jahrhundert (Quelle www.fortezzaopenarchive.net)

5 Quadro Geologico e Geomorfologico

L'area in esame è stata oggetto di rilevamento geologico-geomorfologico e idrogeologico le cui evidenze sono illustrate in Allegato 1. Durante il rilevamento è apparsa da subito evidente una sostanziale differenza tra le sponde idrografiche destra e sinistra (foto in Figura 5.1). Lungo la sponda destra, il piede del versante a tergo del lago presenta un'acclività assai più contenuta, una ridotta presenza di affioramenti rocciosi e, soprattutto, una forte antropizzazione. La sponda opposta, per contro, vede affiorare diffusamente il substrato roccioso su versanti ripidi, con coperture quaternarie di spessori più limitati; qui l'intervento antropico si limita alla presenza dell'ex pista ciclabile e relative opere di protezione, dei tralicci della linea dell'alta tensione, dei bunker del Vallo Alpino e dei camminamenti.

5.1 Sponda destra del bacino

Partendo dal ponte pedo-ciclabile esistente, percorrendo la sponda in destra orografica, si rinvencono depositi fluviali di origine mista che qui si presentano come sabbie, ghiaie, ciottoli e blocchi da centimetrici a plurideci-

5 Geologischer und geomorphologischer Rahmen

Im Untersuchungsgebiet erfolgten geologisch-geomorphologische und hydrogeologische Kartierungen, deren Ergebnisse in der Anlage 1 angeführt sind. Während der Kartierungen konnte sogleich ein grundlegender Unterschied zwischen den Ufern in der hydrographischen Rechten und Linken (Fotos in Abbildung 5.1) festgestellt werden. Entlang des rechten Ufers weist der Hangfuß hinter dem See eine geringere Neigung auf, es sind weniger Felsaufschlüsse vorhanden und das Gebiet zeichnet sich durch eine starke Veränderung durch Anthropisierung aus. An der andere Seite tritt hingegen der Felsuntergrund verbreitet an den steilen Hängen auf, wobei die Quartärablagerungen geringere Mächtigkeiten aufweisen; hier beschränkt sich die Anthropisierung auf das Vorhandensein des ehemaligen Fahrradweges und der dazugehörigen Schutzbauwerke, der Hochspannungsleitung, der Bunker des Alpenwalls und der Laufgräben.

5.1 Rechtes Ufer des Stausees

Ab der bestehenden Fußgänger- und Fahrradbrücke trifft man am Ufer in der orographischen Rechten auf fluviale Ablagerungen gemischter Herkunft, die hier als Sande, Kiese, Steine und Zentimeter- bis mehre-

metrici. Il punto di immissione dell'Isarco all'interno del bacino è in stretta correlazione con il passaggio litologico da depositi fluviali di origine mista a limo e sabbia. Allo sbocco del rio Salceto nel fondovalle è rilevabile un conoide misto non attivo, ricoperto localmente da depositi fluviali e lacustri attuali. Lungo la sponda in direzione sud-est, si rinvengono, nelle aree pressoché permanentemente sommerse, limo e sabbia, mentre immediatamente a monte, le aree pianeggianti sono costituite da depositi fluviali di origine mista, certamente rimaneggiati durante la costruzione della nuova sede della strada statale. A monte della Statale si incontra un detrito di versante, mentre poco ad ovest dell'intersezione tra il viadotto dell'A22 e la SS12 i lavori per la costruzione dell'autostrada e lo spostamento della SS12 hanno portato alla luce un affioramento di Granito di Bressanone alto circa 5 m e lungo 130 m che testimonia la presenza del substrato sub-affiorante all'interno del versante nelle pertinenze di quell'area. Proseguendo verso sud-est, a valle delle aree che hanno subito una forte antropizzazione per l'attraversamento della rete viaria (strada statale, autostrada, pista ciclabile, ferrovia), si ritrova il conoide di colata detritica prodotto dal Rio della Chiusa. Questo è costituito da un deposito misto con granulometrie che vanno dalle sabbie, ai ciottoli da sub-angolosi a sub-arrotondati, fino a blocchi anche superiori al mezzo metro di diametro equivalente. Oggi, i depositi conoidali sono ricoperti in corrispondenza della *penisola sabbiosa* da un potente accumulo di sedimenti lacustri, depositati nell'area di bacino dalle acque dell'Isarco. Seguono, lungo la sponda del lago verso il forte, alternanze di depositi di origine mista, naturali (prevalentemente lacustri, con locali affioramenti di granito) ed artificiali (muri di pietre, terrapieni, gab-

re Zentimeter- große Blöcke auftreten. Dort, wo der Eisack in den Stausee fließt, befindet sich der lithologische Übergang von den fluvialen Ablagerungen gemischter Herkunft zu Silt und Sand. An der Mündung des Salcherbaches im Talboden findet sich ein gemischter, nicht aktiver Kegel, der örtlich von fluvialen und aktuellen Seeablagerungen bedeckt ist. Entlang des Ufers in Richtung Südosten findet man in den meist überfluteten Gebieten Silt und Sand, während unmittelbar bergwärts davon die ebenen Flächen aus fluvialen Ablagerungen gemischter Herkunft bestehen, die sicherlich während des Baus der neuen Trasse der Staatsstraße umgelagert wurden. Bergwärts der Staatsstraße trifft man auf Hangschutt, während wenig westlich der Kreuzung zwischen dem Viadukt der A22 und der SS 12 die Arbeiten zum Bau der Autobahn und zur Verschiebung der SS 12 Brixner Granit in einem Aufschluss von ca. 5 m Höhe und 130 m Länge ans Licht gebracht haben, was das Vorhandensein des halbauf-tretenden Untergrunds innerhalb des Hanges in diesem Gebiet bezeugt. Weiter in Richtung Südosten, talwärts der Areale, die stark vom Menschen durch die Verkehrswege (Staatsstraße, Autobahn, Fahrradweg, Eisenbahn) verändert wurden, findet sich der Murkegel des Klausenbaches. Dieser besteht aus gemischten Ablagerungen mit Korngrößen, die von Sanden bis kantengerundeten und angerundeten Steinen, bis Blöcken mit mehr als einem halben Meter Durchmesser reichen. Heutzutage sind die Kegelablagerungen bei der *sandigen Halbinsel* von mächtigen Seesedimenten bedeckt, die durch den Eisack im Stausee abgelagert wurden. Es folgen im Uferabschnitt in Richtung Burg Wechsellagerungen von gemischten, natürlichen Ablagerungen (vorwiegend Seesedimente mit örtlichen Granitaufschlüssen) und künstlichen (Steinmauern, Dämme, Gabionen, Ansamm-

bionate, accumuli di demolizione di vecchi parapetti stradali, ecc.).

5.2 Sponda sinistra del bacino

La spalla del ponte pedo-ciclabile in sinistra idrografica all'Isarco è fondata su un evidente affioramento di Granito di Bressanone, che si estende orizzontalmente per una quarantina di metri a livello del fiume. Le rocce risultano parzialmente ricoperte da depositi fluviali di origine mista, prima, e, dove la sezione fluviale si amplia, da depositi di limo e sabbia. Localmente sono presenti anche depositi detritici di versante costituiti da blocchi da pluricentimetrici a pluridecimetrici con clasti sub-arrotondati. Alle quote superiori il versante boscato è ricoperto da detrito di versante, generalmente ben pedogenizzato, costituito da elementi litoidi da angolosi a sub-arrotondati, che solo raramente superano il mezzo metro di diametro equivalente. A luoghi affiora o sub-affiora il Granito di Bressanone, localmente con evidenze d'instabilità riportate in Allegato 1, come aree soggetta a crolli e ribaltamenti con blocchi di diametro equivalente compreso tra gli 0.5 e i 2 m. Lungo il versante si rinvengono vari blocchi singoli mobilizzabili e depositi a grossi blocchi (con diametro equivalente superiore a 0.5 m) riconducibili a processi di crollo pregressi avvenuti alle quote superiori. Procedendo verso sud-est, sino al limite meridionale dell'area rilevata, i depositi descritti si alternano, complice l'azione erosiva e di trasporto dei corsi d'acqua effimeri che solcano il pendio e confluiscono nel bacino.

lungen von Abbruchmaterial aus alten Straßenbefestigungen, usw).

