



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetzefinanziertes Vorhaben

Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona

BRENNER BASISTUNNEL

Ausführungsplanung

Potenziamento asse ferroviario Monaco-Verona

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

Progettazione esecutiva

D0700: Baulos Mauls 2-3

D0700: Lotto Mules 2-3

Projekteinheit

WBS

Gesamtbauwerke

Opere generali

Dokumentenart

Tipo Documento

Technischer Bericht

Relazione tecnica

Titel

Titolo

Hydrogeologischer Bericht EKS Mauls-Brenner

Relazione idrogeologica CE Mules-Brennero



Fachplaner / il progettista specialista
Dott. Paolo Perello
Ord. Geol. Piemonte N° A 266



RTI 4P Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P
o/b Pro Iter S.r.l., Via G.B. Sammartini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026767911, Fax: +39 0267152612



Als Zustimmung / Per Condivisione
Ing. Enrico Maria Pizzarotti
Ord. Ingg. Milano N° A 29470



Datum / Data

Name / Nome

Gesellschaft / Società

Bearbeitet / Elaborato

30.01.2015

Baietto/Perello

GDP

Geprüft / Verificato

30.01.2015

Burger

BBT



Name / Nome
R. Zurlo

Name / Nome
K. Bergmeister

Projekt-kilometer / bis / a 32.0+88 / 54.0+15
Chilometro progetto bei / al

Projekt-kilometer / bis / a
Chilometro opera bei / al

Status Dokument / Stato documento

Massstab / Scala

Staat

Los

Einheit

Nummer

Dokumentenart

Vertrag

Nummer

Revision

02

H61

GD

992

GTB

D0700

13012

21

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
10	Endabgabe / Consegna Definitiva	Burger	31.07.2014
11	Projektvervollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	Burger	30.09.2014
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	Burger	04.12.2014
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	Burger	30.01.2015

INHALTSVERZEICHNIS

INDICE

1.	EINLEITUNG	7
1.	INTRODUZIONE	7
2.	KURZFASSUNG	8
2.	RELAZIONE DI SINTESI	8
3.	ZIELSETZUNGEN DER STUDIE	11
3.	OBIETTIVI DELLO STUDIO	11
4.	VERWENDETE UNTERLAGEN	12
4.	DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA	12
5.	GEOLOGISCHER KONTEXT	13
5.	CONTESTO GEOLOGICO	13
5.1.	Präquartärer Untergrund.....	13
5.1.	Substrato pre-Quaternario.....	13
5.2.	Kataklastische Störungen.....	17
5.2.	Faglie cataclastiche.....	17
5.3.	Quartäre Ablagerungen.....	19
5.3.	Depositi Quaternari.....	19
6.	HYDROGEOLOGISCHE DATEN	20
6.	DATI IDROGEOLOGICI	20
6.1.	Hydrologie.....	20
6.1.	Idrologia.....	20
6.2.	Erkundungsbohrungen.....	24
6.2.	Sondaggi.....	24
6.2.1.	Av-B-01.....	24
6.2.1.	Av-B-01.....	24
6.2.2.	Vi-B-01.....	25
6.2.2.	Vi-B-01.....	25
6.2.3.	Vi-B-02.....	26
6.2.3.	Vi-B-02.....	26
6.2.4.	Vi-B-03.....	27
6.2.4.	Vi-B-03.....	27
6.2.5.	Vi-B-04.....	27
6.2.5.	Vi-B-04.....	27
6.2.6.	Vi-B-05.....	29
6.2.6.	Vi-B-05.....	29
6.2.7.	Vi-B-06.....	31
6.2.7.	Vi-B-06.....	31

6.2.8.	Vi-B-07	33
6.2.8.	Vi-B-07	33
6.2.9.	Vi-B-08	34
6.2.9.	Vi-B-08	34
6.2.10.	Vi-B-09	36
6.2.10.	Vi-B-09	36
6.2.11.	Vi-B-12	37
6.2.11.	Vi-B-12	37
6.3.	Permeabilität.....	38
6.3.	Permeabilità.....	38
6.3.1.	Permeabilität des Untergrunds.....	38
6.3.1.	Permeabilità del substrato.....	38
6.3.2.	Permeabilität in den Komplexen des Untergrunds: Allgemeines.....	44
6.3.2.	Permeabilità nei complessi del substrato: considerazioni generali.....	44
6.3.3.	Permeabilität der quartären Ablagerungen	46
6.3.3.	Permeabilità dei depositi quaternari.....	46
6.4.	Piezometrie.....	46
6.4.	Piezometria.....	46
6.5.	Quellen	48
6.5.	Sorgenti	48
6.5.1.	Quellen des Bereichs des Voralpengebiets (Zentralgneis), Untere Schieferhülle und Aigerbach- sowie Seidlwinkl-Formation (Teil Pfitscher Decke).....	48
6.5.1.	Sorgenti del settore del Basamento pre-alpino (Gneiss Centrale), Untere Schieferhülle e Formazioni Aigerbach e Seidlwinkl (Falda di Vize pro-parte)	48
6.5.2.	Quellen des Schiefersektors der Pfitscher Decke und der Glockner Decke	53
6.5.2.	Sorgenti del settore dei calcescisti della Falda di Vize e Falda el Glockner	53
6.5.3.	Quellen des Abschnitt des Ostalpins	57
6.5.3.	Sorgenti del settore dell'Australpino	57
7.	SCHÜTTUNGSPROGNOSE.....	60
7.	PREVISIONE DELLE PORTATE	60
7.1.	Definition der Informationen der gelieferten Prognosen.....	60
7.1.	Definizione delle informazioni previsionali fornite	60
7.2.	Methoden zur Prognose	61
7.2.	Metodo di previsione	61
7.2.1.	Vorübergehende Schüttungen	61
7.2.1.	Portate transitorie.....	61
7.2.2.	Stabilisierte Schüttungen	63
7.2.2.	Portate stabilizzate.....	63
7.3.	Ergebnisse der Schätzung zu den Schüttungen	64
7.3.	Risultati della stima delle portate.....	64
7.3.1.	Vorübergehende Schüttungen	64
7.3.1.	Portate transitorie.....	64
7.3.2.	Kumulative vorübergehende Schüttungen.....	70
7.3.2.	Portate cumulate transitorie	70
7.3.3.	Stabilisierte Schüttungen	72
7.3.3.	Portate stabilizzate.....	72

7.3.4.	Stabilisierte kumulative Schüttungen	74
7.3.4.	Portate cumulate stabilizzate	74
8.	BESCHREIBUNG DES ERWARTETEN HYDROGEOLOGISCHEN GEFÜGES ENTLANG DER TRASSE.....	75
8.	DESCRIZIONE DELL'ASSETTO IDROGEOLOGICO ATTESO LUNGO IL TRACCIATO.....	75
8.1.	Bereich 1	75
8.1.	Settore 1	75
8.2.	Bereich 2	76
8.2.	Settore 2	76
8.3.	Bereich 3	77
8.3.	Settore 3	77
8.4.	Bereich 4	77
8.4.	Settore 4	77
8.5.	Bereich 5	78
8.5.	Settore 5	78
8.6.	Bereich 6	79
8.6.	Settore 6	79
8.7.	Bereich 7	80
8.7.	Settore 7	80
8.8.	Bereich 8	80
8.8.	Settore 8	80
8.9.	Bereich 9	81
8.9.	Settore 9	81
8.10.	Bereich 10	82
8.10.	Settore 10	82
8.11.	Bereich 11	83
8.11.	Settore 11	83
8.12.	Bereich 12	85
8.12.	Settore 12	85
8.13.	Bereich 13	85
8.13.	Settore 13	85
8.14.	Bereich 14	86
8.14.	Settore 14	86
8.15.	Bereich 15	87
8.15.	Settore 15	87
8.16.	Bereich 16	88
8.16.	Settore 16	88
8.17.	Bereich 17	89
8.17.	Settore 17	89
9.	WASSER- UND GEBIRGSTEMPERATUREN.....	89
9.	TEMPERATURE DELLE ACQUE E DELL'AMMASSO	89
10.	INTERFERENZE MIT DEN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN.....	90

10. INTERFERENZE CON LE RISORSE IDRICHE DI SUPERFICIE	90
10.1. Risikobeurteilung der Quellen	90
10.1. Valutazione del rischio per le sorgenti.....	90
10.1.1. Bereich der Voralpen (Zentralgneis), Untere Schieferhülle und Aigerbach- sowie Seidlwinkl- Formation (Anteil –der Pfitscher Decke)	95
10.1.1. Settore del Basamento pre-alpino (Gneiss Centrale), Untere Schieferhülle e Formazioni Aigerbach e Seidlwinkl (Falda di Vizze pro-parte)	95
10.1.2. Sektor der Bündnerschiefern der Pfitscherdecke und der Glocknerdecke	97
10.1.2. Settore del settore dei calcescisti della Falda di Vizze e Falda el Glockner.....	97
10.1.2.1. Sektor des Ostalpinen Altkristallins und Südalpin	99
10.1.2.1. Settore del Basamento Austroalpino e Sudalpino	99
10.2. Risikobewertung für die Gerinne	99
10.2. Valutazione del rischio per i torrenti	99
10.2.1.1. Eisack Bach	101
10.2.1.1. Torrente Isarco.....	101
10.2.1.2. Becken des Pfitscher Baches	102
10.2.1.2. Bacino del Rio di Vizze	102
10.3. Einflussbereich des Bauwerks	107
10.3. Area di influenza dell'opera	107
10.4. Referenzliteratur	109
10.4. Letteratura consultata	109

1. EINLEITUNG

Der vorliegende Bericht erläutert die hydrogeologische Studie für die Ausführungsplanung des Bauloses Maultal-Brenner des Erkundungstollens des Brenner Basistunnels. Der Stollen wird ab dem Erkundungstollenabschnitt errichtet, der sich derzeit im Bau befindet.

Das hydrogeologische Modell und die prognostizierten Wassereintritte im Tunnel bzw. die entsprechenden Folgen auf die Gewässer wurden im Vergleich zu den Unterlagen des Einreichprojekts aktualisiert. Das hydrogeologische Modell des Einreichprojekts wurde grundsätzlich bestätigt. Die Anpassungen betreffen vor allem den Abschnitt zwischen pk 39 und 43, da die Daten der neuen Tiefbohrung Vi-B-11/12 eine signifikante Anpassung erlaubt haben.

Weitere kleinere Anpassungen betreffen den Bereich nördlich des Pfitschtals. Hier wurde das geologische Modell auf der Grundlage neuer geologischer Erhebungen an der Oberfläche abgeändert.

Das vorliegende Dokument wurde entsprechend der geltenden italienischen Gesetze ausgearbeitet, mit speziellem Verweis auf DM 14/01/2008.

1. INTRODUZIONE

Il presente rapporto illustra lo studio idrogeologico per la progettazione esecutiva del lotto Maultal-Brennero del Cunicolo Esplorativo per il Tunnel di Base del Brennero. Il cunicolo verrà realizzato a partire dal tratto di cunicolo esplorativo già in corso di costruzione.

Il modello idrogeologico e le previsioni di afflussi in galleria ed impatto sulle risorse idriche che ne conseguono, sono stati aggiornati rispetto agli elaborati di progetto definitivo. Nelle grandi linee il modello idrogeologico del progetto definitivo è stato confermato; gli aggiustamenti apportati riguardano soprattutto il settore compreso tra le pk 39 e 43, ove i dati derivanti dalla realizzazione del nuovo sondaggio profondo Vi-B-11/12 hanno consentito significativi aggiustamenti.

Altri aggiustamenti minori sono stati realizzati per il settore a nord della Val di Vizze, ove alcune modifiche sono state apportate al modello geologico sulla base di nuovi rilevamenti geologici di superficie.

Il presente elaborato è stato redatto in conformità con la normativa italiana vigente, con particolare riferimento al DM 14/01/2008.

2. KURZFASSUNG

Der Erkundungstollenabschnitt, der Gegenstand dieses Berichts ist, fügt sich in ein hydrogeologisch ungestörtes Umfeld ein, da es sich um den ersten Eisenbahntunnel handelt, der im Abschnitt zwischen Mauls und Brenner errichtet wird.

Dieser Tunnel, der in einer höheren Lage als die umliegenden Talsohlen errichtet wird, die normalerweise die hydrogeologischen Fließsysteme auffangen, stellt ein potentiell bedeutendes Element der Drainage und Störung einiger dieser Systeme dar, insbesondere jener, die sich im Felsuntergrund befinden.

In hydrogeologischer Hinsicht können verschiedene Abschnitte unterschieden werden, die in der Folge kurz beschrieben werden.

Abschnitt pk 32+085 - 35+960. Es ist die Durchquerung des Zentralgneises geplant, wobei jedoch keine besonders bedeutenden Fließsysteme erwartet werden; Allerdings könnten bei zwei Störungen zeitweilig beachtliche Wassermengen (bis zu einigen Dutzend Litern pro Sekunde) auftreten.

Abschnitt pk 35+960 - 37+330. Dieser Abschnitt ist in lithologischer und struktureller Hinsicht äußerst komplex, da sich hier Silikat-, Karbonat- und Evaporitgesteine abwechseln (Untere Schieferhülle, präjurassische Basis der Pfitschtaler Störung), die mitunter durch kleinere Störungen durchzogen sind.

Auf Tunnelebene weist diese Gesteinsfolge keine besondere Durchlässigkeit auf. Allerdings gibt es Hinweise auf gelegentliche Zonen, die aufgrund der Karbonat- oder Evaporitauflösung bzw. wegen Störungen durchlässiger sind.

Eine der wichtigsten Zuflusszonen wird zwischen pk 36+000 und 36+100 im Hochstegen-Marmor erwartet, wo voraussichtlich ein Fließsystem durchquert wird, das die Brenner Thermalquellen speisen könnte. Die zeitweiligen Wasserzutritte in diesem Bereich könnten höher als 10 l/s*10m sein und sogar 50 l/s*10m erreichen.

Weitere relevante Zutritte im selben Ausmaß werden in diesem Abschnitt dort erwartet, wo die drei Störungen durchquert werden. Die südlichste Störungszone, unweit von pk 37+330, könnte außerdem ein weiteres Fließsystem aufweisen, was Implikationen für die Brennerbad-Thermalquellen haben könnte.

Abschnitt pk 37+330 – 40+870. In diesem Bereich ist Bündnerschiefer mit Einlagerungen von unreinem

2. RELAZIONE DI SINTESI

La tratta di cunicolo esplorativo oggetto del presente rapporto si inserisce in un contesto idrogeologico imperturbato, trattandosi della prima galleria del sistema ferroviario che verrà scavata nel settore compreso tra Mules e il Brennero.

Questa galleria, sviluppandosi a quote inferiori rispetto a tutti i fondovalle locali che normalmente costituiscono le zone di recapito dei sistemi di flusso idrogeologici, rappresenta un importante elemento di potenziale drenaggio e di perturbazione per alcuni di tali sistemi e in particolare per quelli presenti nel substrato roccioso.

Dal punto di vista idrogeologico si possono distinguere diversi settori, per i quali si riporta di seguito una breve descrizione.

Tratta pk 32+085 – 35+960. E' previsto l'attraversamento dello Gneiss Centrale, ove non si attendono sistemi di flusso particolarmente rilevanti; tuttavia portate transitorie piuttosto consistenti (fino a qualche decina di litri per secondo) potranno essere incontrate in corrispondenza di due faglie.

Tratta pk 35+960 – 37+330. Questo settore presenta una considerevole complessità litologica e strutturale, poiché si alternano rocce silicatiche, carbonatiche ed evaporitiche (Untere Schieferhülle; base pregiurassica della Falda di Vizze) talora interessate da faglie discrete.

A livelli corrispondenti a quota tunnel questa successione non sembra presentare permeabilità molto rilevanti, tuttavia esistono evidenze di sporadiche zone più permeabili legate a fenomeni di dissoluzione del carbonato o delle evaporiti, oppure alle faglie.

Una delle zone di afflusso più importanti è attesa tra la pk 36+000 e 36+100, nei Marmi di Hochstegen, dove è prevista l'ipotetica intersezione con un sistema di flusso che potrebbe alimentare le sorgenti terminali del Brennero. Le venute transitorie in questo settore potrebbero esse superiori ai 10 l/s*10m e arrivare fino a 50 l/s*10m.

Altre venute rilevanti, dello stesso ordine di grandezza sono attese in questa tratta in corrispondenza dell'intersezione con le tre zone di faglia presenti. La più meridionale di queste zone di faglia, vicino alla pk 37+330 potrebbe inoltre ospitare un ulteriore sistema di flusso con implicazioni nei confronti di Terme del Brennero.

Tratta pk 37+330 – 40+870. In questa zona dominano i calcescisti con intercalazioni di marmi impuri. Data

Marmor vorherrschend. In Anbetracht der Tiefe des Tunnels scheinen diese Karbonatgesteine nicht von Auflösungserscheinungen entlang besonders relevanter und verbreiteter Klüfte betroffen zu sein, weshalb der Durchlässigkeitsgrad im Allgemeinen nicht sehr groß ist. Eine Ausnahme ist der Abschnitt unterhalb des Pfitschtals: Hier ist die Überdeckung geringer, weshalb durchlässigere Zonen, auch aufgrund fehlender Störungen, nicht ausgeschlossen sind.

Die Hauptzutritte werden jedenfalls genau im Abschnitt erwartet, in dem die Störung durchquert wird. Eine bedeutende Störung wird bei pk 37+750 vermutet. Konkret sind die zeitweilig erwarteten Zutritte nicht besonders hoch, d. h. im Ausmaß von 10 l/s*10m, da die prognostizierte punktuelle Durchlässigkeit nicht sehr bedeutend ist. Allerdings werden langfristig sehr hohe Zutritte prognostiziert, da die Störung seitlich ausgedehnt ist. Im Gegensatz dazu werden für die anderen Störungen unweit von pk 40+470, 40+570 zeitweilig sehr hohe (bis 60 l/s*10m) bzw. dauerhaft sehr geringe Wasserzutritte prognostiziert.

Auf dem Niveau der unreinen Marmore, wo im Einreichprojekt sehr hohe Wasserzutritte prognostiziert worden waren, wurde die Prognose nach unten revidiert, da die Daten der Erkundungsbohrung Vi-B-11/12 darauf hinzuweisen scheinen, dass die Durchlässigkeit dieses Gesteins in der Tiefe allgemein sehr gering ist und die Lösungserscheinungen entlang der Kluft nicht sehr markant sind.

In diesem Abschnitt ist es noch ziemlich ungewiss, ob es bedeutende Fließsysteme gibt. Es ist nicht auszuschließen, dass auf dem Niveau der Marmore mehr oder weniger aktive Wasserführungen vorhanden sind. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass diese Marmore an der Oberfläche durch nicht tiefe Fließsysteme durchquert werden, die auch wichtige Quellen, wie die Kaltwasserquelle oder die Öttlquellen, speisen. Die Ableitung etwaiger tiefer Fließsysteme im Marmor könnte diese kompromittieren.

Abschnitt pk 40+870 – 43+175. Dieser Bereich ist in lithologischer Hinsicht sehr komplex, da er sich durch eine Abfolge von Gesteinen unterschiedlichen Ursprungs auszeichnet. Allerdings ist der angenommene Durchlässigkeitsgrad stets gering oder sehr gering, mit nur eingeschränkt möglichen Ausnahmen, wie den Marmorbänken, für die bescheidene Karbonatlösungserscheinungen entlang der Kluft nicht ausgeschlossen sind, die eine sporadische Zunahme der Durchlässigkeit bedingen. Diese Erscheinungen sind in diesem Fall aufgrund der beachtlichen Tiefe jedoch eher unwahrscheinlich.

Die einzigen durchlässigen Elemente in diesem Abschnitt sollten also die Störungen bei pk 41+960, 42+930 und 43+050 sein.

Bei diesen Diskontinuitäten werden vorübergehend starke Zutritte erwartet, bis zu 50 l/s*10m, besonders

la considerevole profondità a cui si sviluppa la galleria questi litotipi carbonatici non sembrano essere interessati da fenomeni di dissoluzione lungo frattura particolarmente rilevanti e diffusi, pertanto il grado di permeabilità in generale non è molto grande. Fa eccezione la tratta localizzata al di sotto della Val di Vizze, dove le coperture topografiche sono minori e dove non si esclude la presenza di zone più permeabili, anche in assenza di faglie.

In ogni caso le venute principali sono attese proprio in corrispondenza dell'intersezione con le zone di faglia. Una faglia rilevante ma di presenza incerta è prevista intorno alla pk 37+750; nella fattispecie le venute transitorie attese non sono particolarmente alte ma sono dell'ordine dei 10 l/s*10m, dal momento che non si prevedono permeabilità puntuali molto consistenti, tuttavia si prevedono venute a lungo termine piuttosto rilevanti, dal momento che la faglia è molto persistente lateralmente. Al contrario per le altre faglie, presenti intorno alle pk 40+470, 40+570 sono previste venute transitorie molto elevate (fino a 60 l/s*10m) e venute stabilizzate relativamente basse.

Per i livelli di marmi impuri, ove nel progetto definitivo erano state previste venute molto consistenti, la previsione è stata rivista al ribasso dal momento che i dati del sondaggio Vi-B-11/12 sembrano indicare che in queste rocce la permeabilità in profondità è generalmente piuttosto bassa e i fenomeni di dissoluzione lungo frattura non sono pervasivi.

In questa tratta la presenza di sistemi di flusso importanti è piuttosto incerta; non si può escludere che nei livelli di marmi esistano circolazioni più o meno attive. Va comunque notato che tali livelli di marmi in superficie sono sfruttati da sistemi di flusso non profondi, che alimentano sorgenti anche rilevanti, quali la Kaltwasser e le Öttlquellen. Il drenaggio dei sistemi di flusso profondi eventualmente presenti nei marmi potrebbe determinare un impatto su tali risorse.

Tratta pk 40+870 – 43+175. Questo settore è molto complesso dal punto di vista litologico, poiché caratterizzato da alternanze per piega di litotipi di origine diversa. Tuttavia il grado di permeabilità presunto è sempre basso o molto basso, con limitate possibili eccezioni per le bancate di marmi impuri presenti intorno alle pk 42+300 e 43+000, per i quali non si possono escludere modesti fenomeni di dissoluzione del carbonato lungo frattura che determinano sporadici aumenti della permeabilità; tali fenomeni sono comunque ritenuti poco probabili in questo caso, date le considerevoli profondità.

Gli unici elementi permeabili nella tratta dovrebbero quindi essere le faglie presenti intorno alla pk 41+960, 42+930 e 43+050.

In corrispondenza di queste discontinuità sono attese portate transitorie consistenti, anche dell'ordine dei

bei den ersten zwei genannten Störungen.

In diesem Bereich werden hingegen keine wichtigen Fließsysteme gekreuzt.

Abschnitt pk 40+870 – 45+090. Dieser Abschnitt besteht zur Gänze aus Bündnerschiefern mit dominierenden Schichtsilikaten, die sich durch eine geringe Durchlässigkeit auszeichnen und bei denen Karbonatlösungserscheinungen in der Tiefe sehr unwahrscheinlich sind.

Die erwarteten Schüttungen sind im Allgemeinen sehr gering und auch bei der Störung sollten die vorübergehenden Zutritte nicht besonders problematisch sein. Es sind keine bedeutenden Fließsysteme vorhanden.

Abschnitt pk 45+090 – 46+900 . Auch in diesem Abschnitt, der vorwiegend aus Paragneis besteht, sind die erwarteten Durchlässigkeiten gering und die Wasserzutritte sollten nicht sehr relevant sein.

Insgesamt wird prognostiziert, dass in diesem Los im Endausbau aus dem Erkundungstollen ca. 100 l/s an Wassermengen abgeleitet werden müssen. Diese Prognose ist insofern theoretisch, als dass sie den Erkundungstollen als einzige Infrastruktur berücksichtigt, während nach Fertigstellung des Projekts auch die Hauptröhren vorhanden sein werden. Aus diesem Grund können die Wassermengen geringer ausfallen, da die Zutritte in den Röhren auftreten könnten.

Während des Ausbruchs können die vorübergehenden, kumulierten Wassermengen am Austrittspunkt am Anfang des Abschnitts Werte bis zu 300 l/s erreichen. Bei einem Ausbruch von Süden nach Norden sollten die größten Wassermengen bei pk 32+520, also am Ende des Ausbruchs, registriert werden.

Jedenfalls können Wassermengen von 250 l/s bereits ab pk 36+060 vorkommen.

50 l/s*10m, soprattutto per le prime due faglie citate.

Non è invece prevista, per questo settore, l'intersezione con sistemi di flusso importanti.

Tratta pk 40+870 – 45+090 . La tratta si sviluppa interamente in calcescisti a dominante fillosilicatica, caratterizzati da un grado di permeabilità basso, in cui la presenza di fenomeni di dissoluzione del carbonato a livelli profondi è molto improbabile.

Le portate attese sono in generale molto modeste e anche nelle zone di faglia si prevede che gli afflussi transitori non saranno particolarmente problematici. Non sono presenti sistemi di flusso importanti.

Tratta pk 45+090 – 46+900 . Anche in questa tratta, costituita perlopiù da paragneiss, le permeabilità attese sono basse, e non si attendono afflussi rilevanti.

Complessivamente si stima che le portate che verranno drenate in regime permanente dal cunicolo in questo lotto, sono dell'ordine dei 100 l/s. Naturalmente questa previsione è teorica, nel senso che parte dal presupposto che il cunicolo sia l'unica struttura esistente, mentre a progetto ultimato saranno presenti anche le canne principali e pertanto la portata potrà risultare minore poiché è possibile che parte degli afflussi si sposti nelle canne.

In fase di scavo le portate transitorie cumulate al punto di evacuazione a inizio tratta possono arrivare a valori dell'ordine dei 300 l/s. Assumendo che lo scavo avvenga da sud verso nord, questo valore di portate maggiori si dovrebbe registrare intorno alla pk 32+520, quindi verso la fine scavi.

In ogni caso portate dell'ordine dei 250 l/s potranno registrarsi già a partire dall'intorno della pk 36+060.

3. ZIELSETZUNGEN DER STUDIE

Die Zielsetzungen der vorliegenden Studie sind folgende:

- Festlegung der vorübergehenden Schüttungen während des Ausbruchs.
- Festlegung der stabilisierten Restwassermengen Monate/Jahre nach Bauende.
- Etwaige Auswirkungen der Bauwerke des geplanten Bauloses auf Quellen und Bäche.
- Festlegung eines Bereichs der möglichen hydrogeologischen Beeinflussung durch das Bauvorhaben zur Bestimmung des Ausmaßes und der Art der hydrogeologischen Beweissicherungsmaßnahmen während der Bauarbeiten.

3. OBIETTIVI DELLO STUDIO

Gli obiettivi del presente studio sono i seguenti:

- Definire le portate transitorie nel corso degli scavi.
- Definire le portate residue, stabilizzate, a distanza di mesi/anni dalla chiusura dei lavori.
- Valutare se dallo scavo delle opere del lotto costruttivo in progettazione possano derivare impatti su sorgenti e torrenti.
- Definire un'area di possibile influenza idrogeologica delle opere, al fine di stabilire l'estensione e la tipologia delle misure di monitoraggio idrogeologico in corso d'opera.

4. VERWENDETE UNTERLAGEN

Es folgt eine Auflistung der wichtigsten Dokumente, die für die Durchführung dieser Studie herangezogen wurden.

BBT SE/GPT - Töchterle, A., Burger U., Brandner, R. (2013). Abteilung Geo-Hydro: Erkundungstollen Brenner-Mauis, geologischer Längsschnitt im Maßstab 1:10.000. Int. Bericht BBT. Entwurf.

BBT IF/GPT - Töchterle, A., Burger U., Brandner, R. (2013). Abteilung Geo-Hydro: Erkundungstollen Brenner-Mauis, geologische Karte im Maßstab 1:10.000. Int. Bericht BBT. Entwurf.

BBT SE/GPT - Töchterle, A., Burger U., Brandner, R. (2013). Abteilung Geo-Hydro: Erkundungstollen Brenner-Mauis, Bericht GEO. Int. Bericht BBT. Entwurf.

BBT SE / GEOTEAM - Brandner R., John M., Perello P. 2008 BBT-SE, Technische Projektaufbereitung, Einreichprojekt, Bericht Geotechnik.

4. DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA

Si elencano nel seguito i principali documenti cui si è fatto riferimento per la realizzazione del presente studio.

BBT SE / GPT - Toechterle, A., Burger U., Brandner, R. (2013). Settore Geo-Hydro: Cunicolo esplorativo Brennero-Mules, sezione longitudinale geologica scala 1:10.000. Rapp. Int. BBT. Versione bozza.

BBT SE / GPT - Toechterle, A., Burger U., Brandner, R. (2013). Settore Geo-Hydro: Cunicolo esplorativo Brennero-Mules, carta geologica scala 1:10.000. Rapp. Int. BBT. Versione bozza.

BBT SE / GPT - Toechterle, A., Burger U., Brandner, R. (2013). Settore Geo-Hydro: Cunicolo esplorativo Brennero-Mules, relazione GEO. Int. BBT. Versione bozza.

BBT SE / GEOTEAM - Brandner R., John M., Perello P. (2008). Elaborazione tecnica del progetto, Progetto Definitivo, Relazione Idrogeologica e tavole allegate. Rapporto interno BBT

5. GEOLOGISCHER KONTEXT

Der geologische Kontext, in dem das geplante Los errichtet wird, zeichnet sich durch eine beachtliche Gesteinsvielfalt und eine sehr komplexe Struktur aus, vor allem in Bezug auf duktile Verformungen. Diese zwei Faktoren bedingen, zusammen mit der Tiefe des Tunnels, die eine sichere Extrapolation anhand der an der Oberfläche sichtbaren geologischen Elemente einschränkt, zumindest was die punktuellen Daten aus den Erkundungsbohrungen anbelangt, geologische Ungewissheiten, die sich auf die hydrogeologischen Interpretationen auswirken.

Es folgt ein kurzer Verweis auf die zu erwartenden geologischen Bedingungen, der sich auf die geologische Karte und auf das im Vergleich zum Einreichprojekt auf der Grundlage der Erkenntnisse der neuen, 2012 beendeten Tiefbohrung Vi-B-12/11 überarbeitete und abgeänderte geologische Profil bezieht. Die geologischen Bedingungen werden im Verlauf von Norden nach Süden beschrieben.

5.1. Präquartärer Untergrund

Nördlich des betroffenen Bereichs befindet sich ein Granitdom aus **Tuxer Zentralgneis** (subpenninischer Untergrund). Es handelt sich um eine Faltstruktur, deren oberster und peripherster Teil aus einem Orthogneis von granitischer bis dioritischer Zusammensetzung und deren tiefste Teile aus geringfügig schieferigen Metagraniten bestehen. Die alpidische Schieferung fällt Richtung Italien, mit einer immer größer werdenden Neigung, bis zur Vertikalisierung von Norden nach Süden, während sie nach Norden hin in österreichisches Gebiet fällt. In Richtung Eisacktal hingegen drehen sich die Schieferungsflächen und fallen aufgrund des tektonischen Nachzieheffekts der duktilen Scherzone am Brenner nach Westen. Entlang der Tunnelachse sollten die Metagranite und die Orthogneise zwischen Staatsgrenze (pk 32+080) und pk (35+960) durchquert werden.

Über dem sub-penninischen Untergrund liegen parautochthone, abgeflachte Überlagerungen, die als **Hochstegen-Bereich** bekannt sind und hier, auf der orographisch rechten Seite des Pfitschtals, als dichte Synform verformt sind. Diese Abfolge besteht im Tunnelbereich an der Basis aus Dolomitmarmor, mit Anhydriten und Rauhwacken (Obertrias), grauschwarzen Quarziten, z. T. gradierten Phylliten (Lias) und einem ziemlich mächtigen Horizont aus einem ziemlich reinen Marmor, der als Hochstegenmarmor bekannt ist (Malm). Beim Tunnelausbruch sollte nur der äußerste Teil der Synklinale durchquert werden, die aus Dolomitmarmor zusammengesetzt ist (pk

5. CONTESTO GEOLOGICO

Il contesto geologico in cui si svilupperà il lotto in progettazione è caratterizzato da una considerevole variabilità litologica e da una complessità strutturale elevata, soprattutto per quanto attiene alle deformazioni duttili. Questi due fattori, uniti alla profondità del tunnel che limita le possibilità di estrapolazione certa degli elementi geologici visibili in superficie, se non per quanto riguarda i dati puntuali forniti dai sondaggi, determina delle incertezze nel profilo geologico, che si ripercuotono sulle interpretazioni di ordine idrogeologico.

Un richiamo sintetico all'assetto geologico atteso viene fornito qui di seguito, facendo riferimento alla carta geologica, nonché al profilo geologico rivisto e modificato rispetto a quello del Progetto Definitivo anche in ragione dei risultati del nuovo sondaggio profondo Vi-B-12/11 terminato nel 2012. L'assetto geologico verrà descritto procedendo da nord verso sud.

5.1. Substrato pre-Quaternario

Nel settore nord dell'area di interesse è presente un duomo granitico costituito dallo **Gneiss Centrale del Tux** (Basamento Sub-pennidico). Si tratta di una struttura antiforale costituita nella parte più alta e periferica da un ortogneiss a composizione da granitica a dioritica e nelle parti più profonde da metagraniti, poco scistososi. La scistosità, di età alpina, immerge verso il territorio italiano, con incilnazione progressivamente maggiore, fino alla verticalizzazione procedendo da nord a sud, mentre immerge verso nord in territorio austriaco. Verso la valle Isarco tuttavia, sia in territorio italiano che austriaco i piani di scistosità ruotano immergendosi verso ovest per effetto del trascinamento tettonico determinato dalla Zona di taglio duttile del Brennero. Lungo l'asse della galleria i metagraniti e gli ortogneiss dovrebbero essere intercettati tra il confine di stato (pk 32+080) e la pk 35+960.

Al di sopra del basamento Sub-pennidico sono presenti delle coperture parautoctone assottigliate note come **Zona di Hochstegen**, che nella zona di interesse, in destra orografica della Val di Vize sono deformate in una struttura sinforme molto serrata. Si tratta di una successione che nella zona del tunnel è costituita alla base da marmi dolomitici associati ad anidriti e carnirole (Trias superiore), quarziti grigio-nerastre talora passanti a filladi (Lias) e da un orizzonte piuttosto potente di marmi piuttosto puri noti come marmi di Hochstegen (Malm). Il tunnel lungo il suo sviluppo dovrebbe intercettare solo la parte più esterna della sinclinale, costituita da marmi dolomitici

35+960 - 36+030).

Im Hangenden des Hochstegen-Marmors liegt eine dünne tektonische Einheit, die das Ergebnis der Verschiebung des Hochstegen-Marmors ist und die als **Wolfendorn-Decke** bekannt ist. Im prüfungsgegenständlichen Bereich besteht diese Einheit ausschließlich aus Hochstegen-Marmor. Die Kontakte, die diese Scholle säumen, sind duktiler Art und gleichzeitig mit der Schieferung entstanden. Sie sind also in hydrogeologischer Sicht irrelevant und werden vom Tunnel bei pk 36+030 und 36+090 durchquert. Dementsprechend sollte die Wolfendorn-Decke entlang der Tunnelachse äußerst dünn ausfallen.

Im Hangenden zur Wolfendorn-Decke liegt eine weitere, ziemlich dünne tektonische Einheit, die als **Flatschspitz-Decke** bezeichnet wird. Diese Einheit besteht grundsätzlich aus einer Flyschabfolge, wahrscheinlich aus der Kreidezeit, die Phyllite, Quarz-Glimmerschiefer, Quarzite und untergeordnet Schiefer und Anhydrite einschließt und als *Kaserer Formation* bezeichnet wird. Diese Abfolge lagert transgressiv auf einem Untergrund aus der Vorkreidezeit auf, der in diesem Bereich vorwiegend aus Dolomitmarmor, Anhydriten und Trias-Chloritschiefer besteht. Der Tunnel sollte diese Einheit (vorwiegend die Kaserer Formation) zwischen pk 36+090 und pk 36+270 durchqueren. Auch in diesem Fall ist die Einheit von den angrenzenden Einheiten durch duktile tektonische Kontakte abgegrenzt und in hydrogeologischer Hinsicht unbedeutend.

Die gesamte bisher beschriebene meta-sedimentäre Abfolge im Hangenden des sub-penninischen Untergrundes ist in der Literatur allgemein als Untere Schieferhülle bekannt und wird paläogeographisch der europäischen Platte zugeordnet, um sie von den Einheiten der ozeanischen Platte abzugrenzen, die als Obere Schieferhülle bezeichnet werden.

Entlang der Tunnelachse beginnt die Obere Schieferhülle bei pk 36+270 ca. beim südlichen tektonischen Kontakt, der die Flatschspitz-Decke säumt. Insbesondere im Bereich, der hier von Interesse ist, ist die im Vergleich zur Oberen Schieferhülle nördlichste Einheit, die direkt die Flatschspitz-Decke berührt, als **Pfischtal-Störung** bekannt. Sie besteht aus einer vorjurassischen Abfolge im Liegenden einer mächtigen Abfolge von Kalkphyllit.

Die vorjurassische Abfolge befindet sich in vertikaler Position Richtung E-W ca. orographisch rechts des (unteren) Pfischtales und ist mit engen, sich überlagernden Falten verformt, die ihre Struktur äußert komplizierten und damit auch die Interpretation ihrer räumlichen Verteilung. Sie beginnt hauptsächlich mit Dolomitmarmor oder Dolomiten (Seidlwinkl-Formation - Mitteltrias) und setzt sich mit Phylliten, Graphitphylliten, Quarz-Glimmerschiefer, Metakonglomeraten,

(pk 35+960 – 36+030).

A tetto della Zona di Hochstegen è presente una sottile unità tettonica derivante dallo scagliamento della Zona di Hochstegen medesima, nota come **Falda di Wolfendorn**. Nell'area di esame tale unità è costituita esclusivamente da marmo di Hochstegen. I contatti che bordano questa scaglia sono di tipo duttile sin-sistogeno, quindi irrilevanti dal punto di vista idrogeologico, e vengono intercettati dal tunnel alle pk 36+030 e 36+090. Pertanto, la Falda di Wolfendorn lungo l'asse della galleria dovrebbe risultare estremamente sottile.

A tetto della Falda di Wolfendorn è presente una ulteriore unità tettonica piuttosto sottile nota come **Falda del Flatschspitz**. Tale unità è costituita essenzialmente da una articolata successione flyshioide di presunta età cretacea includente filladi, quarzomicascisti, quarziti e subordinati scisti ad anidrite, *nota come Formazione di Kaserer*. Questa successione risulta essere trasgressiva su un substrato pre-cretaceo che nella zona di interesse è costituito in prevalenza da marmi dolomitici, anidriti e cloritoscisti triassici. Il tunnel dovrebbe intercettare questa unità (prevalentemente Formazione di Kaserer) tra le pk 36+090 e 36+270. Anche in questo caso l'unità è separata da quelle adiacenti da contatti tettonici duttili, quindi ininfluenti dal punto di vista idrogeologico.

L'intera successione meta-sedimentaria sin qui descritta, che si trova a tetto del basamento sub-penninico, è anche nota più genericamente in letteratura con il termine Untere Schieferhülle e attribuita paleogeograficamente ad un dominio prossimale rispetto alla placca europea, per differenziarla dalle unità di pertinenza oceanica, quindi più distali, riferite come Obere Schieferhülle.

Lungo l'asse del tunnel la Obere Schieferhülle inizia intorno alla progressiva 36+270, ovverosia in corrispondenza del contatto tettonico meridionale che borda la Falda del Flatschspitz. In particolare, nell'area di interesse l'unità più settentrionale della Obere Schieferhülle, che riposa a diretto contatto con la Falda del Flatschspitz è nota come **Falda di Vize**, ed è costituita da un'articolata successione pre-giurassica a tetto della quale si sviluppa una potente sequenza di clascisti.

La successione pre-giurassica affiora in posizione verticalizzata con strike circa E-W sul versante orografico destro della val di Vize (parte bassa), ed è deformata da pieghe serrate sovrapposte che ne complicano notevolmente l'assetto strutturale e quindi l'interpretazione circa la sua distribuzione spaziale. Essa inizia perlopiù con dei marmi calcareo dolomitici o dolomie (Formazione di Seidlwinkl – Trias medio) e prosegue con filladi, filladi grafiche, quarzomicascisti.

dünnen Wechselfolgen von Dolomitmarmor, Quarziten, Anhydritschiefern sowie Anhydriten (Aigerbach-Formation - Obertrias) fort.

Aufgrund von Verfaltungen und Überlagerungen finden sich komplexe Wiederholungen dieser Abfolge entlang der Tunnelachse zwischen pk 36+270 und Km 37+330.