5.2 Linkes Ufer des Stausees

Das Widerlager der Fußgänger- und Fahrradbrücke in der hydrographischen Linken des Eisacks gründet auf einem Aufschluss aus Brixner Granit, der sich horizontal um ca. 40 m auf Höhe des Flusses erstreckt. Das Gestein ist zuerst teilweise von fluvialen Ablagerungen gemischter Herkunft bedeckt und dann dort, wo sich der Flussquerschnitt ausweitert, aus Silt- und Sandablagerungen. Örtlich finden sich auch Hangschuttablagerungen, die aus mehr als Zentimeter-großen bis mehr als Dezimeter-großen Blöcken mit angerundeten Klasten bestehen. In den höheren Lagen ist der bewaldete Hang mit Hangschutt bedeckt, der im Allgemeinen gut in Boden umgewandelt wurde und aus kantigen bis angerundeten Gesteinselementen besteht, die selten einen äquivalenten Durchmesser von mehr als einem halben Meter aufweisen. In einigen Zonen tritt der Brixner Granit auf oder ist halbverdeckt und örtlich zeigen sich offensichtliche instabile Abschnitte, die in der Anlage 1 angeführt sind, wie z.B. Areale, in denen Stürze und Kippen von Blöcken mit einem äquivalenten Durchmesser zwischen 0.5 und 2 m vorkommen können. Entlang des Hanges finden sich mehrere, mobilisierbare Einzelblöcke und Ablagerungen von großen Blöcken (mit einem äquivalenten Durchmesser von mehr als 0.5 m), die auf vorhergehende Sturzereignisse aus den oberen Lagen zurückzuführen sind. Weiter in Richtung Südosten bis zur Südgrenze des Untersuchungsgebietes, wechseln sich die beschriebenen Ablagerungen ab, wobei die Erosions- und Transportfähigkeit der zeitbegrenzten Wasserläufe im Hang eine Rolle spielen.



Figura 5.1: Alto: le due sponde del lago a confronto inquadrare dalla zona del forte asburgico. La sponda orografica sinistra (sulla destra della foto), poco antropizzata, acclive e rocciosa; la sponda orografica destra (sulla sinistra), più dolce, molto antropizzata e con una presenza generalizzata di coperture quaternarie. Basso: venute d'acqua individuate lungo la sponda destra del lago / Oben: Die beiden Ufer des Sees im Vergleich, von der habsburgischen Burg aus gesehen. Das orographisch linke Ufer (rechts im Bild) ist wenig anthropisiert, steil und felsig; das orographisch rechte Ufer (links), ist weniger steil, stark anthropisiert und im Allgemeinen von Quartärablagerungen bedeckt. Unten: Wasseraustritte am rechten Ufer des Sees

6 Inquadramento Idrogeologico

I terreni nell'area indagata sono caratterizzati da permeabilità per porosità (terreni quaternari), variabile e funzione della granulometria dei sedimenti, e permeabilità per fessurazione (substrato roccioso), condizionata dal grado di fratturazione dell'ammasso roccioso. Le acque meteoriche si infiltrano nel suolo laddove la permeabilità è alta, e, lungo i ripidi versanti vallivi, possono dar luogo ad una circolazione idrica profonda concentrata lungo limiti di permeabilità sotterranei (terreno sciolto/substrato roccioso - roccia fessurata/roccia compatta). Raggiunto il fondovalle le acque infiltrate (Hangwasser) alimentano presumibilmente le falde acquifere. Durante l'esecuzione dei sondaggi di cui al Paragrafo 3 è stata intercettata la falda freatica alla stessa quota del livello del pelo libero dell'acqua dell'invaso in quel momento; l'oscillazione del carico idraulico di esercizio comporta un riequilibrio dell'altezza della falda che, sostanzialmente si mantiene alla medesima quota del livello dell'acqua del lago. Al momento del rilevamento le uniche emersioni d'acqua individuate corrispondono a tre venute a giorno di modesta portata (al momento del rilevamento nell'ordine di 1 l/min) presenti sulla sponda destra al bacino (Figura 5.1-basso), nella sua porzione compresa tra la *penisola* e il forte, riportate nell'Allegato 1. Si tratta probabilmente di acque di drenaggio della sovrastante rete viaria (e connessi terreni antropizzati); la natura fine dei terreni superficiali

6 Hydrogeologischer Überblick

Die Böden im Untersuchungsgebiet weisen eine Durchlässigkeit aufgrund von Porosität (quartäre Ablagerungen) auf, die in Funktion der Korngröße der Sedimente variiert, und aufgrund von Klüftung (Felsuntergrund), die vom Klüftungszustand des Gebirges abhängt. Das Niederschlagswasser versickert im Boden, dort wo die Durchlässigkeit hoch ist und entlang der steilen Hänge kann es zur unterirdischen Wasserzirkulation kommen, die sich auf die Durchlässigkeitsgrenzen konzentriert (Lockermaterial/ Felsuntergrund - zerklüfteter Fels/ kompakter Fels). Erreicht das Sickerwasser (Hangwasser) den Talboden, so wird vermutlich das Grundwasser gespeist. Während der Ausführung der Bohrungen (siehe Abschnitt 3) wurde das Grundwasser auf derselben Höhe des freien Wasserspiegels im Stausee angetroffen; das Schwanken der Betriebswasserlast führt zu einem Ausgleich der Höhe des Grundwasserspiegels, die sich im Allgemeinen auf derselben Kote des Wasserspiegels im See befindet. Zum Zeitpunkt der Kartierungen konnten drei Wasseraustritte ausgemacht werden und zwar mit geringer Schüttung (bei der Kartierung ca. 1 l/min); diese befinden sich am rechten Ufer (Abbildung 5.1-unten) im Abschnitt zwischen der *Halbinsel* und der Burg, wie in der Anlage 1 angegeben ist. Es handelt sich höchstwahrscheinlich um Dränwasser des darüber liegenden Straßennetzes (und dazugehörigen anthropisierten Gelände); die feinen oberflächlichen Böden mit

e la loro permeabilità medio - bassa enfatizza il solco erosivo generato dal debole deflusso. Per quanto riguarda la sponda sinistra, l'intero versante si presenta asciutto, così come i corsi d'acqua effimeri coincidenti con le incisioni.

Gli elementi idrografici rilevanti e consultabili all'interno del Geocatalogo della Provincia Autonoma di Bolzano sono costituiti, oltre che dal Fiume Isarco (acqua pubblica B), che scorre in fondovalle, e relativo invaso, dai suoi affluenti destri: il *Rio della Chiusa - Klausenbach* (acqua pubblica B.435), più ad ovest ed il rio B.430, più ad est. Un ulteriore corso d'acqua, temporaneo, non censito sul Geocatalogo, corre 400 m circa ad ovest del Rio della Chiusa, ad esso sub-parallelo; è stato denominato arbitrariamente dagli scriventi *Rio Salceto*. Questi tre affluenti destri all'Isarco sono stati almeno parzialmente regimati nel tratto nel quale il loro corso attraversa la rete viaria, per mezzo di sottopassi, dreni superficiali (Rio della Chiusa e Rio Salceto) e intubamenti (B.435). Per quanto riguarda la sponda sinistra, la parte di versante indagata è incisa da una decina di rii effimeri, che al momento del rilevamento si presentavano completamente asciutti, ma, anche secondo la documentazione reperita di eventi progressi, in occasione di eventi meteorici straordinari possono riattivarsi e trasportare a valle anche grandi quantità di materiale detritico.

ihrer mittleren- geringen Durchlässigkeit verstärken die Erosionsfurchen, die durch den geringen Abfluss entstanden sind. Was das linke Ufer betrifft, so ist der gesamte Hang trocken, wie auch die periodischen Seitenbäche, die sich innerhalb der Rinnen befinden. Die hydrographisch wichtigsten Elemente, die man im Katalog des Geobrowsers des Landes findet sind neben dem Eisack (K.Ö.G. B), der im Talboden verläuft, und dem dazugehörigen Stausee, seine rechten Zufluter: der *Klausenbach* (K.Ö.G B.435), weiter westlich und der Bach B.430, weiter östlich. Ein weiterer Bachlauf, mit periodischem Charakter und nicht im Geokatalog enthalten, verläuft ca. 400 m weiter westlich und subparallel zum Klausenbach; er wurde vom Verfasser beliebig als *Salcherbach* bezeichnet. Diese drei rechten Zufluter des Eisacks wurden zumindest teilweise verbaut und zwar dort, wo sie das Straßennetz kreuzen, und mittels Unterführungen, oberflächliche Dränagen (Klausenbach und Salcherbach) und Verrohrungen (B.435). Was das linke Ufer betrifft, so finden sich am untersuchten Hangabschnitt etwa zehn periodische Bäche, die zur Zeit der Kartierung vollständig trocken waren, sich aber laut gesammelten historischen Daten bei außerordentlichen Starkniederschlägen aktivieren und auch beträchtliche Mengen an Schuttmaterial zu Tal bringen können.

7 Modellazione Geologica

Per la definizione del modello geologico ci si è basati sui dati derivanti dal rilievo geologico, geomorfologico ed idrogeologico eseguito nell'area di studio, sui dati bibliografici, nonché sui risultati delle indagini geognostiche specificamente eseguite per lo studio. L'interpretazione dei risultati delle indagini ha permesso di riconoscere diverse unità geo-litologiche (UG) e di definirne i limiti stratigrafici. I sondaggi S2 e S3, eseguiti in corrispondenza della penisola, hanno individuato gli spessori delle unità geo-litologiche presenti. Per quanto riguarda i depositi lacustri attuali (UG 1) di sabbia e limo, nel caso dell'S2 questi si ritrovano fino alla profondità di 9.30 m dal piano campagna, nel sondaggio S3 fino a 1.5 m dal p.c.. Al di sotto di questi depositi più fini i sondaggi attraversano un potente deposito di debris flow con intercalazioni di deposito alluvionale/torrentizio (UG 2) composto da una miscela di ghiaia e sabbia con ciottoli e blocchi. Nel sondaggio S3 si incontrano, a partire dai 12.75 m di profondità, depositi di sabbia con limo, debolmente argillosa e di sabbia medio/grossolana, da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, riconducibili ad alluvioni dell'Isarco che nel passato potrebbe avere avuto un corso differente rispetto a quello descritto dalle carte e dalle immagini storiche. L'ammasso roccioso costituisce un'ulteriore unità geo-litologica (UG 3), non raggiunta da nessuno dei due sondaggi geognostici eseguiti in sponda destra, ma identificata dall'inter-

7 Geologische Modellierung

Für die geologische Modellierung wurden die Daten der geologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Kartierung im Untersuchungsgebiet herangezogen, sowie Daten aus der Literatur und die Ergebnisse der speziell für diese Studie durchgeführten Erkundungen. Die Interpretation der Ergebnisse der Erkundungen hat es ermöglicht, verschiedene geo-lithologische Einheiten (UG) zu erkennen und ihre stratigraphischen Grenzen festzulegen. Durch die Bohrungen S2 und S3, die bei der Halbinsel abgeteuft wurden, konnten die Mächtigkeiten der geo-lithologischen Einheiten definiert werden. Was die aktuellen Seeablagerungen (UG 1) aus Sanden und Silt betrifft, so findet man diese in S2 bis in einer Tiefe von 9.30 m ab Geländeoberkante, in der Bohrung S3 reichen sie bis 1.5 m ab GOK. Unterhalb dieser feineren Ablagerungen queren die Bohrungen eine mächtige Murablagerung mit Einschaltungen von alluvialen/ Wildbachablagerungen (UG 2), die aus Kiesen vermischt mit Sanden mit Steinen und Blöcken besteht. In der Bohrung S3 trifft man ab 12.75 m Tiefe Sandablagerungen mit Silt, schwach tonhaltig und mittleren/grober Sand, von schwach kiesig bis kiesig, die auf die Alluvionen des Eisacks zurückzuführen sind, der in der Vergangenheit einen anderen Verlauf aufweisen hätte können, als der, den man in den historischen Karten und Bildern sieht. Das Gebirge stellt eine weitere geo-lithologische Einheit dar (UG 3), die von keiner der beiden

pretazione delle due prove HVSR¹ eseguite, rispettivamente alle profondità di 38.5 m dal p.c. (HVSR1) e 36.5 m dal p.c. (HVSR2). In sponda sinistra, laddove è stata eseguita l'indagine HVSR3, affiora la roccia, di cui l'indagine sismica ha evidenziato un netto miglioramento qualitativo con la profondità (già da - 5.15 m dal p.c.).

Nelle sezioni schematiche (Allegati 2, 3 e Figure 7.1, 7.2), ricostruite utilizzando tutti i dati raccolti, sono visibili i limiti stratigrafici tra le tre unità geo-litologiche. I rapporti spaziali tra le unità sono stati altresì ipotizzati, valutando le dinamiche evolutive valliche (glaciazione, eventi parossistici di trasporto ed erosione fluviale, disgregazione ed alterazione del substrato roccioso, ecc.).

Erkundungsbohrungen am rechten Ufer erreicht wurde, aber das durch die Interpretation der beiden durchgeführten HVSR¹ - Versuche erkannt wurde und zwar in jeweils 38.5 m Tiefe ab GOK (HVSR1) und 36.5 m ab GOK (HVSR2). Am linken Ufer, wo der Versuch HVSR3 durchgeführt wurde, steht das Gestein an; die seismische Untersuchung hat eine deutliche Verbesserung der Qualität des Gesteins mit der Tiefe (schon ab - 5.15 m ab GOK) feststellen können.

Die schematischen Schnitte (Anlagen 2, 3 und Abbildungen 7.1, 7.2), zeigen die stratigraphischen Grenzen zwischen den drei geolithologischen Einheiten, die mit Hilfe aller gesammelten Daten rekonstruiert wurden. Die räumlichen Verhältnisse zwischen den Einheiten wurden außerdem nach Bewertung der Dynamik und Evolution der Täler (Vergletscherung, paroxystische Transportereignisse, Bacherosion, Zerrüttung und Verwitterung des Felsuntergrundes, usw.) angenommen.

¹ Horizontal to Vertical Spectral Ratio

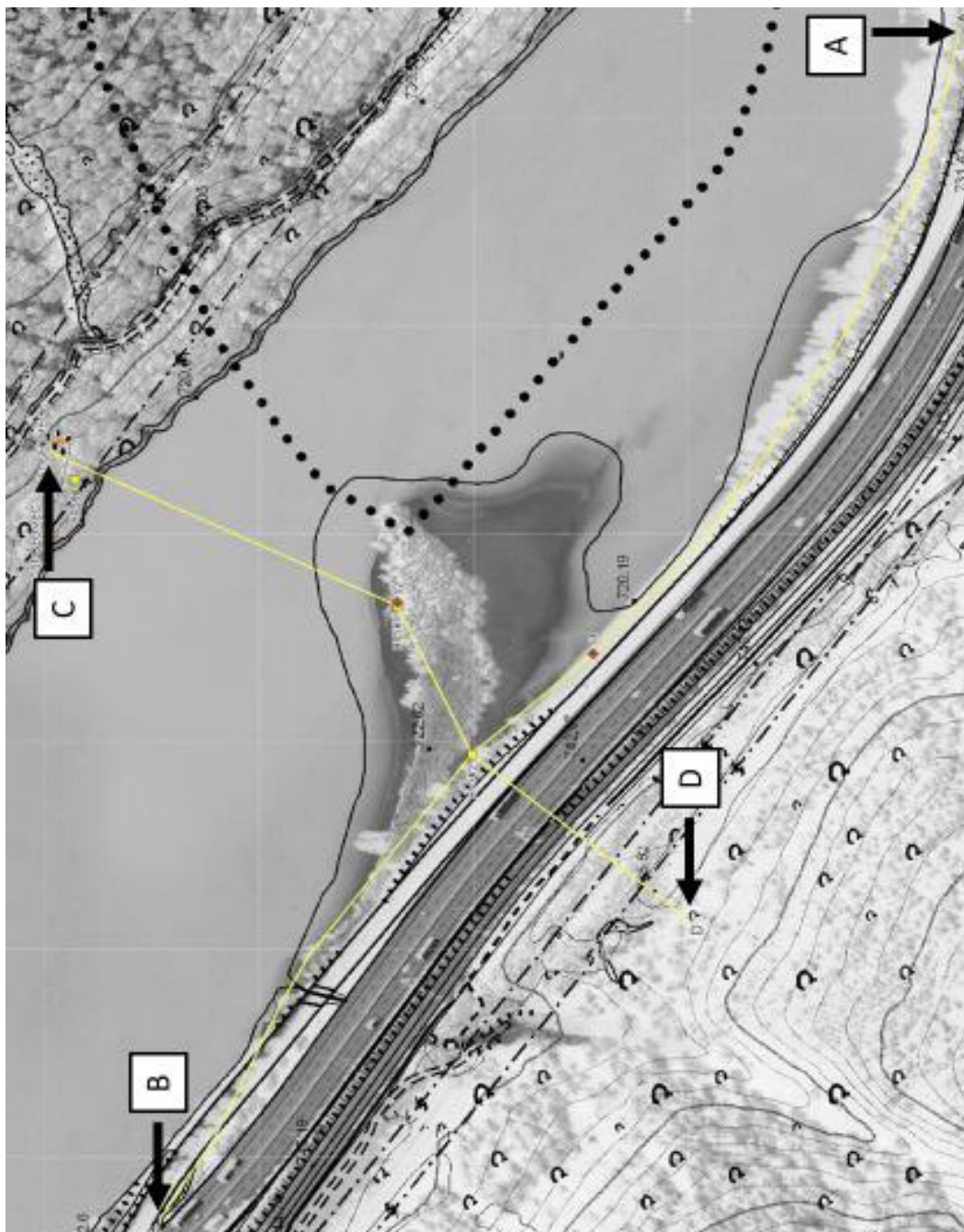


Figura 7.1: Stralcio dell'Allegato 3 che riporta le tracce delle sezioni AB e CD in planimetria / Auszug aus der Anlage 3, mit Angabe der Schnitte AB und CD im Lageplan



Figura 7.2: Stralcio dell'Allegato 2 che riporta le sezioni AB e CD / Auszug aus der Anlage 2, mit Angabe der Schnitte AB und CD

8 Caratterizzazione Geomeccanica

L'obiettivo della caratterizzazione geotecnica è fornire elementi di supporto alle scelte progettuali relative alle fondazioni delle spalle del ponte pedo-ciclabile. Per la sponda sinistra è pertanto importante individuare eventuali piani di scivolamento, al fine di stabilire l'orientamento dei sistemi di ancoraggio per la spalla del ponte; per la sponda destra è importante caratterizzare il sottosuolo per individuare la tipologia di fondazione più idonea.

Nella Tabella 8.1 si riporta la corrispondenza tra le unità geo-litologiche (UG), individuate nel Capitolo 7, e le unità geotecniche (UGT).