Ab dem Achsbereich des Pfitschtals taucht in südlicher Richtung hingegen die bereits erwähnte mächtige Abfolge von Bündnerschiefer auf, die hauptsächlich aus karbonathaltigem Bündnerschiefer mit Einlagerungen von unreinem Marmor, phyllitischem Bündnerschiefer und Phylliten sowie Prasiniten bestehen. In der Abfolge treten ab und an auch mächtige Bänke von unreinem Marmor auf, der sich vom Bündnerschiefer durch einen äußerst geringen Anteil an Schichtsilikaten unterscheidet.

Im Achsbereich des Pfitschtales ist diese Abfolge vertikal, entsprechend der vorjurassischen Lagerung, auf der sie ruht, aber in Richtung Süden sind die Lagerungen allmählich weniger geneigt, nach N fallend, bis sie sub-horizontal werden. Diese Geometrie wird wahrscheinlich durch eine oder mehrere enge synklinale Schließungen bei der Talachse und einer weiteren antiformen Struktur (wie dem sub-penninischen Untergrund) südlich des Pfitschtals (im Bereich des Trensers Jochs) bedingt.

Die Bündnerschiefer der Pfitschtal-Störung und die entsprechenden Gesteine werden entlang der Tunnelachse bei pk 37+330 und pk 40+870 durchörtert. Bei dieser Kilometrierung tauchen, gerade wegen der Verfaltungen und der antiformen Struktur, die darunter liegenden Formationen wieder auf (vorjurassische Basis der Pfitschtal-Störung und Einheiten der Unteren Schieferhülle).

Der Kern dieser zweiten Kulmination (Tulfer-Senger Kuppel) ist im Tunnelbereich wenig erforscht, da nur eine punktuelle Tiefbohrung durchgeführt wurde (Vi-B-12/11). Er steht sporadisch im unteren Pfitschtal (Tulfer) an.

Nach der wahrscheinlichsten Rekonstruktion scheint der komplexe antiforme Kern, der die Erhöhung bedingt, einen tektonischen Kontakt zwischen der Pfitscher Störung und Außengrenzen der Unteren Schieferhülle zu verformen (darunter die Kaserer Formation), die schon einmal Teil einer komplexen Struktur mit Isoklinalen waren.

Entlang der Tunnelachse scheint diese komplexe Überlappung von Verformungsereignissen ab dem pk 40+870 bis pk 43+155 eine Reihe von Übergängen von der Pfitscher Störung zur Unteren Schieferhülle generiert zu haben.

Die südliche Flanke der oben genannten antiformen Struktur ist vertikalisiert bis überkippt, mit einer Schieferung in Richtung E-W, und fällt steil nach N. Die

sti, metaconglomerati, sottili alternanze di marmi dolomitici, quarziti, scisti anidritici, anidriti (Formazione di Aigerbach – Trias superiore).

Ripetizioni complesse di questa successione, a causa dei fenomeni di piegamento e trasposizione duttili, si trovano lungo l'asse del tunnel tra la pk 36+270 e la pk 37+330.

A partire dal settore assiale della val di Vizze, andando verso sud, compare invece la potente successione di calcescisti di cui sopra, che consiste principalmente di calcescisti carbonatici con intercalazioni di marmi impuri, calcescisti filladici e filladi, prasiniti. All'interno della successione compaiono poi talora potenti bancate di marmi impuri che si differenziano dai calcescisti per un contenuto estremamente ridotto in fillosilicati.

Nel settore assiale della val di Vizze questa successione risulta verticalizzata, compatibilmente con la giacitura dei livelli pre-giurassici su cui poggia, ma andando verso sud le giaciture divengono progressivamente meno inclinate, con immersione verso N, fino a divenire sub-orizzontali. Questa geometria è verosimilmente legata alla presenza di una o più chiusure sinclinali serrate in corrispondenza dell'asse della valle e di un'ulteriore struttura antiforme (analoga a quella del basamento Sub-pennidico) nel settore a sud della val di Vizze (settore del Giogo di Trens).

I calcescisti della Falda di Vizze e litotipi correlati si incontrano lungo l'asse del tunnel tra la pk 37+330 e la pk 40+870, progressiva in corrispondenza della quale ricompaiono, proprio per effetto dei piegamenti e della struttura antiforme, le formazioni sottostanti (base pre-giurassica della Falda di Vizze e unità della Untere Schieferhülle).

Il nucleo di questa seconda culminazione (Cupola di Tulfer Senges Auct.) è poco conosciuto nella zona del tunnel, poiché è stato esplorato puntualmente con un solo sondaggio profondo (Vi-B-12/11) e affiora sporadicamente nella bassa val di Vizze (zona di Tulfer).

Secondo la ricostruzione che sembra più probabile il nucleo antiforme complesso che determina la culminazione risulta deformare un contatto tettonico tra la Falda di Vizze e termini riferibili alla Untere Schieferhülle (tra cui la Formazione di Kaserer) già precedentemente coinvolti in una complessa struttura a pieghe isoclinali.

Lungo l'asse del tunnel il risultato di questa complessa sovrapposizione di eventi deformativi sembra aver generato, a partire dalla pk 40+870 fino alla pk 43+155, una serie di passaggi da termini della Falda di Vizze a termini della Untere Schieferhülle.

Il fianco meridionale della struttura antiforme di cui sopra risulta da verticalizzato fino a rovesciato, con scistosità a direzione circa E-W che immergono ad

Achse der antiformen Struktur taucht hingegen gegen Westen ein, weshalb die vorjurassischen Einheiten der Pfitschtal Störung und die Gesteine der Unteren Schieferhülle, die mit dieser eingefaltet sind und den Kern der Struktur darstellen, grundsätzlich nie auftauchen (eben nur teilweise im Bereich Tulfer), da sie immer unter dem Bündnerschiefer bleiben.

Zum Hangenden der Pfitschtal Störung trennt ein duktiler tektonischer Kontakt, der durch eine dünne Schicht von Dolomitmarmor unterlegt ist, diese tektonische Einheit von einer anderen Einheit, die ebenfalls der Oberen Schieferhülle angehört und als **Glocknerdecke** bezeichnet wird. Im gegenständlichen Bereich kommt diese Einheit praktisch nur südlich der Wasserscheide zwischen dem Pfitschtal und dem Sengestal vor, entlang der vertikalisierenden Flanke des Antiforms und im Bereich mit horizontaler Schieferung der Erhöhung, da sie entlang der anderen Flanke erodiert ist.

Sie scheint vorwiegend aus Bündnerschiefer zu bestehen, der im Allgemeinen einen höheren terrigenen Anteil als jener der Pfitschtaldecke aufweist. Über den Bündnerschiefer hinaus kommen auch glimmerige Quarzphyllit-, Prasinit- und Serpentinlagen vor. Letztere Gesteinsarten, die in der vorherigen Einheit nicht vorkommen, weisen darauf hin, dass die Glocknerdecke, im Vergleich zur Pfitschtalstörung, stärker distal und ozeanisch ist.

Auf die Ausläufer der Glocknerdecke stößt man entlang des Tunnels zwischen pk 43+155 und pk 5+100 ca.; Entlang der südlichen Grenze umschließen die Bündnerschiefer Dolomitkalklagen oder -linsen.

Südlich der Glocknerdecke, nach einem weiteren duktilen tektonischen Kontakt, der wiederum entlang der entgegengesetzten Seite des bereits erwähnten großräumigen Antiforms überkippt ist, kommen Gesteine **des Austroalpins** vor. Es handelt sich vorwiegend um Paragneis und Glimmerschiefer mit gelegentlichen Einlagerungen von Orthogneis und Amphiboliten. Auf solche Gesteine stößt man entlang der Tunnelachse zwischen pk 45+100 und dem Ende des hier betrachteten Abschnitts.

Der duktile tektonische Kontakt bei pk 45+100 trennt praktisch die Einheiten des so genannten Penninikums, die im Norden dieser Diskontinuität anstehen, von Gesteinen des Austroalpins, die im Süden anstehen. Alle bereits beschriebenen Einheiten des Penninikums zeichnen sich durch einen amphibolitfaziell alpinen Metamorphismus aus, der sich einem vorherigen Hochdruck- und Niedrigtemperatur-Metamorphismus überlagert. Die Schieferung dieser Einheit ist vorwiegend auf das amphibolitfazielle Ereignis zurückzuführen. Im Austroalpin sind die metamorphen Ereignisse vorwiegend auf Grünschieferfazies zurückzuführen und überlagern sich mit einer Metamorphose von voralpiner Amphibolit-Fazies.

alto angolo verso N. L'asse della struttura antiforme immerge invece verso ovest, pertanto le unità prejurassiche della Falda di Vizze e i litotipi della Untere Schieferhülle con esse intimamente ripiegati, che costituiscono il nucleo della struttura, sostanzialmente non emergono mai (se non appunto parzialmente nella zona di Tulfer), poiché rimangono sempre al di sotto dei calcescisti.

Al tetto della Falda di Vizze un contatto tettonico duttile sottolineato da sottili livelli di marmi dolomitici, separa questa unità tettonica da un'altra unità, sempre riferibile alla Obere Schieferhülle, nota come **Falda di Glockner**. Nell'area di studio tale unità compare praticamente solo a sud dello spartiacque tra val di Vizze e valle di Senges, lungo il fianco verticalizzato dell'antiforme o nella zona a scistosità orizzontale della sua culminazione, poiché lungo l'altro fianco risulta erosa.

Essa risulta costituita principalmente da calcescisti generalmente a maggior componente terrigena rispetto a quelli della Falda di Vizze. Oltre ai calcescisti compaiono anche livelli di filladi quarziti micacee, prasiniti e, serpentiniti. Questi ultimi litotipi, che non comparivano nella precedente unità, testimoniano una pertinenza maggiormente distale ed oceanica della Falda di Glockner rispetto alla Falda di Vizze.

I termini della Falda di Glockner si incontrano lungo il tunnel tra la pk 43+155 e la pk 45+100 ca.; lungo il limite meridionale i calcescisti inglobano livelli o lenti calcareo dolomitiche.

A sud della Falda di Glockner, a seguito di un ulteriore contatto tettonico duttile sempre rovesciato lungo il fianco inverso dell'antiforme a grande scala di cui sopra, compaiono i litotipi del **dominio Austroalpino**. Si tratta principalmente di paragneis e micascisti con sporadiche intercalazioni di ortogneis e di anfiboliti. Tali litotipi compaiono lungo l'asse del tunnel tra la pk 45+100 e il termine della tratta di interesse.

Il contatto tettonico duttile posto alla pk 45+100 separa in sostanza delle unità di pertinenza del così detto dominio Pennidico, affioranti a nord di tale discontinuità, da termini del dominio Austroalpino, affioranti a sud. Tutte le unità Pennidiche descritte in precedenza risultano essere caratterizzate da un metamorfismo alpino di facies anfibolitica che si sovrappone a un precedente metamorfismo di alta pressione e bassa temperatura; la scistosità osservabile in queste unità è principalmente legata all'evento di facies anfibolitica. Nel dominio Austroalpino gli eventi metamorfici alpini sono invece in prevalenza riferibili alla facies scisti verdi e si sovrappongono a un metamorfismo di facies anfibolitica pre-alpino.

5.2. Kataklastische Störungen

Wie bereits erwähnt sind alle tektonischen Kontakte zwischen den bereits beschriebenen Haupteinheiten duktiler Art. Im beobachteten Abschnitt herrschen bereits unterschiedliche kataklastische Störungen vor, die in hydrogeologischer Hinsicht relevant sein könnten und sich mit älteren Kontakten duktilen Ursprungs kreuzen oder punktuell überlappen.

Von Norden kommend sind am rechten Ufer des Pfitschtals subvertikale ENE-WSW-Seitenverschiebungen nach links (Pfitschtalsystem) häufig, die Gesteinskontakte der Oberen und Unteren Schieferhülle herstellen und reaktivieren. Im Allgemeinen handelt es sich um Strukturen, die seitlich nicht sehr ausgedehnt sind.

Wichtiger, weil sie verbreiteter sind und eine größere seitliche Ausdehnung aufweisen, sind die steil in Richtung NNE-SSW abfallenden Verschiebungen (Afens-System), die im hier betrachteten Abschnitt ziemlich überall vorkommen und transtensiv links verlaufen.

Diesem System gehören unter anderem folgende Verschiebungen an, die allesamt durchörtert werden: i) die Verschiebung D05 im Pfitschtal, von der man vor allem aufgrund der Fotolineamente eine Ausdehnung von mehreren Kilometern annimmt, deren Existenz aber ungewiss ist, ii) die Störung S12, die ebenfalls über mehrere Kilometer verläuft, iii) die Störungen S09, S11, S12 und S30, deren Ausdehnung geringer ist als die der anderen.

Zusätzlich zu den zwei genannten Systemen treten in diesem Bereich auch andere, kleinere Systeme vor, deren seitliche Ausdehnung gering ist, wie zum Beispiel das System WNW-ESE (System von Tulfer).

Ganz spezifisch kann in Bezug auf die Störungen, die entlang der Trasse durchörtert werden, zwischen jenen unterschieden werden, die in hydrogeologischer Hinsicht relevant sind, und jenen, die nur eine sekundäre Rolle spielen werden. Unter "hydrogeologisch relevant" versteht man Störungen mit einer guten Durchlässigkeit und einer bedeutenden seitlichen Ausdehnung mit einer guten Auffüllungsfähigkeit.

Mit Verweis auf das beiliegende hydrogeologische Profil sind die folgenden Störungen hydrogeologisch am relevantesten.

- Störung SL 01 - zeichnet sich durch tektonische Brekzien mit mäßiger seitlicher Ausdehnung aus.
- Störung Vi-5-535 - Gefüge, das sich in Karbonatgestein entfaltet und somit tektonische Brekzien und Karbonatgouge umfasst, die po-

5.2. Faglie cataclastiche

Come già precisato i contatti tettonici tra le principali unità precedentemente descritte sono tutti di tipo duttile. Nel settore di interesse esistono però diversi sistemi di faglie a carattere cataclastico che possono giocare un ruolo significativo a livello idrogeologico e che tagliano o localmente, si sovrappongono, ai più antichi contatti di origine duttile.

Partendo dal settore nord, in sponda destra della val di Vizze sono frequenti le faglie subverticali ENE-WSW (Sistema della Val di Vizze), a movimento trascorrente sinistro, che si impostano e riattivano i contatti litologici della Obere e Untere Schieferhülle. Generalmente si tratta di strutture con scarsa persistenza laterale.

Più rilevanti, perché maggiormente diffuse e aventi una notevole persistenza laterale sono le faglie ad alto angolo e direzione NNE-SSW (Sistema di Avenes), presenti un po' ovunque nell'area in esame a componente transtensiva sinistra.

A questo sistema appartengono, tra le altre, le seguenti faglie, che verranno tutte intercettate dal tunnel: i) la faglia S05 in val di Vizze, che ha una persistenza pluri-chilometrica ipotizzata soprattutto su base fotolineamentare e di esistenza incerta, ii) la faglia S15, anch'essa di persistenza pluri-chilometrica; iii) le faglie S09, S11, S12 e S30, con persistenza minore delle precedenti.

Oltre ai due sistemi citati esistono poi trovano una discreta diffusione nell'area anche altri sistemi minori, con persistenza laterale piuttosto scarsa, come ad esempio il sistema WNW-ESE (Sistema di Tulves).

Entrando maggiormente nello specifico delle faglie che verranno incontrate lungo il tracciato, è possibile fare un distinguo tra quelle che avranno un ruolo idrogeologico rilevante rispetto a quelle che avranno un ruolo secondario, tenendo conto che per "faglie con ruolo idrogeologico importante" si intendono faglie con buona permeabilità ed estensione laterale rilevante, in grado di garantire un'elevata disponibilità di ricarica.

Con riferimento al profilo idrogeologico allegato le faglie che possono essere ritenute più rilevanti dal punto di vista idrogeologico sono quelle elencate di seguito.

- Faglia SL 01 – struttura caratterizzata da brecce tettoniche con discreta persistenza laterale
- Faglia Vi-5-535 – struttura che si sviluppa in rocce carbonatiche e che quindi dovrebbe essere caratterizzata da brecce tettoniche e

tenziell von chemischen Auflösungserscheinungen betroffen sind. Dieses Gefüge weist auch eine bedeutende seitliche Ausdehnung auf.

- Störung n-f539a und n-f539b - ähnliche Eigenschaften wie die vorherige Störung.
- Störung S05 - Gefüge, das sich durch tektonische Brekzien auszeichnet, die wahrscheinlich auch einen hohen Anteil an Feinmaterial enthalten, aber auch eine sehr mächtige Beschädigungszone. Das Gefüge ist seitlich sehr ausgedehnt.
- Störung S11 - zeichnet sich durch eine ziemlich dicke Beschädigungszone und eine gute seitliche Ausdehnung aus.
- Störungen S15 und S30 - zeichnen sich wahrscheinlich durch Störungsgesteine mit reichlich Feinmaterial aus, da sie phyllitische Bündnerschiefer kreuzen. Sie weisen aber eine bedeutende seitliche Ausdehnung auf, weshalb sie vorsichtshalber trotz einer etwaigen geringen Durchlässigkeit der Störungsgesteine als hydrogeologisch relevante Störungen eingestuft werden.

Die weiteren Störungen, die entlang der Trasse durchörtert werden, sind kleinere Gefüge, die zwar hydrogeologische eine Rolle spielen, aber aus verschiedenen Gründen nicht so relevant sind wie die vorherigen Störungen.

- Störung 504 - Gefüge mit durchlässigen Störungsgesteinen, aber geringer seitlicher Ausdehnung.
- Störung n-sz26 - Gefüge mit einer geringen seitlichen Ausdehnung.
- Störungen Vi-4-462 und Vi-4-963 - Gefüge mit einer bescheidenen seitlichen Ausdehnung und bescheidener Stärke der kataklastischen Gesteine.
- Störung S09 - Gefüge von wahrscheinlich bescheidener Stärke, das den Tunnel in Karbonatgesteinen kreuzen wird, in einem Bereich von Bündnerschiefer mit Schichtsilikaten, also nicht besonders durchlässigen Störungsgesteinen.
- Störung S10 - kleineres Gefüge mit einer geringen seitlichen Ausdehnung.
- Störungen SWNW01 und SWNW02 - kleineres Gefüge mit geringer seitlicher Ausdehnung.
- Tektonischer Kontakt TSW01 - duktiler Gefüge mit spröder Reaktivierung, das jedoch auf stark schichtartigem, daher wenig durchlässi-

gouge carbonatici potenzialmente soggetti a fenomeni di dissoluzione chimica; tale struttura presenta anche un'elevata persistenza laterale.

- Faglie n-f539a e n-f539b – stutture con caratteristiche simili alla precedente.
- Faglia S05 – struttura caratterizzata da brecce tettoniche che probabilmente contengono anche quantità piuttosto elevate di materiale fine ma che potrebbe presentare una zona di danneggiamento molto potente; la struttura è dotata di una grande persistenza laterale.
- Faglia S11 – struttura caratterizzata da una zona di danneggiamento di spessore piuttosto consistente e buona persistenza laterale.
- Faglie S15 e S30 – strutture caratterizzate da probabili rocce di faglia con abbondante materiale fine poiché tagliano calcescisti filladici. Esse però presentano elevata persistenza laterale e pertanto, benché le rocce di faglia possano risultare scarsamente permeabili, sono state cautelativamente considerate come faglie significative dal punto di vista idrogeologico.

Le altre faglie intersecate lungo il tracciato sono strutture minori, che sicuramente possono avere un ruolo idrogeologico, ma vari motivi tale ruolo può essere considerato meno rilevante rispetto alle faglie precedenti.

- Faglia 504 – struttura con rocce di faglia permeabili ma con scarsa persistenza laterale.
- Faglia n-sz26 – struttura con scarsa persistenza laterale.
- Faglie Vi-4-462 e Vi-4-963 – strutture con modesta persistenza laterale e modesto spessore delle rocce catacastiche
- Faglia S09 – struttura di probabile modesto spessore e che intersecherà il tunnel in litotipi carbonatici in un settore di calcescisti con fillosilicati, quindi con rocce di faglia non particolarmente permeabili.
- Faglia S10 – struttura minore e con scarsa persistenza laterale.
- Faglie SWNW01 e SWNW02 – strutture minori con scarsa persistenza laterale.
- Contatto tettonico TSW01 – struttura duttile con riattivazioni fragili che però si impostano su rocce fortemente fillosilicatiche e pertanto

gem Gestein liegt.

- Kontakte n-sz26b und n-sz26c - duktile tektonische Kontakte, die hydrogeologisch irrelevant sind.

poco permeabili.

- Contatti n-sz26b e n-sz26c – contatti tettonici duttili privi di ruolo idrogeologico.

5.3. Quartäre Ablagerungen

Quartäre Ablagerungen sind im Allgemeinen relativ bedeutsam für die hydrogeologische Tunnelplanung, da diese Oberflächenkörper die Strömungen von geringer Tiefe beherbergen. Es gibt jedoch einige Ansammlungen größerer Dicke entlang des Trassenverlaufs, die ziemlich große Speicher darstellen, die hydrogeologische Gefüge im Untergrund, die durchörtert werden, speisen können. Es handelt sich dabei vor allem um Füllablagerungen der Haupttäler und um große Erdrutschkörper oder tiefgreifende gravitative Verformungen.

Was die gravitativen Ablagerungen betrifft, so zeichnet sich der Hang orographisch rechts des Pfitschtals, vor Kematen, durch einen losen Untergrund aus, der von einem ausgedehnten Phänomen der Massenbewegung mit einer geschätzten Mächtigkeit von 100-200m betroffen ist. Die Abrisskante reicht von Flatschjoch bis Flatschspitze.

Ein weiteres Phänomen der Massenbewegung von relativer Bedeutung befindet sich im Pfitschtal orographisch links, mit Abrisskante zwischen Trensers Joch und Finsterstern (Trennungslinie zum Sengestal). Auch in diesem Fall ist der Untergrund extrem lose und unzusammenhängend, bei einer geschätzten Mächtigkeit eines Hektometers oder mehrerer Hektometer. Das Phänomen reicht von der genannten Trennungslinie bis zur Talsohle.

Auch auf dem linken Hang des Sengestals findet eine ziemlich weitreichende Massenbewegung statt, die sich nicht sehr von den bereits beschriebenen unterscheidet.

Was die Ablagerungen in der Talsohle anbelangt, sind die wichtigsten jene, die die Auffüllungen des Pfitschtals darstellen. Oberhalb des Rieder Stausees dominieren auf der gesamten Länge der Ebene gegenüber von Kematen und entlang der Talachse sehr mächtige Seeablagerungen aus Schlick und Sand, die seitlich mit Kegel- oder Flussablagerungen durchsetzt sind. Die Seeablagerungen stammen von der Absperrung des Tals vor Ried nach der Ansammlung eines ausgedehnten Felssturzes.

Wie bereits erwähnt verschränken sich die Seeablagerungen seitlich mit Kegelablagerungen an dem Punkt, an dem die wichtigsten Seitentäler zusammenreffen. Insbesondere auf der orographisch linken Talseite, auf der Vertikalen der Trasse, verschränken sie sich mit Ablagerungen des Flusskegels des Burgum-

5.3. Depositi Quaternari

I depositi quaternari hanno generalmente un'importanza relativa ai fini della progettazione idrogeologica del tunnel, trattandosi di corpi superficiali che ospitano circolazioni poco profonde. Tuttavia esistono alcuni accumuli di maggior spessore lungo l'allineamento del tracciato che possono costituire serbatoi piuttosto capacitivi in grado di garantire una alimentazione consistente a strutture idrogeologiche del substrato che verranno intercettate dalla galleria. Si tratta soprattutto di depositi di riempimento delle valli principali e di grandi corpi di frana o di deformazione gravitativa profonda.

Per quanto attiene ai depositi gravitativi, in destra orografica della val di Vizze il versante a monte di Caminata è caratterizzato da un substrato scompaginato, coinvolto in un esteso fenomeno di deformazione gravitativa profonda con potenza presunta dell'ordine dei 100-200m; la nicchia di distacco si estende tra il Flatschjoch e il Flatschspitze.

Un altro fenomeno di deformazione gravitativa profonda di rilevante importanza è localizzato in sinistra orografica della val di Vizze, con nicchia di distacco tra il Trensers Joch e il Finsterstern (spartiacque con la valle di Senges). Anche in questo caso si osserva un substrato estremamente scompaginato e disarticolato per potenze presunte di ordine ettometrico o pluri-ettometrico; il fenomeno si estende tra la citata cresta spartiacque e il fondovalle.

Anche sul versante sinistro della val di Senges si osserva un fenomeno di deformazione gravitativa profonda piuttosto esteso, con caratteristiche non dissimili dai precedenti.

Per quanto attiene ai depositi di fondovalle, quelli più rilevanti sono quelli che costituiscono il colmamento della val di Vizze. A monte del lago di Novale, per tutta l'estensione della piana di fronte a Caminata, lungo l'asse vallivo dominano depositi lacustri limoso-sabbiosi molto potenti, lateralmente interdigitati con depositi di conoide o depositi fluviali. I depositi lacustri si sono formati a seguito dello sbarramento della valle a valle di Novale a seguito dell'accumulo di un esteso corpo di frana di crollo.

Come già ricordato i depositi lacustri sono interdigitati lateralmente con depositi di conoide in corrispondenza delle confluenze delle principali valli laterali e in particolare, in orografica sinistra della valle, sulla verticale del tracciato essi sono interdigitati con i depositi del conoide alluvionale del Rio Burgum, che presumi-

Baches, die sich wahrscheinlich vom Fuße des linken Hanges bis fast zur Talachse ausdehnen.

Die Talsohle des Eisacks betrifft zwar nicht direkt den Trassenverlauf, ist aber hydrogeologisch dennoch ein sehr relevantes Element. Aus diesem Grund wurde der stratigraphische Aufbau im Bereich der Eisackquerung etwas oberhalb von Franzensfeste genau untersucht. Da in den anderen Bereichen keine spezifischen Studien durchgeführt wurden, kann angenommen werden, dass die Beobachtungen bei Franzensfeste zumindest zum Teil für den Bereich oberhalb extrapoliert werden können.

Diese Talsohle besteht aus mächtigen Flussablagerungen aus Schotter und Sand, mit großen Findlingen von metrischen Ausmaßen. Außerdem sind auch feinsandig-schluffige Diskontinuitäten vorhanden, die ebenfalls alluvialen Ursprungs sind. Diese Ablagerungen, die mit den Ablagerungsphasen des Hauptwasserlaufs der Talsohle zusammenhängen, sind seitlich mit alluvialen Kegelablagerungen der Seitenbäche verschränkt. Die Zusammensetzung dieser Ablagerungen ist verschiedenartig, aber hauptsächlich bestehen sie aus Geröll und Steinblöcken aus Schluff und Sand.

6. HYDROGEOLOGISCHE DATEN

6.1. Hydrologie

Im Hinblick auf die Bewertung der Beziehungen zwischen den Oberflächen- und den Grundwässern liegen derzeit zwei verschiedene hydrologische Studien vor:

1. Hydrologische Studien, die von BBT in Phase I der Studien durchgeführt wurden (**Hydrogeologische Voruntersuchungen**, G2h 02 – Anh.1.i, Vertrag D0025).
2. Hydrologische Studien, die von BBT in Phase II der Studien für den Basistunnel durchgeführt wurden (Vertrag D0161).

Die berücksichtigten hydrologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit Phase I (Punkt 1) beziehen sich auf das Gebiet östlich des Eisacktals zwischen der Staatsgrenze und Franzensfeste. Diese Studien enthalten nur eine hydrologische Bilanz des oberen Pfitschertals, da dort aufgrund eines Staudammes des gleichnamigen Baches damals die einzige kontinuierliche Messstation der Schüttung lag. Diese Bilanz wurde auf Basis der für dieses Gebiet verfügbaren Niederschlags- und Evapotranspirationsdaten durchgeführt.

Die konsultierten Niederschlagsreihen umfassen Nie-

bilmente si estendono dal piede del versante sinistro fin quasi all'asse vallivo.

Per quanto infine riguarda il fondovalle Isarco, che non interessa direttamente l'area di tracciato, ma che costituisce comunque un elemento idrogeologico molto rilevante, l'assetto stratigrafico è stato studiato approfonditamente nella zona di attraversamento del fiume Isarco poco a monte di Fortezza. Poiché negli altri settori non sono stati eseguiti studi specifici si può ipotizzare che quanto osservato per il settore di Fortezza sia almeno in parte estrapolabile anche verso monte.

Questo fondovalle è costituito da potenti depositi di origine alluvionale e di natura ghiaioso-sabbiosa, con abbondanti trovanti di dimensioni metriche. Sono altresì presenti livelli discontinui, sempre di natura alluvionale e a composizione sabbioso-limoso. Questi depositi, correlati alle fasi deposizionali del corso d'acqua di fondovalle principale, sono lateralmente interdigitati con depositi di conoide alluvionale dei rii laterali. Questi depositi presentano composizione variabile, ma principalmente sono costituiti da ciottoli e blocchi in matrice sabbioso-limoso.

6. DATI IDROGEOLOGICI

6.1. Idrologia

Al fine di valutare le relazioni tra le acque superficiali e quelle sotterranee sono al momento disponibili due diversi studi idrologici:

1. Studi idrologici compiuti da BBT nella Fase I (**Studi preliminari di idrogeologia**, G2h 02 – All.1.i, contratto D0025).
2. Studi idrologici realizzati da BBT nella Fase II per il tunnel di base (contratto D0161).

Le indagini idrologiche inerenti la Fase I (punto 1) sono relative al settore ad oriente della Valle Isarco tra il Confine di Stato e Fortezza. Questi studi forniscono un bilancio idrologico solamente per l'alta Valle di Vize dal momento che ivi era presente all'epoca l'unica stazione di rilevamento in continuo delle portate per la presenza di una diga sul torrente omonimo. Tale bilancio è stato eseguito sulla base dei dati di precipitazione ed evapotraspirazione disponibili per il settore in esame.

Le serie pluviometriche consultate forniscono altezze

derschlagshöhen von 800 mm in der Talsohle bis 2200 mm in den höheren Bereichen und weisen somit eine gute Korrelation zwischen Höhe und Niederschlägen auf; der mittlere jährliche Niederschlag beträgt 1250mm.

Im italienischen Gebiet, wo die einzigen verfügbaren Daten durch die in der Literatur vorgeschlagenen Methoden analytisch gewonnen werden, ist die Verfügbarkeit der Evapotranspirationsdaten sehr niedrig. Der auf diese Studie angewandte repräsentative Mittelwert beträgt 300 mm, wie im Kurzbericht im Ordner G2h 02 – Anh.1.i aufgezeigt ist.

Für die hydrologische Bilanz im Pfitschertalgebiet stromaufwärts des EDISON Rieder Stausees wurden, auf Basis der Daten der Niederschlagsmessstationen von Rieder, Kematen und Wiese, durchschnittliche jährliche Niederschlagshöhen von 800-900 mm betrachtet; die Evapotranspiration wurde auf 300 mm geschätzt. Aus der durchgeführten Bilanz ergibt sich, dass bei der Schließung des Beckens am Rieder Stausee der gesamte Abfluss von 3307 l/s um 190 l/s niedriger ist als der Wert des oberflächlichen Abflusses von 3494 l/s, welcher an der hydrographischen Station der EDISON gemessen wird. Dies zeigt zusammengefasst, dass aus dem Pfitscherbach im Abschnitt Ried mehr Wasser abfließt, als aus den Niederschlägen im gesamten hydrogeologischen Becken stammt, weshalb die Auffüllung aus den angrenzenden hydrographischen Becken angenommen wird. Es wird jedoch auch darauf hingewiesen, dass der Unterschied zwischen den Schüttungswerten an den beiden Stationen ca. 5-6 % im Vergleich zur Gesamtschüttung beträgt, weshalb dies auch ein Messfehler sein könnte.

Bei den hydrologischen Studien von Phase II (Punkt 2), bei denen das österreichische Gebiet ausgeklammert wurde, auf deren Grundlage hydrologische Bilanzen für alle relevanten Becken berechnet wurden, wurden bislang nur die hydrologischen Becken des Pfitschertals und der linken Seite des oberen Eisacktals stromaufwärts von Sterzing erfasst.

Für das hydrologische Bilanzmodell wurde das Abflussprogramm ArcEGMO verwendet, das eine dynamische Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen (Niederschlag, oberflächlicher Abfluss, Zwischenabfluss, Evapotranspiration und Grundwasserneubildung) erlaubt. Als Eingabedaten wurde für den Bilanzraum eine Flächennutzungs- und Bodenkarte in einem GIS erstellt. Die für die Berechnung erforderlichen meteorologischen Daten sowie die Topographie (Höhe, Hangneigung, Hangexposition) wurden über spezielle im Programmpaket enthaltene Algorithmen aus den täglichen Messungen an den Klima-/Niederschlagsstationen und einem digitalen Höhenmodell regionalisiert.

delle precipitazioni comprese tra 800 mm nei fondovalle e 2200 mm alle alte quote che testimoniano una buona correlazione tra altitudine e precipitazioni; la precipitazione media annua è pari a 1250 mm.

La disponibilità di dati di evapotraspirazione è estremamente scarsa nel settore italiano dove gli unici dati disponibili sono ottenuti analiticamente utilizzando i metodi proposti in letteratura. Il valore medio rappresentativo applicato per lo studio in questione è pari a 300 mm come riportato nel rapporto di sintesi G2h 02-All.1.i.

Per il bilancio idrologico nel settore della Val di Vizze a monte della diga EDISON del lago di Novale è stata assunta una piovosità media annua di 800-900 mm sulla base dei dati relativi alle stazioni pluviometriche di Novale, Caminata e Prati; l'evapotraspirazione è stata assunta pari a 300 mm. Dal bilancio eseguito risulta che in corrispondenza della chiusura del bacino presso la diga sopra citata, il deflusso idrico totale è di 3307 l/s, e dunque inferiore di circa 190 l/s al valore di deflusso idrico superficiale misurato presso la stazione idrografica dell'EDISON e pari a 3494 l/s. Ciò indica, in sintesi che nel torrente Vizze alla sezione di Novale defluirebbe più acqua di quella derivante dalle precipitazioni sull'intero bacino idrologico ipotizzando quindi una ricarica dai bacini idrografici contigui. Va comunque anche specificato che lo scarto tra i valori di portata ottenuti alle due stazioni è dell'ordine del 5-6% rispetto alla portata totale e quindi potrebbe anche essere un effetto di errori di misurazione.

Gli studi idrologici della Fase II (punto 2), escludendo il territorio austriaco, su cui sono stati calcolati bilanci idrologici per tutti i bacini di interesse, ad oggi riguardano esclusivamente i bacini idrologici della Val di Vizze e della sinistra orografica dell'alta Valle Isarco a monte di Vipiteno.

Per il modello idrico di bilancio è stato utilizzato il programma di deflusso ArcEGMO (Pfützner, 2002; Pfützner, 2005), che permette una modellazione dinamica delle grandezze del bilancio idrico (precipitazione, deflusso superficiale, interflusso, evapotraspirazione e ricarica d'acqua freatica). Come dati di input è stata elaborata, per l'area di bilancio, attraverso un GIS una carta dell'uso del territorio e del suolo. I dati meteorologici, necessari per il calcolo, e la topografia (altitudine, pendenza dei versanti, esposizione dei versanti) sono stati interpolati usando le misure giornaliere delle stazioni climatiche e di precipitazione e usando un modello digitale del terreno attraverso algoritmi specifici inclusi nel pacchetto del programma.

Sehr wichtig für die Interpretation der gelieferten Daten ist es, die Art der Angaben des Modells zu verstehen. Während die Daten für den Oberflächenabfluss und die Evapotranspiration insofern eher intuitiv interpretiert werden, als diese Daten Phänomene betreffen, die für die Bewertung der Grundwasserschüttungen nicht maßgeblich sind, ist dies beim Zwischenabfluss und bei der Grundwasserneubildung, die manchmal schwer voneinander zu trennen sind, nicht der Fall.

Der Definition in der Studie zufolge stellt die Grundwasserneubildung das Wasser dar, das versickert und relativ lange Zirkulationen in quartären Aquiferen oder in Gestein speist und den Grundfluss der Wasserläufe in der trockenen Jahreszeit speist.

Beim Zwischenabfluss handelt es sich in jedem Fall um Wasser, das in die quartären Aquifere und die Aquifere des Untergrunds sickert, dort aber sehr schnell und kurzzeitig fließt. Relativ oberflächennahe Aquifere in sehr durchlässigen quartären Ablagerungen oder auch in seichten karstischen Aquiferen können von einem Großteil des Zwischenabflusses profitieren und zu dessen Ableitung zur Talsohle hin beitragen. In Zeiten mit starker Schüttung speist der Zwischenabfluss gemeinsam mit dem Oberflächenabfluss die Wasserläufe.

Im Hinblick auf die Speisung der Quellen müssen sowohl die Grundwasserneubildung als auch der Zwischenabfluss als ursächliche Faktoren für ihre Schüttungen berücksichtigt werden. Insbesondere bei Quellen, die mit tiefen Systemen verbunden sind, muss jedoch logischerweise davon ausgegangen werden, dass nur die Grundwasserneubildung zu berücksichtigen ist, während im Fall von Quellen, die aus Oberflächensystemen oder aus gemischten, oberflächigen und tiefen Systemen gespeist werden, auch der Zwischenabfluss berücksichtigt werden muss, um Zeiten starker Schüttungen zu erklären.

Die folgenden Tabellen enthalten die wichtigsten Ergebnisse, die mit dem Modell für das italienische Gebiet und für das österreichische Gebiet des an das italienische Gebiet angrenzenden oberen Wipptals erhalten wurden.

Molto importante per l'interpretazione dei dati forniti è la comprensione del tipo di indicazioni restituite dal modello. Se per i dati di deflusso superficiale ed evapotraspirazione l'interpretazione è piuttosto intuitiva, nel senso che tali dati riguardano fenomeni che non sono determinanti per la valutazione delle portate d'acqua sotterranee, così non è per l'interflusso e per la ricarica d'acqua freatica, che sono due categorie talora difficilmente separabili.

La ricarica d'acqua freatica, secondo la definizione data nello studio, costituisce l'acqua che infiltra e che va ad alimentare circolazioni relativamente lunghe in acquiferi quaternari o in roccia e che alimenta il flusso di base dei torrenti in stagione secca.

L'interflusso è comunque acqua che infiltra negli acquiferi quaternari e del substrato, ma vi circola molto rapidamente e per brevi periodi. Acquiferi relativamente superficiali in depositi quaternari molto permeabili o anche in acquiferi carsici poco profondi possono beneficiare di una gran parte dell'interflusso e contribuire al suo smaltimento verso il fondovalle. L'interflusso, assieme al deflusso superficiale alimenta i torrenti nei periodi di portata elevata.

Ai fini dell'alimentazione delle sorgenti sia la ricarica d'acqua freatica che l'interflusso devono essere tenuti in conto come elementi che originano le loro portate. In particolare però se si tratta di sorgenti legate a sistemi profondi è logico supporre che solo la ricarica d'acqua freatica sia l'elemento da tenere in conto, mentre nel caso di sorgenti alimentate da sistemi superficiali oppure da sistemi misti superficiali e profondi, anche l'interflusso dovrà essere tenuto in conto per spiegare i periodi di portate elevate.

Nelle tabelle che seguono vengono riportati i risultati principali ottenuti dal modello per il settore italiano e per il settore austriaco dell'alta Wipptal adiacente al settore italiano.