Nella Tabella 8.2 sono riassunte le caratteristiche fisico-meccaniche dell'unità UGT 1, ottenute dalle prove di laboratorio, effettuate sui campioni di terreno disturbato ed indisturbato (fustella), prelevati dalle carote di sondaggio. I parametri geotecnici dell'unità UGT 1 possono essere più genericamente ottenuti dalla Figura 8.1 (valori empirici) tratta da EAU 2005 (Ausschuss *et al.*, 2005).

Nella Tabella 8.3 sono riassunte le caratteristiche fisico-meccaniche dell'unità UGT 2, per la quale i parametri geotecnici possono essere assunti in base a quelli empirici, illustrati in Figura 8.2.

Per la definizione dei parametri geotecnici caratteristici si rimanda alla stima caute-

8 Geotechnische Charakterisierung

Das Ziel der geotechnischen Charakterisierung ist das Sammeln von Daten, um Projektlösungen zu den Gründungen der Widerlager der Fußgänger- und Fahrradbrücke zu finden. Am linken Ufer ist es daher wichtig, mögliche Rutschflächen auszumachen, um die Orientierung der Verankerungssysteme für das Brückenwiderlager zu bestimmen; am rechten Ufer ist es wichtig den Boden zu charakterisieren, um die geeignete Gründungsart festzulegen.

Die Tabelle 8.1 gibt die Übereinstimmung zwischen den geo-lithologischen Einheiten (UG) aus dem Kapitel 7, und den geotechnischen Einheiten (UGT) wieder.

Die Tabelle 8.2 fasst die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Einheit UGT 1 zusammen, die durch Laborversuche auf gestörten und ungestörten (Stechzylinder) Proben aus den Bohrkernen bestimmt wurden. Die geotechnische Kenngrößen der Einheit UGT 1 können im Allgemeinen von der Abbildung 8.1 (empirische Werte) abgeleitet werden, die von EAU 2005 (Ausschuss *et al.*, 2005) entnommen wurden.

Die Tabelle 8.3 fasst die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Einheit UGT 2 zusammen, deren geotechnischen Kenngrößen aufgrund der empirischen Werte, in der Tabelle 8.2 angegeben, abgeleitet werden.

Was die charakteristischen geotechnischen Parameter betrifft, so verweist man auf ei-

lativa, effettuata dal progettista, del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato in fase di verifica (Paragrafo C6.2.2 Circolare C.S.LL.PP. n. 617, 2009).

ne vorsichtige Schätzung durch den Planer des geeigneten Parameters für den bei den Nachweisen untersuchten Grenzzustand (Absatz C6.2.2, Rundschreiben C.S.LL.PP Nr. 617, 2009).

Unità geo-litologica (UG) Geo-lithologische Einheit	UG	Unità geotecnica (UGT) Geotechnische Einheit	UGT
Deposito lacustre attuale Aktuelle Seesedimente	1	Sabbia limosa o limo sabbioso con ridotta frazione ghiaioso-argillosa Siltiger Sand oder sandiger Silt mit geringem Kies- und Tongehalt	1
Deposito di debris flow, con intercalazioni di deposito alluvionale/torrentizio Murablagerungen mit Zwischenlagerungen aus Alluvionen/ Wildbachablagerungen	2	Miscela di Ghiaia e Sabbia, con ciottoli e blocchi (frequente $\Phi > 0.5$ m), localmente debolmente limose. Sabbia con Limo debolmente argillosa (S3). Sabbia medio/grossolana, da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa (S3) Mischung aus Kies und Sand mit Steinen und Blöcken (häufig $\phi > 0.5$ m), örtlich schwach siltig. Sand mit Silt, schwach tonhaltig (S3). Mittlerer bis grober Sand, von schwach kiesig bis kiesig (S3)	2

Tabella 8.1: Corrispondenza tra le unità litologiche e quelle geotecniche / Übereinstimmung zwischen den lithologischen und geotechnischen Einheiten

Classificazione granulometrica Korngrößenklassifikation	Sabbia limosa e Limo sabbioso, localmente debolmente ghiaiosa e debolmente argillosa / Siltiger Sand und sandiger Silt, örtlich schwach kiesig und schwach tonhaltig	
% Argilla - Ton (<0.002 mm)	0.34 (S2b 7.50-8.00 m) - 9.01 (S3 1.20-1.50 m)	
% Limo - Silt (0.002 mm - 0.006 mm)	17.23 (S2b 7.50-8.00 m) - 76.49 (S3 1.20-1.50 m)	
% Sabbia - Sand (0.06 mm - 2 mm)	12.15 (S3 1.20-1.50 m) - 81.87 (S2b 7.50-8.00 m)	
% Ghiaia - Kies (>2 mm)	0.01 (S2 7.40-7.70 m) - 9.16 (S2 4.50-4.70 m)	
Classificazione AASHTO (Norma UNI 11531-1)	A2-4 (S2b 7.50-8.00 m)	
Classificazione USCS Klassifikation	CL (S2b 7.50-8.00 m)	
Classificazione secondo DIN 18196	S\bar{U} (S2 4.50-4.70 m) UL (S2 7.40-7.70 m)	
Klassifikation nach DIN 18196	S\bar{U} (S2b 7.50-8.00 m) UL (S3 1.20-1.50 m)	
Peso di volume (umidità naturale) - Wichte	γ	= 20.21 kN/m ³ (S2b. 7.50-8.00 m)
Peso di volume essiccato - Trockenwichte	γ_d	= 16.53 kN/m ³ (S2b. 7.50-8.00 m)
Umidità naturale media - Mittlere Bodenfeuchte	W_n	= 20.3 % (S2b. 7.50-8.00 m)
Angolo di attrito - Reibungswinkel	ϕ'	= 39.72° (S2b. 7.50-8.00 m)
Coesione - Kohäsion	c'	= 1.09 kN/m ² (S2b. 7.50-8.00 m)
Modulo edometrico ($\sigma'_v = 200$ kN/m ²) Ödometrisches Modul	E_{ed}	= 20.44 MN/m ² (S2b. 7.50-8.00 m)
Permeabilità - Durchlässigkeit ($\sigma'_v = 200$ kN/m ²)	k	= 7.95 x 10 ⁻⁷ m/s (S2b. 7.50-8.00 m)

Tabella 8.2: Caratterizzazione dell'unità geotecnica UGT1 / Charakterisierung der geotechnischen Einheiten UGT1

Classificazione granulometrica Korngrößenklassifikation	Ghiaia con Sabbia debolmente limosa Kies mit Sand, schwach siltig	
% Argilla - Ton (<0.002 mm)	0,90 (S2, 18.10-18.40 m)	
% Limo - Silt (0.002 mm - 0.006 mm)	6,32 (S2, 18.10-18.40 m)	
% Sabbia - Sand (0.06 mm - 2 mm)	44,48 (S2, 18.10-18.40 m)	
% Ghiaia - Kies (>2 mm)	48,30 (S2, 18.10-18.40 m)	
Classificazione secondo DIN 18196	GU (S2, 18.10-18.40 m)	
Classificazione granulometrica Korngrößenklassifikation	Sabbia con Limo debolmente argillosa Sand mit Silt, schwach tonhaltig	
% Argilla - Ton (<0.002 mm)	6.51 (S3, 14.20-14.50 m)	
% Limo - Silt (0.002 mm - 0.006 mm)	27,47 (S3, 14.20-14.50 m)	
% Sabbia - Sand (0.06 mm - 2 mm)	63,16 (S3, 14.20-14.50 m)	
% Ghiaia - Kies (>2 mm)	2,86 (S3, 14.20-14.50 m)	
Classificazione secondo DIN 18196 Klassifikation nach DIN 18196	S\bar{U} (S3, 14.20-14.50 m)	
Classificazione granulometrica Korngrößenklassifikation	Sabbia medio/grossolana, da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa / Mittlerer/grober Sand, von schwach kiesig bis kiesig	
Classificazione secondo DIN 18196	SW (S3, 9.20-12.80 m)	

Tabella 8.3: Caratterizzazione dell'unità geotecnica UGT2 / Charakterisierung der geotechnischen Einheiten UGT2

Aus EAU (2005)

Erfahrungswerte von Bodenkenngrößen (Tabelle E9-1 der EAU)