	Niederschlag / precipitazione (mm/a)	Zwischenabfluss / Interflusso (mm/a)	Oberflächenabfluss / Deflusso superficiale (mm/a)	Evapotranspiration / Evapotraspirazione (mm/a)	Mittlere GW-Neubildung / Ricarica media d'acqua freatica	
					(mm/a)	(l/s x km ²)
Östliches Silltal / versante est Silltal	1264	419	157	320	430	13.6
Östliches Wipptall/ ver- sante est della Valle Isarco	1100	464	113	345	228	7.2
Pfitschtal / Val die Vizze	1148	324	267	318	280	8.9

Tabelle 1: *Ergebnisse der Bilanzierung (Mittelwert aus den Jahren 1984-2001).*

Tabella 1: *Risultati del bilancio (media degli anni 1984-2001).*

	Niederschlag / precipitazione (mm/a)	Zwischenabfluss / Interflusso (mm/a)	Oberflächenabfluss / Deflusso superficiale (mm/a)	Evapotranspiration / Evapotraspirazione (mm/a)	Mittlere GW-Neubildung / Ricarica media d'acqua freatica	
					(mm/a)	(l/s x km ²)
Östliches Silltal / versante est Silltal	1748	479	208	300	610	19,3
Östliches Wipptall/ ver- sante est della Valle Isarco	1471	565	156	333	383	12,1
Pfitschtal / Val die Vizze	1580	387	318	299	393	12,5

Tabelle 2: *Ergebnisse der Bilanzierung (Maximalwert des Jahres 2000).*

Tabella 2: *Risultati del bilancio (massimo dell'anno 2000).*

	Niederschlag / precipitazione (mm/a)	Zwischenabfluss / Interflusso (mm/a)	Oberflächenabfluss / Deflusso superficiale (mm/a)	Evapotranspiration / Evapotraspirazione (mm/a)	Mittlere GW-Neubildung / Ricarica media d'acqua freatica	
					(mm/a)	(l/s x km ²)
Östliches Sill- tal / versante est Silltal	1214	434	137	365	335	10,6
Östliches Wipptall/ ver- sante est del- la Valle Isar- co	1062	457	97	391	153	4,9
Pfitschtal / Val die Vizze	1113	320	258	364	225	7,1

Tabelle 3: *Ergebnisse der Bilanzierung (Minimum des Jahres 2000).*

Tabella 3: *Risultati del bilancio (minimo dell'anno 2000).*

*nimalwert des Jahres 1994).**1994).*

6.2. Erkundungsbohrungen

Für das vorliegende Los gibt es einige bedeutsame Erkundungsbohrungen, die sowohl während der Phase I der Studien (Vorprojekt; 2000-2001) als auch während der Phase II der Studien (Einreichprojekt; 2004-2005) durchgeführt wurden. Vor kurzem, im Jahr 2012, wurde zudem eine weitere Tiefbohrung auf der orographisch linken Seite des Pfitschtals, im Bereich des Trenser Jochs, durchgeführt, anhand der das geologische und hydrogeologische Modell in diesem komplexen Gebiet aktualisiert werden konnte.

Es folgt eine zusammenfassende Beschreibung der wichtigsten geologischen und hydrogeologischen Informationen aus den aufschlussreichsten Erkundungsbohrungen.

6.2.1. Av-B-01

Die vertikale Bohrung Av-B-01 wurde in der Ortschaft Afens am Fuß des linken Hangbereichs des Pfitschtals durchgeführt, sie erreichte eine Tiefe von 547m.

Bis in eine Tiefe von 140m wurden zuerst Hangablagerungen durchquert (0-47m), die mit einem tiefgehenden Massenbewegungskörper verbunden sind, und dann ein stark zerklüftetes teilweise komplett zerbröckeltes und zerlegtes Gebirge, das ebenfalls mit diesen tiefgehenden gravitativen Deformationen verbunden ist. In diesem Abschnitt werden sehr hohe Durchlässigkeiten angenommen.

Unter diesem ersten Intervall kann die Stratigraphie wie folgt zusammenfassen werden:

140-290m. Abfolge bestehend aus einer Wechsellaagerung von Glimmerschiefern und z.T. kalkigen Glimmer-Chloritschiefern mit untergeordneten Lagen aus Glimmerquarziten; sie wird vorwiegend der Kasererserie zugeordnet. Die Zerklüftungsdichte ist nie sehr hoch, allerdings existieren einige Abschnitte wo untergeordnete Störungen durchquert wurden, die metermächtige Zerklüftungstreifen bilden, wie z.B. zwischen 260 und 280m. Für diese Lithotypen wird eine niedrige Durchlässigkeit abgeschätzt, was auch durch einen hydraulischen Versuch bestätigt wurde, der Durchlässigkeiten in der Größenordnung von 10^{-9} m/s zeigte.

290m-Ende der Bohrung. Abfolge aus kalkigen Glimmerschiefern, die graduell nach unten in Kalzit-Marmoren übergehen. Die Zerklüftungsdichte ist im Schnitt niedrig, allerdings treten einige Abschnitte auf (304-310m, 330-355m, 427-440m, 475-490m, 510m-Ende der Bohrung) die aufgrund des Vorhandenseins von kleinen Störungszonen einen höheren Zerklüf-

6.2. Sondaggi

Per il lotto in esame esistono alcuni sondaggi significativi realizzati sia durante la Fase I degli studi (progetto preliminare; anni 2000-2001), sia durante la Fase II degli studi (progetto definitivo; anni 2004-2005). Recentemente, nel 2012 è stato inoltre realizzato un ulteriore sondaggio profondo in sinistra orografica della val di Vizze nella zona del Trenser Joch, che ha permesso di aggiornare il modello geologico e idrogeologico in questo complesso settore.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica delle informazioni geologiche e idrogeologiche più rilevanti derivanti dai sondaggi più significativi.

6.2.1. Av-B-01

Il sondaggio verticale Av-B-01 è stato realizzato nei pressi dell'abitato di Avenes ai piedi del versante sinistro della bassa Val di Vizze ed ha raggiunto una profondità di 547m.

Fino alla profondità di circa 140m ha attraversato dapprima dei depositi di versante (0-47m) legati a un accumulo di deformazione gravitativa profonda e successivamente un ammasso roccioso fortemente fratturato, a tratti completamente disgregato e disarticolato, anch'esso legato alla medesima deformazione gravitativa profonda. In questo tratto si ipotizzano permeabilità molto elevate.

Al di sotto di questo primo intervallo la stratigrafia è così riassumibile:

140-290m. successione costituita da alternanze di micascisti e scisti micaceo-cloritici, talora carbonatici, con subordinati livelli di quarziti micacee; essa viene attribuita prevalentemente alla Serie del Kaserer. La densità di fratturazione non è mai elevata, tuttavia esiste qualche tratto in cui sono state intercettate delle faglie minori che determinano fasce di fratturazione metriche, come ad esempio tra 260 e 280m. Per questi litotipi si stima una permeabilità bassa, come confermato da un test idraulico eseguito che ha restituito permeabilità dell'ordine dei 10^{-9} m/s.

290m-fondo foro. successione di micascisti carbonatici passanti gradualmente, verso il basso, a marmi calcitici. La densità di fratturazione è mediamente bassa, tuttavia compaiono alcuni settori (304-310m, 330-355m, 427-440m, 475-490m, 510m-fondo foro) che, per la presenza di piccole zone di faglia mostrano uno stato di fratturazione maggiore. I test di per-

tungzustand aufweisen. Die Durchlässigkeitstests wurden an diesen kleineren Störungzonen durchgeführt und zeigten Durchlässigkeitswerte der Größenordnung von 10^{-5} und 10^{-6} m/s. Es muss hinzugefügt werden, dass in den kalkigeren Intervalle selten chemische Lösungsphänomene beobachtbar sind. Insgesamt ist die Abfolge der Pfitschtal-Störung zuzuweisen.

Die verfügbaren Temperatur- und Leitfähigkeits-Logs sind diskontinuierlich und schwer zu interpretieren. Die verzeichneten hohen Durchlässigkeiten in den der Pfitscherdecke zuzuordnenden Materialien und die in Tiefen von mehr als 300m entnommenen Wasserproben deuten jedoch darauf hin, dass diese Bohrung ein Fließsystem mit chemisch reifen Wässern gequert hat, die typisch für einen Aquifer sind, der auch evaporitische Lagen beinhaltet.

Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Erkundungsbohrung einen im Vergleich zum durchörterten Teil ziemlich oberflächennahen Teil der Pfitschtal-Störung untersucht hat. In diesen oberflächennahen Bereichen kann es sein, dass die Auflösung der Karbonate die Klüfte verbreitert und die durchschnittliche Durchlässigkeit steigert. Aber diese Phänomene könnten in einer höheren Tiefe nicht so relevant sein.

6.2.2. Vi-B-01

Diese Bohrung befindet sich im unteren Pfitschertal, in der Nähe von Tulfer; es handelt sich um eine vertikale Bohrung die eine Tiefe von 280m u.GOK erreicht.

Der beprobte Bereich wird durch die folgenden Intervalle beschrieben:

0-185m. quartäre Ablagerungen bestehend aus einem oberen vorwiegenden kiesigem Horizont (0-94m), (hydrogeologischer Komplex 8c) und einem unteren kiesigen Intervall mit mehreren Metern mächtigen Einschaltungen von Schluff und Feinsand (hydrogeologischen Komplex 8b).

185-240m. Wechsellagerung von Paragneis, Glimmerschiefer, kalkigem Bündnerschiefer und Rauwacken, die der Tulfer-Senges-Einheit zuzuordnen sind. An den kalkigen Horizonten kommt es zu zahlreichen, deutlichen Lösung. Die testierten Durchlässigkeiten liegen zwischen 1×10^{-7} m/s und 1×10^{-6} m/s.

240m- Ende der Bohrung, an den Schieferungsbebenen geklüftete kalkige Glimmerschiefer. Durchlässigkeiten der Größenordnung von 1×10^{-6} m/s wurden gemessen. Dieses Intervall wurde dem Komplex 5° zugeordnet.

Die gesamte durchörterte Abfolge wird im Zweifelsfall dem basalen, vorjurassischem Teil der Pfitschtal-Störung zugeordnet.

meabilität realisierti cadevano in corrispondenza di tali faglie ed hanno restituito valori di permeabilità compresi tra 10^{-5} e 10^{-6} m/s. E' bene aggiungere che negli intervalli più carbonatici di questa successione sono sporadicamente presenti evidenze di dissoluzione chimica. Nel suo insieme la successione è attribuibile alla Falda di Vize.

I log di temperatura e conducibilità disponibili sono discontinui e di difficile interpretazione. Tuttavia le elevate permeabilità registrate all'interno dei materiali riferibili alla Falda di Vize e i campioni di acque prelevati a profondità superiori ai 300m indicano che questo sondaggio ha intercettato un sistema di flusso con acque chimicamente mature e tipiche di un acquifero che include anche livelli evaporitici.

Va comunque notato che il sondaggio ha investigato una porzione della Falda di Vize piuttosto superficiale rispetto a quella che verrà interessata dallo scavo del tunnel. In questi settori superficiali è probabile che la dissoluzione dei carbonati determini allargamento delle fratture e incremento della permeabilità media; ma tali fenomeni potrebbero essere meno importanti a profondità maggiori.

6.2.2. Vi-B-01

Questo sondaggio è ubicato nella bassa Val di Vize poco distante dall'abitato di Tulfer; il sondaggio è verticale ed ha raggiunto la profondità di 280m dal piano campagna.

La successione campionata è schematizzabile negli intervalli descritti a seguire:

0-185m. depositi quaternari costituiti da un intervallo superiore (0-94m) prevalentemente ghiaioso (complesso idrogeologico 8c) e da un sottostante intervallo ghiaioso con frequenti intercalazioni pluri-metriche di limi e sabbie fini (complesso idrogeologico 8b).

185-240m. alternanze di paragneiss, micascisti, calcescisti carbonatici e carnioli. Frequenti le evidenze di dissoluzione lungo gli orizzonti carbonatici. Le permeabilità testate sono comprese tra 1×10^{-7} m/s e 1×10^{-6} m/s.

240m-fondo foro. micascisti calcarei fratturati lungo le superfici di scistosità. Sono state misurate permeabilità nell'ordine di 1×10^{-6} m/s.

Tutta la successione attraversata è dubitativamente attribuibile alla parte basale, pre-giurassica, della Falda di Vize.

Ein wichtiger Aspekt ist, dass die Bohrung ubiquitär verteilte Zerklüftungserscheinungen entlang der Schieferung aufweist, die auf eine allgemeine Detensionierung des Gebirges zurückzuführen sind

Es wird erwähnt, dass während der Durchführung der Bohrung innerhalb des Untergrundes ein Spülverlust von 50-100% registriert wurde, was eine durch Versuche gemessene, starke Permeabilität des Grundgebirges in diesem Sektor zeigt.

Die Temperatur- und Leitfähigkeits-Logs geben interessante Informationen auch über die von der Bohrung gequerten hydrogeologischen Systeme. Innerhalb der quartären Ablagerungen gibt es eher aktive Zirkulationen, die zu einem sehr geringen Temperaturgradienten führen. In der Tiefe deuten sowohl die Leitfähigkeits-Logs als auch die geochemischen Daten für die analysierten Proben (alle in Tiefen zwischen ca. 225 und 280m entnommen) auf das Vorkommen von Wässern hin, die recht lange in Wechselwirkung mit evaporitischen Gesteinen gestanden haben. Die hohen Durchlässigkeiten in dem Bereich, in dem diese Wässer entnommen wurden, lassen vermuten, dass es ein eher aktiver Fließsystem gibt, welches das detensionierte Gebirge nutzt. Ein ungeklärter Aspekt betrifft die Ursache für die offensichtliche Detensionierung des Gebirges. Es ist nicht auszuschließen, dass diese mit Lösungserscheinungen entlang der Rauwackelagen oder mit der Auflösung von evaporitischen Lagen unterhalb der von der Bohrung erreichten Höhe in Verbindung zu bringen ist.

Diese Beobachtungen sind jedenfalls nur schwer für die Tunneltrasse zu extrapolieren, da diese viel tiefer verläuft, wo Phänomene der Auflockerung und chemischen Auflösung der Karbonate/Evaporite eindeutig weniger relevant sein könnten.

6.2.3. Vi-B-02

Diese vertikale Bohrung befindet sich leicht nördlich der Rieder Massenbewegung und reicht bis in eine Tiefe von 386m; das entnommene Intervall kann wie folgt zusammengefasst werden:

0-147m. quartäre Ablagerungen der Talsohle bestehend aus Sand und Schluff.

147-282m. Wechsellagerung quartärer kiesig-sandig und schluffiger Ablagerungen der Talsohle.

282m-Ende der Bohrung. Abfolge bestehend aus Bündnerschiefer und Marmor- Bündnerschiefer mit Einschaltungen bestehend aus Prasiniten und Chlorit-schiefern. Im oberen Bereich des Intervalls, unter den quartären Ablagerungen ist ein ca. 50m mächtiger Horizont durch das detensionierte Gebirge gekennzeichnet, aber mit Ausnahme eines Intervalls in einer Tiefe

Un aspetto importante è che il sondaggio presenta ubiquitari fenomeni di fratturazione lungo la scistosità, che potrebbero essere riconducibili a un detensionamento generalizzato dell'ammasso roccioso.

Da un punto di vista idrogeologico è bene notare che in fase di perforazione, all'interno del substrato le perdite di circolazione ammontavano mediamente al 50-100%, fattore che conferma la forte permeabilità misurata nei test e la possibilità che l'ammasso roccioso risulti detensionato.

I log di temperatura e conducibilità danno informazioni interessanti anche sui sistemi idrogeologici attraversati dalla perforazione. All'interno dei depositi quaternari sono presenti circolazioni piuttosto attive che determinano un gradiente di temperatura molto basso. In profondità, sia i log di conducibilità che i dati geochemici relativi ai campioni analizzati (tutti raccolti a profondità comprese tra 225 e 280m ca.) indicano la presenza di acque che hanno interagito per tempi piuttosto lunghi con rocce evaporitiche. Le elevate permeabilità nel settore in cui queste acque sono state campionate fanno ipotizzare che sia presente un sistema di flusso piuttosto attivo, che sfrutta l'ammasso roccioso detensionato. Un aspetto non chiarito riguarda la ragione dell'apparente detensionamento dell'ammasso roccioso. Non si esclude che esso sia da mettere in relazione con fenomeni di dissoluzione lungo i livelli di carniole o, in alternativa, a dissoluzione di livelli evaporitici al di sotto della quota raggiunta dal sondaggio.

Queste osservazioni sono comunque difficilmente estrapolabili al tracciato del tunnel, dal momento che esso riguarda livelli dell'ammasso ben più profondi, ove i fenomeni di detensionamento e dissoluzione chimica dei carbonati/evaporiti potrebbero essere decisamente meno rilevanti.

6.2.3. Vi-B-02

Questo sondaggio verticale è ubicato poco a nord della frana di Novale ed ha raggiunto la profondità di 386m; l'intervallo campionato è così schematizzabile:

0-147m. depositi quaternari fondovalle rappresentati da sabbie e limi.

147-282m. alternanze di depositi quaternari di fondovalle ghiaioso – sabbiosi e limosi.

282m-fondo foro. successione costituita da calcescisti e calcescisti marmorei nei quali sono intercalati prasiniti e cloritoscisti. Nella porzione superiore, subito al disotto dei depositi quaternari e per una potenza di circa 50m l'ammasso appare detensionato, ma se si eccettua un intervallo ubicato intorno a 330m interessato da una faglia minore, nel complesso

von 330m, wo sich eine untergeordnete Störung befindet, ist das Gebirge im allgemein wenig zerklüftet. Innerhalb der Bündnerschiefer wurden keine Lösungsphänomene beobachtet..

In Bezug auf die Werte der Durchlässigkeit des Gebirges, zeigen die durchgeführten Versuche sehr niedrige Durchlässigkeiten in der Größenordnung von 1×10^{-9} oder 1×10^{-10} . Eine Ausnahme wird vom zerklüfteten Abschnitt des Untergrundes dargestellt, der in Kontakt mit den quartären Ablagerungen steht und in dem die Permeabilität höher ist. Die Bohrung scheint demnach keine signifikanten Fließsysteme gequert zu haben.

Im präquartären Untergrund sind Wasserdrücke ziemlich homogen und gelangen fast an die Geländeoberfläche, nur am Ende der Bohrung wurden Drücke gemessen, die höher als 36 m sind.

6.2.4. Vi-B-03

Die vertikale Bohrung Vi-B-03 wurde in der Zone der Talachse des Pfitschtales durchgeführt; bevor sie den Untergrund erreicht hat durchquerte sie 309m quartäre Ablagerungen. Diese Ablagerungen sind nur bis in eine Tiefe von 216m bekannt, bis wo sie gekernt wurden, während der tiefere Abschnitt mittels Vollbohrung durchquert wurde.

Die Stratigraphie dieser Bohrung kann wie folgt zusammengefasst werden:

0-74m. Intervall aus feinkörnigen Ablagerungen (schluffige Feinsande und Schluff), die als lakustrine Ablagerungen interpretiert werden können.

74-316m. Abfolge aus kiesig – sandigen Ablagerungen, die mit dünnen schluffigen Lagen wechseln: Abfolge von Schotter-Sand-Ablagerungen, die sich mit dünnen Schlicklagen abwechseln. Diese Abfolge könnte fluvialen und fluvio-glazialen Ursprungs sein.

316m-Ende der Bohrung. Der Felsuntergrund besteht aus Serizit- Anhydritschiefern oder Anhydriten mit Dolomitlagen; stratigraphisch sind diese Lithotyphen der Aigerbachformation zuzuteilen.

In dieser Bohrung wurden keine Durchlässigkeitsversuche und auch keine Messungen des Wasserdrucks durchgeführt. Die Informationen in den Kurzberichten (Bericht G4g 02, Phase I) scheinen eine niedrige bis keine Permeabilität und eine geringe Wasserzirkulation aufzuzeigen. Das würde darauf hindeuten, dass in diesem Sektor keine Lösungsphänomene von Anhydriten auftreten und dass es keine größeren Fließsysteme gibt.

6.2.5. Vi-B-04

Diese Bohrung befindet sich auf der orografisch linken Seite des Pfitschertals, auf der Höhe von Fußendross. Sie ist 1001m lang ab GOK und ist 55° relativ zur

l'ammasso è poco fratturato. All'interno degli calce-scisti non sono stati segnalati fenomeni di dissoluzione chimica.

Per quanto attiene ai valori di permeabilità dell'ammasso, le prove eseguite attestano permeabilità molto basse, dell'ordine di 1×10^{-9} o 1×10^{-10} m/s. Fa eccezione la porzione fratturata di substrato a contatto con il quaternario, dove la permeabilità era più elevata e nell'ordine di 1×10^{-7} m/s. Il sondaggio non sembra quindi aver intercettato sistemi di flusso significativi.

Nel substrato pre-quaternario i carichi idraulici sono piuttosto omogenei e pari circa alla quota del piano campagna a bocca foro, salvo verso il fondo del sondaggio dove si sono registrati carichi superiori a 36m.

6.2.4. Vi-B-03

Il sondaggio Vi-B-03, verticale ed eseguito in corrispondenza dell'asse della val di Vizze, ha attraversato 309m di depositi quaternari prima di raggiungere il substrato. Tali depositi sono ben conosciuti solo fino alla quota di 216m da piano campagna, fino alla quale si è proceduto a carotaggio, mentre la porzione inferiore è stata perforata a distruzione.

La stratigrafia di questo sondaggio è così riassumibile:

0-74m. intervallo costituito da depositi a granulometria fine (sabbie fini limose e limi) interpretabili come depositi lacustri.

74-316m. successione di depositi ghiaioso – sabbiosi in alternanza con sottili livelli limosi; a tale successione, è dubitativamente attribuibile un'origine fluviale e fluvio – glaciale.

316m-fondo foro. Rocce di substrato rappresentate da scisti sericitico – anidritici o da anidriti con livelli di dolomie, attribuibili, da un punto di vista stratigrafico, alla Formazione dell'Aigerbach.

In questo sondaggio non sono state effettuate prove di permeabilità né misure di carico idraulico. Le informazioni riportate nei rapporti di sintesi (Rapporto G4g 02, Fase I) sembrano indicare una permeabilità da bassa a nulla e scarsa circolazione di acque. Ciò indicherebbe che in questo settore non si osservano fenomeni di dissoluzione nelle anidriti e che non sono presenti sistemi di flusso importanti.

6.2.5. Vi-B-04

Questo sondaggio è ubicato in destra orografica della Val di Vizze all'altezza dell'abitato di Fossa-Trens. ha una lunghezza di 1001m da piano campagna ed è in-

Horizontale nach ca. N350° geneigt.

Bis in eine Tiefe von 94m wurde die Bohrung mittels Vollbohrung durchgeführt, außer den ersten 32m, wo quartäre Hangschuttablagerungen durchquert wurden. Das unterhalb von 98m untersuchte Grundgebirge ist, nach den vorgeschlagenen Interpretationen, vollständig der präjurassischen Schichtfolge der Pfitscherdecke (Aigerbach- und Sidlwinklformation) zuzuordnen und zeigt eine komplexe Abfolge von Wechsellagerungen mit scheinbarer Mächtigkeit im Zehnmeter–Hundertmeter Bereich und zwar aus Marmoren, Dolomit-Marmoren und Dolomiten, Quarziten, Quarz-Glimmerschiefern, Chlorit-Glimmerschiefern mit Anhydrit..

Die entnommene Abfolge ist durch die im Folgenden beschriebenen Intervalle gezeigt:

98-168m. Sehr zerklüftete und wegen Lösungerscheinungen zerbröckelte Dolomite.

168-220m zerklüftete Quarzite und Glimmerquarzite durch meterdicke Störungszonen gekennzeichnet; rötliche Verwitterungszonen, möglicherweise zur Wasserkirkulation verbunden, sind vorhanden. Für diese Intervalle wurde eine hohe Durchlässigkeit angenommen.

220-354m Quarzite, Glimmerquarzite und Quarzschiefer mit selten auftretenden Anhydrit. Die Zerklüftungsdichte ist generell sehr niedrig, deswegen wurde eine niedrige bis sehr niedrige Durchlässigkeit angenommen.

354-580m vorwiegende Schiefer mit anhydritischer Matrix mit scheinbar seltenen mehrere Meter mächtigen Anhydrit-Lagen. Die Zerklüftungsdichte ist niedrig und es sind keine Lösungerscheinungen beobachtbar. Ein in diesem Abschnitt durchgeführter hydraulischer Test (552-572 m) hat eine sehr niedrige hydraulische Leitfähigkeit im Ausmaß von 10^{-9} m/s ergeben. Die Quarzitlagen scheinen jedoch brüchiger zu sein als der Rest der Abfolge, wahrscheinlich aufgrund ihrer Steifheit. Für diese Lagen kann eine höhere Durchlässigkeit angenommen werden als der Test ergeben.

580-710m Wechsellagerung von Dolomit und kalzitischen Marmoren, wo die Zerklüftungsdichte im Durchschnitt sehr niedrig ist. Es ist keine sichtbare chemische Lösungerscheinung beobachtbar. Es wurde eine niedrige bis sehr niedrige Durchlässigkeit angenommen. Zwei in diesem Abschnitt durchgeführte hydraulische Tests stimmen mit dieser Hypothese überein und zeigen eine Wasserleitfähigkeit der Größenordnung von 10^{-10} m/s.

710-865m. dieses Intervall besteht aus vorwiegend Quarzglimmerschiefer mit sporadischen Lagen aus unreinen Quarziten und Anhydrit-Schiefer; die Zerklüftungsdichte ist sehr niedrig und es sind keine Lö-

clinato di 55° rispetto all'orizzontale verso N350° circa.

Fino a 94m di profondità il sondaggio è stato eseguito a distruzione di nucleo, con l'eccezione dei primi 32m che hanno attraversato dei depositi quaternari di versante. Il substrato roccioso investigato al di sotto dei 98m, secondo le interpretazioni proposte è interamente riferibile alla successione pre-giurassica della Falda di Vizze (Formazioni di Aigerbach e Sidlwinkl) e mostra una complessa serie di alternanze con spessore apparente decametrico – ettometrico di marmi, marmi dolomitici e dolomie, quarziti, scisti quarzo-micacei, scisti cloritomicacei ad anidrite.

La successione campionata è schematizzabile negli intervalli descritti brevemente di seguito:

98-168m. dolomie fortemente fratturate e disgregate per fenomeni di dissoluzione.

168-220m. quarziti e quarziti micacee fratturate e interessate da faglie di potenza metrica; sono presenti patine di alterazione rossastre probabilmente legate a circolazione di acque. Per questo intervallo è stata ipotizzata una permeabilità elevata.

220-354m. quarziti, quarziti micacee e scisti quarziticci con presenza sporadica di anidrite La densità di fratturazione è mediamente molto bassa ragione per cui è stata ipotizzata una permeabilità da bassa a molto bassa.

354-580m sono predominanti gli scisti a matrice anidritica con sporadici livelli di anidrite di potenza apparente plurimetrica. La densità di fratturazione è bassa e non sono presenti fenomeni di dissoluzione. Un test idraulico (552-572m) svolto in questo intervallo ha restituito un valore di conducibilità idraulica molto basso, dell'ordine di 10^{-9} m/s. I livelli di quarzite appaiono tuttavia più fratturati del resto della successione probabilmente in virtù del loro comportamento rigido; per questi livelli è ipotizzabile una permeabilità più alta rispetto ai valori ottenuti dal test.

580-710m alternanza di dolomie e marmi calcitici, al cui interno la densità di fratturazione è mediamente molto bassa. Non vi sono evidenti fenomeni di dissoluzione chimica. E' stata ipotizzata una permeabilità da bassa a molto bassa. Due test idraulici eseguiti in questo tratto confermano questa ipotesi, avendo restituito una conducibilità idraulica dell'ordine dei 10^{-10} m/s.

710-865m. intervallo costituito da prevalenti scisti quarzo-micacei con sporadici livelli di quarziti impure e scisti ad anidrite; la densità di fratturazione è estremamente bassa e non si osservano fenomeni di

sungerscheinungen beobachtbar. Für dieses Intervall wurde eine niedrige bis sehr niedrige Durchlässigkeit angenommen.

865m- bis Ende der Bohrung Abfolge vorwiegend durch Dolomit und Kalzit-Marmor gekennzeichnet, manchmal mit Gips-Glimmer-Karbonat-Lagen (in der Tiefe von 957-972). Die durchschnittliche Zerklüftung bleibt sehr niedrig; einige mehrere Meter bis zehnmetermächtige untergeordnete Störungszonen sind beobachtbar, die sich zwischen 890 und 902m, 920 und 950m, 975 und 985m befinden. Auch an den Störungszonen wurden keine Lösungserscheinungen beobachtet. Die angenommene Durchlässigkeit ist, mit Ausnahme der Störungszonen, generell niedrig. In Übereinstimmung mit Letzteren zeigte ein zwischen 940m und dem Bohrende durchgeführter hydraulischer Test eine Wasserleitfähigkeit in der Größenordnung von 10^{-7} m/s.

Der Temperatur-Log dieser Bohrung (siehe Bericht G4-1a-01) zeigt einen stufenartigen Verlauf mit Abschnitten (250 und 450m, 480 und 700m, 750 und 1001m) die sehr niedrige Gradienten (für Neigung und Topographie korrigiert) zeigen, die zwischen 10 und $13^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ schwanken und Abschnitten mit höherem Gradient (26- 28°C). Der Ursprung dieses gestuften Verlaufes ist unklar. Er kann nicht direkt auf die absteigenden Wasserzirkulationen zurückgeführt werden, da die ganze Bohrung, mit Ausnahme der ersten 220m, keine Evidenz von bedeutenden Zirkulationen aufweist, und die Durchlässigkeit sehr niedrig ist. Auf jeden Fall ist der mittlere Gradient mit $15^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ sehr niedrig.

Die Leitfähigkeiten sind sehr stabil und in der Größenordnung von $2400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Auch in diesem Fall bestätigt die Abwesenheit von bedeutenden Variationen dass die Bohrung kein hauptsächliches Fließsystem durchquert hat.

6.2.6. Vi-B-05

Auch die Bohrung Vi-B-05 befindet sich auf der orografisch linken Seite des Pfitschertals, ein wenig stromaufwärts von der vorherigen; sie besitzt eine Länge von 1002m ab GOK und eine Neigung von der Horizontalen von 60° nach Norden. Im größten Teil ihrer Entwicklung durchquerte sie dieselbe Abfolge wie die Bohrung Vi-B-04, die dem präjurassischen Teil der Pfitscherdecke (Aigerbach- und Seidlwinklformationen) zuzuordnen ist; nur am Ende der Bohrung, ab einer Tiefe von 800m, wurden Gesteine durchquert, die der Flatschspitzdecke (Kasererserie) zuzuordnen sind. Bis 34m ab GOK durchquerte die Bohrung quartäre Hangablagerungen. Bis 34m ab GOK durchquerte die Bohrung quartäre Hangablagerungen:

130-240m. kalkig- evaporitische Abfolge durchquert, die aus vorwiegenden Kalkmarmoren und untergeordnet schieferigen und gipsführenden Evaporiten be-

dissoluzione. Per questo intervallo è stata ipotizzata una permeabilità bassa o molto bassa.

865m-fondo foro. successione di prevalenti dolomie e marmi calcitici, talora con intercalazioni di livelli gessoso-micaceo-carbonatici (profondità 957-972). La fratturazione media rimane molto bassa; si osservano tuttavia alcune zone di faglia minori, di potenza da pluri-metrica a decametrica localizzate tra 890 e 902m, 920 e 950m, 975 e 985m Non sono stati osservati fenomeni di dissoluzione chimica neanche in corrispondenza delle zone di faglia. La permeabilità ipotizzata è generalmente bassa, ad eccezione delle zone di faglia, in corrispondenza delle quali un test idraulico eseguito tra 940m e fondo foro, ha restituito conducibilità idrauliche dell'ordine dei 10^{-7} m/s.

Il log di temperatura di questo sondaggio (si veda il rapporto G4-1a-01) mostra un andamento a gradini con tratti (250-450m, 480-700m, 750-1001m) caratterizzati da gradienti (corretti per inclinazione e topografia) molto bassi, variabili tra 10 e $13^{\circ}\text{C}/\text{Km}$ e tratti a gradiente maggiore ($26-28^{\circ}\text{C}/\text{Km}$). La ragione di tale andamento a gradini non è chiara. Esso non può essere imputato direttamente a circolazioni di acque discendenti poiché l'intero sondaggio, con l'eccezione dei primi 220m, non presenta evidenze di circolazioni importanti e le permeabilità sono molto basse. Ad ogni modo il gradiente medio è molto basso e pari a $15^{\circ}\text{C}/\text{Km}$.

Le conducibilità sono molto stabili e dell'ordine dei $2400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Anche in questo caso l'assenza di variazioni importanti conferma che il sondaggio non ha intercettato sistemi di flusso principali.

6.2.6. Vi-B-05

Il sondaggio Vi-B-05 è ubicato anch'esso in destra orografica della Val di Vizze ma poco più a monte del precedente; ha una lunghezza di 1020m dal piano campagna ed è inclinato di 60° rispetto all'orizzontale verso N circa. Esso ha attraversato in gran parte del suo sviluppo la medesima successione del sondaggio Vi-B-04, attribuibile alle porzioni pre-giurassica della Falda di Vizze (Formazioni dell'Aigerbach e Seidlwinkl); solo a fondo foro, a partire dalla profondità di circa 800m sono state attraversate rocce attribuibili alla Falda di Flatschspitz (Serie del Kaserer). Fino a 34m il sondaggio ha attraversato dei depositi quaternari di versante. La successione campionata è schematizzabile negli intervalli descritti brevemente di seguito:

130-240m. successione carbonatico-evaporitica costituita in prevalenza da marmi calcitici e secondariamente da evaporiti scistose e gessose. Questa suc-

steht. Diese Abfolge wird oft von Lösungsphänomenen beeinflusst. Generell ist dieser Gebirgsabschnitt stark zerklüftet und lässt eine sehr starke Durchlässigkeit annehmen.

240-324m. hier tritt eine Abfolge auf, die aus vorwiegend Glimmerquarziten mit sehr niedrigem Zerklüftungsgrad besteht, für die eine geringe Durchlässigkeit angenommen wird.

324-536m. vorwiegend karbonathaltiger Abschnitt, der aus Dolomiten, Dolomitmarmoren, z.T. leicht gips- oder anhydritführend, besteht. Auch in diesem Fall ist die Zerklüftungsdichte mittel sehr niedrig und außerdem beobachtet man keine chemische Lösungsphänomene, weswegen man eine geringe Durchlässigkeit annehmen kann. Allerdings treten lokal kleine Störungszonen auf, an denen man eine Zunahme beobachten kann (z.B. zwischen 372-400m).

536- 740m. tritt eine Abfolge aus vorwiegenden Quarzglimmerschiefern und Quarziten auf, teilweise mit kalkigen Lagen, die dem Komplex 6b zugeordnet wurde. Zwischen 536 und 557m ist das Gestein, wahrscheinlich aufgrund des Vorhandenseins einer Störung und vielleicht aufgrund von z.T. gelösten kalkig- evaporitischen Lagen, sehr zerklüftet bis zerbröckelt. In diesem Fall eine wurde recht hohe Durchlässigkeit angenommen. Der Rest des Abschnittes besitzt einen sehr niedrigen Zerklüftungsgrad und es wurde eine niedrige Durchlässigkeit angenommen. In einigen Teilen, wo quarzreiche Horizonte auftreten, beobachtet man eine starke Zerklüftung. Zwei in diesem Abschnitt durchgeführte hydraulische Tests zeigten tatsächlich schlechte hydraulische Eigenschaften und Durchlässigkeitswerte in der Größenordnung von 10^{-9} m/s.

740-795m. dieser Abschnitt besteht aus mehr oder weniger glimmerhaltigen Marmoren, die vielleicht auf den Trias der Flatschspitzdecke zurückzuführen sind. Zahlreiche Beweise intensiver chemischer Lösungserscheinungen wurden beobachtet, die sich wahrscheinlich entlang einer Störungzone entwickeln. Das Gestein ist oft zerbröckelt oder stark zerklüftet und die Brüche sind durch Lösung aufgeweitet. In diesem Fall ist die abgeschätzte Durchlässigkeit sehr hoch. Allerdings hat ein hydraulischer Test niedrige Wasserleitfähigkeitswerte gezeigt, in der Größenordnung von 10^{-8} m/s.

Unterhalb von **795m** bis zum Ende der Bohrung tritt eine Abfolge aus Quarzglimmerschiefern auf, die der Kasererserie zuzuordnen ist. Diese Abfolge ist wenig zerklüftet und besitzt deswegen wahrscheinlich eine niedrige bis sehr niedrige Durchlässigkeit.

Zusammenfassend hat die Bohrung Vi-B-05 über die ersten 240m, wahrscheinlich aufgrund tiefer gravitativer Phänomene, einen sehr durchlässigen Untergrund durchquert, in dem es schnelle Zirkulationen von

cessionen risulta spesso interessata da fenomeni di dissoluzione. In generale questo settore di ammasso roccioso è fortemente fratturato e per esso si stima una permeabilità molto elevata.

240-324m. successione costituita prevalentemente da quarziti micacee, con intensità di fratturazione molto bassa e per le quali si ipotizza dunque una permeabilità scarsa.

324-536m. intervallo prevalentemente carbonatico costituito da dolomie, marmi dolomitici, talora debolmente gessosi o anidritici. Anche in questo caso la densità di fratturazione è mediamente molto bassa, inoltre non si osservano evidenti fenomeni di dissoluzione chimica, per cui è possibile stimare una permeabilità scarsa. Tuttavia localmente compaiono delle piccole zone di faglia, in corrispondenza delle quali si possono avere degli incrementi di permeabilità (es. tratto 372-400).

536-740m. successione costituita prevalentemente da quarzomicascisti e quarziti, talora con livelli carbonatici. Tra 536 e 557m la roccia si presenta fortemente fratturata, fino a disgregata, probabilmente a causa della presenza di una zona di faglia e forse a livelletti carbonatico-evaporitici parzialmente disciolti. In questo caso si ipotizza un grado di permeabilità piuttosto elevato. Nel resto della tratta il grado di fratturazione è molto basso ed è stata ipotizzata una scarsa permeabilità. In alcuni tratti, in corrispondenza di orizzonti maggiormente quarzosi, si osserva una forte fratturazione. Due test idraulici realizzati nel tratto di minore permeabilità hanno restituito valori dell'ordine dei 10^{-9} m/s.

740-795m. intervallo di marmi più o meno micacei, riferibili forse al trias della Falda di Flatschspitz. Sono state osservate numerose evidenze di intensi fenomeni di dissoluzione chimica che probabilmente si impostano lungo una zona di faglia. La roccia appare sovente disgregata o fortemente fratturata e le fratture allargate dalla dissoluzione. In questo caso la permeabilità stimata è molto elevata. Tuttavia un test idraulico ha indicato valori di conducibilità idraulica bassi, dell'ordine dei 10^{-8} m/s.

Al di sotto dei **795m**, fino a fondo foro compare infine una successione di quarzomicascisti attribuibili alla Serie del Kaserer. Tale successione è poco fratturata e per essa si stima una permeabilità bassa o molto bassa.

In sintesi il sondaggio Vi-B-05 ha attraversato per i primi 240m un substrato molto permeabile, probabilmente a causa di fenomeni gravitativi profondi, in cui vi sono circolazioni rapide di acque sotterranee, con

Grundwässern mit wenig reifen geochemischen Eigenschaften gibt. In dem durchquerten Abschnitt, der zur Aigerbach- und zur Seidlwinklformation gehört, sind in Tiefen, die mit denen des Tunnels zu vergleichen sind, durchlässige Zonen selten, da chemische Lösungserscheinungen auch innerhalb der karbonatischen Lagen selten sind. Die einzigen in der Tiefe (ca. 700m) beprobten Wässer stammen aus wenig durchlässigen Lagen und deuten auf lange Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein und auf längere Wechselwirkungen mit Lithotypen mit Quarz-Feldspat-Mineralisierung hin. Sporadische Lösungserscheinungen in der Tiefe wurden um 536-557m festgestellt, und in ihnen sind Zirkulationen möglich. Eine weitere wichtige Ausnahme ist die Zone im Hangenden der schieferigen Lithotypen der Kasererformation, die aus Marmoren besteht, wo aufgrund mit einer Störung verbundene Zirkulationen möglich sind, mit bedeutenden Lösungsphänomenen.

6.2.7. Vi-B-06

Die Bohrung hat eine Länge von 1285m und ist mit 65° nach Norden geneigt. Die durchquerte Abfolge weist viele Ähnlichkeiten mit jener der Bohrung Vi-B-04 auf. Sie kann wahrscheinlich der Aigerbachformation zugeordnet werden. Diese kann wahrscheinlich größtenteils dem vor-jurassischen Teil der Pfifftaler Störung zugeordnet werden, aber zum Bohrlochende hin ist die durchörterte tektostratigraphische Abfolge nicht leicht zu interpretieren.

Bis in eine Tiefe von 45m hat die Bohrung quartäre Schuttablagerungen durchquert. Weiter unten hat sie ein sehr verwittertes und teilweise zerbröckeltes Gebirge durchquert, das aus ursprünglichen Quarziten und Quarzglimmerschiefern besteht. Dieser Gebirgstyp geht bis auf 375m weiter und bildet sehr wahrscheinlich einen Teil eines detensionierten Massenbewegungskörpers. Es wird angenommen, dass die Durchlässigkeit dieses Abschnittes sehr hoch ist.

Tiefer als diesem ersten Intervall ist die genommene Abfolge wie folgt schematisierbar:

375-477m. Abfolge aus Quarzglimmerschiefern und teilweise Quarziten, die generell wenig zerklüftet sind. Für diese Lag wird eine niedrige Durchlässigkeit abgeschätzt.

477-607m. Intervall aus wenig zerklüfteten Dolomiten und Marmoren. Aus der Beschreibung der Bohrprofile geht das sporadische Vorhandensein von dünnen brekzienartigen Lagen hervor, deren Ursprung chemischen Lösungserscheinungen zugerechnet werden kann. Für dieses Intervall wurde eine niedrige Durchlässigkeit angenommen, was durch einen durchgeführten hydraulischen Test bestätigt wird, der eine Durchlässigkeit in der Größenordnung von 10^{-8} m/s zeigt.

607-865m. Wechsellagerung aus wenig zerklüfteten

caratteristiche geochimiche poco mature. Nel tratto attraversato relativo alle Formazioni dell'Aigerbach e Seidlwinkl a profondità comparabili a quelle del tunnel, le zone permeabili sono rare, poiché i fenomeni di dissoluzione chimica anche all'interno dei livelli carbonatici sono rari. Le sole acque campionate in profondità (700m ca.) provengono da livelli poco permeabili e indicano tempi di interazione acqua – roccia lunghi e interazione prolungata con litotipi a mineralizzazione quarzo-feldspatica. Sporadiche evidenze di dissoluzione in profondità si sono osservate intorno alle progressive 536-557 e al loro interno sono possibili circolazioni. Un'ulteriore importante eccezione è rappresentata dalla zona localizzata a tetto dei litotipi scistosi della Formazione del Kaserer, costituita da marmi, dove sono possibili circolazioni associate a una faglia con importanti fenomeni di dissoluzione.

6.2.7. Vi-B-06

Il sondaggio ha una lunghezza di 1285m ed è inclinato di 60° rispetto all'orizzontale verso N. La successione che esso ha incontrato presenta molte analogie con quella attraversata dal sondaggio Vi-B-04. Essa può probabilmente venire attribuita in gran parte alla porzione pre-giurassica della Falda di Vizze, ma verso il fondo foro la successione tettonostratigrafica incontrata non è di facile interpretazione.

Fino a 45m di profondità il foro ha attraversato dei depositi quaternari di versante. Al di sotto è entrato in un ammasso roccioso estremamente alterato e talora disgregato, composto prevalentemente da originarie quarziti e quarzomicascisti. Tale tipo di ammasso si spinge fino a 375m da bocca foro e con ogni probabilità costituisce una parte di un ammasso roccioso detensionato in frana. Si stima che la permeabilità in questo tratto sia molto elevata.

Al di sotto di questo primo intervallo la successione campionata è così schematizzabile:

375-477m. serie di quarzomicascisti e talora quarziti, generalmente poco fratturati. In questo livello, è stata stimata una permeabilità bassa.

477-607m. intervallo di dolomie e marmi, generalmente poco fratturati. Nella descrizione delle carote è riportata la sporadica presenza di sottili livelli brecciati la cui origine è potenzialmente ascrivibile a fenomeni di dissoluzione chimica. E' stata ipotizzata una permeabilità bassa e ciò è confermato da uno dei test idraulici realizzati, che testimonia conducibilità dell'ordine dei 10^{-8} m/s.

607-865m. alternanza di quarzomicascisti e quarziti

Quarzglimmerschiefern und Quarziten, mit zwei Einschaltungen (zwischen 609-708m und 817-865m) aus Dolomiten mit Gipslagen, die Lösungserscheinungen zeigen. Durchlässigkeitstests zeigten, für die Abschnitte aus Quarziten und Quarzglimmerschiefern, eine Leitfähigkeit von 10^{-10} m/s; ein anderer, in der Nähe des ersten Dolomit-Abschnitts, durchgeführter Test zeigte eine Leitfähigkeit von 10^{-8} m/s.

865-1030m Abfolgen aus Quarzglimmerschiefern, die allgemein einen geringen Zerklüftunggrad und niedrige Durchlässigkeit zeigen, welche aber manchmal zerklüftete Abschnitte aufweisen, die auch anhand hydraulischer Tests mittlere Leitfähigkeiten in der Größenordnung von 10^{-7} m/s gezeigt haben. Die Quarzite zeigen Lösungserscheinungen entlang der Klüfte.

1030-1130m Abschnitte aus vorwiegend Quarziten und untergeordnet Mikrokonglomerat- Quarzglimmerschiefern. Diese Gesteine sind z.T. zerklüftet und können eine gute Durchlässigkeit erreichen. Auch hier zeigen die Quarzite Lösungserscheinungen entlang der Klüfte. Es folgt, bis auf 1161m, eine Lage aus kalkigen Gesteinen, die teilweise durch Mikrokarstphänomene (kleine Löcher) gekennzeichnet sind.

1161m bis Bohrlochende. nach einer ersten, durch Wechsellagerungen von Amphibol-Schiefern und Quarziten gekennzeichneten, zehnmetermächtigen Zone, wurde das prämesozoischen Grundgebirge durchquert, welches aus Orthogneisen besteht. Innerhalb dieser Gesteine haben die hydraulischen Tests eine geringe Durchlässigkeit gezeigt. Allerdings hat dieser Abschnitt während der Bohrarbeiten aufsteigende Wasserzutritte gezeigt, die immer noch aktiv sein; sowohl die Quarzite als auch das Grundgebirge sollten deswegen auch in solcher Tiefe ziemlich gute hydrogeologische Eigenschaften aufweisen.

Zusammenfassend hat die Bohrung Vi-B-06 aufgezeigt, dass innerhalb der Aigerbach- und der Seidlwinklformation die chemischen Lösungsphänomene und das Vorhandensein durchlässiger Kanäle im Schnitt niedrig sind. Allerdings können zehnmetermächtige Lagen existieren, die hydraulisch aktiv sein können und an denen aufsteigenden Fließsysteme stattfinden, wie im Fall der Dolomitlage mit Lösung, die zwischen 690 und 708 m Tiefe gequert wurde und bei der die Logs im Bohrloch eine in der die Bohrloch-Logs eine Anomalie aufzeigen, die auf aufsteigende Zirkulationen hindeutet (Anstieg der Temperatur und der Leitfähigkeit, vgl. Bericht G4-1a-01 Vrtrag D0104).

Weitere eher aktive Flüsse wurden in den Quarziten in Tiefen von 1100-1150m gequert, wie ein plötzlicher Temperaturanstieg in Kombination mit Verringerungen der Leitfähigkeit in den erstellten Logs zeigt, sowie im gneisischen Grundgebirge in einer Tiefe von ca. 1250m, wo die Temperatur weiter steigt, dieses Mal gemeinsam mit der Leitfähigkeit. Die vorliegenden geochemischen Daten deuten darauf hin, dass die in

poco fratturati con due intercalazioni (tra 609-708m e 817-865m) di dolomie con livelli gessosi mostrandovi evidenze di dissoluzione. I test di permeabilità hanno restituito, per gli intervalli di quarziti e quarzomicascisti conducibilità di 10^{-10} m/s; un altro test realizzato a ridosso del primo intervallo dolomitico ha invece registrato una conducibilità di 10^{-8} m/s.

865-1030m. intervallo di quarzomicascisti che mediamente presentano una scarsa densità di fratturazione e bassa permeabilità ma che localmente hanno zone fratturate in cui anche uno dei test idraulici eseguiti ha mostrato delle conducibilità medie, dell'ordine dei 10^{-7} m/s. Le quarziti mostrano evidenze di dissoluzione lungo le fratture

1030-1130m. intervallo costituito da quarziti e subordinatamente da micascisti quarzitic microconglomeratici. A tratti queste rocce sono fratturate e si può ipotizzare una loro discreta permeabilità. Anche qui le quarziti mostrano evidenze di dissoluzione lungo le fratture. Segue, fino a 1161m un livello di rocce carbonatiche talora interessate da fenomeni di microcarsismo (cariature).

1161m-fondo foro. dopo una prima zona di spessore decametrico con alternanze di scisti anfibolici e quarziti, è stato raggiunto ed attraversato il basamento pre-mesozoico costituito da ortogneiss. All'interno di queste rocce i test idraulici realizzati hanno mostrato scarsa permeabilità. Tuttavia in corso d'opera questa tratta ha fornito venute risalenti a bocca foro ancora oggi attive; di conseguenza sia le quarziti che il basamento debbono presentare localmente delle discrete proprietà idrogeologiche anche a queste considerevoli profondità.

In sintesi il sondaggio Vi-B-06 ha messo in evidenza che all'interno delle Formazioni dell'Aigerbach e Seidlwinkl mediamente i fenomeni di dissoluzione chimica e la presenza di canali permeabili è rara. Tuttavia localmente sono presenti livelli di potenza decametrica idraulicamente attivi sede di sistemi di flusso in risalita, come nel caso del livello di dolomie con dissoluzione intercettato tra 690 e 708m di profondità, in cui i log in foro evidenziano un'anomalia imputabile a circuiti in risalita (aumenti di temperatura e conducibilità; cfr- rapporto G4-1a-01 contratto D0104).

Ulteriori flussi piuttosto attivi sono stati intercettati all'interno delle quarziti a profondità di 1100-1150m, come indicato da un'aumento repentino della temperatura associato a diminuzioni della conducibilità nei log realizzati, nonché all'interno del basamento gneissico a profondità di circa 1250m, ove la temperatura aumenta ulteriormente, questa volta assieme alla conducibilità. I dati geochimici a disposizione indicano

diesen Tiefen gequerten Fließsysteme eine sehr hohe chemische Reife besitzen und somit sehr lang sind. Ein interessanter Aspekt ist, dass die geochemischen Daten darauf hindeuten, dass die Wässer mit sulfatischen Gesteinen in Wechselwirkung gestanden haben, was somit nahe legt, dass es in diesen Tiefen einen lithologisch komplexen Aquifer gibt, der sowohl aus Grundgebirgsgestein als auch aus Quarziten und Evaporiten, die seine Überlagerungen darstellen, besteht.

6.2.8. Vi-B-07

Diese vertikale Bohrung wurde in der Talsohle des Pfitschertals kurz nördlich der Ortschaft Burgum durchgeführt und erreichte eine Tiefe von 604m.

Die Stratigraphie, die für den Untergrund insgesamt der Abfolge von Bündnerschiefer der Pfitschtalstörung zugeordnet werden kann, kann wie folgt zusammengefasst werden:

0-197m. Quartäre Ablagerungen die in den ersten 15m aus Kiese und Sand und in den unteren Intervallen aus Schluff und Sand mit kies-sandigen Einschaltungen aufgebaut werden. Für das letzte Intervall wurde eine geringe Durchlässigkeit angenommen.

197-360m. Sehr karbonatreicher Intervall der dunklen Bündnerschiefern. In den ersten 30-40m ab dem Kontakt mit den quartären Ablagerungen beobachtet man einen mittel-hohen Zerklüftunggrad, der wahrscheinlich mit oberflächigen Detensionierungsphänomenen verbunden ist. Unterhalb nimmt die Zerklüftungsdichte deutlich ab; die Brüche zeigen nur selten chemische Lösungsphänomene, die eine sehr kleine Zunahme der Öffnung verursachen. Für diesen Gebirgstyp wird eine geringe Durchlässigkeit angenommen.

360-520m. Abfolge der Bündnerschiefer die nach unten zunehmend karbonatreicher werden und bis zu echten unreinen Marmoren werden. Innerhalb dieser Gesteine ist die Zerklüftungsdichte niemals hoch, allerdings sind die vorhandenen Brüche von chemischen Lösungsphänomenen beeinflusst, die eine leichte Zunahme der Öffnung verursachen. Außerdem treten im Abschnitt zwischen 420 und 450m einige zentimetermächtige, untergeordnete Störungsflächen auf, die eine ziemlich zerklüftete Zone darstellen. Diese Eigenschaften lassen annehmen, dass die Durchlässigkeit lokal Mittelwerte erreichen kann und dass eine recht gute Verbindung innerhalb des Gebirges existiert. Ein durchgeführter hydraulischer Test bestätigt diese Hypothese, da er Leitfähigkeiten in der Größenordnung von 10^{-7} m/s zeigte.

520m – Ende der Bohrung. In diesem Intervall gehen die unreinen Marmore schrittweise wieder in karbonatreiche Bündnerschiefer über. In diesen Lithotypen ist der Zerklüftunggrad im Schnitt eher niedrig und nur selten beobachtet man eine Lösung entlang der Klüft-

che i sistemi di flusso intercettati a queste profondità hanno una maturità chimica molto elevata, sono quindi molto lunghi. Un aspetto interessante è che i dati geochimici indicano che le acque hanno interagito con rocce solfatiche, suggerendo quindi che possa esistere a queste profondità un acquifero litologicamente complesso e composto sia da rocce di basamento che da quarziti ed evaporiti costituenti le sue coperture.

6.2.8. Vi-B-07

Questo sondaggio verticale è stato realizzato sul fondovalle della Val di Vizze poco a N dell'abitato di Borgone ed ha raggiunto una profondità di 604m.

La stratigrafia, interamente riferibile alla successione di calcescisti della Falda di Vizze per la parte di substrato, è così riassumibile:

0-197m. depositi quaternari rappresentati nei primi 15m da ghiaie e sabbie e nel sottostante intervallo da limi e sabbie con intercalazioni di ghiaie e sabbie. Questo ultimo intervallo è stato ritenuto poco permeabile.

197-360m. intervallo costituito da calcescisti scuri in cui il carbonato è molto abbondante. Nei primi 30-40m dal contatto con i depositi quaternari si osserva un'intensità di fratturazione medio-alta, forse a causa di fenomeni di detensionamento superficiale. Successivamente la densità di fratturazione diminuisce nettamente; le fratture mostrano solo raramente dei segni di dissoluzione chimica che ne determinano un incremento dell'apertura in misura molto limitata. Per questo tipo di ammasso roccioso si stima una permeabilità bassa.

360-520m. successione di calcescisti che verso il basso divengono progressivamente più carbonatici, fino a passare a veri e propri marmi impuri. In queste rocce la densità di fratture non è mai elevata, tuttavia le fratture presenti sono spesso interessate da fenomeni di dissoluzione chimica che ne aumentano leggermente l'apertura. Inoltre, nel tratto compreso tra 420 e 450m sono presenti alcune superfici di faglia minori, di spessore centimetrico, che originano una zona piuttosto fratturata. Queste caratteristiche suggeriscono che la permeabilità possa localmente assumere dei valori medi e che esista una discreta connettività nell'ammasso roccioso. Un test idraulico eseguito conferma questa ipotesi poiché ha restituito delle conducibilità dell'ordine dei 10^{-7} m/s.

520m-fondo foro. In questo intervallo i marmi impuri passano nuovamente con gradualità a calcescisti con abbondante carbonato. L'intensità di fratturazione è mediamente piuttosto bassa e la dissoluzione lungo le superfici di frattura è rara, sebbene talora presente.

fläche. Die Durchlässigkeiten innerhalb dieses Sektors wurde ziemlich niedrig geschätzt; diese Hypothese wurde durch einen durchgeführten hydraulischen Test bestätigt, mit Werten in der Größenordnung von 10^{-9} m/s.

Der nach den Bohrarbeiten durchgeführte Temperatur Log reicht nur bis auf etwa 480m; er zeigt eine sehr regelmäßige Zunahme der Temperatur mit der Tiefe und einen mittleren Gradient der Temperatur von $25^{\circ}\text{C}/\text{Km}$. Dies scheint zu zeigen, dass keine besonders schnell aufsteigenden und absteigenden Umläufe existieren, da sie sich durch einen Knick in der Neigung der Kurve der Temperatur hervorheben sollten. Kleine lokale Veränderungen mit Abnahmen des Gradientes wurden in einer Tiefe von 300m, 360m und 450m beobachtet, diese entsprechen kleinen Veränderungen der Leitfähigkeit; welche durch das Vorhandensein von nicht besonders schnellen Zirkulationen innerhalb des Untergrundes erklärt werden.

In der Bohrung wurden zwei Wasserproben entnommen (§). Die oberflächennahere (Intervall 286-315m) ist ein bikarbonatisch-kalziumhaltig-natriumhaltiges Wasser, das eher typisch für durchschnittlich lange Wechselwirkungen mit karbonatisch-silikatischen Gesteinen wie den Bündnerschiefern ist. Die tiefere Probe (Intervall 442-471m) ist ein chemisch reiferes bikarbonatisch-sulfatisch-kalziumhaltiges Wasser, das - auch unter Berücksichtigung des von den Logs aufgezeigten geringen Vorkommens von Zirkulationen - als ein Wasser interpretiert werden kann, das auf sehr langsame Zirkulationen innerhalb des Gebirges und somit lange Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein zurückzuführen ist. Bedeutsam ist der Sulfatcharakter, der darauf hinweist, dass es in dem die Bündnerschiefer umgebenden Gebirge Wässer gibt, die evaporitische Gesteine ausgewaschen haben und vielleicht von einer der kleineren, von der Bohrung gequerten Störungen mitgeführt werden.

6.2.9. Vi-B-08

Diese vertikale Bohrung erreichte eine Tiefe von 531m; sie befindet sich an der Achse der Talsohle des Pfitschertals am Rand der Rieder Massenbewegung. Da die ersten 251m mittels Vollbohrung ausgeführt wurden, kann man die exakte Stratigraphie des oberflächigen Bereichs nicht kennen.

Unterhalb dieses Intervalls hat die Kernbohrung diese Stratigraphie ergeben, die zur Gänze der Serie der Bündnerschiefer der Pfitschtalstörung zuordenbar ist:

251-369m. Wechsellagerungen von kalkreichem Bündnerschiefer, Metabasalten, Prasiniten und untergeordneten Marmorlagen. Diese Lithotypen zeigen einen ziemlich niedrigen Zerklüftunggrad, und es sind keine evidenten Lösungsphänomene in den kalkigen Lagen ersichtlich. Die durchschnittliche abgeschätzte Durchlässigkeit ist niedrig.

Per questo settore è stata stimata una permeabilità piuttosto bassa; tale ipotesi è confermata da un test idraulico che ha restituito valori dell'ordine dei 10^{-9} m/s.

Il log di temperatura realizzato dopo la perforazione si spinge solo fino a 480m circa; esso mostra un aumento molto regolare della temperatura con la profondità e un gradiente medio di temperatura di $25^{\circ}\text{C}/\text{Km}$. Questo sembra indicare che non esistono circolazioni particolarmente veloci né in risalita né in discesa, poiché queste dovrebbero manifestarsi come rotture di pendenza della curva di temperatura. Piccole perturbazioni locali con diminuzioni del gradiente si osservano intorno ai 300m, 360m, e 450m ed esse corrispondono a deboli variazioni di conducibilità; tali perturbazioni sono state spiegate con la presenza di circolazioni non molto rapide all'interno del substrato.

Due campioni di acqua sono stati prelevati nel sondaggio. Il più superficiale (intervallo 286-315m) è un'acqua bicarbonato-calcico-sodica piuttosto tipica di interazione per tempi medi con rocce carbonatico-silicatiche quali i calcescisti. Il campione più profondo (intervallo 442-471m) è un'acqua chimicamente più matura, di tipo bicarbonato-solfato-calcico che, tenendo conto anche della scarsa presenza di flusso evidenziata dai log, può essere interpretata come un'acqua riferibile a flussi molto lenti all'interno dell'ammasso roccioso e quindi con tempi di interazione acqua-roccia lunghi. Significativa è l'impronta solfatica che indica la presenza nell'ammasso roccioso circostante i calcescisti di acque che hanno lisciviato rocce evaporitiche, forse veicolate da una delle faglie minori intercettate dal sondaggio.

6.2.9. Vi-B-08

Questo sondaggio verticale ha raggiunto una profondità di 531m; esso è ubicato in asse alla Val di Vizze al margine del corpo di frana di Novale. I primi 251m sono stati eseguiti a distruzione di nucleo, motivo per il quale non si conosce l'esatta stratigrafia della porzione più superficiale.

Al di sotto di tale intervallo il carotaggio continuo ha restituito questa stratigrafia, interamente attribuibile alla serie dei calcescisti della Falda di Vizze:

251-369m. alternanza di calcescisti in cui la frazione carbonatica è piuttosto abbondante, metabasalti, prasiniti e subordinati livelli di marmi. Questi litotipi presentano una densità di fratturazione piuttosto bassa e non sono evidenti importanti fenomeni di dissoluzione nei livelli contenenti carbonato. La permeabilità media stimata è bassa.

369-462m Kalkige Bündnerschiefer in welchen Einschaltungen aus Marmoren und unreinen Marmoren häufiger werden. Bis in eine Tiefe von 447m ist die Zerklüftungsdichte niedrig, es wurden keine bedeutenden Lösungsphänomene beobachtet; eine geringe Durchlässigkeit wurde abgeschätzt. Ein hydraulischer Test bestätigt diese Hypothese und zeigt Durchlässigkeiten in der Größenordnung von 10^{-9} m/s.

Unterhalb von 447m durchquerte die Bohrung einen Gebirgsabschnitt mit fortlaufend zunehmender Zerklüftungsdichte bis zur Durchquerung einer Störungszone mit tektonischen Breccien. In diesem Sektor erbrachte die Auswertung der Bohrkerne einen hohen Durchlässigkeitsgrad. Allerdings hat ein in diesem Abschnitt durchgeführter hydraulischer Versuch nicht besonders hohe Durchlässigkeiten in der Größenordnung zwischen 10^{-8} und 10^{-7} m/s gezeigt, die jedoch die wahren hydrogeologischen Eigenschaften des Gebirges nicht widerspiegeln könnten, vielleicht aufgrund instrumentaler Probleme oder, wahrscheinlicher, aufgrund von Störungen während der Bohrarbeiten.

462m-bis Ender der Bohrung. Monotone Abfolge bestehend aus Glimmermarmoren. Diese Gesteine zeigen einen hohen Zerklüftunggrad, der durch kleinere Störungszone verursacht wird. Die Brüche zeigen chemische Lösungsphänomene, die das Vorhandensein verbreiteter Mikrokarstphänomene darstellen. Auch in diesem Abschnitt wurde eine mittelere- hohe Durchlässigkeit angenommen, aber ein durchgeführter hydraulischer Versuch lieferte niedrige Durchlässigkeiten, die zwischen 10^{-7} und 10^{-8} m/s liegen. Aufgrund dessen wurde angenommen, dass der hydraulische Test nicht die eigentlichen Eigenschaften des Gebirges widerspiegelt, anhand derselben Gründe, die vorher erwähnt wurden.

Die gemessenen hydraulischen Drücke in den für die Durchlässigkeit getesteten Abschnitten zeigen eine Höhe, die ähnlich ist wie die Geländeoberkante oder leicht höher, in der Tat wurden während der Bohrarbeiten an der Schnittstelle mit der durchquerten Störungszone, ab 447m, artesischen Wasseraustritte angebohrt, was auf eine Zone mit aktiver Zirkulation hinweist.

Der verfügbare Temperatur Log, der vorliegenden Abbildung, zeigt einen ziemlich regelmäßigen Gradienten, der aber eine plötzliche Abnahme in der Nähe der Tiefe 450m, an der Durchquerung der genannten Störungszone, erfährt, was zeigt, dass sie ein absteigendes Fließsystem enthält, das in der Lage ist, das Gebirge lokal abzukühlen. Einen anderen, weniger markanten Knick kann man in der Nähe von 480m beobachten, wahrscheinlich wegen ähnlichen Zirkulationen innerhalb der zerklüfteten und mikroverkarsten Marmore. Auch der verfügbare Leitfähigkeits Log zeigt einen leichten Knick an der Durchquerung der Störungszone und der anliegenden Marmore und bestätigt so das Vorhandensein von absteigenden Wäss-

369-462m calcescisti carbonatici all'interno dei quali divengono più frequenti le intercalazioni di marmi e marmi impuri. Fino a 447m di profondità la densità di fratturazione è bassa, non si osservano importanti fenomeni di dissoluzione; per questa porzione è stata ipotizzata una scarsa permeabilità. Un test idraulico ha confermato questa ipotesi, restituendo permeabilità dell'ordine dei 10^{-9} m/s.

A partire da 447m il sondaggio ha attraversato un settore di ammasso con densità di fratturazione progressivamente crescente fino a intercettare una zona di faglia con brecce tettoniche. In questo settore l'osservazione delle carote ha indotto a ipotizzare un grado di permeabilità elevato. In realtà un test idraulico realizzato in tale tratto ha fornito delle permeabilità non particolarmente elevate e comprese tra 10^{-8} e 10^{-7} m/s, che tuttavia potrebbero non riflettere le reali caratteristiche idrogeologiche dell'ammasso, forse a causa di problemi strumentali o, più probabilmente, per perturbazioni prodotte dalla perforazione.

462m-fondo foro. successione monotona di marmi micacei. Queste rocce mostrano un'elevata intensità di fratturazione, dovuta alla presenza di zone di faglia minori. Le fratture mostrano fenomeni di dissoluzione chimica che determinano la presenza di un microcarsismo diffuso. Anche per questo tratto è stato ipotizzato un grado di permeabilità medio-alto ma un test idraulico eseguito indica permeabilità basse, comprese tra 10^{-7} e 10^{-8} m/s. Per ciò si è ritenuto che il test idraulico possa non riflettere le reali proprietà dell'ammasso roccioso, per gli stessi motivi riscontrati nella tratta precedente.

I carichi idraulici misurati in corrispondenza dei tratti testati per la permeabilità indicano quote pari alla bocca foro o leggermente superiori, infatti durante la perforazione sono state incontrate venute d'acqua artesiane all'intersezione con la zona di faglia attraversata a partire da 447m, indicando la presenza di una zona di circolazione attiva.

Il log di temperatura di questo sondaggio presenta un gradiente piuttosto regolare, che però mostra una brusca diminuzione in corrispondenza dei 450m circa di profondità all'intersezione con la zona di faglia citata, indicando che essa è sede di un sistema di flusso discendente, in grado di raffreddare localmente l'ammasso roccioso. Un'altra inflessione, meno marcata si osserva anche intorno ai 480m probabilmente a causa della presenza di circolazioni analoghe all'interno dei marmi fratturati e microcarsificati. Il log di conducibilità disponibile mostra anch'esso una lieve diminuzione della conducibilità in corrispondenza dell'intersezione con la zona di faglia e i marmi adiacenti, confermando la presenza di probabili circola-

erzirkulationen.

Die vorliegenden geochemischen Daten bestätigen, dass den durch die Logs angezeigten Anomaliezonen eher schnelle Wasserzirkulationen entsprechen. Im Fall der Anomalie bei 450m liegen zwei Proben vor, die einen bikarbonatisch-sulfatisch-kalziumhaltigen Chemismus mit mittleren bis niedrigen Salinitäten aufweisen, welche typisch für eine relativ geringe geochemische Reife sind, wenn sie auch über der durchschnittlichen Reife der Quellen liegt. Für die Anomalie bei 480m liegt eine Probe mit bikarbonatisch-sulfatisch-natriumhaltigem-kalziumhaltigen Chemismus und mit einer höheren Reife als bei der vorangehenden Probe vor, die jedoch noch immer recht gering ist. Beide Proben deuten darauf hin, dass die Fließsysteme hauptsächlich in den Bündnerschiefern verlaufen, aber der sekundäre Sulfatcharakter legt nahe, dass ein Teil des Fließsystems, vielleicht durch die Störungen mitgeführt, auch sulfatische Lagen betroffen hat.

6.2.10. Vi-B-09

Die Bohrung Vi-B-09 wurde vertikal durchgeführt und erreichte eine Tiefe von 409m; sie befindet sich am Fuß des linken Hanges des Pfitschertals, am Rand der Rieder Massenbewegung.

Bis in eine Tiefe von 86m durchquerte die Bohrung den vorher erwähnte Massenbewegungskörper aus Bündnerschieferblöcken in einer partiell durch Karbonat zementierten, kohäsiven sandig-schluffigen Matrix. Dieser Körper kann hydrogeologisch als Aquiclude betrachtet werden.

Innerhalb des Substrats ist die Stratigraphie zur Gänze der Abfolge der Bündnerschiefer der Pfitschtalstörung zuzuordnen und kann wie folgt zusammengefasst werden:

86-378m. mittelmäßig geklüftete Prasinite (86-108m), denen bis auf 378m eine mächtige Abfolge aus reinen und unreinen, leicht glimmerigen Marmoren mit untergeordneten metermächtigen Einschaltungen aus Bündnerschiefer folgt. Innerhalb der Marmore ist generell die Zerklüftungsdichte niedrig, teilweise mittel; allerdings zeigen alle Brüche deutlich verbreitete chemische Lösung, die eine Zunahme der Öffnung in Vergleich zur originellen Bedingung verursacht. Diese Beobachtung bedingt die Annahme, dass die Marmore durch eine ziemlich gute durchschnittliche Durchlässigkeit und eine gute hydraulische Verbindung gekennzeichnet sind. Die durchgeführten hydraulischen Tests bestätigten diese Beobachtungen, da Durchlässigkeiten in der Größenordnung von 10^{-6} und 10^{-5} m/s gemessen wurden.

378m-bis Ende der Bohrung Prasinite mit mittelerem- niedrigem Zerklüftungsgrad; innerhalb deren Sektoren mit einer guten Durchlässigkeit angenommen werden.

zioni di acque in discesa.

I dati geochimici disponibili confermano che alle zone di anomalia indicata dai log corrispondono circolazioni di acqua piuttosto rapide. Nel caso dell'anomalia a 450m sono disponibili due campioni che presentano un chimismo bicarbonato-solfato- calcico con salinità medio-bassa e quindi tipiche di una maturità geochimica relativamente bassa, sebbene superiore a quella media delle sorgenti. Per l'anomalia a 480m è disponibile un campione con chimismo di tipo bicarbonato-solfato-sodico-calcico e con maturità più elevata del campione precedente ma pur sempre piuttosto bassa. Entrambi i campioni indicano che i sistemi di flusso si sviluppano principalmente all'interno dei calcescisti, ma l'impronta secondaria solfatica suggerisce che parte del flusso, forse veicolato dalle faglie, abbia interessato anche dei livelli solfatici.

6.2.10. Vi-B-09

Il sondaggio Vi-B-09 è stato eseguito verticalmente ed ha raggiunto una profondità di 409m; esso è ubicato al piede del versante sinistro della Valle di Vizze al margine del corpo di frana di Novale.

Fino a 86m di profondità il sondaggio ha attraversato l'accumulo di frana sopra citato costituito da blocchi di calcescisti in matrice sabbioso – limosa coesiva e parzialmente cementata da carbonato. Questo corpo d'accumulo ai fini idrogeologici può essere considerato come un elemento acquiclude.

All'interno del substrato la stratigrafia è interamente riferibile alla successione di calcescisti della Falda di Vizze e così riassumibile:

86-378m. prasiniti mediamente fratturate (86-108m), alle quali segue una potente successione di marmi puri e marmi leggermente micacei con subordinate intercalazioni metriche di calcescisti. Nei marmi la densità di fratturazione è generalmente bassa, a tratti media; tuttavia tutte le fratture hanno mostrato evidenti segni di dissoluzione chimica diffusa che ne determinano un sistematico aumento di apertura rispetto alla condizione originaria. Tale osservazione ha indotto ad ipotizzare che nei marmi esista una discreta permeabilità media e una buona connettività idraulica tra le fratture. Le prove idrauliche eseguite hanno confermato queste osservazioni poiché sono state misurate permeabilità comprese tra i 10^{-6} e 10^{-5} m/s.

378m-fondo foro. prasiniti con grado di fratturazione medio-basso; al loro interno è stata ipotizzata la presenza di settori con una discreta permeabilità.

Innerhalb der Marmore wurden hydraulische Drücke in den getesteten Abschnitten beobachtet, die 2-4m über GOK liegen und artesische Wasserzutritte von 2-3l/s verursachen die das Vorhandensein von aktiven Fließsystemen innerhalb dieser Lithotypen bestätigen.

Die verfügbaren Temperatur-Logs für diese Bohrung zeigen einen praktisch nicht existierenden Gradient bis in eine Tiefe von 330m und Temperaturwerte von 12-13°C sowie einen konstanten Wert der Leitfähigkeit von 510-530 μ S/cm. Diese Daten bestätigen, zusammen mit den Ergebnissen der hydraulischen Tests und den Wasserzutritten, dass die Marmore einen Aquifer mit guter Verbindung bilden und dass in ihnen Wasserzirkulationen und aktive Fließsysteme existieren.

Drei Wasserproben, die in der Bohrung auf verschiedenen Höhen entnommen wurden, zeigten eine sehr ähnliche Zusammensetzung, was ein weiterer Beweis dafür ist, dass die Bohrung ein eher durchgängiges Fließsystem gequert hat. Es handelt sich um bikarbonatisch-sulfatisch-kalziumhaltige Wässer mit relativ geringer Reife, die somit typisch für kurze Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein und eher schnelle Zirkulationen sind. Die Zusammensetzung entspricht der überwiegenden Auswaschung von karbonatischen Gesteinen, aber auch hier haben die Wässer, wie in den beiden vorangehenden Bohrungen, auch evaporitische Lagen ausgewaschen.

6.2.11. Vi-B-12

Für diese Erkundungsbohrung lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts nur der allgemeine Bericht, die Stratigraphie und der Bericht über die Hydrauliktests vor, und zwar in Entwurfsform.

Die Erkundungsbohrung misst 1430m und wurde anfangs als eine Längsbohrung bis zu einer Tiefe von 200 m durchgeführt, um dann allmählich von der Vertikalen abzukommen und eine Neigung von 20° südlich zur Vertikalen zu erreichen.

Die durchhörte Stratigraphie kann wie folgt zusammengefasst werden.

0-65 m ca. Quartäre Ablagerungen und aufgelockertes Substrat mit ausgeweiteten Klüften, wahrscheinlich aufgrund von Massenbewegungen.

65-340 m. Abfolge bestehend aus Einlagerungen von vorwiegend unreinem Marmor und Bündnerschiefer oder quarzhaltigem Glimmerschiefer. Bis ungefähr 300 m ist das Gestein sehr stark zerklüftet und zum Teil aufgelöst. Dies könnte auf mögliche intensive Phänomene der Karbonatauflösung hindeuten und somit auf eine ziemlich hohe Durchlässigkeit. Unter 300 m ist der Gesteinzustand besser.

340-900 m. In diesem Bereich durchquerte die Erkundungsbohrung ein Gestein aus fast ausschließlich

All'interno dei marmi, nei tratti testati idraulicamente, sono stati osservati dei carichi idraulici superiori al piano campagna di 2-4m e venute di acque artesiane di 2-3- l/s che hanno confermato la presenza di sistemi di flusso attivi all'interno di tali litotipi.

Il log di temperatura disponibile per questo sondaggio mostra un gradiente praticamente nullo fino a 330m di profondità e valori di temperatura di 12 – 13°C e conducibilità praticamente costante, pari a 510-530 μ S/cm. Tali dati confermerebbero, in accordo con i risultati dei test idraulici e le venute registrate, che i marmi agiscono come un acquifero con buona connessione ed al loro interno esistono delle circolazioni di acque e dei sistemi di flusso attivi.

Tre campioni d'acqua prelevati all'interno del sondaggio a diverse quote hanno mostrato tutta composizione molto simile, riprova ulteriore che il sondaggio ha intercettato un sistema di flusso piuttosto continuo. Si tratta di acque bicarbonato-solfato-calciche con maturità relativamente bassa, e quindi tipiche di tempi di interazione acqua-roccia brevi e circuiti piuttosto rapidi. La composizione è rappresentativa di lisciviazione prevalente di rocce carbonatiche, ma ancora una volta, come nei due sondaggi precedenti le acque hanno lisciviato anche livelli evaporitici.

6.2.11. Vi-B-12

Per questo sondaggio al momento della realizzazione del presente rapporto sono disponibili esclusivamente il rapporto generale, la stratigrafia e il rapporto inerente le prove idrauliche, il tutto in formato bozza.

Il sondaggio misura 1430m, è stato realizzato inizialmente come sondaggio verticale fino a circa 200m di profondità, per poi deviare progressivamente dalla verticale raggiungendo una inclinazione di 20° verso sud rispetto alla verticale.

La stratigrafia incontrata può essere riassunta secondo quanto riportato di seguito.

0-65m ca. Depositi quaternari e substrato detensio-nato con fratture allargate a causa di probabili movimenti gravitativi.

65-340m. Successione costituita da intercalazioni di prevalenti marmi impuri e di calcescisti o micascisti quarziferi. Fino a circa 300m l'ammasso si presenta molto fratturato e talora digregato; ciò potrebbe indicare che sono presenti intensi fenomeni di dissoluzione del carbonato e quindi permeabilità piuttosto elevate. Sotto i 300m l'ammasso risulta meno degradato.

340-900m. In questo settore il sondaggio ha attraversato un ammasso costituito quasi esclusivamente da

sehr kompakten Glimmern, die nur wenig gebrüchig und verwittert sind. Es sind wiederum seltene Einlagerungen von Bündnerschiefer vorhanden. Vier hydraulische Tests in einer Tiefe zwischen 350 m und 650 m ergaben sehr niedrige Werte der hydraulischen Leitfähigkeit, unter 5×10^{-9} m/s, die mit den Angaben übereinstimmen, die aus der Untersuchung der Bohrkerne entnommen werden konnten. Zwei hydraulische Tests, die tiefer, bei 730 und 830 m Tiefe durchgeführt wurden, ergaben hingegen höhere Werte, und zwar jeweils $7,8 \times 10^{-8}$ und $1,8 \times 10^{-6}$ m/s, die jedoch nicht unbedingt mit den stratigraphischen Daten übereinstimmen, die auf einen geringen Klüftungsgrad deuten. Diese zwei hydraulischen Tests sind jedoch als ungewiss und aufgrund von Problemen bei der Durchführung als verfälscht zu betrachten.

900-1430 m. Unterhalb von 900 m beginnt eine komplexe Abfolge von Silikatsteinen, zum Teil Karbonate und Evaporite, die nur schwer zuordenbar sind. In dieser Abfolge dominieren Alternanzen von Chlorit-Amphibolit-Grünschiefer, die bisweilen Anhydrite enthalten, mehr oder weniger granathaltige Glimmerschiefer sowie unterschiedlich quarzhaltige Bündnerschiefer. Diese Serie von Gesteinswechseln wurde als den mit der Schieferung entstandenen engen Falten der Aigerbach-Formation und der Kaserer Serie zugehörig interpretiert.

Der Klüftungsgrad ist wiederum sehr gering und es gibt keine besonderen Hinweise auf Auflösungerscheinungen der Karbonate und Evaporite. Daher ergibt die Sichtprüfung für die gesamte Serie der Gesteinswechsel einen sehr geringen Durchlässigkeitsgrad, der unter anderem von den hydraulischen Tests bestätigt wird, die einen Leitfähigkeitswert von 10^{-9} - 10^{-11} m/s ergeben haben.

6.3. Permeabilität

6.3.1. Permeabilität des Untergrunds

Bei den hydrogeologischen Untersuchungen zum Einreichprojekt des betreffenden Bauwerks war der Untergrund in hydrogeologische Komplexe unterteilt, die, je nach Komplex, spezifische Eigenschaften aufwiesen. Um der Kohärenz willen übernimmt nachfolgende Abhandlung diese Aufteilung im Großen und Ganzen.

Zur Ergänzung der Feststellungen in der Aufteilung der hydrogeologischen Komplexe, die in dem Einreichprojekt aufgenommen wurde, kann noch eine weitere Unterscheidung eingeführt werden, welche folgende zwei Umgebungen berücksichtigt:

1. Gebirge in normalem Zerklüftungszustand
2. Störzone

marmi micacei molto compatti, scarsamente fratturati ed alterati; sono sempre presenti rare intercalazioni di calcescisti. Quattro test idraulici effettuati tra 350 e 650m presentano valori di conducibilità idraulica molto bassi, inferiori a 5×10^{-9} m/s, coerentemente con le indicazioni desumibili dalla osservazione delle rocce carotate. Due test idraulici eseguiti a quote inferiori, intorno a 730 e 830m hanno invece fornito valori più elevati, rispettivamente di $7,8 \times 10^{-8}$ e $1,8 \times 10^{-6}$ m/s che però non trovano molto riscontro nei dati stratigrafici, indicanti scarsa grado di fratturazione. Questi due test idraulici vanno dunque considerati come incerti e possibilmente viziati da problemi di realizzazione.

900-1430m. Al di sotto dei 900m inizia una complessa successione di rocce silicatiche, talora parzialmente carbonatiche ed evaporitiche, di difficile attribuzione. In questa successione dominano alternanze di scisti verdi cloritico-anfibolici, talora contenenti anidrite, micascisti più o meno granatiferi, calcescisti variamente quarziferi. Questa serie di alternanze litologiche è stata interpretata come appartenente a ripetute interposizioni per pieghe serrate sin-scistogene della Formazione di Aigerbach e della Serie di Kaserer.

Il grado di fratturazione è sempre molto basso e non vi sono evidenze particolari di fenomeni di dissoluzione dei carbonati e delle evaporiti. Pertanto all'esame visivo si deduce per l'intera serie di alternanze un grado di permeabilità molto basso, peraltro confermato dai test idraulici che hanno restituito valori di conducibilità nell'ordine dei 10^{-9} - 10^{-11} m/s.

6.3. Permeabilità

6.3.1. Permeabilità del substrato

Nell'ambito degli studi idrogeologici per la Progettazione definitiva dell'opera in oggetto il substrato era stato suddiviso in complessi idrogeologici aventi caratteristiche specifiche a seconda dei casi. Per coerenza, la trattazione che segue riprenderà per grandi linee tale suddivisione.