1	2	3	4	5		6		7	8	9	10
Bodenart	Boden- gruppe nach DIN 18 196 ¹⁾	Sondier- spitzen- wider- stand q_c	Festigkeit bzw. Kon- sistenz im Ausgangs- zustand	Wichte		Zusammen- drückbarkeit ²⁾ Erstbelastung ³⁾ $E_s = v_e \sigma_{at} (\sigma' / \sigma_{at})^n$		Schерparameter des entwässerten Bodens		Scherpara- meter des nicht entw. Bodens	Durchläs- sigkeits- beiwert
		MN/m ²		γ	γ'	v_e	w_e	φ'_k	c'_k	$c_{u,k}$	k_k
				kN/m ³	kN/m ³			Grad	kN/m ²	kN/m ²	m/s
I	2	3	4	5		6		7	8	9	10
Sand, weit oder intermittierend gestuft	SW, SI U ⁴⁾ > 15	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	17,0 19,0 21,0	9,5 11,5 13,5	200 400 600	0,70 0,60 0,55	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			1 · 10 ⁻⁴ bis 1 · 10 ⁻⁵
Sand, $d < 0,06$ mm < 15 %	SU, ST	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,0 17,0 18,0	8,5 9,5 10,5	150 350 500	0,80 0,70 0,65	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			2 · 10 ⁻⁵ bis 5 · 10 ⁻⁷
Sand, $d < 0,06$ mm > 15 %	SÜ, ST	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,5 18,0 19,5	9,0 10,5 12,0	50 250	0,9 0,75	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			2 · 10 ⁻⁶ bis 1 · 10 ⁻⁹
Anorganische bindige Böden mit leicht plastischen Eigenschaften ($w_L < 35$ %)	UL		weich steif halfest	17,5 18,5 19,5	9,0 10,0 11,0	40 110	0,80 0,60	27,5–32,5	0 2–5 5–10	5–60 20–150 50–300	1 · 10 ⁻⁵ bis 1 · 10 ⁻⁷
Anorganische bindige Böden mit mittel plastischen Eigenschaften (50 % > $w_L > 35$ %)	UM		weich steif halfest	16,5 18,0 19,5	8,5 9,5 10,5	30 70	0,90 0,70	25,0–30,0	0 5–10 10–15	5–60 20–150 50–300	2 · 10 ⁻⁶ bis 1 · 10 ⁻⁹
Anorganische bindige Böden mit leicht plastischen Eigenschaften ($w_L < 35$ %)	TL		weich steif halfest	19,0 20,0 21,0	9,0 10,0 11,0	20 50	1,0 0,90	25,0–30,0	0 5–10 10–15	5–60 20–150 50–300	1 · 10 ⁻⁷ bis 2 · 10 ⁻⁹
Anorganische bindige Böden mit mittel plastischen Eigenschaften (50 % > $w_L > 35$ %)	TM		weich steif halfest	18,5 19,5 20,5	8,5 9,5 10,5	10 30	1,0 0,95	22,5–27,5	5–10 10–15 15–20	5–60 20–150 50–300	5 · 10 ⁻⁸ bis 1 · 10 ⁻¹⁰
Anorganische bindige Böden mit stark plastischen Eigenschaften ($w_L > 50$ %)	TA		weich steif halfest	17,5 18,5 19,5	7,5 8,5 9,5	6 20	1,0 1,0	20,0–25,0	5–15 10–20 15–25	5–60 20–150 50–300	1 · 10 ⁻⁹ bis 1 · 10 ⁻¹¹
Organischer Schluff, Organischer Ton	OU und OT		breiig weich steif	14,0 15,5 17,0	4,0 5,5 7,0	5 20	1,00 0,85	17,5–22,5	0 2–5 5–10	2 – < 15 5–60 20–150	1 · 10 ⁻⁹ bis 1 · 10 ⁻¹¹
Torf ⁵⁾	HN, HZ		breiig weich steif halfest	10,5 11,0 12,0 13,0	0,5 1,0 2,0 3,0	5) 5) 5) 5)	5) 5) 5) 5)	5) 5) 5) 5)	5) 5) 5) 5)	5) 5) 5) 5)	1 · 10 ⁻⁵ bis 1 · 10 ⁻⁸
Mudde ⁶⁾ Faulschlamm	F		breiig weich	12,5 16,0	2,5 6,0	4 15	1,0 0,9	6) 0	0	< 6 6–60	1 · 10 ⁻⁷ 1 · 10 ⁻⁹

2) v_e : Steifebeiwert, empirischer Parameter
 w_e : empirisch gefundener Parameter
 σ : Belastung in kN/m²
 σ_{at} : Atmosphärendruck (= 100 kN/m²)
3) v_e -Werte bei Wiederbelastung bis zum 10-fachen
höher, w_e geht gegen 1.

Figura 8.1: Valori empirici per le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari litotipi / Empirische Werte für die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der unterschiedlichen Lithotypen (Ausschuss et al., 2005)

Aus EAU (2005)

Erfahrungswerte von Bodenkenngrößen (Tabelle E9-1 der EAU)

1	2	3	4	5		6		7	8	9	10
Bodenart	Boden- gruppe nach DIN 18 196 ¹⁾	Sondier- spitzen- wider- stand q_c	Festigkeit bzw. Kon- sistenz im Ausgangs- zustand	Wichte		Zusammen- drückbarkeit ²⁾ Erstbelastung ³⁾ $E_s = v_c \sigma_{at} (\sigma'_{at})^w$		Schерparameter des entwässerten Bodens		Scherpara- meter des nicht entw. Bodens	Durchläs- sigkeits- beiwert
				γ	γ'	v_c	w_c	ϕ'_c	c'_c	$c_{u,k}$	k_i
		MN/m ²		kN/m ³	kN/m ³			Grad	kN/m ²	kN/m ²	m/s
Kies, eng gestuft	GE $U^{41} < 6$	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,0 17,0 18,0	8,5 9,5 10,5	400 900	0,6 0,4	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$2 \cdot 10^{-1}$ bis $1 \cdot 10^{-2}$
Kies, weit oder intermittierend gestuft	GW, GI $6 \leq U^{41}$ ≤ 15	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,5 18,0 19,5	9,0 10,5 12,0	400 1100	0,7 0,5	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$1 \cdot 10^{-2}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$
Kies, weit oder intermittierend gestuft	GW, GI $U^{41} > 15$	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	17,0 19,0 21,0	9,5 11,5 13,5	400 1200	0,7 0,5	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$1 \cdot 10^{-2}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$
Kies, sandig mit Anteil $d < 0,06$ mm < 15 %	GU, GT	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	17,0 19,0 21,0	9,5 11,5 13,5	400 800 1200	0,7 0,6 0,5	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$
Kies-Sand-Fein- kornmisch $d < 0,06$ mm > 15 %	GU, GT	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,5 18,0 19,5	9,0 10,5 12,0	150 275 400	0,9 0,8 0,7	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$1 \cdot 10^{-7}$ bis $1 \cdot 10^{-11}$
Sand, eng gestuft, Grobsand	SE $U^{41} < 6$	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,0 17,0 18,0	8,5 9,5 10,5	250 475 700	0,75 0,60 0,55	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$5 \cdot 10^{-3}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$
Sand, eng gestuft, Feinsand	SE $U^{41} < 6$	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,0 17,0 18,0	8,5 9,5 10,5	150 225 300	0,75 0,65 0,60	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$1 \cdot 10^{-4}$ bis $2 \cdot 10^{-5}$
Sand, weit oder intermittierend gestuft	SW, SI $6 \leq U^{41}$ ≤ 15	< 7,5 7,5–15 > 15	gering mittel groß	16,5 18,0 19,5	9,0 10,5 12,0	200 400 600	0,70 0,60 0,55	30,0–32,5 32,5–37,5 35,0–40,0			$5 \cdot 10^{-4}$ bis $2 \cdot 10^{-5}$

- ²⁾ v_c : Steifebeiwert, empirischer Parameter
 w_c : empirisch gefundener Parameter
 σ : Belastung in kN/m²
 σ_{at} : Atmosphärendruck (= 100 kN/m²)
³⁾ v_c -Werte bei Wiederbelastung bis zum 10-fachen
höher, w_c geht gegen 1.

Figura 8.2: Valori empirici per le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari litotipi / Empirische Werte für die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der unterschiedlichen Lithotypen (Ausschuss *et al.*, 2005)

Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) per la definizione della consistenza dei terreni a differenti profondità. Nella Tabella 8.4 si riassumono i risultati delle prove; la consistenza è definita mediante le tabelle riportate nelle Figure 8.3 e 8.4, rispettivamente per litotipi incoerenti e coesivi.

In generale, i terreni appartenenti alla UGT 1 risultano soffici e mediamente addensati, mentre la consistenza dei terreni appartenenti alla UGT 2 è sensibilmente maggiore, da densa a molto densa (NSPT > 50 N,

Während der Bohrungen wurden Rammsondierungen (Standard Penetration Test) durchgeführt, um die Konsistenz (Lagerungsdichte) der Böden in unterschiedlichen Tiefen festzulegen. Die Tabelle 8.4 fasst die Ergebnisse der Versuche zusammen; die Konsistenz (Lagerungsdichte) wird durch die Tabellen aus den Abbildungen 8.3 und 8.4 für nichtbindige und bindige Böden ermittelt.

Im Allgemeinen sind die Böden der Einheit UGT 1 weich und durchschnittlich verdichtet, während die Konsistenz der Böden der Einheit UGT 2 höher ist und von dicht bis sehr dicht reicht (NSPT > 50 N, Guidi, 1980).

Guidi, 1980).