Ad integrazione di quanto stabilito nella suddivisione dei complessi idrogeologici fatta nel Progetto Definitivo, è possibile introdurre un'ulteriore distinzione che tiene conto dei seguenti due contesti:

1. Ammasso roccioso in normale stato di fratturazione
2. Zone di faglia

Die Umgebung des Typs 1 ist die weitgehend dominierende. Die Permeabilität entsteht durch die Präsenz eines engen Netzes von seitlichen, nicht weit ausgedehnten Klüften (Meter-Dekameter), oder genauer gesagt durch mäßige Störungen mit kataklastischer Tektonisierung von geringer Stärke (im Meterbereich) und ebenso geringer Persistenz. Das bedeutet, dass auf Dezimeter- oder Meterebene auch ziemlich hohe Permeabilitäten vorhanden sein kann, die durch vorhandene einzelne offene Klüfte oder mäßige Störungen verursacht werden, die durchschnittliche Permeabilität in diesem Bereich allerdings eher niedrig ausfällt, da die Störungen keinen sehr hohen gegenseitigen Verbindungsgrad aufweisen.

Der Kontext des Typs 2 bezieht sich auf das Vorhandensein von bedeutenden kataklastischen Störzonen mit einer Stärke von mehreren Metern bis Dekametern, bei denen außer einer sehr hohen Zerklüftungsdichte auch Schichten mit tektonischen Brekzien vorhanden sein können (pseudo-poröses Material). In dieser Umgebung ist die Permeabilität in der Regel ziemlich hoch, da der Verbindungsgrad der Klüfte hoch ist und die Klüfte oft wenig kohäsive körnige Füllungen, die nicht gehärtet sind, aufweisen (Brekzien und Mikrobrekzien). Allerdings ist auch die Tatsache zu berücksichtigen, dass im Granit-Störbereich oft wenig durchlässige feinkörnige Materialschichten (Kakirit) innerhalb des durchlässigen Bereiches gefunden wurden, die mehr oder wenig ausgeprägte wenig durchlässige Permeabilität aufweisen.

Natürlich nimmt sowohl die Permeabilität in der Umgebung des Typs 1 als auch in der Umgebung des Typs 2 je nach dem betrachteten Lithotypen unterschiedliche Ausmaße an, und deshalb können vom hydrogeologischen Gesichtspunkt her die unterschiedlichen Lithotypen in Komplexe mit unterschiedlichen Eigenschaften zusammengefasst werden.

Bei den Lithotypen vom **Komplex 1**, die aus Kieselgestein bestehen und einen hohen Grad an schichtsilikatischen Mineralien (Glimmer, Biotit, Chlorit) aufweisen, ist die Permeabilität sowohl entlang der Klüfte als auch der Störungen unter den niedrigsten in der betreffenden Umgebung. Das hängt hauptsächlich davon ab, dass die hohe Menge von schichtsilikatischen Mineralien dazu führt, dass diese Felsen ein plastischeres rheologisches Verhalten als Felsen mit Quarz-Feldspat-Zusammensetzung oder reine Karbonatfelsen aufweisen. Die iso-orientierten Schichtsilikate fungieren oft als Hauptabschiebungselemente bei der Deformierung und beugen, auch bei kataklastischem System, der ausgedehnten Zerklüftung der anderen Phasen vor. Entlang der Störbereiche tendieren die Schichtsilikate dann dazu, sich zu iso-orientieren, wodurch das Abschieben gefördert wird. Deshalb, auch in Anbetracht der starken Dislokationen, tendiert die Stärke der Störzonen dazu, geringer als in anderem Gestein zu sein (insbesondere im Schädigungsbereich). Natürlich gibt es bezüglich die-

Il contesto di tipo 1 è quello largamente dominante; la permeabilità è indotta dalla presenza di un reticolo di fratture poco persistenti lateralmente (metri-decametri), o al più da faglie discrete con zona di tettonizzazione cataclastica di spessore modesto (dell'ordine del metro) e persistenza anch'essa modesta (metri-decametri). Ciò significa che a scala decimetrica o metrica talora si possono avere permeabilità anche piuttosto elevate, determinate dalla presenza di singole fratture aperte o faglie discrete, ma a scala decametrico-ettometrica la permeabilità media risulta perlopiù bassa, poiché le fratture hanno un grado d'interconnessione reciproca non molto elevata.

Il contesto di tipo 2 è subordinato e correlato alla presenza di zone di faglia cataclastiche principali di spessore pluri-metrico fino a decametrico, in cui oltre a una densità di fratturazione molto elevata, possono essere presenti anche livelli di brecce tettoniche (materiale pseudo-poroso). In questo contesto la permeabilità è generalmente piuttosto alta, poiché il grado di interconnessione tra le fratture è elevato e sovente le fratture presentano riempimenti granulari poco coesivi e non cementati (brecce e microbrecce). Si deve comunque tenere conto del fatto che nelle zone di faglia del granito sono state spesso osservate anche fasce di materiale a grana fine (gouge) poco permeabile, che possono costituire setti poco permeabili più o meno potenti, interni alla fascia permeabile.

Naturalmente sia la permeabilità nel contesto di tipo 1 sia quella nel contesto di tipo 2 assume entità differenti a seconda del litotipo considerato e per tale ragione, dal punto di vista idrogeologico, è possibile raggruppare i diversi litotipi in complessi con caratteristiche differenti.

Nei litotipi del **complesso 1**, di natura silicatica e caratterizzati da abbondanza di minerali fillosilicatici (miche,biotite, clorite), sia le permeabilità lungo frattura, sia quelle lungo faglia, sono tra le più basse osservabili nel contesto di interesse. Ciò è principalmente dovuto al fatto che l'abbondanza di fillosilicati determina che queste rocce abbiano un comportamento reologico più plastico a rispetto a rocce caratterizzate da composizione quarzoso-feldspatica prevalente o a rocce carbonatiche pure. I fillosilicati, spesso isoorientati fungono spesso da elementi di scorrimento principali per la deformazione e prevengono, anche in regime cataclastico, la fratturazione diffusa delle altre fasi. Lungo le zone di faglia poi i fillosilicati tendono a concentrarsi e ad isoorientarsi, favorendo lo scorrimento; pertanto, anche a fronte di importanti dislocazioni lo spessore della zona di faglia tende ad essere minore che in altre rocce (soprattutto la zona di danneggiamento). A queste regole generali esistono naturalmente delle eccezioni.

ser allgemeinen Regeln auch Ausnahmen.

Bei der betreffenden Zone sind die Hauptlithotypen bezüglich Komplex 1 jene der Kaserer Serie (Flatschspitz-Decke). Die wenigen vorhandenen Daten belegen sehr niedriges Wasserleitvermögen für Umgebungen, die normalen Zerklüftungszustand aufweisen.

Tatsächlich können Komplex 1 auch einige Lithotypen der Aigerbachformation zugewiesen werden, insbesondere alle silikatischen, die im hydrogeologischen Bericht für das Einreichprojekt der Einfachheit halber zusammen mit den karbonatischen derselben Serie zusammengefasst wurden, um einen sehr heterogenen Komplex mit Namen 6b zu definieren. Unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der neuen Daten aus der Bohrung Vi-B-11 wurde hier vorgezogen, die silikatischen Lithotypen der Aigerbachformation von den karbonatischen Lithotypen derselben Formation getrennt zu halten. Diese Lithotypen sind der Kaserer Serie in der Tat sehr ähnlich und haben analoge wasserleitende Eigenschaften mit sehr niedrigem Wasserleitvermögen (1×10^{-9} - 1×10^{-10} m/s) bei normalem Zerklüftungszustand.

Die Permeabilitätsbedingungen im Bereich von Störungen wurden bezüglich der Lithotypen von Komplex 1 nur wenig untersucht (Aigerbachserie und Kasererformation). Die wenigen vorhandenen Daten für die Aigerbachformation zeigen dennoch, dass sich entlang der Störzonen dieser Gesteinsart moderate Permeabilitätsbedingungen ($1-5 \times 10^{-7}$ m/s) entwickeln können.

In dem Einreichprojekt zu **Komplex 2** waren die Metabasiten einbezogen worden; zu diesem Gestein gibt es nicht viele Daten aus hydraulischen Untersuchungen. Die einzigen, die vorhanden sind, zeigen niedrige Permeabilität bei normalem Zerklüftungszustand und auch in den Störzonen (ca. 1×10^{-7} m/s).

Aufgrund der niedrigen statistischen Relevanz werden diese Daten als ungefähre Angaben angenommen. Tatsächlich könnten die Metabasiten einen höheren Permeabilitätsgrad als jenen der Lithotypen von Komplex 1 aufweisen und somit vergleichbar mit dem von Gneis oder Granit sind, da sie zum Großteil wenige schichtsilikatische Mineralien enthalten und deshalb eine starre Rheologie aufweisen können, die eine moderate Permeabilität bei Vorhandensein kataklastischer Phänomene zur Folge haben kann.

Komplex 3 wurden bei dem Einreichprojekt die Schiefer zugeschrieben, wobei unter Schiefer mit hauptsächlich karbonatischer Komponente (Komplex 3a) und Schiefer mit hauptsächlich schichtsilikatischer Komponente (Komplex 3b) unterschieden wurde. Auf italienischem Gebiet sind ausschließlich hydraulische Untersuchungen zu Schiefer mit hauptsächlich karbonatischer Komponente der Pfitscher Decke verfügbar. Übrigens sind die Daten auch in diesem Fall nur wenige und statistisch nicht aussagekräftig. Bei diesen

Per la zona di interesse i litotipi principali riferibili al complesso 1 sono quelli della Serie del Kaserer (Falda di Flatschspitz). I pochi dati disponibili attestano conducibilità idrauliche molto basse per contesti relativi allo stato di fratturazione normale.

In realtà al complesso 1 possono essere attribuiti anche alcuni litotipi della Formazione dell'Aigerbach, in particolare tutti quelli silicatici, che nel rapporto idrogeologico per il Progetto Definitivo erano stati, per semplicità, accorpati a quelli carbonatici della medesima serie, a definire un complesso molto eterogeneo denominato 6b. In questa sede, anche alla luce della disponibilità di nuovi dati derivanti dal sondaggio Vi-B-11, si è preferito tenere distinti i litotipi silicatici della Formazione dell'Aigerbach da quelli carbonatici della medesima formazione. Tali litotipi silicatici sono di fatto molto simili a quelli della Serie del Kaserer ed hanno proprietà idrauliche analoghe, con conducibilità molto basse (1×10^{-9} - 1×10^{-10} m/s) per le condizioni di normale stato di fratturazione.

Le condizioni di permeabilità in zona di faglia sono state poco investigate per i litotipi del complesso 1 (Serie dell'Aigerbach e Formazione di Kaserer). I pochi dati disponibili per la Formazione dell'Aigerbach indicano comunque che lungo le zone di faglia in questi tipi di rocce si possono sviluppare discrete condizioni di permeabilità ($1-5 \times 10^{-7}$ m/s).

Nel Progetto Definitivo al **complesso 2** erano state attribuite le metabasiti; in realtà per queste rocce non esistono molti dati derivanti da test idraulici. Gli unici disponibili indicano permeabilità basse per il contesto di normale stato di fratturazione e relativamente basse anche per le zone di faglia (1×10^{-7} m/s ca.).

Data la scarsa rilevanza statistica, tali dati vanno comunque assunti come indicazioni di larga massima. In realtà le metabasiti potrebbero presentare un grado di permeabilità superiore a quello dei litotipi del complesso 1 e talora paragonabile a quello di rocce gneissiche o granitoidi, poiché esse perlopiù contengono pochi minerali fillosilicatici e possono dunque possedere una reologia rigida, in grado di determinare discrete permeabilità in presenza di fenomeni cataclastici.

Al **complesso 3**, nell'ambito del Progetto Definitivo, erano stati attribuiti i calcescisti, distinguendo tra calcescisti a maggior componente carbonatica (complesso 3a) e calcescisti a maggior componente fillosilicatica (complesso 3b). In territorio italiano sono disponibili esclusivamente dati di test idraulici relativi a calcescisti a prevalente componente carbonatica relativi alla Falda di Vizze; peraltro anche in questo caso i dati sono pochi e statisticamente non significativi. In questi litotipi del complesso 3a, la presenza comun-

Lithotypen des Komplexes 3a begünstigt das doch beträchtliche Vorhandensein der schichtsilikatischen Mineralien ein überwiegend plastisches rheologisches Verhalten verglichen mit anderen Lithotypen (z. B. Gneis, Dolomitmarmor usw.), weshalb sich die Zerklüftungsphänomene tatsächlich mit geringer Durchdringlichkeit ausbreiten sollten, da viele fortgeschrittene Gleitflächen vorhanden sind, welche, ohne dass eine weitere Zerklüftung entsteht, reaktiviert werden können.

Andererseits könnte das Vorhandensein von recht stattlichen karbonatischen Phasen diese Lithotypen auf Auflösungsphänomene vorbereiten, mit nachfolgender Erweiterung der seltenen Klüfte und Erhöhung der Permeabilität. Dennoch kann man annehmen, dass dieses Phänomen hauptsächlich in den ersten 300-400 m Tiefe aktiv ist und sich dann progressiv verringert. Deshalb dürften die Phänomene, die eine Erhöhung der Permeabilität aufgrund von Auflösung verursachen, bei der Tiefe, in der der Tunnelvortrieb stattfindet, nicht besonders relevant sein.

Mann kann also daraus schließen, dass die Permeabilität im karbonatischen Schiefer der Pfitscher Decke, dem Komplex 3a zurechenbar, bei normalem Zerklüftungszustand relativ niedrig ist (unter 1×10^{-8} m/s). Lokale Phänomene geringer Erhöhung der Permeabilität aufgrund von Auflösung sind möglich, aber wenig wahrscheinlich. Die Permeabilität entlang der Störzone dagegen, insbesondere bei Vorhandensein von persistenten und bedeutenden Strukturen, könnte relativ hoch sein, auch weil in diesem Fall die Verbindung zur Oberfläche höher wäre und ein höherer Zufluss von aggressivem Niederschlagswasser garantiert ist, welches eine stärkere Auflösung und eine Erweiterung der Klüfte verursachen kann.

Beim Kalkphyllit des Komplexes 3b auf italienischem Territorium existiert dagegen keinerlei hydraulische Untersuchung. Die Glocknerdecke besteht zum Großteil aus diesen Schiefertypen (südlicher Sektor des Untersuchungsgebietes). Die relevante schichtsilikatische Komponente suggeriert die Hypothese, dass es sich um ziemlich plastische Lithotypen handelt, bei denen sich die Klüfte in der Regel noch weniger im überwiegend karbonatischen Schiefer ausbreiten. Bei der Bohrung Se-B-01, die die einzige ist, bei der diese Lithotypen gefunden wurden, zeigen diese sich als praktisch undurchlässige Felsen, die substantiell keine oder sehr wenige Klüfte aufweisen und bei denen keinerlei Auflösungsphänomen vorhanden ist.

Deshalb kann man vermuten, dass dieses Gestein bei normalem Zerklüftungszustand eine sehr niedrige Permeabilität aufweist. Analog hierzu ist es sinnvoll davon auszugehen, dass die Permeabilität in den Störzonen niedrig ist, und zwar aufgrund der Auswirkungen der hohen Konzentration des schichtsilikatischen Anteils längs der Abschiebungsflächen.

Was die Quarzite betrifft, die bei dem Einreichprojekt in einem separaten Komplex, dem **Komplex 4**, einge-

que rilevante dei minerali fillosilicatici favorisce un comportamento reologico maggiormente plastico rispetto ad altri litotipi (es. gneiss, marmi dolomitici ecc.), per cui di fatto i fenomeni di fratturazione dovrebbero propagarsi con scarsa pervasività, dal momento che esistono numerose superfici di scivolamento pregresse che possono essere riattivate senza generare ulteriore fratturazione.

Dall'altro lato tuttavia la presenza piuttosto consistente di fasi carbonatiche potrebbe predisporre questi litotipi a fenomeni di dissoluzione, con conseguente allargamento delle rare fratture e incremento della permeabilità. Si può tuttavia supporre che tale fenomeno sia attivo soprattutto nei primi 300-400m di profondità, per poi ridursi progressivamente. Pertanto alle quote a cui si svilupperà il tunnel i fenomeni di incremento di permeabilità per dissoluzione non dovrebbero essere particolarmente rilevanti.

Si può quindi concludere che nei calcescisti carbonatici della Falda di Vizze, riferibili al complesso 3a, le permeabilità attese in condizioni di normale stato di fratturazione sono piuttosto basse (inferiori a 1×10^{-8} m/s). Locali fenomeni di modesto incremento di permeabilità per dissoluzione sono possibili ma poco probabili. La permeabilità lungo zone di faglia invece, soprattutto in presenza di strutture persistenti e importanti, potrebbe essere relativamente elevata, anche perché in questo caso la connettività con la superficie sarebbe maggiore, garantendo un maggior afflusso di acque meteoriche aggressive che possono determinare una più consistente dissoluzione e allargamento delle fratture.

Per i calcescisti filladici del complesso 3b in territorio italiano non esistono invece test idraulici. Questi calcescisti costituiscono la gran parte della Falda del Glockner (settore sud dell'area di studio). La rilevante componente fillosilicatica induce ad ipotizzare che si tratti di litotipi a comportamento piuttosto plastico, dove le fratture tendono generalmente a propagarsi ancor meno che nei calcescisti maggiormente carbonatici. Nel sondaggio Se-B-01, che è l'unico che abbia intercettato questo litotipi, essi si presentano come rocce virtualmente impermeabili, sostanzialmente prive o comunque con pochissime fratture e in cui non vi è alcuna evidenza di fenomeni di dissoluzione.

Si può pertanto supporre che queste rocce, in condizioni di normale stato di fratturazione, siano caratterizzate da una permeabilità molto bassa. Analogamente, per quanto attiene alle zone di faglia è ragionevole ipotizzare che le permeabilità siano basse, a causa dell'effetto di concentrazione dell'abbondante frazione fillosilicatica lungo le superfici di scorrimento.

Per quanto attiene alle quarziti, che nell'ambito del Progetto Definitivo erano state inserite in un comples-

fügt wurden, so sind keinerlei hydraulische Untersuchungen vorhanden. Auf jeden Fall haben die Schichten mit diesen Lithotypen keine signifikante Stärke im Bereich des Tunnels, sie sind zumeist in Phyllit-Glimmer-Lithotypen oder Karbonat-Lithotypen eingefügt. Es ist nicht auszuschließen, dass sie in der Tiefe lokal eine moderate Permeabilität aufweisen, da die Löslichkeit der Kieselerde im Wasser mit erhöhter Temperatur steigt, deshalb könnten die Klüfte in diesem Gestein in großen Tiefen, wo die Temperaturen höher sind, höhere Auflösungserscheinungen aufweisen. Es ist daher wahrscheinlich, dass die Permeabilität in den Störzonen hoch ist, da es sich um relativ starre Lithotypen in kataklastischem Zustand handelt.

Der Zentralgneis wurde in dem Einreichprojekt im **Komplex 5** der Gneis- und Granitfelsen eingefügt. Die zur Verfügung stehenden Daten für diese Lithotypen, die hauptsächlich aus der Bohrung Gr-B-09 stammen, zeigen sehr niedrige Permeabilität (unter 1×10^{-9} m/s), was hauptsächlich auf das Nichtvorhandensein von Klüften zurückzuführen ist. Dagegen sprechen allerdings Daten einer vorherigen Bohrung, der Bohrung Ve-B-01, welche Permeabilitäten auch über 1×10^{-8} m/s aufweist. Dennoch zeigt die Prüfung der Bohrproben dieser Bohrung eine höhere Zerklüftungsfrequenz und somit scheint ein erhöhter Permeabilitätsgrad gerechtfertigt. Dies lässt annehmen, dass die Bereiche dieser Lithotypen, dort wo die Schichtsilikate geringer sind, ein ziemlich starres rheologisches Verhalten annehmen und bei kataklastischen Deformationen lokale Erhöhungen der Permeabilität, auch bei Nichtvorhandensein richtiger Störungen, entwickeln. Dennoch scheinen Situationen niedriger Zerklüftungsdichte und somit sehr niedriger Permeabilität in großer Tiefe des Gebirges zu dominieren.

Was die Permeabilität in den Störzonen betrifft, so sind keine signifikanten statistischen Daten vorhanden. Man kann dennoch annehmen, dass die Störungen dieser Lithotypen eine ziemlich hohe Permeabilität aufweisen.

Die Paragneise und Glimmer der austroalpinen Decken können auch dem Komplex 5 zugewiesen werden, obgleich es sich um stärker schichtsilikatische Lithotypen gegenüber dem zentralen Gneis handelt. Auf jeden Fall sind für diese Felsen keinerlei hydraulische Untersuchungen vorhanden, außer bei der Bohrung Se-B-01, bei der die sehr weit reichende Bohrprobe auch andere Lithotypen beinhaltet. Diese Untersuchung zeigt jedenfalls sehr niedriges Wasserleitvermögen und lässt deshalb annehmen, dass die Paragneise der betreffenden austroalpinen Decken keine relevante Permeabilität aufweisen. Man kann somit abschließend sagen, dass für dieses Gestein dieselben Betrachtungen wie für den Zentralgneis gelten, wobei es möglich ist, dass das Wasserleitvermögen in Wirklichkeit noch geringer ist.

so distinto denominato **complesso 4**, non esistono test idraulici. In ogni caso questi litotipi non costituiscono livelli di spessore significativo nel settore interessato dal tunnel, bensì perlopiù intercalazioni in litotipi filladico-micascistosi o carbonatici. Non si può escludere che in profondità esse localmente presentino una moderata permeabilità, poiché la solubilità della silice in acqua aumenta con l'aumentare della temperatura, pertanto a profondità elevate, ove le temperature sono maggiori, le fratture in queste rocce potrebbero presentare maggiori evidenze di dissoluzione. E' verosimile supporre che nelle zone di faglia, la permeabilità sia elevata, poiché si tratta di litotipi a comportamento relativamente rigido in condizioni cataclastiche.

Lo Gneiss Centrale era stato inserito nel Progetto definitivo nel **complesso 5**, delle rocce gneissiche e granitoidi. I dati disponibili per questi litotipi, provenienti principalmente dal sondaggio Gr-B-09, indicano permeabilità molto basse (inferiori a 1×10^{-9} m/s), principalmente dovute all'assenza di fratture. Risultano in parte contraddittori invece i dati di un precedente sondaggio, il sondaggio Ve-B-01, che mostrano permeabilità anche superiori a 1×10^{-8} m/s; tuttavia l'esame delle carote in questo sondaggio mostra un maggior grado di fratturazione e quindi il maggior grado di permeabilità appare giustificato. Ciò suggerisce che le porzioni di questi litotipi ove i fillosilicati sono meno abbondanti tendono ad assumere un comportamento reologico piuttosto rigido e a sviluppare, in condizioni di deformazione cataclastica, locali incrementi di permeabilità, anche in assenza di vere e proprie faglie. Tuttavia a livelli profondi dell'ammasso sembrano dominare le situazioni di bassa densità di fratturazione e quindi di permeabilità molto bassa.

Per quanto attiene alle permeabilità in zone di faglia, non esistono dati statisticamente significativi. Si può tuttavia ipotizzare che le faglie in questi litotipi siano caratterizzate da una permeabilità piuttosto elevata.

I paragneiss e micascisti del dominio Austroalpino possono essere anch'essi attribuiti al complesso 5, benché si tratti di litotipi maggiormente fillosilicatici rispetto quelli dello Gneiss Centrale. In ogni caso per queste rocce non esistono test idraulici, se non una prova eseguita nel sondaggio Se-B-01, in cui la camera di prova, molto estesa, coinvolge anche altri litotipi; tale test indica comunque conducibilità idrauliche molto basse e conseguentemente suggerisce che i paragneiss dell'Austroalpino coinvolti non abbiano permeabilità rilevanti. Si può dunque concludere che per queste rocce valgano le medesime considerazioni che per lo Gneiss Centrale, con la possibilità che le conducibilità idrauliche siano in realtà anche inferiori.

Die Karbonatfelsen und Karbonat-Evaporit-Felsen wurden in den Unterlagen des Einreichprojekts in **Komplex 6** gruppiert. Dieses Gestein findet sich in mehreren tektono-stratigraphischen Einheiten und kann verschiedene Anteile von Dolomitenkomponenten und Schichtsilikaten umfassen, was dennoch sehr rar bleibt. Man kann drei Arten von Karbonatgestein unterscheiden. Erstens der Marmor von Hochstegen, für den die wenigen ausgeführten Hydraulikprüfungen im Kontext eines normalen Zerklüftungszustands eine gewisse Dispersion bei den Daten des Wasserleitvermögens zeigen. Die Werte befinden sich im sehr niedrigen Bereich von 10^{-10} m/s bis zum sehr hohen Bereich, wo sie manchmal höher als 10^{-7} m/s sind. Diese Schwankungen beruhen sicher auf Auflösungsphänomenen des Karbonats entlang der Klüfte, die nicht durchgängig und bei geringerer Tiefe wahrscheinlich gravierender sind.

Eine zweite karbonatische Felsart besteht aus unreinem Marmorgestein in ziemlich starken Schichten im Schiefer der Pfitscher Decke.

Für diese Lithotypen ist eine Vielzahl von Untersuchungen vorhanden, die in unterschiedlicher Tiefe ausgeführt wurden und die deshalb ziemlich gut charakterisiert sind. In einer Umgebung mit normalem Zerklüftungszustand kann das Wasserleitvermögen auch ziemlich hohe Werte annehmen (1×10^{-6} - 1×10^{-4} m/s) bei niedriger Tiefe (0-500 m), wo die Auflösungsphänomene des Karbonats entlang der Klüftung aktiver sind. Bei größeren Tiefen verringert sich das Wasserleitvermögen in der Regel stark, auch wenn hin und wieder Werte im Bereich von 1×10^{-7} - 1×10^{-6} m/s angetroffen werden.

Sowohl beim Marmor von Hochstegen als auch bei der Pfitscher Decke sind keine statistisch bedeutenden hydraulischen Untersuchungen vorhanden, um das Verhalten in der Störzone zu definieren.

Man kann deshalb annehmen, dass bei den beiden karbonatischen Felsarten hohe Permeabilität bis zu einer Tiefe von 500 m auch bei normalem Zerklüftungszustand vorhanden ist. Bei größeren Tiefen findet man relativ hohe Wasserleitvermögen von 10^{-6} m/s nur selten und in der Regel liegt das Leitvermögen unter 10^{-7} m/s. In den Störzonen ist es wahrscheinlich, dass das Permeabilitätsniveau auch in großen Tiefen hoch sein kann, da in diesem Falle aktivere Zirkulationen mit stärkerer Auffüllung über die Oberfläche in der Lage sind, eine höhere Auflösung des Karbonats zu verursachen.

Die Karbonatfelsen der Seidlwinkl-Formation verdienen eine eigene Abhandlung, sowohl weil sie oft eine dolomitische Komponente aufweisen als auch weil sie oft mit dem evaporitischen Gestein der Aigerbach Formation in Verbindung gebracht werden. Bei den Untersuchungen zum Einreichprojekt wurde dieses Gestein in Komplex 6b zusammengefasst, der auch Glimmer-Schiefer-Lithotypen vom Typ Kieselstein be-

Le rocce carbonatiche e carbonatico-evaporitiche erano state raggruppate sotto il **complesso 6** nei documenti di Progetto Definitivo. Tali rocce si rinvencono in più unità tettonostratigrafiche e possono essere caratterizzate da contenuti variabili della componente dolomitica e del contenuto in fillosilicati, che resta comunque sempre molto scarso. Si possono in realtà distinguere tre tipologie di rocce carbonatiche. Un primo tipo è costituito dai Marmi di Hochstegen, per i quali le poche prove idrauliche eseguite in un contesto caratterizzato da un normale stato di fratturazione indicano una certa dispersione nei dati di conducibilità idraulica, tra valori molto bassi, dell'ordine dei 10^{-10} m/s e valori più elevati, talora superiori a 10^{-7} m/s. Tale variabilità è sicuramente da imputarsi a fenomeni di dissoluzione del carbonato lungo le fratture, che sono discontinui e verosimilmente più rilevanti a minor profondità.

Un secondo tipo di rocce carbonatiche è costituito dai marmi impuri presenti in banchi piuttosto potenti all'interno dei calcescisti della Falda di Vize.

Per questi litotipi esistono numerose prove, effettuate a diverse profondità, e risultano pertanto piuttosto ben caratterizzati. In contesto di normale stato di fratturazione le conducibilità idrauliche possono assumere valori anche piuttosto elevati (1×10^{-6} - 1×10^{-4} m/s) a basse profondità (0-500m), ove i fenomeni di dissoluzione del carbonato lungo frattura sono più attivi. A profondità maggiori le conducibilità idrauliche tendono in genere a diminuire in maniera consistente, anche se valori dell'ordine degli 1×10^{-7} - 1×10^{-6} m/s si riscontrano saltuariamente.

Sia per i Marmi di Hochstegen che per quelli della Falda di Vize non esistono invece prove idrauliche statisticamente significative per definire il comportamento in zona di faglia.

Si può dunque concludere che nei due tipi di rocce carbonatiche, permeabilità elevate sono frequenti fino a profondità dell'ordine dei 500m anche in contesto di normale stato di fratturazione. A profondità maggiori conducibilità idrauliche relativamente elevate, dell'ordine dei 10^{-6} m/s, si riscontrano solo saltuariamente, e in genere le conducibilità sono inferiori a 10^{-7} m/s. Per le zone di faglia è verosimile che il grado di permeabilità possa risultare elevato anche a grandi profondità, poiché in questo caso circolazioni più attive, con maggior ricarica dalla superficie sono in grado di attivare maggior dissoluzione del carbonato.

Le rocce carbonatiche della Formazione di Seidlwinkl meritano un discorso a se stante, sia perché hanno sovente una consistente componente dolomitica, sia perché sono spesso associate alle rocce evaporitiche della Formazione di Aigerbach. Negli studi di Progetto Definitivo queste rocce erano state raggruppate nel complesso 6b, che comprendeva indistintamente anche litotipi filladico-scistososi di natura silicatica, dal

inhalten, da diese Lithotypen sich oft in die karbonatisch-evaporitischen Felsen eingeschaltet befinden.

In diesem Bericht hat man, was diese Formationen betrifft, versucht, zwischen Phyllit-Glimmer-Gestein (das Komplex 1 zugeordnet wird) und Karbonatfelsen (die Komplex 6 zugeordnet werden) zu unterscheiden, indem man sich auf die ausgeführten hydraulischen Untersuchungen stützt. Die Daten bezüglich der Karbonatfelsen sind nicht viele und nicht besonders signifikant vom statistischen Gesichtspunkt gesehen, dennoch geht daraus hervor, wie zu erwarten war, dass die Werte der Permeabilität bei normalem Zerklüftungszustand im karbonatisch-evaporitischen Gestein, das dem Komplex 6 zugeordnet wird, in der Regel höher sind als bei Silikatschichten, weshalb letztere Komplex 1 zugeordnet wurden.

Die verfügbaren Untersuchungen beziehen sich hauptsächlich auf kalkhaltig-dolomitische Lithotypen, während die Lithotypen mit anhydritischer Komponente nicht gut dargestellt sind. Im Allgemeinen kann man, sowohl aufgrund der vorhandenen Untersuchungen als auch aufgrund der vorhandenen Bohrerproben der Bohrungen, auf jeden Fall daraus schließen, dass die Permeabilität in den karbonatischen Lithotypen der Seidwinkl-Formation, die hauptsächlich vorzufinden sind, auch wenn sie allgemein niedrig sind, lokal Erhöhungen aufweisen können. Dieses Phänomen, das sich auch in ähnlichen Tiefen wie denen des Bauwerks abspielt, kann durch die Tatsache gerechtfertigt werden, dass die ziemlich starre Rheologie der kalkhaltigen dolomitischen Lithotypen die Entwicklung eines dichteren Klüftungsnetzes begünstigt haben kann.

Bei den karbonatischen Lithotypen der Aigerbach-Formation, bei der weniger starke Bänke vorgefunden werden, die mit Kiesel-evaporitischer Komposition abwechseln, könnte die Permeabilität in einer Tiefe, die das Bauwerk betrifft, weniger hoch sein im Vergleich zur vorherigen Formation. Diese Hypothese ist besonders mit dem Vorhandensein von evaporitischen und phyllitischen Einschaltungen, die dem Gebirge ein weniger starres rheologisches Verhalten mit weniger Neigung zur Entwicklung stärkerer Klüfte geben, in Bezug zu bringen.

In Störzonen ist es bei beiden Formationen dagegen möglich, dass man ziemlich hohe Permeabilitäten zu erwarten hat, da die Auflösungsphänomene der Karbonate sowie der Phyllite stärker sein können.

6.3.2. Permeabilität in den Komplexen des Untergrunds: Allgemeines

Aus der vorhergehenden Betrachtung geht hervor, dass in den unterschiedlichen hydrogeologischen Komplexen sicherlich dominierende Permeabilitäten bestehen, die eine Differenzierung der verschiedenen

momento che tali litotipi si trovano spesso intercalati alle rocce carbonatico-evaporitiche in questione.

Nel presente rapporto, per quanto riguarda queste formazioni, si è invece tentato di distinguere tra rocce filladico-scistose (attribuibili al complesso 1) dalle rocce carbonatiche (attribuibili al complesso 6), basandosi sui test idraulici che sono stati realizzati. I dati relativi alle rocce carbonatiche non sono molti e non particolarmente significativi dal punto di vista statistico, tuttavia emerge, com'è ovvio attendersi, che nelle rocce carbonatico-evaporitiche, attribuibili al complesso 6, le permeabilità e in contesto di normale stato di fratturazione, i valori sono generalmente superiori rispetto a quelli relativi ai livelli silicatici, tant'è che questi ultimi sono stati riferiti appunto al complesso 1.

I test disponibili si riferiscono principalmente a litotipi calcareo-dolomitici, mentre i litotipi a componente anidritica non sono ben rappresentati. In termini generali si può comunque concludere, sia in base ai test disponibili, sia in base alle osservazioni sulle carote dei sondaggi, che nei litotipi carbonatici della Formazione Seidwinkl, che si rinvengono in bancate maggiori, le permeabilità, pur essendo generalmente modeste, possono localmente aumentare. Questo fenomeno, che è esteso anche a profondità comparabili con quelle dell'opera, può essere giustificato dal fatto che la reologia piuttosto rigida dei litotipi calcareo-dolomitici può aver favorito lo sviluppo di un reticolo maggiormente denso di fratture.

Nei litotipi carbonatici della Formazione dell'Aigerbach, che si rinvengono in bancate meno potenti, intervallati a livelli a composizione silicatica ed evaporitica, le permeabilità, a profondità dell'ordine di quelle interessate dall'opera potrebbero essere meno elevate rispetto alla formazione precedente. Tale ipotesi è da mettersi in relazione soprattutto con la presenza delle intercalazioni evaporitiche e filladiche, che attribuiscono all'ammasso un comportamento reologico meno rigido e meno propenso allo sviluppo di elevate densità di fratturazione.

In zona di faglia, in entrambe le formazioni è invece possibile attendersi permeabilità piuttosto elevate, poiché in questo caso i fenomeni di dissoluzione dei carbonati ed anche delle evaporiti possono essere più consistenti.

6.3.2. Permeabilità nei complessi del substrato: considerazioni generali

Dalla discussione precedente emerge che nei diversi complessi idrogeologici esistono sicuramente delle permeabilità prevalenti che permettono una differenziazione tra i complessi medesimi. Tuttavia, sia i dati

Komplexe selbst erlauben. Dennoch zeigen sowohl die Daten zur Permeabilität aus den hydraulischen Untersuchungen als auch die Untersuchung der Bohrproben, dass der Permeabilitätsgrad konsistente Variationen in ein und demselben Komplex aufweisen kann; dies hauptsächlich, weil sich die Klüftungsdichte auch außerhalb der Störungen aufgrund der unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten erhöhen kann. Die Unterscheidung der verschiedenen Komplexe hängt also vor allem von der Frequenz, mit der bestimmte Leitfähigkeitswerte wiederholt auftauchen, ab, wobei zu berücksichtigen ist, dass man mit geringeren Frequenzen auch höhere oder niedrigere Werte als jene, die überwiegend vorhanden sind, antreffen kann.

Vorausgesetzt, dass immer ein vorherrschendes Intervall vorhanden ist, in welchem das Wasserleitvermögen für einen bestimmten Komplex anzusiedeln ist, und vorausgesetzt, dass es sinnvoll ist zu erwarten, dass vom statistischen Gesichtspunkt her der Großteil der Werte des Leitvermögens sich in jenem Intervall befindet, ist es auch angebracht, die Tatsache zu berücksichtigen, dass ab und zu mehr oder weniger häufige Abweichungen von diesem Intervall, das einen allgemeinen Bezugspunkt darstellt, vorkommen können.

Wenn es zum Beispiel für Lithotypen des Komplexes 1 logisch ist, sich sehr niedrige Durchschnitte zu erwarten, also von 1×10^{-10} – 1×10^{-9} m/s, so ist es hin und wieder möglich, dass sich Zerklüftungen auch außerhalb der Störungen entwickeln, deren Wasserleitvermögen bis zu 1×10^{-8} o 5×10^{-8} m/s beträgt, also typisch für Komplexe mit höherer Permeabilität, zum Beispiel für Komplex 5. Der Unterschied zwischen den beiden Komplexen wird hauptsächlich sein, dass die Permeabilitäten im Komplex 5 im Durchschnitt höher sein werden, aber dies schließt nicht aus, dass auch in einigen begrenzten Sektoren von Komplex 1 die typischen Permeabilitäten von Komplex 5 angetroffen werden.

Um den Zufluss vorherzusehen ist es somit notwendig, sowohl das vorherrschende Variationsintervall, dem das Wasserleitvermögen für einen bestimmten Komplex zugeschrieben wird, zu betrachten, als auch außergewöhnliche Werte, die man außerhalb dieses Intervalls auffinden kann und bei welcher Gelegenheit man deren Auftreten annimmt.

In Tabelle 4, Tabelle 5 und Tabelle 6, die die verwendeten Parameter für die Berechnung der Schüttungen im Tunnel zusammenfassen, kann man ablesen, welche mittleren und außergewöhnlichen Permeabilitätswerte bezüglich der Störzonen als Bezug für die Lithotypen der unterschiedlichen Komplexe verwendet wurden. Im hydrogeologischen Profil, das sich in der Anlage dieses Berichts befindet, werden in Spalte 12 die geschätzten Prozentwerte der unterschiedlichen Permeabilitätsklassen bezüglich der unterschiedlichen Lithotypen aufgeführt.

di permeabilità derivanti dai test idraulici, sia l'osservazione delle carote indicano che, il grado di permeabilità può subire variazioni consistenti all'interno di un medesimo complesso, principalmente perché la densità di fratturazione, anche al di fuori delle faglie può subire degli incrementi per fattori locali di diverso genere. La differenziazione dei vari complessi dipende quindi spesso soprattutto dalla frequenza di occorrenza di certi valori di conducibilità, posto che con frequenze minori si potranno comunque incontrare anche valori più o meno elevati di quelli più frequenti.

Posto dunque che esiste sempre un intervallo prevalente in cui la conducibilità idraulica si colloca per un certo complesso e posto che è ragionevole attendersi che, dal punto di vista statistico la maggior parte dei valori di conducibilità si collochi in tale intervallo, è anche opportuno tenere conto del fatto che saltuariamente si possono verificare degli scostamenti più o meno frequenti rispetto a questo intervallo, che costituisce il riferimento generale.

Ad esempio, se per i litotipi del complesso 1 è logico attendersi delle permeabilità medie molto basse, dell'ordine di 1×10^{-10} – 1×10^{-9} m/s, saltuariamente è possibile che si sviluppino condizioni di fratturazione, anche al di fuori delle faglie che inducono conducibilità idrauliche fino a 1×10^{-8} o 5×10^{-8} m/s, quindi tipiche di complessi più permeabili, quali ad esempio il complesso 5. La differenza tra i due complessi sarà sostanzialmente che nel complesso 5 le permeabilità saranno mediamente più alte, ma ciò non esclude che anche in alcuni settori limitati del complesso 1 si rinvenivano permeabilità tipiche del complesso 5

Ai fini delle previsioni di afflussi sarà quindi necessario considerare sia l'intervallo di variabilità prevalente in cui si collocano le conducibilità idrauliche per un determinato complesso, sia quali valori eccezionali esterni a questo intervallo si possono incontrare e con quale occorrenza si stima che possano essere incontrati.

In Tabella 4:, Tabella 5: e Tabella 6:, che riassumono i parametri utilizzati per il calcolo delle portate in galleria, è possibile comprendere quali valori di permeabilità medi, eccezionali e relativi a zone di faglia siano stati utilizzati come riferimento per i litotipi dei vari complessi. Nel profilo idrogeologico allegato al presente rapporto invece, nella fincatura n. 12 sono riportate le percentuali stimate per le varie classi di permeabilità relativamente ai diversi litotipi.

6.3.3. Permeabilität der quartären Ablagerungen

Die quartären Ablagerungen sind nicht Gegenstand direkten Interesses hinsichtlich des geplanten Loses, das komplett innerhalb des präquartären Untergrunds liegt. Bezüglich der verschiedenen im Absatz 5.3 genannten Ablagerungen wird auf jeden Fall der Vollständigkeit halber ein kurzer Abriss gegeben.

Alle Ablagerungen, die im Absatz 5.3 genannt werden und in Verbindung mit tiefgreifenden Deformationen auf Grund von Erdbeben stehen, sind durch eine hohe Permeabilität gekennzeichnet. Die Permeabilität kann hauptsächlich mit der Matrix der Kies-Sandkomponente in den obersten Schichten der Ablagerungen in Verbindung gebracht werden, während man, wenn man tiefer geht, wo die Ablagerung hauptsächlich aus abgelagertem Substrat besteht, auf einen gemischten Permeabilitätskontext aufgrund von Klüften und Porositäten trifft, je nach stärkerer oder geringerer Lockerung des Gebirges.

Bei diesen Umgebungen ist das Wasserleitvermögen auf jeden Fall deutlich höher als jenes des präquartären Substrats, ausgenommen der Teile, in denen das Substrat durch Störungen und verstreute Auflösungsphänomene der Karbonate beeinflusst wird.

Die lakustrischen Ablagerungen des Pfitscher Talbodens können wie ein wassereinschließendes Element betrachtet werden, da die vorherrschende Schlammkomponente sicherlich ein niedriges Permeabilitätsniveau bestimmt.

Die Kegelablagerungen, die seitlich mit den lakustrischen Ablagerungen entlang des Pfitscher Talbodens verzahnt sind, haben aufgrund der Porosität eine hohe Permeabilität.

6.4. Piezometrie

Die vorhandenen piezometrischen Daten rühren hauptsächlich von der vorher genannten Bohrung her (§ 6.2) und betreffen die Situation des präquartären Untergrunds, der außerdem auch von größtem Interesse für das Bauwerk ist.

BBT führt derzeit eine Überwachung der Wasserspiegelhöhen in den genannten Bohrungen durch. Diese Beweissicherung erfolgt monatlich, wobei bei jenen Grundwassermessstellen, welche mit einem Datenlogger ausgestattet sind, auch Aufzeichnungen in Stundenfrequenz vorliegen.

Offensichtlich ist es bezüglich des präquartären Substrats nicht möglich eine durchgehende piezometrische Oberfläche aufzubauen, da es sich um eine zerklüftete Umgebung oder auf jeden Fall mit klar begrenzten Aquifergebieten mit komplexer Geometrie handelt. Substantiell ist es möglich, zu vermuten, dass

6.3.3. Permeabilità dei depositi quaternari

I depositi quaternari non sono oggetto di interesse diretto per il lotto in progettazione, che si sviluppa interamente all'interno del substrato pre-quaternario. Per i principali accumuli citati al paragrafo 5.3, si farà comunque un breve cenno a titolo di completezza.

Tutti i depositi citati al paragrafo 5.3 legati a deformazioni gravitative profonde sono caratterizzati da un grado di permeabilità elevato. La permeabilità è correlabile prevalentemente alla matrice a componente ghiaioso sabbiosa nelle parti più pellicolari degli accumuli, mentre procedendo in profondità, ove l'accumulo consiste principalmente di substrato scompaginato si passa ad un contesto misto di permeabilità per fratturazione e porosità, a seconda del maggior o minor grado di allentamento dell'ammasso.

In questi contesti le conducibilità idrauliche sono comunque generalmente nettamente superiori a quelle del substrato pre-quaternario, ad eccezione delle porzioni in cui il substrato risulta interessato da faglie e fenomeni di dissoluzione diffusa dei carbonati.

I depositi lacustri del fondovalle Vizze possono essere considerati come un elemento acquiclude, dal momento che la componente limosa prevalente ne determina sicuramente un basso grado di permeabilità.

I depositi di conoide interdigitati lateralmente con i depositi lacustri lungo il fondovalle Vizze sono invece depositi a permeabilità elevata per porosità.

6.4. Piezometria

I dati piezometrici disponibili sono essenzialmente riferibili ai sondaggi citati in precedenza (§ 6.2) e riguardano la situazione del substrato pre-quaternario, che peraltro è anche quella di maggior interesse ai fini dell'opera.

BBT ha attualmente in corso un monitoraggio dei livelli piezometrici eseguito nei predetti sondaggi. I monitoraggi avvengono mensilmente per i sondaggi che non sono attrezzati con lettore automatico, mentre per i sondaggi attrezzati con lettore automatico sono disponibili letture con cadenza oraria.

Ovviamente, per il substrato pre-quaternario non è possibile ricostruire una superficie piezometrica continua, dal momento che si tratta di un contesto fratturato o comunque con zone acquifere molto circoscritte e con geometrie complesse. In sostanza, è possibile ipotizzare che il contesto generale sia caratterizzato

die Umgebung im Allgemeinen durch das Vorhandensein von weitläufigen, gering miteinander verbundenen Flusssystemen gekennzeichnet ist, abgesehen von ebenfalls weitläufigen aktiven konzentrierten Systemen, deren Verbindung allerdings vom Vorhandensein von Störungen mit durchlässigen kataklastischen Zonen herrührt, Zerklüftungssystemen, die von besonderen deformativ-rheologischen Kombinationen der Lithotypen herrühren, die eine persistente hydraulische Verbindung zwischen Trennflächen begünstigen, oder von Situationen, in denen die Auflösungsphänomene Felsvolumen in stattlicher Tiefe betroffen haben.

Die vorhandenen Daten liefern dennoch einige punktuelle Informationen, die dazu dienen, die zu erwartenden Flusssysteme und die möglichen Wasserdrucke auf Tunnelhöhe zu definieren. Insbesondere die Bohrproben der Bohrungen, die sich sehr nah an der Achse der Strecke befinden, bzw. von Nord nach Süd liegen, sind interessant: Vi-B-05, Vi-B-07 und Vi-B-12. Bei diesen drei Bohrungen wurden die Druckwerte, die während der Tests angetroffen wurden, auch grafisch in dem diesem Bericht beiliegenden hydrogeologischen Profil aufgeführt.

Die Bohrung Vi-B-05 hat einen hydrodynamischen Kontext angetroffen, in welchem die Wasserdrucke immer unter der Höhe der topographischen Oberfläche liegen und die mit steigender Überlagerung anwachsen. Die angetroffene Lage ist also ziemlich normal in dem Sinne, dass es nicht so aussieht, als ob Gegenden mit abnormal niedrigem Druck vorhanden sind, interpretierbar als Drainageachsen oder Gegenden mit abnormal hohem Druck, die als Gegenden interpretierbar sind, in denen das Wasser aus tiefen Flusssystemen hochsteigt. Diese Situation könnte aufzeigen, dass die Bohrung einen Bereich durchdrungen hat, in dem keine relevanten Flusssysteme vorhanden sind.

Die Bohrung Vi-B-07 liegt im Pfitschertal und die gemessenen Wasserdrucke sind denen auf der Höhe des Bohrlochs sehr ähnlich, deshalb scheinen sie aufzuzeigen, dass im Schiefer und Marmor des Untergrunds, welches unter der Talsohle vorhanden ist, das Wasserniveau substantiell im Gleichgewicht mit jenem in den quartären Ablagerungen ist. Dies zeigt, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die Flusssysteme im Gestein dieses Bereiches offen sind und in Kommunikation mit dem Aquifer der Talsohle stehen.

Die Daten der Bohrung Vi-B-12 zeigen, dass die Wasserdrucke immer geringer als an der topographischen Oberfläche sind. Das ist kompatibel mit der Position der Bohrung, die auf dem Hang liegt. Es ist zu beachten, dass im Inneren der Abfolge des unreinen Marmors, der im Wesentlichen die ersten 900 m der Bohrung ausmacht (vgl. Absatz 6.2.11) die Wasserdrucke im oberen Bereich der Bohrung, näher an der Oberfläche, geringer sind, während sie nach unten hin steigen. Wenn man betrachtet, dass die Permeabilität

dalla presenza di sistemi di flusso scarsamente interconnessi a grande scala, a meno di sistemi concentrati attivi anche a grande scala ma la cui interconnessione è derivata dalla presenza di faglie con zone cataclastiche permeabili, sistemi di frattura derivanti da particolari combinazioni deformativo-reologiche dei litotipi che favoriscono un collegamento idraulico persistente tra discontinuità, oppure da situazioni in cui i fenomeni di dissoluzione hanno interessato volumi di rocce per profondità consistenti.

I dati disponibili forniscono comunque alcune informazioni a carattere puntuale, utili a definire i sistemi di flusso attesi e i carichi idraulici ipotizzabili a quota tunnel. In particolare risultano particolarmente utili le prove eseguite in sondaggi molto prossimi all'asse del tracciato, ovvero, da nord a sud: Vi-B-05, Vi-B-07, Vi-B-12. Per questi tre sondaggi i valori di carico riscontrati nel corso delle prove sono anche stati riportati graficamente sul profilo idrogeologico allegato alla presente relazione.

Il sondaggio Vi-B-05 ha incontrato un contesto idrodinamico in cui i carichi idraulici sono sempre inferiori alla quota della superficie topografica e risultano crescenti con l'aumentare della copertura. L'assetto riscontrato risulta quindi piuttosto normale, nel senso che non sembrano esistere zone con carico anomalmente basso, interpretabili come assi di drenaggio o zone con carico anomalmente alto, interpretabili come zone di risalita di acque di sistemi di flusso profondi. Questa situazione potrebbe indicare che il sondaggio ha attraversato una zona con assenza di sistemi di flusso rilevanti.

Il sondaggio Vi-B-07 è ubicato nel fondovalle Vizze e i carichi idraulici misurati sono molto prossimi alla quota di bocca foro, pertanto sembrano indicare che nei calcescisti e marmi del substrato presente sotto il fondovalle i livelli d'acqua sono sostanzialmente in equilibrio con quelli della falda dei depositi quaternari. Ciò indica che con buona probabilità i sistemi di flusso in roccia in questo settore sono aperti e in comunicazione con l'acquifero di fondovalle.

I dati del sondaggio Vi-B-12 indicano che i carichi idraulici sono sempre inferiori alla quota della superficie topografica. Ciò è compatibile con la posizione del sondaggio che è collocato nella parte alta del versante. Va poi notato che all'interno della successione di marmi impuri che essenzialmente caratterizzano i primi 900m del sondaggio (cfr. paragrafo 6.2.11) i carichi idraulici sono inferiori nella parte alta del sondaggio, più superficiale, mentre crescono verso il basso. Se si considera che la permeabilità nella parte

im unteren Bereich des Marmorgesteins höher ist als in den höheren Bereichen, kann man nicht ausschließen, dass der untere Bereich des Marmors ein artesisches oder teilweise artesisches Flusssystem beinhaltet.

In den Bereichen der Bohrung, die unter 900 m liegen, verringern sich die Wasserdrucke innerhalb der silikatisch-evaporitischen Schichten weiter; dies aus nicht völlig klaren Gründen

6.5. Quellen

Lt. dem hydrogeologischen Überwachungsprogramm der BBT in der Projektzone gibt es zahlreiche Quellen, deren Lage auf den Unterlagen der hydrogeologischen Überwachung sichtbar ist (Dokumenten: Grundwasser – betroffene Belsatungsquellen, Baustellen und Rezeptoren - Kodex: 74011).

Weitere Einzelheiten bezüglich der Eigenschaften dieser Quellen finden sich in der hydrogeologischen Dokumentation des Einreichprojekts, auf die man bezüglich der spezifischen Behandlung verweist. (GEOTEAM – Brandner, John, Perello, 2008; Bericht G1.1c-01).

In den nachfolgenden Absätzen befindet sich ausschließlich eine Zusammenfassung der Betrachtungen, die während der Untersuchungen für das Einreichprojekts ausgeführt wurden. Hierzu ist daran zu erinnern, dass die Quellen sektorenweise behandelt wurden, da die große Datenmenge eine Gesamtausführung nicht möglich machte. Die Sektoren wurden mit Hilfe von geographischen und lithostratigraphisch-hydrogeologischen Kriterien ausgewählt.

6.5.1. Quellen des Bereichs des Voralpengebiets (Zentralgneis), Untere Schieferhülle und Aigerbach- sowie Seidlwinkl-Formation (Teil Pfitscher Decke)

Der Bereich, der die in diesem Absatz betrachteten Quellen beinhaltet, ist in der Abbildung 1 dargestellt/illustrazione 1: Er umfasst Gewässer unterschiedlicher Herkunft und chemischer Zusammensetzung, wie nachfolgend beschrieben.

bassa del complesso marmoreo è maggiore che nelle parti alte, non si può escludere che la zona inferiore dei marmi ospiti un sistema di flusso confinato o semiconfinato.

Nelle porzioni del sondaggio inferiori ai 900m, all'interno delle successioni silicatico-evaporitiche i carichi idraulici tornano a diminuire, per ragioni non del tutto chiare.

6.5. Sorgenti

Secondo il dettagliato programma di monitoraggio idrogeologico di BBT nell'area di progetto esistono numerose sorgenti, la cui ubicazione è visibile sulla carta carta del monitoraggio idrogeologico (Documento: Acque Ipogee – fonti di impatto, cantieri e ricettori interessati; Codice: 74011).

Maggiori dettagli sulle caratteristiche di queste emergenze possono essere reperiti nella documentazione idrogeologica del Progetto Definitivo, a cui si rimanda per una trattazione specifica. (GEOTEAM – Brandner, John, Perello, 2008; rapporto G1.1c-01).

Nei paragrafi che seguono viene presentata esclusivamente una sintesi delle considerazioni prodotte nel corso degli studi per il Progetto Definitivo. Si ricorda che in quell'ambito le sorgenti erano state trattate per settori, poiché la grande quantità di dati non consentiva una trattazione complessiva. I settori erano stati individuati con criteri geografici e litostratigrafico-idrogeologici

6.5.1. Sorgenti del settore del Basamento prealpino (Gneiss Centrale), Untere Schieferhülle e Formazioni Aigerbach e Seidlwinkl (Falda di Vizze pro-parte)

Il settore includente le sorgenti prese in considerazione nel presente paragrafo è indicato in Illustrazione 1: Esso comprende acque di differente origine e facies chimica, descritte nel seguito. Oltre alle acque delle sorgenti vengono prese in considerazione anche quelle dei sondaggi, maggiormente rappresentative dei sistemi di flusso che saranno incontrati dal tunnel.

dolomitischen Abfolgen als Hauptbestandteile vorkommen, sondern auch, wenn auch in deutlich geringeren Mengen, in den gneissischen und granitischen Gesteinen, die in diesem Bereich stark aufgeschlossen sind. Es handelt sich stets um Wässer mit kurzen Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein und somit um schnelle, vermutlich oberflächige Zirkulationen.

(ii) **Wasser HCO₃-Ca-Mg**, mit Verhältnis Ca/(Ca+Mg) zwischen 0.5 und 0.6, Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) leicht über 0.8 und SIT zwischen 3.1 und 9.4 meq/l; diese hydrochemische Klasse beinhaltet die Stichproben der Quellen 22, 23, 24, 31, 126, 127, 128, 129, 206, 207, 213, 232, 242, 243, 251, 252, 288, 2158 und zwei Stichproben der Bohrung Vi-B-05 (Intervalle 70-76 m und 133-139 m). Es handelt sich um ungewöhnlicheres Wasser verglichen mit den vorherigen Quellen, dessen Herkunft auf die Auflösung von Dolomiten zurückgeht. Auch in diesem Fall handelt es sich um wenig reifes Wasser und daher schnelle Zirkulationen. Einige der Quellen dieses chemischen Typs sind auch vorher schon enthalten, da die Aquifere, die je nach Jahreszeit und Flussintensität in ihrem Inneren von Wassern beider Arten stammen können.

(iii) **HCO₃-SO₄-Ca-(Mg) Wasser** mit niedriger Ionensalinität, 6.1 – 13 meq/L; sie sind vorwiegend im Gleichgewicht bezogen auf Kalzit oder übersättigt. Auch diese hydrochemische Gruppe umfasst vorwiegend Quellenwässer (216, 217, 218, 220, 221, 241 e 256; das S und die Nullen des Codes wurden der Kürzer halber weggelassen). Bezüglich der Lithologien mit denen diese Wässer in Wechselwirkung stehen sowie der geringen Tiefe der ursprünglichen Wasserzirkulationen, sind ähnliche Überlegungen anzustellen wie sie schon bei der vorherigen hydrochemischen Gruppe Anwendung fanden. Für diese Wässer ist eine untergeordnete Wechselwirkung mit evaporitischen Gesteinen möglich.

(iv) **HCO₃-(SO₄)-Ca Wasser** (violette Kreuze, Quellen 282, 284, 303, 331, 332, 420, 554, 557, 566, 2041, 2042, 2149, 3177, 3178 und 3179; das S und die Nullen des Codes wurden der Kürzer halber weggelassen), mit einem Verhältnis Ca/(Ca+Mg) zwischen 0.6 und 0.9, einem Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) zwischen 0.5 und 0.8 und einer Ionensalinität von 2.8 - 10 meq/l; diese hydrochemische Fazies umfasst 37 Proben, was einer prozentualen Häufigkeit von 27.2% entspricht. Ursprung dieser Wässer ist die Lösung von Kalzit und Dolomit, wie oben für die Wässer des Typs HCO₃-Ca erörtert, von denen sie sich jedoch durch die höheren relativen Gehalte an gelöstem Sulfat unterscheiden, das sowohl aus der oxidativen Auflösung von Pyrit als auch aus der kurzzeitigen Wechselwirkung mit eva-

molto meno abbondanti, entro le rocce gneissiche e granitoidi che affiorano ampiamente in quest'area. Si tratta sempre di acque con tempi di interazione acqua-roccia brevi, quindi di circolazioni rapide e verosimilmente superficiali.

(ii) **acque HCO₃-Ca-Mg**, con rapporto Ca/(Ca+Mg) fra 0.5 e 0.6, rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) lievemente maggiore di 0.8 e SIT compresa fra 3.1 e 9.4 meq/L; questa classe idrochimica include i campioni delle sorgenti 22, 23, 24, 31, 126, 127, 128, 129, 206, 207, 213, 232, 242, 243, 251, 252, 288, 2158 e due campioni dal sondaggio Vi-B-05 (intervalli 70-76 m e 133-139 m). Si tratta di acque meno comuni delle precedenti, la cui origine è imputabile a dissoluzione di dolomite. Anche in questo caso sono comunque acque poco mature e quindi relative circolazioni rapide. Alcune delle sorgenti di questo tipo chimico sono incluse anche nel precedente, poiché gli acquiferi che sfruttano, a seconda della stagionalità e della intensità del flusso al loro interno, possono originare acque di entrambi i tipi.

(iii) **acque HCO₃-SO₄-Ca-(Mg)** di salinità ionica bassa, 6.1 – 13 meq/L; sono prevalentemente all'equilibrio con la calcite o sovrassature; poche sono quelle sottosature. Anche questo gruppo idrochimico comprende principalmente acque sorgive (216, 217, 218, 220, 221, 241 e 256; la S e gli 0 del codice sono stati omessi per brevità). Valgono considerazioni analoghe a quelle effettuate per il precedente tipo idrochimico, per quanto riguarda sia le litologie con cui queste acque interagiscono, sia la scarsa profondità dei circuiti idrici di provenienza. E' possibile per queste acque un'interazione subordinata con rocce evaporitiche.

(iv) **acque HCO₃-(SO₄)-Ca** (croci viola, sorgenti 282, 284, 303, 331, 332, 420, 554, 557, 566, 2041, 2042, 2149, 3177, 3178 e 3179; la S e gli 0 del codice sono stati omessi per brevità), con rapporto Ca/(Ca+Mg) fra 0.6 e 0.9, rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) fra 0.5 a 0.8 e SIT di 2.8 - 10 meq/L; in questa facies idrochimica sono compresi 37 campioni per una frequenza percentuale del 27.2%; queste acque si originano per dissoluzione di calcite e dolomite, analogamente a quanto discusso poco sopra per quelle del tipo HCO₃-Ca, ma si differenziano da queste ultime per i maggiori contenuti relativi di solfato disciolto che può derivare sia da dissoluzione ossidativa di pirite, sia da interazione per tempi brevi con litotipi evaporitici. Tra le acque per le quali è più probabile un'interazione mista con litotipi carbonatici ed evapo-

poritischen Lithotypen stammen kann. Zu den Wässern, bei denen eine gemischte Wechselwirkung mit karbonatischen und evaporitischen Lithotypen wahrscheinlicher ist, gehören die Quellen S0331, S0420, S2041, S2042 und S332.

(v) **HCO₃-Na-Ca Wässer**, vertreten durch eine einzige Probe (0.7% der Gesamtheit), die aus der Bohrung Vi-B-05 in 700 m Tiefe entnommen wurde und eine hohe Ionensalinität von 9 meq/l aufweist; der Chemismus dieses Wassers wird hauptsächlich durch die Lösung von Al-Natriumsilikaten bestimmt, die auf der Umwandlung von wässrigem CO₂ in Bikarbonationen und auf eher langen Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein beruht.

(vi) **SO₄-HCO₃-Ca Wässer**, die nur zwei Fälle umfassen: eine Probe stammt aus der Quelle S0331, die andere aus der S0420; sie haben ein Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) von 0.48 und 0.38, Konzentrationen von gelöstem SO₄ von 1.3 und 1.2 mmol/l, entsprechend 126 und 115 mg/l, und eine Ionensalinität von 10 und 7.7 meq/l. Die Werte des Verhältnisses HCO₃/(HCO₃+SO₄) legen nahe, dass der Ursprung dieser Wässer die Auswaschung von gips- und/oder anhydrithaltigen evaporitischen Gesteinen ist. Die Tatsache, dass dieselben Quellen manchmal auch Wässer mit dem Chemismus HCO₃-(SO₄)-Ca schütten (Punkt iv), deutet darauf hin, dass sie Mischungen darstellen, die jedoch stets eher oberflächennahen Systemen angehören.

(vii) **SO₄-Ca-Na Wässer**; Dieser hydrochemische Typ gruppiert die 5 Stichproben der Bohrung Vi-B-06, die folgende Verhältnisse haben: HCO₃/(HCO₃+SO₄) von 0.03 - 0.05, hohe Konzentrationen von gelöstem SO₄ (von 16.1 a 17.2 mmol/l, entsprechend 1550 – 1660 mg/l) und SIT von 76-80 meq/l; als verantwortlich für diese Eigenschaften ist die Lösung von Anhydrit und/oder Gips zu betrachten. Es handelt sich um chemisch sehr reife Wässer, die typisch für tiefe Systeme oder in jedem Fall längere Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein sind.

(viii) **HCO₃-SO₄-Ca Wässer** des Brennerbades (violette Dreiecke in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**; Punkte S0144 und S0153); sind durch Temperaturen von 19 - 22°C und einer Ionensalinität von 12 – 15 meq/L gekennzeichnet. Meistens sind sie übersättigt (72%) oder im Gleichgewicht bezüglich des Kalzits (28%) und nie untersättigt. Sie unterscheiden von den vorherigen durch das höhere Ca/Mg Verhältnis. Es handelt sich sicherlich um Wässer die im Vergleich zu den vorherigen Gruppen durch längere Wechselwirkungen zwischen Wasser und Gestein gekennzeichnet sind.

Für diese besonders wichtigen und hydrogeologisch eigentümlichen Quellen lohnt es sich, einige weitere Bemerkungen zu machen.

ritici si segnalano le sorgenti S0331, S0420, S2041, S2042 e S332. Si tratta comunque sempre di acque relative a sistemi di flusso superficiali.

(v) **acque HCO₃-Na-Ca**, rappresentate da un solo campione (0.7% del totale) raccolto dal sondaggio Vi-B-05 a 700 m di profondità, che presenta una SIT alta di 9 meq/L; il chimismo di quest'acqua è principalmente determinato dalla dissoluzione di Al-silicati sodici governata da conversione di CO₂ acquosa in ione bicarbonato e da tempi di interazione acqua-roccia piuttosto lunghi.

(vi) **acque SO₄-HCO₃-Ca**, comprendenti due soli casi: uno proviene dalla sorgente S0331, l'altro dalla S0420; essi hanno rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) di 0.48 e 0.38, concentrazioni di SO₄ disciolto di 1.3 e 1.2 mmol/L, corrispondenti a 126 e 115 mg/L, e SIT di 10 e 7.7 meq/L; i valori del rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) suggeriscono che le acque di questo tipo abbiano origine per lisciviazione di rocce evaporitiche contenenti gesso e/o anidrite. Il fatto che le medesime sorgenti scarichino talora anche acque a chimismo HCO₃-(SO₄)-Ca (punto iv) indica che esse rappresentano delle miscele, sempre relative a sistemi piuttosto superficiali.

(vii) **acque SO₄-Ca-Na**; questo tipo idrochimico raggruppa i 5 campioni del sondaggio Vi-B-06 che hanno rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) di 0.03 - 0.05, elevate concentrazioni di SO₄ disciolto (da 16.1 a 17.2 mmol/L, pari a 1550 – 1660 mg/L) e SIT di 76-80 meq/L; la dissoluzione di anidrite e/o gesso è da ritenere responsabile di queste caratteristiche. Si tratta di acque chimicamente molto mature e tipiche di sistemi profondi, o comunque di tempi di interazione acqua-roccia prolungati.

(viii) **acque HCO₃-SO₄-Ca** delle Terme di Brennero (triangoli viola in Illustrazione 2; punti S0144 e S0153); sono caratterizzate da temperatura di 19 - 22°C e salinità ionica di 12 – 15 meq/L. Sono per lo più sovrassature in calcite (72 %) o all'equilibrio con essa (28%), mai sottosature. Si distinguono dalle precedenti per il rapporto Ca/Mg più elevato. Si tratta sicuramente di acque con tempi di interazione acqua-roccia maggiori rispetto a quelli dei gruppi precedenti.

Per queste sorgenti particolarmente importanti e peculiari dal punto di vista idrogeologico vale la pena riportare alcune considerazioni aggiuntive.

Die Diagramme zeigen eine ziemlich bedeutende Schwankung (Abbildung 2:) in der Zusammensetzung auf, die als Ergebnis von Mischprozessen zwischen einem oder mehreren tiefen und stärker mineralisierten *end-member* und einem wenig mineralisierten und mit oberflächlichen Zirkulationen verbundenen *end-member* interpretiert wurde. Die Zusammensetzung des wenig mineralisierten *end-members*, die auf Basis der Diagramme angenommen wurde, stimmt mit der Zusammensetzung einer Menge von Wässern dieses Sektors überein, die sich an der Verlängerung der niedrigen Konzentrationen, relativ zu den genannten Wässern befinden. Außer der kalten und oberflächlichen Wässer wurden als mögliche, wenig mineralisierte *end-members* auch relativ warme, tiefe Wässer in Betracht gezogen, ähnlich der Wässer der Bohrung Gr-B-01, die innerhalb der Hochstegenmarmoren im Venntal, kurz nördlich der Staatgrenze, entnommen wurden.

Die anhand der verfügbaren Daten durchgeführten Studien erlaubten es bis dato nicht, die reine Zusammensetzung des mineralisiertesten *end-members* festzustellen, da keine von den analysierten Wässern des Gebietes, oder auch aus den anliegenden Zonen, Zusammensetzungen aufweist, die mit den erwarteten übereinstimmen. Laut den Hypothesen im Bericht G4-1a-01 ist dies durch die Zugehörigkeit dieser Wässer zu einem ziemlich komplexen Aquifersystem, welches zusätzlich zu den gesicherten Wechselwirkungen mit kalkhaltigen Gesteinen auch noch solche mit andersartigen Lithotypen vorsieht, bedingt.

Trotz dieser Besonderheit des möglichen, mineralisierteren *end-members*, zeigte die durchgeführte Studie das Vorhandensein einer Wassergruppe, die zusammen mit jener des Brennerbads eine Entwicklungstendenz darzustellen scheint. Es handelt sich, mit zunehmenden Werten der gelösten Ionen, um die Wässer: 216-218, (Larchof quellen), Vi-B-09, 220-221 (Oettlquellen; diese Quelle wird im Detail im folgenden Sektor besprochen) (siehe Abbildung 2:). Die Wässer des Brennerbades würden das entwickeltste *end-member* dieser Tendenz darstellen, was das Vorhandensein von einer einzigen Zirkulation für alle diese Wässer oder die Wechselwirkung mit derselben Lithofazies zeigen würde.

Interessante Ergebnisse stammen von den Isotopen-Geochemie Untersuchungen über die in den Wässern gelösten Sr Isotope. Die drei Quellen, welche die Entwicklungstendenz darstellen, zeigen ein ähnliches $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Verhältnis, das zwischen 0,7085 und 0,7089 liegt. Außerdem zeigen innerhalb dieser Gruppe die Wässer des Brennerbades den niedrigsten Wert (0,7085) und allgemein einen der niedrigsten aller untersuchten Quellen. Nur Wässer, die von Systemen in den Bündnerschiefern stammen, zeigen ähnliche oder leicht niedrigere Verhältnisse. Alle anderen untersuchten Wässer, die innerhalb des Grundgebirges oder in

I diagrammi evidenziano una variabilità composizionale piuttosto consistente (es. Illustrazione 2:) che è stata interpretata come il prodotto di processi di miscelamento tra uno o più *end-member* profondi e più mineralizzati e un *end-member* poco mineralizzato legato a circolazioni superficiali. La composizione dell'*end-member* meno mineralizzato, ipotizzato sulla base dei diagrammi, è compatibile con la composizione di un gran numero di acque presenti in questo settore e ubicate lungo il prolungamento a basse concentrazioni dell'allineamento individuato dai punti relativi alle acque in questione. Va comunque precisato che oltre alle acque fredde e superficiali possono essere indicate tra i possibili *end-member* poco mineralizzati anche acque profonde e sub-termali del tipo di quelle del sondaggio Gr-B-01 intercettate all'interno dei Marmi di Hochstegen nella Valle del Venn, poco a N del Confine di Stato.

Gli studi condotti sui dati disponibili non hanno sino ad ora consentito di individuare la composizione pura dell'*end-member* più mineralizzato poiché nessuna delle acque esaminate nella regione, o anche in quelle limitrofe, presenta composizioni compatibili con quelle attese. Ciò è dovuto secondo quanto ipotizzato nel Rapporto G4-1a-01 all'appartenenza di tali acque ad un sistema acquifero piuttosto complesso che prevederebbe l'interazione con diversi litotipi oltre quella, certa, con rocce carbonatiche.

Nonostante questa peculiarità del possibile *end-member* maggiormente mineralizzato lo studio idrogeologico e idrochimico ha evidenziato l'esistenza di un gruppo di acque, presenti in Val di Vizze, che assieme a quelle di Terme del Brennero definirebbero una tendenza evolutiva. Le sorgenti facenti parte di questo trend sono, per valori della concentrazione di specie disciolte crescente: 216-218 (Larchof quellen), Vi-B-09, 220-221 (Oettlquellen; questa sorgente sarà discussa in dettaglio nel settore seguente) (vedi Illustrazione 2:). Le acque di Terme del Brennero rappresenterebbero l'*end-member* più evoluto di tale tendenza che indicherebbe la presenza di un unico circuito per l'insieme di queste acque o l'interazione con le medesime litofacies.

Risultati interessanti sono emersi dalle indagini di geochimica isotopica ed inerenti agli isotopi dello Sr disciolto nelle acque (G4.1g-01, contratto D0104). Le tre sorgenti che individuano la tendenza evolutiva hanno tutte rapporto $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ molto simile e compreso tra 0,7085 e 0,7089. Inoltre le acque di Terme del Brennero sono quelle che hanno il rapporto più basso all'interno del gruppo (0,7085) e in generale tra i più bassi per le sorgenti esaminate. Solo le acque provenienti da sistemi in calcescisti hanno rapporti simili o leggermente più bassi. Tutte le altre acque esaminate, circolanti in basamento o in livelli evaporati-

evaporitischen Lagen zirkulieren, zeigen höhere Isotopen-Verhältnisse ($>0,7095$). Es ist wichtig anzumerken, dass auch die Wässer, die innerhalb der Hochstegenmarmore zirkulieren, deutlich höhere Isotopen-Verhältnisse ($>0,7095$) aufzuweisen scheinen: diese Tatsache schließt die Möglichkeit aus, dass diese Lithotypen das vorwiegende Fließsystem beherbergen.

Die Analyse von ^{18}O zeigte mittlere Versickerungskosten von 2000-2050m (G2z04-2.i, Vertrag D0054).

tici, presentano rapporti isotopici superiori ($>0,7095$). E' importante notare che anche le acque circolanti all'interno dei marmi di Hochstegen sembrerebbero avere rapporti isotopici nettamente superiori ($>0,7095$) che escluderebbero la possibilità che questi litotipi costituiscano il sistema acquifero principale.

L'analisi dell' ^{18}O hanno evidenziato quote medie di infiltrazione di 2000-2050m (G2z04-2.i, contratto D0054).

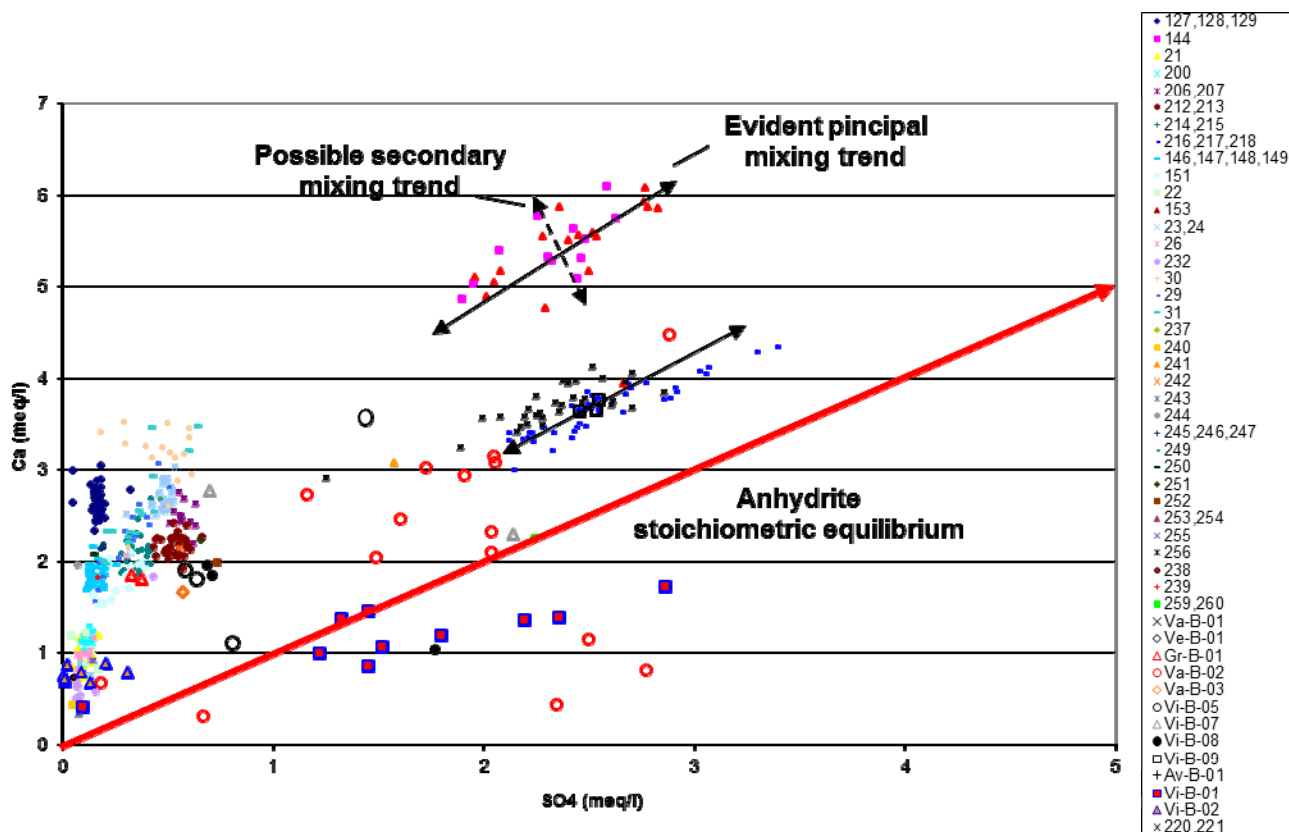


Abbildung 2: Detail des Diagramms Ca^{2+} vs. SO_4^{2-} der vorherigen Abbildung, für die Quellen im Sektor des prä-alpinen Grundgebirges und der Unteren Schieferhülle.

Illustrazione 2: Diagramma Ca^{2+} vs. SO_4^{2-} per le sorgenti del settore del basamento prealpino e Untere Schieferhülle.

6.5.2. Quellen des Schiefersektors der Pfitscher Decke und der Glockner Decke

Auch in diesem Bereich, ebenso wie im vorangegangenen, führen die Quellen Wasser unterschiedlicher Zusammensetzung, wie nachfolgend beschrieben. Außer den Quellwässern werden auch kurz die Gewässer bezüglich der Stichproben der tiefen Bohrungen angesprochen, welche nützliche Informationen liefern, um die Situation, die im Tunnel angetroffen wird, zu verstehen. Abbildung 3 zeigt die Ausdehnung des betrachteten Bereichs

6.5.2. Sorgenti del settore dei calcescisti della Falda di Vizze e Falda el Glockner

Anche in questo settore, come nel precedente le sorgenti scaricano acque di varia composizione descritte nel seguito. Oltre alle acque delle sorgenti verranno brevemente ricordate anche le acque relative ai campionamenti dei sondaggi profondi, che forniscono informazioni utili per coprendere la situazione che sarà incontrata dalla galleria. L'illustrazione 3: mostra l'estensione del settore considerato.

sung von Kalzit und Dolomit; diese Minerale kommen sowohl in den Bündnerschiefern als auch in den damit verbundenen Marmoren häufig vor.

(ii) **HCO₃-Ca-Mg Wässer** (Quellen 154, 155, 156, 157, 158, 160, 164, 165, 166, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 199, 228, 229, 236, 2066, 3084, 3087, 3102, 3103, 3104 und zwei Proben der Bohrung Vi-B-05/04 in den Tiefen 70-76 und 133-139; das S und die Nullen des Codes wurden der Kürzer halber weggelassen), mit einem Verhältnis Ca/(Ca+Mg) von 0.5 - 0.6, einem Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) über 0.8 und einer Ionensalinität von 4.6 - 7.4 meq/l; zu dieser hydrochemischen Fazies gehören nur 12 Proben (6.1% der Gesamtheit). Diese Wässer, die sehr viel seltener als die des vorangehenden Typs sind, entstehen durch Lösung von Dolomit. Es handelt sich in jedem Fall um Wässer, die zu kurzen und schnellen Fließsystemen gehören.

(iii) **HCO₃-Mg-Ca Wässer** (Quellen 161, 162, 163, 166, 173, 174, 274, 309, 311, 3037, 3063 und 3064; das S und die Nullen des Codes wurden der Kürzer halber weggelassen), mit einem Verhältnis Ca/(Ca+Mg) von 0.3 - 0.5, einem Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) über 0.7 und einer Ionensalinität von 9.6 - 20 meq/l. Der Ursprung dieser Gewässer wird allgemein der Interaktion von Metabasiten und Serpentinitten zugeschrieben, welche in die Schiefer-schichten in begrenzter Ausdehnung eingeschaltet sind und die von Flusssystemen gekreuzt werden könnten, die sich entlang der Störungen befinden. Diese Wässer gehören meistens zu schnellen Zirkulationen; die Quellen S3037, S3063 und S3064 zeigen jedoch eine höhere chemische Reife als die anderen, was auf relativ gesehen längere Zirkulationen hindeutet.

(iv) **HCO₃-(SO₄)-Ca Wässer** (Quellen 299, 325, 327, 552, 553, 559, 560, 561, 562, 2061, 2063, 3182 und Bohrungen Vi-B-08 (Tiefe 428 - 448 m und 447 - 467 m) und Vi-B-09 (Tiefe 260 - 280 m, 280 - 300 m und 320 - 340 m); das S und die Nullen des Codes wurden der Kürze halber weggelassen), mit einem Verhältnis Ca/(Ca+Mg) von 0.6 - 0.9, einem Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) von 0.5 - 0.8 und einer Ionensalinität von 5.1 - 12 meq/l. Der Ursprung dieser Wässer beruht auf der Lösung von Kalzit und Dolomit (zur Erklärung der Entstehung der HCO₃-Ca Wässer herangezogener Prozess); darüber hinaus muss die oxidative Auflösung von Pyrit (zumindest für den überwiegenden Teil der betrachteten Proben) in Betracht gezogen werden, um die relativ hohen Gehalte an gelöstem Sulfat zu erklären, die diese hydrochemische Fazies kennzeichnen. Die Proben der Bohrungen Vi-B-08 und Vi-B-09 und der Quellen S0561 und S0562 deuten dagegen auf eine wahrscheinliche Auswaschung von Evaporiten hin. Es handelt sich in jedem Fall um Wässer, die zu relativ schnellen und meistens oberflächennahen Fließsystemen gehören.