Sondaggio Bohrung	Profondità prova Endteufe [m]	UGT	N _{SPT}	Consistenza del terreno Lagerungsdichte
S2	3,0	1 (UL)	2	soffice (weich)
S2	6,0	1 (SÜ)	11	medio (mitteldicht/mittel)
S2	9,5	2 (GU)	42	denso (dicht/groß)
S3	7,5	2 (GU)	30-R	denso (dicht/groß)
S3	10,5	2 (SW)	44	denso (dicht/groß)
S3	12,0	2 (SW)	54	denso (dicht/groß)

Tabella 8.4: Quadro riassuntivo delle prove SPT / Zusammenfassung der SPT-Versuche

Bezeichnung	bei C _u > 3 D (-)	Verdichtungsgrad D _{pr}	Spitzenwiderstand Drucksonde q _s (MN/m ²)	Rammsondierungen Schlagzahl	
				DPH N ₁₀	SPT N ₃₀
sehr locker	< 0,2			0 - 5	0 - 4
locker	0,2 - 0,45			3 - 10	3 - 15
mitteldicht	0,45 - 0,65	≥ 98 %	≥ 7,5	7 - 23	10 - 30
dicht	> 0,65	≥ 100 %	≥ 15	20 - >40	25 - >40

Figura 8.3: Tabella per la definizione della consistenza per litotipi incoerenti / Tabelle für die Definition der Lagerungsdichte von nichtbindigen Böden

Konsis- tenz	undrānierte Scherfes- tigkeit c _u (kN/m ²)	Spitzen- druck q _s (MN/m ²)	Schlagzahl			
			DPH N ₁₀	DPM N ₁₀	DPL N ₁₀	SPT N ₃₀
breiig	< 20	< 2,0	0 - 2	0 - 3	0 - 3	< 2
weich	20 - 60	2,0 - 5,0	2 - 5	3 - 8	3 - 10	2 - 6
steif	60 - 200	5,0 - 8,0	5 - 9	8 - 14	10 - 17	6 - 15
halbfest	> 200	8,0 - 15,0	9 - 17	14 - 28	17 - 37	15 - 30
fest	> 400	> 15,0	> 17	> 28	> 37	> 30

Figura 8.4: Tabella per la definizione della consistenza per litotipi coesivi / Tabelle für die Definition der Konsistenz von bindigen Böden

8.1 Rilievo Geostrutturale

Al fine di raccogliere i dati necessari alla valutazione dei parametri meccanici dell'ammasso roccioso, è stata condotta una campagna di rilevamento mediante due stazioni geomeccaniche, secondo la metodologia proposta dall'ISRM (ISRM - International Society for Rock Mechanics, 1978). La stazione geomeccanica 1, denominata ST-GEO1, è ubicata in sponda sinistra alle coordinate UTM (ETRS89) 700199.680; 5184296.000 (Figure 3.1 e 8.5). La stazione geomeccanica 2 (ST-GEO2), è ubicata in sponda sinistra alle coordinate UTM (ETRS89) 700226.007; 5184286.109 (Figure 3.1 e 8.6).

Presso la stazione 1 sono state osservate 4 famiglie di discontinuità, K1 a franappoggio, K2 e K3 subverticali e K4 a reggipoggio. I dettagli sono riportati nelle Tabelle 8.5 e 8.6.

Presso la stazione 2 sono state rilevate 5 famiglie di discontinuità, K1 a franappoggio, K2 e K3 subverticali, K4 a reggipoggio e K5 a lieve reggipoggio. I dettagli sono riportati nelle Tabelle 8.8 e 8.7.

Per entrambe le stazioni, data la debole apertura delle discontinuità, non è stato osservato materiale di riempimento delle fessure, né flusso idrico attraverso le discontinuità (grado di filtrazione 1).

Il sistema di discontinuità individuato determina blocchi di media dimensione ($J_v = 3-10$ giunti / m^3); la massa rocciosa che ne deriva è, secondo la classificazione ISRM di tipo II - a blocchi. In misura minore sono presenti blocchi in cui due dimensioni prevalgono sulla terza; in queste porzioni la roccia tende ad essere tabulare (tipo III).

8.1 Geostrutturale Aufnahmen

Um die notwendigen Daten zur Bestimmung der mechanischen Gebirgsparameter zu erhalten, wurden zwei felsmechanische Aufnahmen laut Methodik der ISRM (ISRM - International Society for Rock Mechanics, 1978) durchgeführt. Die felsmechanische Station 1, ST-GEO1 genannt, liegt am linken Ufer und ist durch die Koordinaten UTM (ETRS89) 700199.680; 5184296.000 gekennzeichnet (Abbildungen 3.1 und 8.5). Die felsmechanische Station 2 (ST-GEO2) liegt am rechten Ufer und ist durch die Koordinaten UTM (ETRS89) 700226.007; 5184286.109 gekennzeichnet (Abbildungen 3.1 und 8.6).

An der Station 1 wurden 4 Trennflächenfamilien erkannt, K1 hangauswärts fallend, K2 und K3 steil fallend und K4 zum Hang hin fallend. Die Details sind den Tabellen 8.5 und 8.6 zu entnehmen.

An der Station 2 wurden 5 Trennflächenfamilien erkannt, K1 hangauswärts fallend, K2 und K3 steil fallend, K4 zum Hang hin fallend und K5 leicht zum Hang hin fallend. Die Details sind den Tabellen 8.8 und 8.7 zu entnehmen.

An beiden Stationen konnte aufgrund der geringen Öffnungsweite der Trennflächen keine Füllung in den Kluftzwischenräumen festgestellt werden, sowie keine Wasserzirkulation (Filtrationsgrad 1).

Das Trennflächensystem bedingt mittlere Blockgrößen ($J_v = 3-10$ Trennflächen / m^3); das daraus folgende Gebirge ist laut ISRM Klassifikation der Art II- blockig. In geringerem Ausmaß finden sich Blöcke, bei denen zwei Dimensionen über die dritte überwiegen; hier tendieren die Blöcke zu einer tafelförmigen Form (Art III).

Ulteriori dettagli, quali i diagrammi stereografici dei poli, le prove di scabrezza, la determinazione della resistenza a compressione uniaassiale delle pareti delle discontinuità, sono riportati nell'Allegato 9.

Weitere Details, wie die Lagenkugelprojektion der Pole, die Rauigkeitsversuche, die Bestimmung der uniaxialen Druckfestigkeit der Trennflächenwände sind in der Anlage 9 wiedergegeben.

Discontinuità Trennfläche	Immersione [°] Fallrichtung	Inclinazione [°] Fallwinkel	Spaziatura [cm] Trennflächenabstand	Persistenza [m] Trennflächenerstreckung
K1	185	22	60-200 stretta / engständig	bassa < 1-3 gering
K2	74	75	200-600 moderata / mittelständig	molto bassa < 1 sehr gering
K3	275	69	600-2000 larga/ weitständig	bassa < 1-3 gering
K4	6	65	200-600 moderata / mittelständig	molto bassa < 1 sehr gering

Tabella 8.5: Caratterizzazione delle discontinuità, stazione geomeccanica 1 / Charakterisierung der Trennflächen, felsmechanische Station 1 (1/2)

Discontinuità Trennfläche	Rugosità Rauhigkeit	JRC	JCS [MPa]	Apertura Kluföffnung
K1	rugosa ondulata IV rauh wellig IV	12-14	22	0.5-10 semiaperta halbgeöffnet
K2	rugosa segmentata I rauh stufig I	16-18	24	0.1-2.50 chiusa geschlossen
K3	rugosa ondulata IV rauh wellig IV	10-12	30	0.5-10 semiaperta halbgeöffnet
K4	rugosa segmentata I rauh stufig I	8-10	27	0.5-10 semiaperta halbgeöffnet

Tabella 8.6: Caratterizzazione delle discontinuità, stazione geomeccanica 1 / Charakterisierung der Trennflächen, felsmechanische Station 1 (2/2)

Discontinuità Trennfläche	Immersione [°] Fallrichtung	Inclinazione [°] Fallwinkel	Spaziatura [cm] Trennflächenabstand	Persistenza [m] Trennflächenerstreckung
K1	156	22	60-200 - stretta engständig	bassa < 1-3 gering
K2	80	64	60-200 - stretta engständig	molto bassa < 1 sehr gering
K3	275	69	200-600 - moderata weitständig	bassa < 1-3 gering
K4	20	68	200-600 - moderata weitständig	molto bassa < 1 sehr gering
K5	232	84	200-600 - moderata weitständig	bassa < 1 gering

Tabella 8.7: Caratterizzazione delle discontinuità, stazione geomeccanica 2 / Charakterisierung der Trennflächen, felsmechanische Station 2 (1/2)

Discontinuità Trennfläche	Rugosità Rauhigkeit	JRC	JCS [MPa]	Apertura Kluföffnung
K1	rugosa segmentata I rauh stufig I	14-16	23	0.5-10 semiaperta halbgeöffnet
K2				0.5-10 semiaperta halbgeöffnet
K3	rugosa ondulata IV rauh wellig IV	8-10	21	0.1-2.50 chiusa geschlossen
K4	rugosa ondulata IV rauh wellig IV	12-14	27	0.5-10 semiaperta halbgeöffnet
K5	rugosa ondulata IV rauh wellig IV	8-10	24	0.5-10 semiaperta halbgeöffnet

Tabella 8.8: Caratterizzazione delle discontinuità, stazione geomeccanica 2 / Charakterisierung der Trennflächen, felsmechanische Station 1 (2/2)