(v) **HCO₃-(SO₄)-Ca-Mg Wässer** (Quellen 275, 290, 319, 323, 324, 328, 552 und 556; das S und die Nullen

sia nei calcescisti, che nei marmi ad essi associati.

(ii) **acque HCO₃-Ca-Mg** (sorgenti 154, 155, 156, 157, 158, 160, 164, 165, 166, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 199, 228, 229, 236, 2066, 3084, 3087, 3102, 3103, 3104 e due campioni del sondaggio Vi-B-05/04 alle profondità 70-76 e 133-139; la S e gli 0 del codice delle sorgenti sono stati omessi per brevità), con rapporto Ca/(Ca+Mg) di 0.5 - 0.6, rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) maggiore di 0.8 e SIT di 4.6 - 7.4 meq/L; in questa facies idrochimica sono compresi solamente 12 campioni (6.1% del totale); queste acque, molto più rare di quelle del tipo precedente, si generano per dissoluzione di dolomite. Si tratta comunque di acque appartenenti a sistemi brevi e rapidi.

(iii) **acque HCO₃-Mg-Ca** (sorgenti 161, 162, 163, 166, 173, 174, 274, 309, 311, 3037, 3063 e 3064; la S e gli 0 del codice sono stati omessi per brevità), con rapporto Ca/(Ca+Mg) di 0.3 - 0.5, rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) maggiore di 0.7 e SIT di 9.6 - 20 meq/L. La genesi di queste acque è generalmente attribuita ad interazione con metabasiti e serpentiniti, che si trovano intercalati nei calcescisti come corpi di limitata estensione e che potrebbero essere intercettati da sistemi di flusso che si impostano lungo le faglie. Queste acque sono perlopiù relative a circolazioni rapide, tuttavia le sorgenti S3037, S3063 e S3064 mostrano una maturità chimica superiore alle altre, indicando circuiti relativamente più lunghi.

(iv) **acque HCO₃-(SO₄)-Ca** (sorgenti 299, 325, 327, 552, 553, 559, 560, 561, 562, 2061, 2063, 3182 e sondaggi Vi-B-08 (profondità 428 - 448 m e 447 - 467 m) e Vi-B-09 (profondità 260 - 280 m, 280 - 300 m e 320 - 340 m); la S e gli 0 del codice delle sorgenti sono stati omessi per brevità), con rapporto Ca/(Ca+Mg) di 0.6 - 0.9, rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) di 0.5 - 0.8 e SIT di 5.1 - 12 meq/L. L'origine di queste acque è dovuta alla dissoluzione di calcite e dolomite (processo invocato per spiegare la genesi delle acque HCO₃-Ca) oltre alla quale è necessario considerare la dissoluzione ossidativa di pirite (almeno per la maggior parte dei campioni considerati), per spiegare i contenuti di solfato disciolto relativamente elevati che caratterizzano questo tipo idrochimico. I campioni dei sondaggi Vi-B-08, Vi-B-09 e delle sorgenti S0561 e S0562 indicano invece una probabile lisciviazione di evaporiti. Si tratta comunque sempre di acque riferibili a sistemi di flusso relativamente rapidi e perlopiù superficiali.

(v) **acque HCO₃-(SO₄)-Ca-Mg** (sorgenti 275, 290, 319, 323, 324, 328, 552 e 556; la S e gli 0 del codice

len des Codes wurden der Kürze halber weggelassen) mit Verhältnissen $\text{HCO}_3/(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$ von 0.5 - 0.8, die mit denen des vorangehenden Typs vergleichbar sind, sich jedoch im Verhältnis $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ unterscheiden, das bei 0.5 - 0.6 liegt. Die Ionensalinität variiert zwischen 8.4 und 14 meq/l. Die Entstehung dieser Wässer ist auf die Lösung von Dolomit und die oxidative Auflösung von Pyrit zurückzuführen, teilweise kombiniert mit der Lösung von Evaporiten (S0275, S0250). Es handelt sich auf jeden Fall um Systeme, die auf ziemlich schneller und oberflächlicher Zirkulation basieren.

(vi) **HCO₃-Ca-Na Wässer**, repräsentiert durch 5 Proben, von denen 1 (Ionensalinität = 9.1 meq/l) aus der Bohrung Vi-B-07 (286 - 315 m) entnommen wurde, während die anderen 4 aus der Bohrung Vi-B-02 stammen. Sie weisen eine sehr geringe Ionensalinität (2.1 - 2.4 meq/l) und Gehalte an gelöstem Sulfat <0.5 - 2.2 mg/l auf, wahrscheinlich aufgrund der durch Bakterien vermittelten Reduktion des Sulfats. Es handelt sich um Wässer, die sowohl durch die Lösung von karbonatischen Mineralien als auch durch die Lösung von Al-Silikaten aufgrund der Umwandlung von wässrigem CO₂ in Bikarbonationen gekennzeichnet sind. Sie können auf Flusssysteme mit nicht besonders langen Interaktionszeiten bezogen sein, aber auf jeden Fall länger als bei den vorherigen hydrochemischen Typen.

(vii) **HCO₃-(SO₄)-Na-Ca Wässer** umfassen 4 Proben aus den Bohrungen Vi-B-01 (240 m), Vi-B-05 (700 m), Vi-B-07 (442 - 471 m) und Vi-B-08 (487 - 530 m). Ihre Salinität liegt zwischen 4.6 und 15 meq/l; der Ursprung der Wässer dieser Fazies beruht in erster Linie auf der Lösung von Al-Silikaten aufgrund der Umwandlung von wässrigem CO₂ in Bikarbonationen, während das gelöste Sulfat (38.6 - 103 mg/l) wahrscheinlich auf der Lösung von Evaporiten beruht. Es handelt sich um Wässer mit mittlerer Reife und überdurchschnittlichen Wechselwirkungszeiten Wasser/Gestein der Quellen.

(viii) **SO₄-HCO₃-Na-Ca Wässer** wurden nur in der Bohrung Vi-B-01 (bei 240 m) gefunden und werden nur durch 3 Proben repräsentiert, die erheblichen Unterschiede bei der Ionensalinität (8.5 - 22 meq/l) und recht ausgeprägten Unterschiede in der Zusammensetzung zeigen, die zumindest teilweise auf Vermischung zurückzuführen sind. Die SO₄-Konzentration erreicht einen Spitzenwert von 415 mg/l, dem der mit 0.14 kleinste Wert für das Verhältnis $\text{HCO}_3/(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$ entspricht. Diese Parameter deuten auf Wechselwirkungen mit evaporitischen Gesteinen hin. Die in diesen Wässern vorkommende HCO₃-Na-Komponente beruht dagegen auf der Lösung von Al-Silikaten aufgrund der Umwandlung von wässrigem CO₂ in Bikarbonationen. Wie beim vorhergehenden chemischen Typ handelt es sich auch in diesem Fall um Wasser mit mittlerer Reife und Interaktionszeiten zwischen Wasser und Gestein, die über dem Durchschnitt für Quellen liegen

sono stati omessi per brevità); hanno rapporti $\text{HCO}_3/(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$ di 0.5 - 0.8, confrontabili con quelli del tipo precedente, ma se ne differenziano per il rapporto $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$, che è compreso fra 0.5 - 0.6; la SIT varia fra 8.4 e 14 meq/L. La genesi di queste acque è da riferire alla dissoluzione di dolomite e alla dissoluzione ossidativa di pirite, talora associata a dissoluzione di evaporiti (S0275, S0250). Si tratta comunque di sistemi riferibili a circolazioni piuttosto rapide e superficiali.

(vi) **acque HCO₃-Ca-Na**, sono rappresentate da 5 campioni, di cui 1 (SIT = 9.1 meq/L) è stato prelevato dal sondaggio Vi-B-07 (286 - 315 m), mentre gli altri 4 provengono dal sondaggio Vi-B-02, hanno una SIT molto bassa (2.1 - 2.4 meq/L) e contenuti di solfato disciolto <0.5 - 2.2 mg/L, possibilmente dovuti a riduzione del solfato mediata da batteri; si tratta di acque che risentono sia di dissoluzione di minerali carbonatici, sia di dissoluzione di Al-silicati governata da conversione di CO₂ acquosa in ione bicarbonato. Possono essere riferite a sistemi di flusso con tempi di interazione non particolarmente prolungati, ma comunque più lunghi che per i tipi idrochimici precedenti.

(vii) **acque HCO₃-(SO₄)-Na-Ca**, comprendono 4 campioni provenienti dai sondaggi Vi-B-01 (240 m), Vi-B-05 (700 m), Vi-B-07 (442 - 471 m) e Vi-B-08 (487 - 530 m), la cui salinità è compresa fra 4.6 e 15 meq/L; l'origine delle acque di questa facies è dovuta, in primo luogo, alla dissoluzione di Al-silicati controllata da conversione di CO₂ acquosa in ione bicarbonato, mentre il solfato disciolto (38.6 - 103 mg/L) probabilmente dovuto a dissoluzione di evaporiti. Si tratta di acque con maturità intermedia e tempi di interazione acqua - roccia superiori alla media delle sorgenti.

(viii) **acque SO₄-HCO₃-Na-Ca**, sono state incontrate unicamente nel sondaggio Vi-B-01 (a 240 m) e sono rappresentate da 3 campioni solamente, che mostrano notevoli differenze di SIT (8.5 - 22 meq/L) e variazioni composizionali abbastanza marcate, imputabili almeno in parte a miscelamento; la concentrazione di SO₄ raggiunge un valore massimo di 415 mg/L, a cui corrisponde il valore minimo del rapporto $\text{HCO}_3/(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$, 0.14; questi parametri indicano il verificarsi di interazione con rocce evaporitiche; la componente HCO₃-Na presente in queste acque ha invece origine per dissoluzione di Al-silicati controllata da conversione di CO₂ acquosa in ione bicarbonato. Come per il tipo chimico precedente anche in questo caso si tratta di acque con maturità intermedia e tempi di interazione acqua-roccia superiori alla media delle sorgenti.

(ix) **SO₄-HCO₃-Ca Wässer** werden durch 4 Proben repräsentiert (2% der Gesamtheit), die aus der Quelle S0312 entnommen wurden; diese Wässer haben ein Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) von 0.22 - 0.24, ein Verhältnis Ca/(Ca+Mg) von 0.72 - 0.73, Konzentrationen von gelöstem SO₄ von 714 - 765 mg/l und eine Ionensalinität von 39 - 41 meq/l. Die Werte all dieser Parameter deuten darauf hin, dass die Wässer dieses Typs durch Lösung von Gips und/oder Anhydrit entstehen, die in evaporitischen Gesteinen enthalten sind. Es handelt sich in jedem Fall um eine Quelle mit relativ langen Wechselwirkungszeiten zwischen Wasser und Gestein und somit um eine eher tiefe Quelle.

Demselben chemischen Typ, wenn auch mit einer höheren Magnesiumkomponente, können auch die beiden Quellen S0177 und S0176 zugewiesen werden, welche jedoch einen geringeren ionische Salzgehalt aufweisen, variabel zwischen 24.5 und 30.7 meq/l, und die somit wahrscheinlich auf weniger lange Flusssysteme zurückzuführen sind

(x) **SO₄-Ca-Na Wässer**; diese hydrochemische Fazies umfasst nur 2 Proben, die aus der Bohrung Av-B-01 entnommen wurden (in Tiefen von 308.4 - 313.98 m und 328 - 333.58 m). Das niedrige Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) von 0.1, die hohen Konzentrationen von gelöstem SO₄ (9.76 bis 10.3 mmol/l, entsprechend 938 - 991 mg/l) und die hohe Ionensalinität von 45 - 47 meq/l spiegeln eindeutig die Lösung von Anhydrit und/oder Gips wider. Diese Wässer haben prozentuale Konzentrationen von Na(+K) von 17.0 - 18.4 %, von HCO₃ von 9.7 - 9.9 % und von Cl von 2.2 - 3.9 %, wobei die Lösung von Natriumchlorid nahezu unbedeutend ist. Die gelösten Alkalimetalle stammen fast vollständig aus der Lösung von Al-Silikaten. Darüber hinaus ist auf die Ausfällung von Kalzit hinzuweisen, da die Alkali nicht nur durch Bikarbonat, sondern auch durch Natrium ausgeglichen werden. Es handelt sich offensichtlich um chemisch eher reife Wässer, dennoch mit längeren Interaktionszeiten Wasser-Gestein als jenen der Systeme, die die Quellen speisen.

6.5.3. Quellen des Abschnitt des Ostalpins

Die geochemische Variabilität der austroalpinen Gewässer ist weniger bedeutend als die beiden vorherigen Bereiche. Die unterschiedlichen Gewässertypen werden nachfolgend beschrieben

(ix) **acque SO₄-HCO₃-Ca**, sono rappresentate da 4 campioni (2% del totale), prelevati dalla sorgente S0312; queste acque hanno rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) di 0.22 - 0.24, rapporto Ca/(Ca+Mg) di 0.72 - 0.73, concentrazioni di SO₄ disciolto di 714 - 765 mg/L, e SIT di 39 - 41 meq/L; i valori di tutti questi parametri indicano che le acque di questo tipo si originano per dissoluzione di gesso e/o anidrite contenuti entro rocce evaporitiche che, nel caso della sorgente S0312. Si tratta comunque di una sorgente con tempi di interazione acqua-roccia relativamente lunghi e quindi verosimilmente riferibile a un sistema di flusso piuttosto profondo.

Al medesimo tipo chimico, seppur con una maggior componente magnesiacca, possono essere riferite anche le due sorgenti S0177 e S0176, che però hanno una salinità ionica minore, variabile da 24.6 a 30.7 meq/l e che quindi sono verosimilmente riferibili a sistemi di flusso meno lunghi.

(x) **acque SO₄-Ca-Na**; questa facies idrochimica comprende solamente 2 campioni prelevati dal sondaggio Av-B-01 (dalle profondità di 308.4 - 313.98 m e 328 - 333.58 m); il basso rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄), 0.1, le elevate concentrazioni di SO₄ disciolto (da 9.76 a 10.3 mmol/L, corrispondenti a 938 - 991 mg/L) e l'alta SIT, di 45 - 47 meq/L, rispecchiano chiaramente la dissoluzione di anidrite e/o gesso; queste acque hanno concentrazioni percentuali di Na(+K) del 17.0 - 18.4 %, di HCO₃ % del 9.7 - 9.9 % e di Cl del 2.2 - 3.9 %; essendo la dissoluzione di cloruro sodico quasi insignificante, i metalli alcalini disciolti sono contribuiti quasi interamente da dissoluzione di Al-silicati; è necessario inoltre invocare la precipitazione di calcite poiché gli alcali sono bilanciati non solo dal bicarbonato ma anche dal solfato. Si tratta ovviamente di acque piuttosto mature chimicamente, comunque relative a tempi di interazione acqua-roccia più lunghi di quelli dei sistemi che alimentano le sorgenti.

6.5.3. Sorgenti del settore dell'Australpino

La variabilità geochemica delle acque dell'Australpino è meno rilevante che per i due settori precedenti. I diversi tipi di acque sono descritti nel seguito.

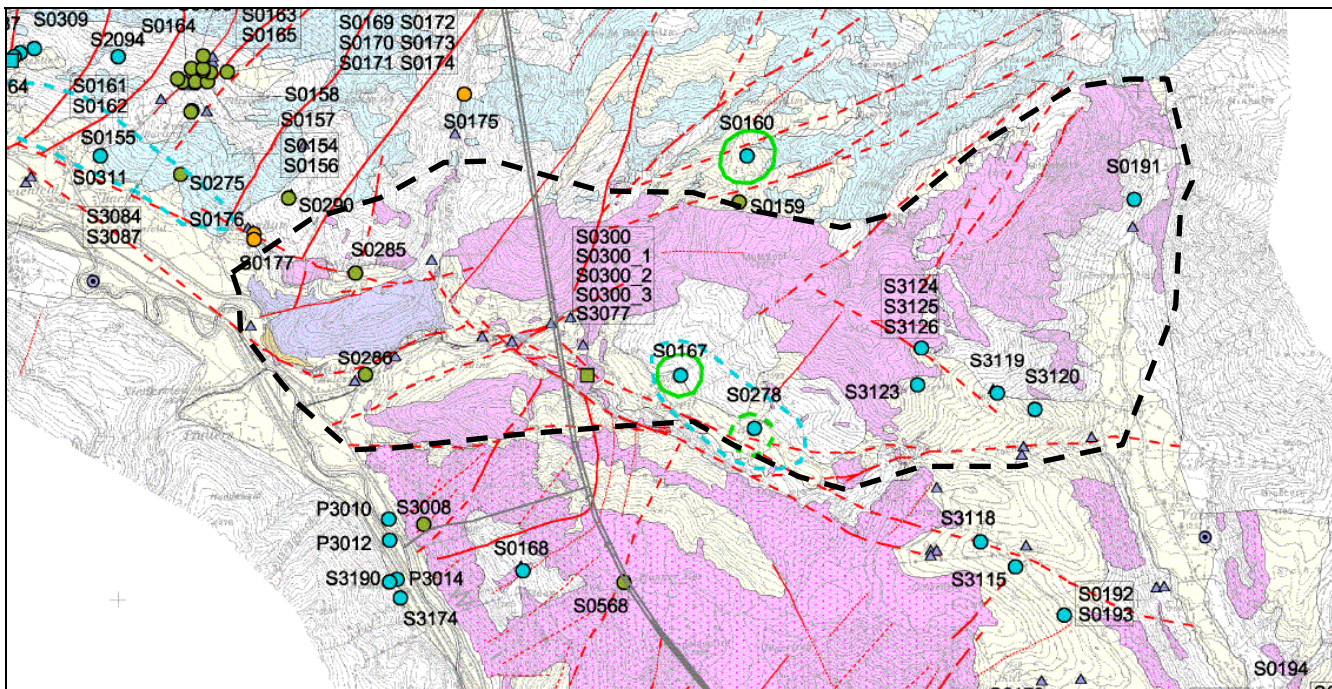


Abbildung 4: Auszug der hydrogeologischen Karte bezüglich des Risikos für die Quellen, als Anlage an die Untersuchungen der Phase II (GEOTEAM - Brandner, John, Perello 2008). Kreise = gefasste Quellen, Quadrate = nicht gefasste Quellen, Dreiecke = Quellen, bei denen die Verwendung nicht bekannt ist. Blau = Risiko des Versiegens sehr niedrig bis nicht vorhanden, Grün = Risiko des Versiegens niedrig, Orange = Risiko des Versiegens mittel, Rot = Risiko des Versiegens hoch.

(i) **HCO₃-Ca Wasser** (Quellen 285, 300, 3077, 3119, 3120, 3123, 3124, 3125, 3126; das S und die Nullen des Codes wurden der Kürze halber weggelassen); sie weisen ein Verhältnis Ca/(Ca+Mg) zwischen 0.72 und 0.94, ein Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) von im Allgemeinen über 0.8 und eine variable Ionensalinität zwischen 0.62 und 6.6 meq/l auf. Der Ursprung dieser Gewässer ist auf das Auflösen von Calcit zurückzuführen, sowie auf oberflächliche und schnelle Zirkulation deren Entstehung auf die Lösung von Kalzit und auf oberflächennahe und schnelle Zirkulationen zurückzuführen ist. Es ist in der Tat wahrscheinlich, dass die Silikatgesteine, die im untersuchten Gebiet fast überall aufgeschlossen sind, geringe Mengen dieser Phase enthalten, die jedoch ausreichen würden, um den Chemismus vieler Regenwässer durch seine hohe Lösungskinetik zu beeinflussen.

(ii) **HCO₃-Ca-Mg Wasser**; sie weisen ein Ca²⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) Verhältnis zwischen 0.7 und 0.87 und eine niedrige Ionen-Salinität (0.87 – 4.7 meq/L) auf; 98% dieser Wässer sind in Bezug des Kalzitgehaltes untergesättigt und die A_{Kalzit} stimmt mit der Summe der Konzentrationen von HCO₃⁻ und SO₄²⁻

Illustrazione 4: Stralcio della carta idrogeologica del rischio per le sorgenti allegata agli studi della Fase II (GEOTEAM – Brandner, John, Perello, 2008). Cerchi = sorgenti captate, quadrati = sorgenti non captate, triangoli = sorgenti per le quali non è noto l'utilizzo. Blu = rischio di isterilimento da molto basso a nullo, verde = rischio di isterilimento basso, arancione = rischio di isterilimento medio, rosso = rischio di isterilimento alto.

(i) **acque HCO₃-Ca** (sorgenti, 285, 300, 3077, 3119, 3120, 3123, 3124, 3125, 3126; la S e gli 0 del codice sono stati omessi per brevità); mostrano rapporto Ca/(Ca+Mg) tra 0.72 e 0.94, rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) generalmente maggiore di 0.8 e SIT variabile fra 0.62 e 6.6 meq/L; La genesi di queste acque è da imputare a dissoluzione di calcite e a circolazioni superficiali e veloci; in effetti, è probabile che le rocce silicatiche che affiorano quasi ovunque nell'area in esame contengano piccole quantità di questa fase, che sarebbero però sufficienti per condizionare il chimismo di molte acque meteoriche a causa della sua elevata cinetica di dissoluzione.

(ii) **acque HCO₃-Ca-Mg**; hanno rapporto Ca²⁺/(Ca²⁺+Mg²⁺) compreso fra 0.7 e 0.87 e salinità ionica bassa (0.87 – 4.7 meq/L); il 98 % di esse è sottosaturato in calcite e la A_{calcite} è ben correlata con la somma delle concentrazioni di HCO₃⁻ e SO₄²⁻. Esse provengono dalle sorgenti 159, 167, 191 (la S e gli 0

überein. Sie stammen von den Quellen 159, 167, 191 (das S und die Nullen des Codes wurden der Kürze halber weggelassen). Wie im vorhergehenden Fall handelt es sich um Wasser von kurzen und oberflächlichen Flusssystemen

(iii) **HCO₃-(SO₄)-Ca Wasser** (Quellen 159, 167, 278, 285, 286, 300, 301; das S und die Nullen des Codes wurden der Kürze halber weggelassen); sie haben ein Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄) von 0.54 - 0.80, ein im Allgemeinen variables Verhältnis Ca/(Ca+Mg) zwischen 0.75 und 0.93 und eine Ionensalinität von im Allgemeinen zwischen 0.53 und 6.4 meq/l. Auch die chemischen Eigenschaften dieser Wässer beruhen hauptsächlich auf der Lösung von Kalzit, das vermutlich in geringen Mengen im kristallinen Gestein enthalten ist. Die im Vergleich zu den Wässern der Gruppe (i) höheren Konzentrationen von gelöstem Sulfat sind der oxidativen Auflösung von Pyrit zuzuschreiben. Die einzige Ausnahme bilden vier Proben aus der Quelle S0286 mit einer Ionensalinität von 8.1 - 9.0 meq/l und einem Verhältnis Ca/(Ca+Mg) von 0.68 - 0.69; da diese Quelle in der Nähe der Grenze zwischen gneissisch-granitischen Gestein und kalkig-dolomitisch-evaporitischem Gestein liegt, könnten die anomalen Eigenschaften auf der Wechselwirkung mit diesen Sedimentgesteinen beruhen. In jedem Fall handelt es sich um schnelle und oberflächennahe Fließsysteme.

(iv) **SO₄-Ca-Na Wasser**; diese chemische Fazies umfasst 5 Proben aus der Bohrung Mu-B-01, die eine artesische Störung getroffen hat. Es handelt sich um Wasser, die durch hohe Konzentrationen von gelöstem SO₄ (13.4 - 14.5 mmol/l, entsprechend 1285 - 1394 mg/l), niedrige Werte für das Verhältnis HCO₃/(HCO₃+SO₄), 0.11 - 0.13 und hohe Ionensalinitäten von 62 - 66 meq/l gekennzeichnet sind. Alle diese Eigenschaften deuten darauf hin, dass das gelöste Sulfat aus der Auflösung von Gips und/oder Anhydrit stammt. In diesen Wässern, in denen die erdalkalische SO₄-Komponente evaporitischen Ursprungs dominiert, kommen auch eine erdalkalische HCO₃-Komponente (auf der Auflösung von Karbonaten beruhend) und eine alkalische HCO₃-Komponente, die auf die Auflösung von alkalischen Al-Silikaten zurückzuführen ist, vor.

Ein zweites Gebiet liegt stromabwärts von Sterzing, wo die quartären Ablagerungen eine größere Flächenausdehnung als im vorangehenden Gebiet aufweisen und wahrscheinlich eine Dicke, die teilweise mehr als 100m betragen kann. In diesem Fall ist möglich, dass die Abfolge der quartären Ablagerungen aus mehreren Aquifer- und Aquiclude-Lagen besteht und dass somit ein mehrschichtiges Grundwassersystem vorliegt, das sowohl aus Wasserläufen als auch aus den Aquiferen der Hänge gespeist wird. Auch in diesem Fall kann die Störung der Systeme des linken Hangs Auswirkungen auf das Talsohlensystem haben, aber der mit diesem System verbundene Massentransport ist sicher größer als der der Systeme der

del codice sono stati omissi per brevità). Come nel caso precedente si tratta di acque relative a sistemi di flusso brevi e superficiali.

(iii) **acque HCO₃-(SO₄)-Ca** (159, 167, 278, 285, 286, 300, 301; la S e gli 0 del codice sono stati omissi per brevità); hanno rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄) di 0.54 - 0.80, rapporto Ca/(Ca+Mg) generalmente variabile fra 0.75 e 0.93 e SIT generalmente compresa fra 0.53 e 6.4 meq/L. Anche le caratteristiche chimiche di queste acque sono principalmente dovute a dissoluzione di calcite, presumibilmente presente in limitate quantità entro le rocce cristalline; le maggiori concentrazioni di solfato disciolto, rispetto a quelle delle acque del gruppo (i) sono ascrivibili a dissoluzione ossidativa di pirite; l'unica eccezione è rappresentata dai quattro campioni prelevati dalla sorgente S0286, con SIT di 8.1 - 9.0 meq/L e rapporto Ca/(Ca+Mg) di 0.68 - 0.69; poiché questa sorgente è situata in prossimità del limite fra rocce gneissiche-granitoidi e rocce calcareo-dolomitiche-evaporitiche, essa potrebbe derivare i suoi caratteri anomali dalla interazione con queste rocce sedimentarie. In ogni caso si tratta di sistemi rapidi e superficiali.

(iv) **acque SO₄-Ca-Na**; questo tipo chimico comprende 5 campioni prelevati dal sondaggio Mu-B-01, che ha incontrato una falda artesisiana; si tratta di acque caratterizzate da alte concentrazioni di SO₄ disciolto (13.4 - 14.5 mmol/L, corrispondenti a 1285 - 1394 mg/L), bassi valori del rapporto HCO₃/(HCO₃+SO₄), 0.11 - 0.13, ed elevate SIT, di 62 - 66 meq/L; tutte queste caratteristiche indicano che il solfato disciolto è contribuito da dissoluzione di gesso e/o anidrite; in queste acque, dominate dalla componente SO₄-alcalino terrosa di derivazione evaporitica, è pure presente una componente HCO₃-alcalino terrosa (derivata da dissoluzione di carbonati), ed una componente HCO₃-alcalina, riconducibile a dissoluzione di Al-silicati alcalini.

Un secondo settore è quello a valle di Vipiteno, in cui i depositi quaternari mostrano un'estensione in pianta maggiore che nel settore precedente e probabilmente uno spessore che talora può superare il centinaio di metri. In questo caso è possibile che la successione di depositi quaternari sia costituita da più livelli acquiferi ed acquicludi e che esista quindi un sistema multifalda alimentato sia dai corsi d'acqua che dagli acquiferi dei versanti. Anche in questo caso la perturbazione di sistemi di pertinenza del versante sinistro orografico può generare perturbazioni sul sistema di fondovalle, ma il trasporto di massa legato a questo sistema è sicuramente molto più elevato di quello dei sistemi dei versanti. Inoltre, la presenza dell'Isarco è

Hänge. Zudem kann der Eisack die etwaigen begrenzten Verluste bei den Zuflüssen durch Drainage der Aquifere des linken Hangs ausgleichen, die durch den vorhandenen Tunnel erzeugt werden dürften.

in grado di compensare le eventuali limitate perdite di apporti per drenaggio degli acquiferi del versante sinistro che dovessero essere generate dalla presenza del tunnel.

7. SCHÜTTUNGSPROGNOSE

Die Mengenprognose wurde unter Berücksichtigung des vorher aufgezeigten konzeptuellen Modells ausgeführt, ebenso wie unter Bezugnahme auf analytische Formulierungen

7. PREVISIONE DELLE PORTATE

La previsione delle portate è stata effettuata tenendo conto del modello concettuale precedentemente illustrato e facendo riferimento a formulazioni analitiche.

7.1. Definition der Informationen der gelieferten Prognosen

Außer den verwendeten Prognosekriterien ist es wichtig klarzustellen, welche Informationsarten bezüglich der erwarteten Zuflüsse geliefert werden.

Es ist bekannt, dass die Zuflüsse im Tunnel starken Mengenvariationen unterliegen, und zwar zwischen dem Moment ihres Auftretens beim Vortrieb und deren Stabilisierung auf lange Sicht. Die Zuflussmenge hängt in beiden Fällen von vielen, oft unbekanntem Parametern ab, wobei es sich in der Regel um Schätzungen handelt. Hierzu kommt die Tatsache, dass das Gebirge, in dem der Vortrieb stattfindet, zerklüftet und sehr heterogen ist, was weitere Unsicherheiten mit sich bringt.

Aufgrund dieser Komplexität ist es offensichtlich, dass es nicht möglich ist, genaue Zuflussprognosen anzustellen, sondern nur Prognosen zu liefern, die ungefähre Angaben beinhalten, insbesondere was die Schüttungen in der Vortriebsphase betrifft. Dabei wird die Größenordnung der erwarteten Zuflüsse, sowohl an einzelnen Punkten als auch insgesamt am Tunnelportal, bewertet.

Nachfolgend in diesem Bericht und im hydrogeologischen Längsprofil werden diese geschätzten Prognosen deshalb geliefert und besprochen.

Maximale vorübergehende Schüttung: Es handelt sich um eine konservative Schätzung der Schüttungen während des Vortriebs, auf konventionelle Art und Weise berechnet, wobei angenommen wurde, dass in kurzer Zeit (< 1 Tag) 10 m Tunnel gegraben werden.

Unter maximaler vorübergehender Schüttung versteht man somit die Menge, die sich temporär in den letzten zehn Metern des Tunnels vor der Ortsbrust bildet; diese Schüttung ist temporär, da sie sich mehr oder weniger schnell verringern wird, um sich mit der Zeit bei einer bestimmten stabilisierten bzw. pseudo-stabilisierten Menge einzupendeln.

Stabilisierte Schüttung nach Abschnitten Die stabili-

7.1. Definizione delle informazioni previsionali fornite

Al di là dei criteri di previsione utilizzati è importante chiarire quali tipi di informazioni vengono forniti circa gli afflussi attesi.

E' noto che gli afflussi in galleria subiscono forti variazioni di portata tra il momento della loro comparsa in fase di scavo e quello di una loro stabilizzazione sul lungo periodo. L'entità degli afflussi in entrambi i casi dipende da numerosi parametri spesso non conosciuti se non attraverso stime e approssimazioni. A ciò si aggiunga il fatto che il mezzo da scavare, trattandosi di un mezzo fratturato, è fortemente eterogeneo, il che introduce ulteriori elementi di incertezza.

Data questa complessità risulta evidente come non sia possibile fare previsioni di afflussi precise, ma esclusivamente fornire delle previsioni di massima che indichino, soprattutto per le portate in fase di scavo, l'ordine di grandezza delle venute attese, sia puntuali che cumulate al portale.

Nel seguito del presente rapporto e nel profilo idrogeologico longitudinale vengono pertanto fornite e discusse tali stime previsionali.

Portata massima transitoria. Si tratta di una stima conservativa della portata all'atto dello scavo, calcolata convenzionalmente assumendo che si scavino in breve tempo (< 1 giorno) 10 m di galleria.

Per portata massima transitoria si intende quindi la portata che si genera temporaneamente negli ultimi dieci metri di galleria che precedono il fronte di scavo; tale portata è transitoria, dal momento che essa tenderà a diminuire più o meno rapidamente, per attestarsi poi nel tempo su una portata stabilizzata o pseudo-stabilizzata.

Portata stabilizzata per tratte. Le portate stabilizzate

sierten Schüttungen sind jene, die auf lange Sicht erwartet werden (Monate/Jahre); im hydrogeologischen Längsprofil werden stabilisierte Schüttungen pro hydrogeologisch homogenem Abschnitt geliefert.

sono quelle attese sul lungo termine (mesi/anni); nel profilo idrogeologico longitudinale vengono fornite portate stabilizzate per tratte idrogeologicamente omogenee.

7.2. Methoden zur Prognose

Die Prognosen wurden unter der Anwendung von analytischen Methoden durchgeführt

7.2. Metodo di previsione

Le previsioni sono state effettuate mediante l'applicazione di metodi previsionali di tipo analitico.

7.2.1. Vorübergehende Schüttungen

Die Bewertung der vorübergehenden Schüttungen mit der Formel von Goodman et al. (1965) durchgeführt wurde; zum Vergleich bzw. zur Kontrolle wurde die von Ribacchi et al. (2002) hinzugezogen.

Vorab wurden die maximalen spezifischen vorübergehenden Schüttungen (für 10 Tunnelmeter) berechnet, die während des Vortriebes des Erkundungstollens zu erwarten sind.

Die maximalen instationären Wasserzutritte wurden analytisch berechnet, unter der Annahme, dass der Fels ein poröses Äquivalentvolumen ist (Equivalent Porous Medium). Es wurde die Formel nach Goodman et al. 1965, leicht abgeändert, verwendet.

7.2.1. Portate transitorie

La valutazione delle portate transitorie è stata eseguita mediante la formulazione proposta da Goodman et al. (1965) e per confronto e controllo con la formulazione proposta da Ribacchi et al. (2002).

Inizialmente sono state calcolate le portate massime transitorie specifiche (per 10 metri di galleria) attese durante lo scavo del Cunicolo Esplorativo.

Le portate massime transitorie sono state calcolate per via analitica, assumendo che la roccia sia un mezzo roccioso poroso equivalente (Equivalent Porous Medium), secondo la seguente formula (Goodman et al., 1965 parzialmente modificata)

$$Q = \frac{2\pi K l d_z}{\ln\left(\frac{2L}{r_0}\right)}$$

Q darstellt in der Formel die im Tunnel dränierte Schüttung, K die hydraulische Leitfähigkeit des von dem Tunnel gequerten hydrogeologischen Komplexes, l die Länge des vom Tunnel gequerten Aquiferanteils, r_0 den Tunnelradius, d_z die Tunneltiefe unterhalb der ursprünglichen Grundwasseroberfläche bei ungestörten hydrogeologischen Verhältnissen, L den Abstand zwischen dem Tunnel und dem Punkt, wo der Aquifer die Wiederanreicherungsgrenze erreicht. Der letzte Parameter wurde eingefügt, da die vom Tunnel gequerten Aquiferkörper häufig geneigt sind. Wenn der Aquiferkörper vertikal ausgerichtet ist, ergibt sich $d_z=L$, wenn er geneigt ist $d_z<L$ (vgl. Abbildung 5:).

Nella formula Q rappresenta la portata drenata nel tunnel, K la conducibilità idraulica del complesso idrogeologico attraversato dal tunnel, l la lunghezza della parte di acquifero attraversato dal tunnel, r_0 il raggio del tunnel, d_z la profondità del tunnel al di sotto del livello piezometrico iniziale in condizioni indisturbate del sistema idrogeologico e L la distanza tra il tunnel e il punto in cui l'acquifero raggiunge il punto di ricarica. Quest'ultimo parametro è stato introdotto poiché i corpi acquiferi attraversati dal tracciato del tunnel sono spesso inclinati. Se il corpo acquifero è verticale, allora $d_z=L$, se è inclinata $d_z<L$ (cfr. Illustrazione 5:).

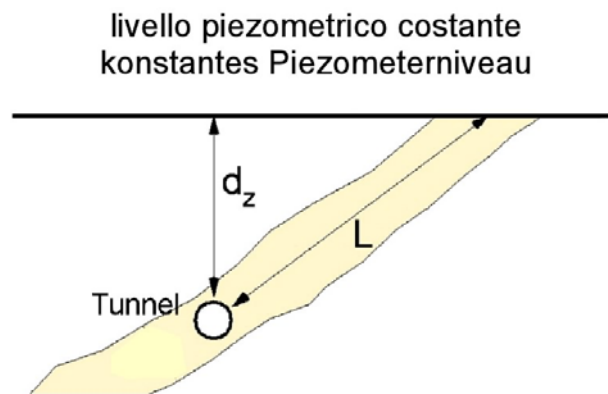


Abbildung 5: Bezugsschema der Dränung, die von einem Tunnel auf eine geneigte Aquiferlage ausgeübt wird

Wie bereits erwähnt, wurde außer der Formel nach Goodman et al. (1965) auch jene von Ribacchi et al. (2002) verwendet und zwar für die Berechnung der instationären Zutritte. Da diese Formel, im Gegensatz zu jener von Goodman et al. (1965) auch eine zeitlich variable Wasserspiegelhöhe ab Beginn der Dränierung vorsieht, wurde diese auch für die Berechnung der stationären Zutritte verwendet. Dies wird im folgenden Kapitel erläutert, welches auf diesen Wert eingeht.

Es ist bekannt, dass solche Formeln, vor allem wenn sie mit dem morphologischen und hydrogeologischen Kontext der Bezugsbereiche verglichen werden, einschneidende konzeptuelle Vereinfachungen mit sich bringen. Trotzdem können sie grundsätzlich als Eckdaten zum Zweck dieser Arbeit angesehen werden, d. h. sie machen eine Einschätzung des Umfangs der erwarteten Schüttungen möglich.

Außerdem soll an dieser Stelle das Konzept zur Verwendung der beschriebenen Formeln für die Einschätzung der vorübergehenden Schüttungen näher erläutert werden. Diese analytischen Vereinfachungen werden generell bei der Berechnung des Zuflusses unter stabilisierten Bedingungen eingesetzt, unter der Voraussetzung, dass der Wasserdruck über dem Tunnel bei diesen Bedingungen bekannt ist. Grundsätzlich ist der Einsatz der Formeln zu diesem Zweck unmöglich, da gerade der Wasserdruck unter stabilisierten, entwässerten Bedingungen einen der grundlegenden unbekanntesten Werte darstellt.

Diese Formeln sind sehr viel nützlicher bei der Berechnung, wenn auch nur annähernd, der anfänglichen oder pseudo-anfänglichen Schüttungen. Folglich kann man annehmen, dass in der Anfangsphase der Entwässerung eines Grundwasserbereichs die hydrodynamischen Bedingungen denen der erforderlichen Annahme für die Anwendung dieser Funktionen sehr gleichen. Vor allem ist der hydraulische Druck in der Anfangsphase praktisch anhaltend gleich und kann in den meisten Fällen aufgrund von bereits vorhandenen, piezometrischen Daten geschätzt werden, oder

Illustrazione 5: Schema concettuale del drenaggio esercitato da un tunnel in un livello acquifero inclinato

Come già anticipato in precedenza, oltre alla formulazione di Goodman et al. (1965), per il calcolo delle portate transitorie è stata applicata anche la formulazione proposta da Ribacchi et al. (2002). Poiché tale formulazione, contrariamente a quella di Goodman et al. (1965) prevede un carico variabile al trascorrere del tempo dall'inizio del drenaggio, essa è stata impiegata anche per il calcolo delle portate stabilizzate. Essa verrà quindi descritta nel paragrafo seguente dedicato a tale argomento.

E' noto che tali formulazioni, soprattutto se comparate al contesto morfologico e idrogeologico dell'area di riferimento, richiedono semplificazioni concettuali molto forti. Pur tuttavia si ritiene che esse possano essere prese come riferimento di larga massima per lo scopo di questo lavoro, ovvero sia quello di fornire una stima dell'ordine di grandezza delle venute attese.