(a) Sito della stazione geomeccanica / Ort der felsmechanischen Station



(b) Vista d'insieme sulla stazione geomeccanica / Gesamtsicht auf die felsmechanische Station



(c) Discontinuità K1 a franappoggio / Hangau-swärts gerichtete Trennflächen K1



(d) Discontinuità K2 e K3 subverticali / Steil fallende Trennflächen K1 und K3



(e) Discontinuità K4 a reggipoggio / Hangeinwärts gerichtete Trennflächen K4



(f) Posizione reciproca delle discontinuità K3 e K4 / Reziproke Lage der Trennflächen K3 und K4

Figura 8.5: Fotodocumentazione della stazione geomeccanica 1 / Fotodokumentation der felsmechanischen Station 1



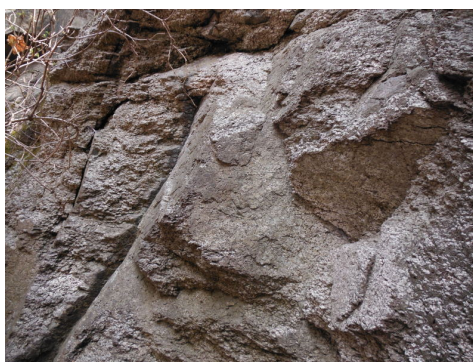
(a) Sito della stazione geomeccanica / Ort der felsmechanischen Station



(b) Dettaglio stratigrafico della stazione / Stratigraphisches Detail der felsmechanischen Station



(c) Dettagli stratigrafico / Stratigraphisches Detail



(d) Vari piani di discontinuità misurati / Unterschiedliche, vermessene Trennflächen



(e) Dettagli dell'ammasso roccioso / Detail des Gebirges



(f) Sede di distacco di un cuneo di roccia / Ausbruch eines Felskeils

Figura 8.6: Fotodocumentazione della stazione geomeccanica 2 / Fotodokumentation der felsmechanischen Station 2

8.2 Caratterizzazione Geomeccanica

I dati raccolti, elaborati seguendo le indicazioni ISRM, hanno permesso di individuare l'orientazione media dei principali sistemi di discontinuità, necessari per la classificazione dell'ammasso roccioso e per la determinazione delle sue caratteristiche di resistenza meccanica (coesione c , angolo di attrito ϕ , modulo elastico E).

I parametri di resistenza meccanica sono stati determinati secondo l'approccio cautelativo di Bieniawski (1989), mediante il calcolo del RMR_{base} ; successivamente gli stessi sono stati determinati attraverso il criterio di rottura di rottura di Hoek e Brown (1997), dove il valore del GSI (Geological Strength Index) è stato stimato mediante l'approccio modificato di Sonmez e Ulusay (1999). Nelle Tabelle 8.9 e 8.10 sono riassunti i risultati ottenuti applicando la prima metodologia.

Il criterio di rottura Hoek e Brown (1997) è stato applicato utilizzando il software *RocLab* (Rocscience) a due configurazioni, una favorevole e una sfavorevole, per ogni stazione geomeccanica. I risultati sono riassunti in Tabella 8.11; gli intervalli di valori ottenuti nelle due configurazioni descrivono la variabilità dell'ammasso roccioso tra superficie e profondità (> 2 m).

Tutti i dettagli dei calcoli sono riportati nella relazione dettagliata.

8.2 Felsmechanische Charakterisierung

Die gesammelten Daten wurden laut Anleitung von ISRM analysiert; dies erlaubt die Bestimmung der durchschnittlichen Orientierung der Hauptklufsysteme, um das Gebirge zu klassifizieren und seine mechanischen Festigkeitseigenschaften zu bestimmen (Kohäsion c , Reibungswinkel ϕ , Elastizitätsmodul E).

Die Parameter der mechanischen Festigkeitseigenschaften wurden laut Ansatz von Bieniawski (1989) ermittelt, durch die Berechnung des RMR_{base} ; schließlich wurden sie durch die Bruchkriterien Hoek e Brown (1997) bestimmt, wobei der GSI-Wert (Geological Strength Index) durch den modifizierten Ansatz nach Sonmez und Ulusay (1999) ermittelt wurde. Die Tabellen 8.9 und 8.10 geben die Ergebnisse wieder, die durch die erste Methode errechnet wurden.

Das Bruchkriterium von Hoek und Brown (1997) wurde mittels der Software *RocLab* (Rocscience) für zwei Fälle, ein günstiger und ein ungünstiger, für jede felsmechanische Station angewandt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 8.11 zusammengefasst; die Bandbreite der Werte, die für die beiden untersuchten Fälle berechnet wurden, geben die Variabilität des Gebirges zwischen der Oberfläche und der Tiefe (> 2 m) an.

Die Details zu den Berechnungen sind im detaillierten Bericht wiedergegeben.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	RMR	Classe Klasse	Descrizione Beschreibung
ST-GEO1	3.7	15.45	10.35	22.20	15	-7	59.70	II	Mediocre
ST-GEO2	3.4	13.55	9.16	22.25	15	-7	56.36	II	Mediocre

Tabella 8.9: Parametri per il calcolo di RMR / Parameter zur RMR-Berechnung; Bieniawski (1989)

	c	ϕ	E
	[kPa]	[°]	[GPa]
ST-GEO1	298.5	34.85	19.40
ST-GEO2	281.8	33.18	12.72

Tabella 8.10: Parametri di resistenza meccanica risultanti dall'analisi geomeccanica secondo l'approccio di Bieniawski (1989) / Felsmechanische Festigkeitsparameter, die aus der geomechanischen Analyse laut Ansatz von Bieniawski (1989) stammen

Stazione geomeccanica ST-GEO1 Felsmechanische Station			
Dati input Inputdaten	Range Wertebereich	Risultati Ergebnis	Range Wertebereich
GSI	50 - 55		
σ_{ci}	22 - 30	c [MPa]	1.4 - 2.3
m_i	29 - 35	ϕ [deg]	38 - 42
MR	300 - 550	E[GPa]	6.6 - 16.5

Stazione geomeccanica ST-GEO2 Felsmechanische Station			
Dati input Inputdaten	Range Wertebereich	Risultati Ergebnis	Range Wertebereich
GSI	50-55		
σ_{ci}	21 - 27	c [MPa]	1.3 - 2.1
m_i	29 - 35	ϕ [deg]	38 - 42
MR	300 - 550	E[GPa]	6.3 - 14.9

Tabella 8.11: Riassunto dei risultati dell'analisi geomeccanica, ottenuti attraverso il criterio di rottura di rottura di Hoek e Brown (1997). MR è una costante empirica tra il modulo elastico E e la resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta σ_{ci} / Zusammenfassung der Ergebnisse der felsmechanischen Analyse laut Bruchkriterium von Hoek e Brown (1997). MR ist eine empirische Konstanze zwischen dem Elastizitätsmodul E und der uniaxialen Druckfestigkeit des unversehrten Gesteins σ_{ci}

9 Indicazioni Progettuali

La campagna geognostica svolta e le analisi condotte hanno evidenziato quanto segue:

- relativamente alla sponda destra: la presenza di due strati di materiali depositati sopra il substrato roccioso, di cui quello più superficiale, di origine lacustre, ha uno spessore variabile, compreso tra 1.5 m e 9.3 m, e una composizione di sabbia e limo; mentre lo strato sottostante di spessore variabile, dell'ordine di 10-20 m, originatosi come deposito di debris flow e di alluvioni torrentizie, è formato da ghiaia, ciottoli e grossi blocchi. Le caratteristiche fisiche di questi strati sono riportate nelle Tabelle 8.2 e 8.3; quelle di resistenza meccanica sono evidenziate nelle Figure 8.1 e 8.2.

- relativamente alla sponda sinistra: questa si trova su roccia affiorante, dove sono state riscontrate 4 famiglie di discontinuità principali (K1, K2, K3, K4) e una secondaria (K5). La presenza di un sistema a franapoggio (K1) sviluppa piani di scivolamento, la presenza di due sistemi di giunti quasi ortogonali e subverticali origina due superfici laterali di svincolo che contribuiscono alla potenziale formazione di un cuneo roccioso. Il meccanismo di rottura più probabile risulta pertanto lo scivolamento su piano. È stata osservata anche una famiglia di discontinuità a reggipoggio, nelle due varianti identificate con K4 e K5. Le caratteristiche di re-

9 Hinweise zum Projekt

Durch die Erkundungskampagne und die durchgeführten Analysen kommt man zur folgenden Erkenntnissen:

- im Bezug auf das rechte Ufer: Das Vorhandensein von zwei Schichten Ablagerungsmaterial über dem Felsuntergrund, wobei die obere aus Seesedimenten besteht, eine unterschiedliche Mächtigkeit zwischen 1.5 und 9.3 m aufweist und eine Zusammensetzung aus Sanden und Silt; die darunter liegende Schicht, ca. 10-20 m mächtig, ist hingegen als Mur- und Wildbachablagerung entstanden und besteht aus Kies, Steinen und großen Blöcken. Die physikalischen Eigenschaften dieser Schichten sind in den Tabellen 8.2 und 8.3 wiedergegeben; die mechanischen Widerstände sind in den Abbildungen 8.1 und 8.2 hervorgehoben.

- im Bezug auf das linke Ufer: Dieses befindet sich auf auftretendem Fels und es konnten 4 Hauptkluftsysteme (K1, K2, K3, K4) festgestellt werden und ein zweitrangiges Trennflächensystem (K5). Das Vorhandensein eines hangauswärts fallenden Kluftsystems (K1) bedingt Rutschflächen, das Vorhandensein von zwei Kluftsystemen mit fast orthogonalen und subvertikalen Klüften bedingt zwei seitliche Flächen, die zum potentiellen Entstehen und Loslösen eines Felskeils beitragen. Der wahrscheinlichste Bruchmechanismus ist daher das Rutschen entlang einer Fläche. Es wurde auch eine zum Hang hin einfallende Trennflächenfamilie erkannt und zwar in den

sistenza meccanica dell'ammasso roccioso sono riassunte nella Tabella 8.11. Le analisi individuano un ammasso roccioso di qualità mediocre in superficie, mentre di qualità buona in profondità; la qualità mediocre in superficie è dovuta all'alterazione causata da agenti atmosferici, fattore che diminuisce con la profondità. Le due stazioni geomeccaniche evidenziano una omogeneità strutturale che permette di interpretare localmente l'ammasso roccioso e i relativi parametri come *continuo*.

Alla luce di quanto sopra esposto, le indicazioni progettuali relative alle spalle del ponte pedo-ciclabile sono di seguito enunciate:

- per quanto riguarda la sponda destra è opportuno scegliere una tipologia di fondazione indiretta, es. su pali, per trasferire il carico a cui sarà sottoposta la spalla del ponte agli strati subsuperficiali, che presentano una maggiore capacità portante e migliori caratteristiche geotecniche rispetto allo strato superficiale di sedimenti lacustri;

- per quanto riguarda la sponda sinistra, la fondazione sarà in roccia. Nonostante l'analisi geomeccanica abbia evidenziato la buona qualità della roccia subsuperficiale, esiste la possibilità che si sviluppino superfici di taglio lungo le discontinuità; pertanto, al fine di contrastare eventuali fenomeni di scivolamento piano a franappoggio, si consiglia di predisporre un sistema di ancoraggi, sia verticali che obliqui, e di chiodature sulle scarpate a monte (di neoformazione) e a valle della fondazione. Si veda a titolo di esemplificativo la Figura 9.1.

- in sponda sinistra si consiglia di approfondire il piano di fondazione di qualche metro

beiden Varianten K4 und K5. Die felsmechanischen Widerstandseigenschaften des Gebirges sind in der Tabelle 8.11 zusammengefasst. Die Analyse ergeben ein Gebirge von mittelmäßiger Qualität an der Oberfläche, die mit der Tiefe zunimmt und gut wird; die mittelmäßige Qualität an der Oberfläche ist durch die Verwitterung aufgrund der Witterungsverhältnisse gegeben, deren Einflüsse mit der Tiefe abnehmen. Die zwei felsmechanischen Stationen zeigen eine strukturelle Homogenität, die es erlaubt, das Gebirge und die dazugehörigen Parameter örtlich als *Kontinuum* zu interpretieren.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Ausführungen, gibt man die folgenden Hinweise für die Planung der Widerlager der Fußgänger- und Fahrradbrücke an:

- was das rechte Ufer betrifft, so ist es angebracht eine Art von indirekten Gründungen auszuwählen, wie z.B. auf Pfählen, um die Last, die das Brückenwiderlager trägt, auf die darunter liegenden Schichten abzuleiten, die eine höhere Tragfähigkeit und bessere geotechnische Eigenschaften im Verhältnis zu den oberflächlichen Seesedimenten aufweisen;

- was das linke Ufer betrifft, so gründet das Fundament auf Gestein. Obwohl die felsmechanische Analyse eine gute Qualität des Gesteins unterhalb der Oberfläche feststellen konnte, kann es sein, dass sich Scherflächen entlang der Trennflächen ausbilden; daher ist es ratsam, um mögliche Rutschphänomene entlang von hangauswärts gerichteten Flächen zu vermeiden, ein vertikales und schräges Verankerungssystem zu planen, sowie Vernagelungen am bergwärtigen Hang (Neubildung) und talwärts der Gründung anzubringen. Man sehe als Beispiel die Abbildung 9.1.

- am linken Ufer empfiehlt man die Gründungsebene um einige Meter zu vertiefen,

fino al raggiungimento della roccia di qualità buona, allontanandosi dallo strato di alterazione superficiale;

- la quote riportate in Figura 9.1, per quanto indicative, sono state pensate per raccordare il percorso in sinistra lago (*Seeweg*) al ponte con una pendenza *ciclabile*.

Indicazioni più precise potranno essere fornite con ulteriori indagini dirette in sito nell'ambito delle future fasi progettuali.

um das Gestein mit guter Qualität zu erreichen, wobei die oberflächliche Verwitterungsschicht vermieden wird;

- die Höhen in der Abbildung 9.1 gelten daher nur als Hinweis, sie wurden zur Verbindung des Weges in der Linken des Sees (*Seeweg*) zur Brücke mit einer Neigung für *Fahrradwege* angedacht.

Genauere Hinweise können mit weiteren direkten Feldversuchen vor Ort während der nächsten Projektphasen erfolgen.

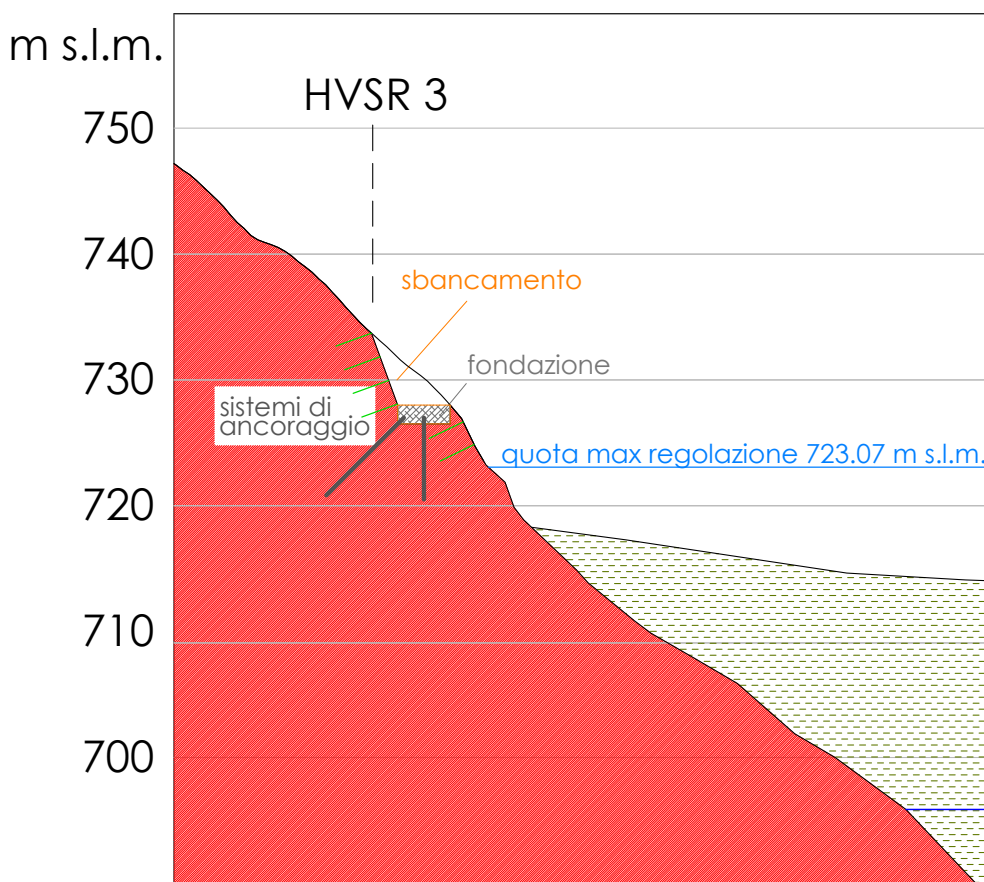


Figura 9.1: Sezione schematica della spalla del ponte sulla sponda sinistra del lago / Schematischer Schnitt des Brückenwiderlagers am linken Ufer des Sees

Il testo originale è stato redatto in lingua italiana, per eventuali incongruenze fa fede la versione italiana.

Der ursprüngliche Text wurde auf Italienisch verfasst, bei Abweichungen gilt die italienische Version.

Bibliografia

- Ausschuss A.; Assungen U. *et al.* (2005). *Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen*. Ernst & Sohn, Berlin.
- Bieniawski Z. (1989). *Engineering rock mass classifications*. John Wiley and Sons.
- Guidi C. C. (1980). *III. Tecnica delle fondazioni*. Hoepli.
- Hoek E.; Brown E. T. (1997). Practical estimates or rock mass strength. *Practical estimates or rock mass strength. Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*, **34**(8), 1165–1186.
- Sonmez H.; Ulusay R. (1999). Modification to the Geological Strength Index (gsi) and their Applicability to stability of Slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sceince*, **36**, 743–760.