Una precisazione va fatta anche sul concetto di utilizzo delle suddette formulazioni per la stima delle venute transitorie. Infatti queste semplificazioni analitiche generalmente vengono impiegate per il calcolo delle venute in condizioni stabilizzate, assumendo che sia possibile conoscere il carico idraulico al di sopra del tunnel in tali condizioni. In realtà il loro impiego per questi scopi risulta sostanzialmente impossibile, dal momento che il carico idraulico in condizioni drenate stabilizzate è proprio una delle incognite principali.

Tali formulazioni possono invece risultare molto più utili, sebbene con molte approssimazioni, per il calcolo delle portate iniziali o pseudo-iniziali. Infatti è logico assumere che nelle fasi iniziali di drenaggio di una zona acquifera le condizioni idrodinamiche esistenti siano assai più prossime a quelle delle assunzioni richieste per l'utilizzo di queste funzioni. In particolare nelle fasi iniziali il carico idraulico risulta essere praticamente imperturbato ed è spesso stimabile sulla base dei dati piezometrici esistenti, o comunque, cautevolmente, assumendolo come prossimo alla super-

zumindes als nahe an der topographischen Oberfläche angenommen werden. Die Unterschiede bei der Durchlässigkeit, wie sie bei Kluftgrundwasserleitern immer vorhanden sind, haben weniger Einfluss auf die Angabe mittels der Formeln der anfänglichen vorübergehenden Schüttungen, die ausschließlich von den Bedingungen in unmittelbarer Nähe des Tunnels beeinflusst werden.

7.2.2. Stabilisierte Schüttungen

In diesem Fall wird zur Berechnung der stabilisierten Schüttungen bei einem einzigen Tunnel die Formel von Ribacchi et al. 2002. Sie leitet sich aus der gleichen Funktion ab, die schon bei der Berechnung der vorübergehenden Schüttungen angewendet wurde. Sie ermöglicht, I) eine allmähliche Verringerung des Wasserdrucks, II) einen Einflussbereich der Störung im Grundwasserleiter, III) eine Infiltrationsrate mit in Betracht zu ziehen.

Tatsächlich ist diese Formel bezüglich der stabilisierten Werte zur Einschätzung des Wasserpegels oberhalb des Tunnels ausgerichtet. Die Formel ergibt den Pegel unter Berücksichtigung der Infiltrationsrate im Grundwasserleiter, der Durchlässigkeit und des Einflussbereichs. Die Schüttungsmenge ist im Grunde ein Eingabeparameter, da sie mit dem Produkt der Infiltration und des Einflussbereichs übereinstimmt. Die Formel ermöglicht grundsätzlich die Prüfung, mit welcher Infiltration und welchem Einflussbereich man realistische Pegelwerte für den Tunnel erhält, woraus sich eine kompatible Schüttungsmenge ableiten lässt.

Auch in diesem Fall beruhte die analytische Funktion auf einem einfachen konzeptuellen Modell, bei dem die Topographie flach ist und das Gebirge einem äquivalenten porösen Medium gleichgesetzt wird (Abbildung 6:). Nach dieser Funktion lässt sich die zu einem beliebigen Zeitpunkt vom Tunnel drainierte Schüttung wie folgt berechnen:

$$q(t) = Fk[h(t) - r_g]$$

q ist die drainierte Schüttung, t die Zeit seit Beginn der Drainage, h die mittlere Höhe der Wassersäule über dem Tunnel, k die hydraulische Leitfähigkeit und r_g der Tunnelradius. F ist ein Formbeiwert, der wie folgt berechnet wird:

$$\frac{4\pi}{F} = \ln \frac{\sinh(\pi h_0 / L) \cdot \sinh[\pi(h_0 + 2b) / L]}{4 \sinh(\pi r_g / L) \cdot \sinh(\pi b / L)}$$

Wobei *sin* für die Hyperbelsinusfunktion steht, h_0 die mittlere Höhe der Wassersäule in ungestörtem Regime, L im Wesentlichen die Ausdehnung für jede Tunnelseite des Einzugsgebiets und b die Ausdehnung des Aquifers in der Tiefe unter dem Tunnel ist.

Die stabilisierte Schüttung kann ermittelt werden, indem $h(t)$ in der ersten Gleichung durch den Wert er-

ficie topografica. Le eterogeneità di distribuzione della permeabilità, sempre esistenti nell'acquifero fratturato, hanno meno influenza sul dato di portata transitoria iniziale restituito dalle formulazioni, che risentirà esclusivamente delle condizioni presenti nell'immediato contorno della galleria.

7.2.2. Portate stabilizzate

In questo caso la formulazione considerata più adatta per il calcolo delle portate stabilizzate su un singolo tunnel è quella proposta da Ribacchi et al. 2002. Essa permette infatti di prendere in considerazione i) un abbattimento progressivo del carico idraulico, ii) un raggio di influenza della perturbazione nell'acquifero, iii) un tasso di infiltrazione.

In realtà questa formulazione, per quanto attiene il dato stabilizzato, è stata impostata per la stima del livello d'acqua al di sopra della galleria. La formulazione restituisce questo livello in funzione dell'infiltrazione efficace nell'acquifero, della permeabilità e del raggio di influenza. La portata è in sostanza un parametro di input poiché corrisponde al prodotto dell'infiltrazione efficace per l'area di infiltrazione. La formulazione permette in sostanza di verificare con quale infiltrazione e raggio di influenza si ottengono valori del livello d'acqua sulla galleria realistici, e conseguentemente di derivare una portata compatibile.

Anche in questo caso la funzione analitica è basata su un modello concettuale semplice, che implica una topografia piatta e l'assimilazione dell'ammasso roccioso ad un mezzo poroso equivalente (Illustrazione 6:). Secondo tale funzione la portata drenata in un qualsiasi istante dal tunnel può essere calcolata come segue:

dove q è la portata drenata, t è il tempo intercorso dall'inizio del drenaggio, h l'altezza media della colonna d'acqua al di sopra della galleria, k è la conducibilità idraulica e r_g è il raggio della galleria. F è un coefficiente di forma calcolato come segue:

Dove *sin* sta per la funzione seno iperbolico, h_0 è l'altezza media della colonna d'acqua in regime imperturbato, L è sostanzialmente l'estensione per ogni lato del tunnel dell'area di ricarica, b è l'estensione in profondità dell'acquifero al di sotto della galleria.

La portata in regime stabilizzato può essere ottenuta sostituendo a $h(t)$ nella prima equazione il valore otte-

setzt wird, der durch folgende Funktion erhalten wird nuto dalla seguente funzione:

$$h_{fin} = \frac{2L\varepsilon}{Fk}$$

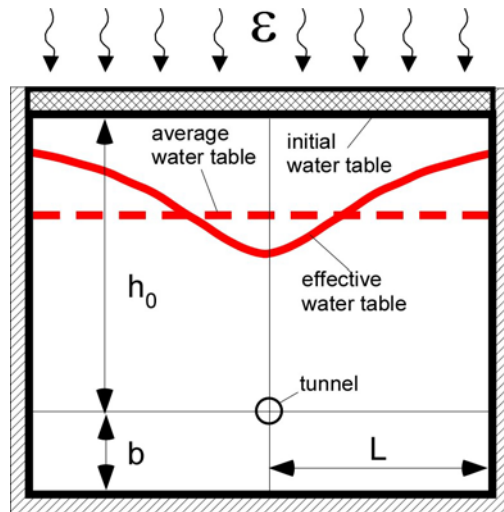


Abbildung 6: Konzeptuelles Schema zur Definition der dränierten Schüttungen in stabilisiertem Regime (Ribacchi et al., 2002).

Illustrazione 6: Schema concettuale per la definizione delle portate drenate in regime stabilizzato (da Ribacchi et al., 2002).

7.3. Ergebnisse der Schätzung zu den Schüttungen

7.3.1. Vorübergehende Schüttungen

Die Ergebnisse der Berechnungen der vorübergehenden Schüttungen mittels analytischen Formeln sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Es sei vorausgesetzt, dass die angewendeten Wasserdrucke auf der vorsichtigen Grundlage bezüglich der bei tiefen Proben gemessenen hydraulischen Drücken oder unter Berücksichtigung der theoretisch angenommenen Situation auf der Basis von hydrogeologischen Konzepten geschätzt sind.

Bei den Berechnungen mit der analytischen Formel von Goodman et al. (1965) wurden drei verschiedene Werte zur hydraulischen Durchlässigkeit ermittelt, um damit auch die Variabilität der Schüttungsmenge im Bereich einer gleichen, hydrogeologisch homogenen Strecke zu ermessen. Die höchsten Werte sind dabei als Extremwerte anzusehen und haben eine sehr geringe Wahrscheinlichkeitsquote. Die anderen zwei Werte liefern Anhaltspunkte über die Situation und haben eine höhere Wahrscheinlichkeitsquote. Alle drei Situationen wurden bei der Übersicht der Schätzungen in den Zeilen zur Beschreibung des hydrogeologischen Profils berücksichtigt.

Für die Schätzung mittels der Formel von Ribacchi et al. (2002) wurden der Einfachheit halber nur die Mittelwerte der Durchlässigkeit genommen, nachdem die

7.3. Risultati della stima delle portate

7.3.1. Portate transitorie

I risultati dei calcoli mediante formulazioni analitiche per le portate transitorie sono riportati nelle tabelle che seguono.

Si precisa che i carichi idraulici applicati sono stimati su base conservativa, facendo riferimento ai carichi idraulici misurati nei sondaggi profondi, o tenendo in considerazione la situazione teorica presunta sulla base del modello idrogeologico concettuale.

Nei calcoli con formulazione analitica di Goodman et al. (1965), sono stati utilizzati tre diversi valori di conducibilità idraulica, al fine di valutare anche il grado di variabilità della portata nell'ambito di una stessa tratta idrogeologicamente omogenea. I valori più elevati sono da considerarsi come valori estremi, che hanno una bassa probabilità di occorrenza. Gli altri due valori sono quelli che forniscono un'idea della situazione che ha maggiori probabilità di occorrenza. Tutte e tre le situazioni sono state considerate per le stime schematizzate nelle righe descrittive del profilo idrogeologico.

Per le stime con formulazione di Ribacchi et al. (2002), per semplicità sono stati utilizzati solo i valori di conducibilità intermedi, dal momento che la tabella

Tabelle hauptsächlich den Zweck hat, einen Vergleichswert und eine Kontrolle der durch die Formel von Goodman et al. (1965) ermittelten Werte zu liefern.

Aus der Gegenüberstellung der beiden Tabellenreihen der verschiedenen Formeln ergibt sich, dass die Schätzungen in beiden Fällen grundsätzlich in Bezug auf die Größenordnung der erwarteten Wassermenge vergleichbar sind.

ha principalmente lo scopo di costituire un elemento di confronto e controllo con i valori ottenuti con la formulazione di Goodman et al. (1965)

Dal confronto fra le due serie di tabelle per le due diverse formulazioni emerge che le stime eseguite nei due casi sono sostanzialmente comparabili in termini di ordine di grandezza delle portate attese.

Settore: Progetto Mules II
Oggetto: Cunicolo Esplorativo Brennero - MulesFachbereich: Planung Mauls II
Gegenstand: Erkundungstollen Brenner - Mauls

Tratta	Ipotesi 1			Ipotesi 2			Ipotesi 3			Breve descrizione idrogeologica	Litotipo	Formazione
	Da (km)	A (km)	l ₀ (m)	s (m)	k (m/s)	Q (l/s*10m)	k (m/s)	Q (l/s*10m)	k (m/s)			
32,085	32,515	5	1400	1,0E-10	0,00	1,0E-08	0,14	5,0E-08	0,70	Ammasso in normale stato di fratturazione	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
32,515	32,535	5	1400	1,0E-07	1,39	5,0E-07	6,95	5,0E-06	69,50	Zona di faglia minore (504)	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
32,535	33,100	5	1500	1,0E-10	0,00	1,0E-08	0,15	5,0E-08	0,74	Ammasso in normale stato di fratturazione	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
33,100	33,140	5	1600	1,0E-07	1,56	1,0E-06	15,56	5,0E-06	77,79	Zona di faglia minore (S101)	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
33,140	35,100	5	1600	1,0E-10	0,00	1,0E-08	0,16	5,0E-08	0,78	Ammasso in normale stato di fratturazione	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
35,100	35,600	5	1200	1,0E-10	0,00	1,0E-08	0,12	5,0E-08	0,61	Ammasso in normale stato di fratturazione	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
35,600	35,960	5	1000	1,0E-10	0,00	1,0E-08	0,10	5,0E-08	0,52	Ammasso in normale stato di fratturazione	Orthogneiss	Gneiss Centrale del Tux
35,960	36,030	5	1000	1,0E-09	0,01	5,0E-08	0,52	5,0E-07	5,24	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di Ammasso in normale stato di fratturazione con probabile microcarsismo	Marmi micacei, quarzomicaistici, scisti cloritici, scisti anidritici	Zona di Hochstegen
36,030	36,090	5	1000	5,0E-08	0,52	5,0E-07	5,24	5,0E-06	52,43	Ammasso in normale stato di fratturazione	Marmi puri e impuri	Falda del Wolfendorn
36,090	36,270	5	1000	1,0E-09	0,01	5,0E-09	0,05	5,0E-08	0,52	Ammasso in normale stato di fratturazione	mica scisti a granato, metaconglomerati, quarzomicaistici, prasiniti, Marmi, anidriti, Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite	Formazione di Kaserer
36,270	36,300	5	900	1,0E-07	0,96	1,0E-06	9,61	5,0E-06	48,04	Zona di faglia minore (V-5-755)	Marmi, anidriti, Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach) + Trias indifferenziato
36,300	36,405	5	900	1,0E-09	0,01	5,0E-09	0,05	5,0E-08	0,48	Ammasso in normale stato di fratturazione	Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach)
36,405	36,450	5	750	1,0E-07	0,83	1,0E-06	8,26	5,0E-06	41,31	Zona di faglia minore (V-5-535; V-5-600)	Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite, marmi dolomitici, marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach + fm. Seidwinkl)
36,450	36,630	5	750	1,0E-09	0,01	5,0E-08	0,41	5,0E-07	4,13	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di	Marmi dolomitici e marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Seidwinkl)
36,630	36,650	5	750	1,0E-07	0,83	1,0E-06	8,26	5,0E-06	41,31	Zona di faglia minore (V-4-963)	Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite, marmi dolomitici, marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach + fm. Seidwinkl)
36,650	36,720	5	750	1,0E-09	0,01	5,0E-08	0,41	5,0E-07	4,13	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di	Marmi dolomitici e marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Seidwinkl)
36,720	36,850	5	750	1,0E-09	0,01	5,0E-09	0,04	5,0E-08	0,41	Ammasso in normale stato di fratturazione	Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach)
36,850	36,960	5	750	5,0E-09	0,04	5,0E-08	0,41	5,0E-07	4,13	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di	Marmi dolomitici e marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Seidwinkl)
36,960	37,245	5	750	1,0E-09	0,01	5,0E-09	0,04	5,0E-08	0,41	Ammasso in normale stato di fratturazione	Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach)
37,245	37,265	5	750	1,0E-07	0,83	1,0E-06	8,26	5,0E-06	41,31	Zona di faglia minore (n-H5390)	Filla di, quarzomicaistici, scisti a clorite, scisti ad anidrite, marmi dolomitici, marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Algerbach + fm. Seidwinkl)

Tabelle 4:

Tabella 4: Continua in Tabella 5:

Tratta	Ipotesi 1			Ipotesi 2			Ipotesi 3			Breve descrizione idrogeologica	Litotipo	Formazione	
	Da (km)	A (km)	l ₀ (m)	s (m)	k (m/s)	Q (l/s*10m)	k (m/s)	Q (l/s*10m)	k (m/s)				Q (l/s*10m)
37,265	37,310		5	750	5,0E-08	0,41	5,0E-07	4,13	1,0E-06	8,26	Ammasso con possibile elevata densità di fratturazione e microcarisimo per interposizione tra due zone di faglia	Marmi dolomiti e marmi	Falda di Flatschpitz (fm. Seidwinkl)
37,310	37,330		5	750	1,0E-07	0,83	1,0E-06	8,26	5,0E-06	41,31	Zona di faglia minore (n-6539a)	Marmi dolomiti e marmi, calcescisti	Falda di Flatschpitz (fm. Seidwinkl); Falda di Vizze
37,330	37,340		5	750	1,0E-08	0,08	1,0E-07	0,83	5,0E-07	4,13	Ammasso con possibile elevata densità di fratturazione e microcarisimo per vicinanza	Calcescisti	Falda di Vizze
37,340	37,460		5	800	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,09	5,0E-08	0,44	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e prasiniti	Falda di Vizze
37,460	37,500		5	800	5,0E-09	0,04	5,0E-08	0,44	5,0E-07	4,36	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di	Marmi	Falda di Vizze
37,500	37,620		5	800	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,09	5,0E-08	0,44	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti	Falda di Vizze
37,620	37,715		5	800	1,0E-09	0,01	5,0E-08	0,44	1,0E-07	0,87	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di permeabilità per microcarisimo per	Calcescisti	Falda di Vizze
37,715	37,780		5	750	5,0E-08	0,41	5,0E-07	4,13	1,0E-06	8,26	Zona di faglia S05	Calcescisti	Falda di Vizze
37,780	38,190		5	700	1,0E-09	0,01	5,0E-08	0,39	1,0E-07	0,78	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili modesti e poco probabili incrementi di permeabilità per	Calcescisti	Falda di Vizze
38,190	38,280		5	650	1,0E-07	0,73	5,0E-07	3,67	1,0E-06	7,34	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi	Falda di Vizze
38,280	38,850		5	850	1,0E-09	0,01	1,0E-07	0,92	1,0E-07	0,92	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Calcescisti	Falda di Vizze
38,850	38,915		5	1000	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,10	5,0E-08	0,52	Ammasso in normale stato di fratturazione	Prasiniti	Falda di Vizze
38,915	38,990		5	1000	5,0E-09	0,05	5,0E-08	0,52	5,0E-07	5,24	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi	Falda di Vizze
38,990	39,515		5	1100	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,11	5,0E-08	0,57	Ammasso in normale stato di fratturazione (sporadica presenza di faglie minori di	Calcescisti	Falda di Vizze
39,515	39,850		5	1100	1,0E-09	0,01	5,0E-08	0,57	5,0E-07	5,68	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi e prasiniti	Falda di Vizze
39,850	40,140		5	1100	5,0E-09	0,06	5,0E-08	0,57	5,0E-07	5,68	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi	Falda di Vizze
40,140	40,455		5	1100	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,11	5,0E-08	0,57	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Calcescisti	Falda di Vizze
40,455	40,485		5	1200	1,0E-08	0,12	5,0E-07	6,11	1,0E-06	12,21	Ammasso in normale stato di fratturazione (Zona di faglia minore (609))	Calcescisti	Falda di Vizze
40,485	40,560		5	1200	1,0E-09	0,01	1,0E-07	1,22	5,0E-07	6,11	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarisimo per vicinanza alle faglie S09 e	Calcescisti e Marmi	Falda di Vizze
40,560	40,590		5	1200	1,0E-07	1,22	1,0E-06	12,21	5,0E-06	61,06	Zona di faglia minore (510)	Marmi	Falda di Vizze
40,590	40,870		5	1400	5,0E-09	0,07	5,0E-08	0,70	5,0E-07	6,95	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi	Falda di Vizze
40,870	41,930		5	1400	5,0E-10	0,01	5,0E-09	0,07	2,5E-08	0,35	Ammasso in normale stato di fratturazione	Corioscisti, quarzomicaescisti, calcescisti, prasiniti, scisti andiridici, micaescisti a granato.	Falda di Vizze + Formazione di Kaserer + Falda di Flatschpitz

Tabella 5:

Tabella 5: Continua in Tabella 6:

Tratta	Ipotesi 1			Ipotesi 2			Ipotesi 3			Breve descrizione idrogeologica	Litotipo	Formazione
	Da (km)	A (m)	R ₀ (m)	s (m)	Cond. idraulica limite inferiore (m/s)	Portata - limite inferiore (l/s*10m)	Cond. idraulica limite superiore (m/s)	Portata - limite superiore (l/s*10m)	Cond. idraulica valori eccezionali (m/s)			
42,325	42,400	5	1400	5,0E-10	0,01	5,0E-09	0,07	2,5E-08	0,35	Ammasso in normale stato di fratturazione	Quarzomicaesisti, calcescisti, prasiniti, scisti andritici.	Falda di Vizze
42,400	42,470	5	1400	5,0E-09	0,07	5,0E-08	0,70	5,0E-07	6,95	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi dolomiti, quarziti, andriti, cloritoscisti e micaescisti filiadici	Falda di Vizze
42,470	42,820	5	1400	5,0E-10	0,01	5,0E-09	0,07	2,5E-08	0,35	Ammasso in normale stato di fratturazione	micascisti a granato, metaconglomerati, quarzomicaesisti, prasiniti.	Formazione di Kaserer
42,820	42,920	5	1400	5,0E-09	0,07	5,0E-08	0,70	5,0E-07	6,95	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcastrismo	Marmi, marmi dolomiti, quarziti, andriti, cloritoscisti, micaescisti filiadici, calcescisti filiadici	Falda di Vizze
42,920	42,940	5	1400	1,0E-07	1,39	1,0E-06	13,90	5,0E-06	69,50	Zona di faglia minore (SVMW01)	Marmi	Falda di Vizze
42,940	43,045	5	1400	5,0E-09	0,07	5,0E-08	0,70	5,0E-07	6,95	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi, calcescisti	Falda di Vizze
43,045	43,065	5	1400	1,0E-08	0,14	5,0E-07	6,95	1,0E-06	13,90	Zona di faglia minore (SVMW02)	Calcescisti	Falda di Vizze
43,065	43,155	5	1400	5,0E-10	0,01	5,0E-09	0,07	2,5E-08	0,35	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filiadici	Falda di Vizze
43,155	43,175	5	1400	5,0E-09	0,07	5,0E-08	0,70	5,0E-07	6,95	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per	Marmi dolomiti, carniole, scisti cloritici	Falda del Glockner
43,175	43,740	5	1200	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,12	2,5E-08	0,31	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filiadici	Falda del Glockner
43,740	43,780	5	1100	5,0E-08	0,57	2,5E-07	2,84	5,0E-07	5,68	Zona di faglia S15	Calcescisti e calcescisti filiadici	Falda del Glockner
43,780	44,600	5	1000	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,10	2,5E-08	0,26	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filiadici	Falda del Glockner
44,600	44,830	5	1100	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,11	1,0E-07	1,14	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti, calcescisti filiadici, dolomie	Falda del Glockner
44,830	44,870	5	1100	5,0E-08	0,57	2,5E-07	2,84	5,0E-08	0,57	Zona di faglia S30	Calcescisti e calcescisti filiadici	Falda del Glockner
44,870	45,090	5	1100	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,11	2,5E-08	0,28	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filiadici	Falda del Glockner
45,090	45,160	5	1100	1,0E-09	0,01	2,5E-08	0,28	5,0E-08	0,57	Zona di faglia dritte parzialmente riattivata TWS1	Calcescisti grafitosi, paragneiss, anfiboliti	Falda del Glockner, Austroalpino
45,160	45,495	5	1100	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,11	5,0E-08	0,57	Ammasso in normale stato di fratturazione	Anfiboliti	Austroalpino
45,495	45,515	5	1100	5,0E-09	0,06	1,0E-08	0,11	1,0E-07	1,14	Zona di faglia S19	Anfiboliti, gneiss	Austroalpino
45,515	46,600	5	900	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,10	5,0E-08	0,48	Ammasso in normale stato di fratturazione	Paragneiss	Austroalpino
46,600	46,900	5	700	1,0E-09	0,01	1,0E-08	0,08	5,0E-08	0,39	Ammasso in normale stato di fratturazione	Paragneiss	Austroalpino

Tabella 6: Tabella dei valori di portata massima transitoria nel cunicolo esplorativo, calcolati con formulazione di Goodman et al. (1965). Le portate sono state calcolate ipotizzando tre diverse conducibilità idrauliche medie del massiccio; le portate ottenute con i due valori di conducibilità maggiori sono state utilizzate come indicazioni per le stime dei valori eccezionali durante lo scavo, mentre le due portate minori sono state utilizzate come riferimento di massima per i valori attesi con maggior frequenza.

Tabella 6: Tabelle mit den Werten zur maximalen vorübergehenden Schüttungsmenge im Erkundungstollen, berechnet mit der Formel von Goodman u. a. (1965). Die Schüttungsmengen wurden unter Annahme von drei verschiedenen Werten zur durchschnittlichen hydraulischen Leitfähigkeit des Gesteins berechnet; die Schüttungen, die mit den beiden oberen Werten zur hydraulischen Leitfähigkeit be-

Tratta		INPUT					OUTPUT	Breve descrizione idrogeologica	Litotipo	Formazione
Da	A	Carico idraulico iniziale	Conducibilità idraulica transitoria	Estensione laterale dell'acquifero	Raggio del tunnel	Portata massima transitoria				
(km)		H ₀ m	k m/s	L m	r _g m	Qt l/s*10m				
37,265	37,310	750	5,0E-07	1000	3	5,7	Ammasso con possibile elevata densità di fratturazione e microcarsismo per interposizione tra due zone di faglia	Marmi dolomitici e marmi	Falda di Vize (Fm. Seidlwinkl)	
37,310	37,330	750	1,0E-06	1000	3	11,4	Zona di faglia minore (n-f539a)	Marmi dolomitici e marmi, calcescisti	Falda di Vize (Fm. Seidlwinkl); Falda di Vize	
37,330	37,340	750	1,0E-07	1000	3	1,1	Ammasso con possibile elevata densità di fratturazione e microcarsismo per vicinanza a zona di faglia	Calcescisti	Falda di Vize	
37,340	37,460	800	1,0E-08	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e prasiniti	Falda di Vize	
37,460	37,500	800	5,0E-08	1000	3	0,6	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi	Falda di Vize	
37,500	37,620	800	1,0E-08	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti	Falda di Vize	
37,620	37,715	800	5,0E-08	2000	3	0,7	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili ma poco probabili incrementi di permeabilità per microcarsismo per vicinanza alla faglia S05	Calcescisti	Falda di Vize	
37,715	37,780	750	5,0E-07	2000	3	7,1	Zona di faglia S05	Calcescisti	Falda di Vize	
37,780	38,190	700	5,0E-08	2000	3	0,7	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili modesti e poco probabili incrementi di permeabilità per microcarsismo per prossimità fondovalle Vize	Calcescisti	Falda di Vize	
38,190	38,280	650	5,0E-07	2000	3	6,5	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi	Falda di Vize	
38,280	38,850	850	1,0E-07	1000	3	1,2	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili modesti e poco probabili incrementi di permeabilità per microcarsismo per prossimità fondovalle Vize	Calcescisti	Falda di Vize	
38,850	38,915	1000	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Prasiniti	Falda di Vize	
38,915	38,990	1000	5,0E-08	750	3	0,5	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi	Falda di Vize	
38,990	39,515	1100	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione (sporadica presenza di faglie minori di spessore limitato)	Calcescisti	Falda di Vize	
39,515	39,850	1100	5,0E-08	500	3	0,4	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi e prasiniti	Falda di Vize	
39,850	40,140	1100	5,0E-08	500	3	0,4	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi	Falda di Vize	
40,140	40,455	1100	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti	Falda di Vize	
40,455	40,485	1200	5,0E-07	1000	3	6,8	Zona di faglia minore (S09)	Calcescisti	Falda di Vize	
40,485	40,560	1200	1,0E-07	1000	3	1,4	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo per vicinanza alle faglie S09 e S10	Calcescisti e Marmi	Falda di Vize	
40,560	40,590	1200	1,0E-06	1000	3	13,6	Zona di faglia minore (S10)	Marmi	Falda di Vize	
40,590	40,870	1400	5,0E-08	300	3	0,3	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi	Falda di Vize	
40,870	41,930	1400	5,0E-09	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Cloritocisti, quarzomicascisti, calcescisti, prasiniti, scisti anidritici,	Falda di Vize + Formazione di Kaserer + Falda di Flatschpitz	
41,930	41,990	1400	5,0E-07	1000	3	7,1	Zona di faglia S11	Cloritocisti, quarzomicascisti, calcescisti, prasiniti, scisti anidritici,	Formazione di Kaserer + Falda di Flatschpitz	
41,990	42,240	1400	5,0E-09	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Cloritocisti, quarzomicascisti, calcescisti, prasiniti, scisti anidritici,	Falda di Vize + Formazione di Kaserer + Falda di Flatschpitz	
42,240	42,325	1400	5,0E-08	300	3	0,3	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi	Falda di Vize	
42,325	42,400	1400	5,0E-09	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Quarzomicascisti, calcescisti, prasiniti, scisti anidritici.	Falda di Vize	
42,400	42,470	1400	5,0E-08	300	3	0,3	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi dolomitici, quarziti, anidriti, cloritocisti e micascisti filladici	Falda di Vize	
42,470	42,820	1400	5,0E-09	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	micascisti a granato, metaconglomerati, quarzomicascisti, prasiniti.	Formazione di Kaserer	
42,820	42,920	1400	5,0E-08	300	3	0,3	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi, marmi dolomitici, quarziti, anidriti, cloritocisti, micascisti filladici, calcescisti	Falda di Vize	
42,920	42,940	1400	1,0E-06	500	3	8,4	Zona di faglia minore (SWNW01)	Marmi	Falda di Vize	

Tabella 7:

Tabella 7: Continua in Tabella 8:

		INPUT				OUTPUT			
Tratta		Carico idraulico iniziale	Conducibilità idraulica transitoria	Estensione laterale dell'acquifero	Raggio del tunnel	Portata massima transitoria	Breve descrizione idrogeologica	Litotipo	Formazione
Da	A	H ₀	k	L	r _g	Qt			
(km)		m	m/s	m	m	l/s*10m			
42,940	43,045	1400	5,0E-08	300	3	0,3	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi, calcescisti	Falda di Vize
43,045	43,065	1400	5,0E-07	500	3	4,2	Zona di faglia minore (SWNW02)	Calcescisti	Falda di Vize
43,065	43,155	1400	5,0E-09	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filladici	Falda di Vize
43,155	43,175	1400	5,0E-08	300	3	0,3	Ammasso in normale stato di fratturazione con possibili incrementi di permeabilità per microcarsismo	Marmi dolomitici, carniolo, scisti cloritici	Falda del Glockner
43,175	43,740	1200	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filladici	Falda del Glockner
43,740	43,780	1100	2,5E-07	2000	3	4,4	Zona di faglia S15	Calcescisti e calcescisti filladici	Falda del Glockner
43,780	44,600	1000	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filladici	Falda del Glockner
44,600	44,830	1000	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti, calcescisti filladici, dolomie	Falda del Glockner
44,830	44,870	1100	2,5E-07	2000	3	4,4	Zona di faglia S30	Calcescisti e calcescisti filladici	Falda del Glockner
44,870	45,090	1100	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Calcescisti e calcescisti filladici	Falda del Glockner
45,090	45,160	1100	2,5E-08	500	3	0,2	Zona di faglia duttile parzialmente riattivata TWS1	Calcescisti grafitosi, paragneiss, anfiboliti	Falda del Glockner, Austroalpino
45,160	45,495	1100	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Anfiboliti	Austroalpino
45,495	45,515	1100	1,0E-08	500	3	0,1	Zona di faglia S19	Anfiboliti, gneiss	Austroalpino
45,515	46,600	900	1,0E-08	300	3	0,1	Ammasso in normale stato di fratturazione	Paragneiss	Austroalpino
46,600	46,900	700	1,0E-08	300	3	0,0	Ammasso in normale stato di fratturazione	Paragneiss	Austroalpino

Tabelle 8: *Tabelle der Werte mit der maximalen Schüttungsmenge im Erkundungstollen, die mittels der Formel von Ribacchi et al. (2002) berechnet wurde. Die Schüttungen wurden ausschließlich unter Verwendung von Werten der Wasserleitfähigkeit entsprechend der Annahme 2 berechnet, der die Formel von Goodman et al. (1965) zugrunde liegt*

Die Schätzungen der vorübergehenden Schüttungen sind in der darstellenden Zeile 16 zusammengefasst. Zur Berechnung der vorübergehenden Schüttungen mussten viele Näherungswerte hinzugezogen werden, die mithilfe von Klassen dargestellt wurden, die vorsichtshalber eine umfangreiche Variable beinhalten. Die Klasse der vorhergesehenen Schüttungen ist in verschiedenen Rottönen, je nach Intensität der Schüttung, kenntlich gemacht. Die Farbe steht für die Klasse, die auf den jeweiligen Abschnitten statistisch gesehen am repräsentativsten ist. Es können „+“ oder „-“ Symbole auftreten, die für sporadisch auftretenden höheren oder niedrigeren Zufluss stehen (aufgrund von möglichen, wenngleich seltenen Steigerungen oder Verringerungen der Wasserleitfähigkeit). Zuweilen treten auch Symbole wie „++“ oder „--“ auf, die sporadische Steigerungen oder Verringerungen der Schüttungsmenge um zwei Klassen hinsichtlich der üblichen Durchflüsse aufzeigen.

7.3.2. Kumulative vorübergehende Schüttungen

Im Rahmen des Vortriebs und je weiter das Tunnel im Gesteinsmassiv vorankommt, wird die Drainage neuer Zuflüsse aktiviert. Am Ausgangspunkt des Vortriebs wird deshalb eine Schüttung abgeleitet, die sich aus

Tabella 8: *Tabella dei valori di portata massima transitoria sul cunicolo esplorativo calcolati con formulazione di Ribacchi et al. (2002). Le portate sono state calcolate utilizzando esclusivamente il valore di conducibilità idraulica corrispondente all'ipotesi 2 adottata nei calcoli con formulazione di Goodman et al. (1965).*

Le stime sulle portate transitorie sono riassunte nella riga descrittiva n. 16. Viste le numerose approssimazioni introdotte per il calcolo delle portate transitorie queste sono state rappresentate con delle classi che includono un intervallo di variabilità cautelativamente ampio. La classe di portate prevista è espressa in colori rossi di diversa tonalità a seconda dell'intensità delle venute previste. Si noti che questo colore esprime la classe statisticamente più rappresentata nelle diverse tratte. Possono poi comparire dei + o -, i quali indicano che sporadicamente si possono incontrare venute di una classe superiore o inferiore (in ragione di possibili sebbene statisticamente poco frequenti incrementi o diminuzioni di conducibilità idraulica). Talora possono anche comparire i segni ++ e --, ad indicare che gli sporadici aumenti/diminuzioni di portata possono essere anche di due classi superiori/inferiori rispetto a quella di maggior frequenza.

7.3.2. Portate cumulate transitorie

In corso di scavo, man mano che la galleria avvanzerà nell'ammasso roccioso, attiverà il drenaggio di nuove venute. Al punto di inizio scavi verrà quindi evacuata una portata che sarà il risultato del cumulo di più ve-

der Summe von mehreren Zuflüssen ergibt. Nachdem jeder Zufluss von einer Senkungskurve der Menge hinsichtlich der Zeit charakterisiert ist, ist der kumulative Durchfluss das Ergebnis der Summe von mehreren Wasserzuflüssen, die sich an unterschiedlichen Senkungsmomenten befinden. Die Schätzung der kumulativen Schüttungsmengen stellt daher eine eher zufällige Bewertung dar, einerseits weil sie von der Geschwindigkeit, mit der das Tunnel vorgetrieben wird, abhängt, andererseits weil man die bekannten Unsicherheiten im hydrogeologischen Vorhersehbarkeitsmodell mit einbeziehen muss.

Trotz allem ist es möglich, eine ungefähre Schätzung zu erstellen, indem man die Werte der stabilisierten vorübergehenden Schüttungen, die in den vorangegangenen Kapiteln analysiert wurden, heranzieht und dabei besonders die Abschnitte berücksichtigt, bei denen die größten kumulierten Schüttungsmengen erwartet werden.

Geht man vom Ausgangspunkt des Vortriebs im Süden aus, kann man folgende Abschnitte bezüglich der kumulativen Schüttungen als kritisch bezeichnen:

- a) Rund um pk 36+060 (Querung Marmor von Hochstegen);
- b) Rund um pk 32+520 (Querung Störung S04).

Im ersten Fall (pk 36+060) wird geschätzt, dass der Spitzenwert der kumulativen Schüttungen bei 250 l/s liegt. Schüttungen von vergleichbarem Ausmaß und auch wenig geringere werden schon vorher entwässert, und zwar um pk 37, da vor der Querung mit dem Hochstegener Marmor eine Überschneidung mit einigen Störungen vorgesehen ist, die bedeutende vorübergehende Zuflüsse erzeugen könnten.

Im zweiten Fall (pk 35+520) wird geschätzt, dass die kumulativen Schüttungen bei einem Maximum von 300 l/s liegen. Auch in diesem Fall können vergleichbare oder wenig geringere Zuflüsse schon vorher angetroffen werden, nämlich bei pk 33+120 bei der Querung mit der Störung SL01.

Zwischen den beiden Bereichen mit sehr hohen kumulativen Schüttungen kann man eine Zone erwarten, in der sich die kumulativen Schüttungsmengen verringern, wahrscheinlich bleiben sie aber oberhalb der 150 l/s-Grenze.

Letztendlich ist es noch wichtig festzuhalten, dass starke kumulative Schüttungen in der Größenordnung von 100-150 l/s schon bei pk 42+930 auftreten, der Bereich der Überschneidung mit der Störung SWNW01, wenn diese Extremwerte auch nur von kurzer Dauer sein dürften, da diese Störung keine größere Kapazität besitzt.

nute. Dal momento che ogni venuta è caratterizzata da una curva di decrescita della portata nel tempo, la portata cumulata sarà il risultato della somma di più venute che si trovano in un punto diverso della loro fase di decrescita di portata. La stima delle portate cumulate costituisce una valutazione estremamente aleatoria, sia perché dipende dalla velocità con cui la galleria viene scavata (che nella pratica è spesso differente da quella originariamente ipotizzata), sia perché esistono le ben note incertezze nel modello previsionale idrogeologico.

Comunque sia è possibile fare delle stime di larga massima, a partire dai dati di portate transitorie e stabilizzate analizzati nei capitoli precedenti, identificando in particolare le tratte ove sono attese le portate cumulate maggiori.

Ipotizzando un attacco degli scavi a partire da sud si possono identificare i seguenti settori come quelli caratterizzati dalle portate cumulate transitorie più critiche:

- a) Intorno della pk 36+060 (intersezione Marmi di Hochstegen);
- b) Intorno della pk 32+520 (intersezione faglia S04).

Nel primo caso (pk 36+060) si può stimare che il picco di portate cumulate sarà dell'ordine dei 250 l/s; in ogni caso portate di entità paragonabile e solo di poco inferiori inizieranno ad essere drenate già da prima, intorno alla pk 37, dal momento che prima dell'intersezione con i Marmi di Hochstegen è prevista l'intersezione con una serie di faglie che potrebbero produrre significativi afflussi transitorie.

Nel secondo caso (pk 35+520) il picco di portate cumulate transitorie può essere stimato nell'ordine dei 300 l/s. Anche in questo caso portate paragonabili e solo di poco inferiori potranno essere incontrate già da prima, intorno alla pk 33+120, all'intersezione con la faglia SL01.

Tra i due settori con portate transitorie cumulate molto elevate è da attendersi una zona in cui le portate cumulate si ridurranno, presumibilmente restando sempre al di sopra dei 150 l/s.

E' infine opportuno precisare che portate cumulate piuttosto consistenti, dell'ordine dei 100-150 l/s inizieranno a comparire già dall'intorno della pk 42+930 circa, zona di intersezione con la faglia SWNW01, anche se in questo caso si dovrebbe trattare di picchi di breve durata, poiché questa faglia non è molto capacitiva.

7.3.3. Stabilisierte Schüttungen

Die stabilisierten Schüttungen, die für die verschiedenen Abschnitte des Erkundungstollens berechnet wurden, sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Um die Wassermenge der Zuflüsse berechnen zu können wurde, im Gegensatz zur Berechnung der vorübergehenden Schüttungen mittels Berechnungen der Formel von Goodman et al. (1965) nur ein einziger Wert herangezogen, der repräsentativ für den Mittelwert der Durchlässigkeit des Gebirges auf dem berücksichtigten Abschnitt ist. Der herangezogene Wert der Leitfähigkeit zur Berechnung der vorübergehenden Schüttungen ist gewöhnlich an den niedrigsten Wert der drei angenommenen Werte für die Anwendung der Formel von Goodman et al. (1965) angepasst. Diese Entscheidung wird von der Tatsache unterstützt, dass bei tiefen Tunneln, wie es beim untersuchten Tunnel der Fall ist, bei Langzeitentwässerung eine Verringerung der Durchlässigkeit des Klüftungsnetzes auftritt, die durch einen allmählichen Verschluss der Trennfläche hervorgerufen wird, welche wiederum mit dem Abfall des hydraulischen Drucks zusammenhängt.

Die Infiltrationswerte wurden hingegen als Teilmenge der Infiltrationswerte geschätzt, die aus den hydrologischen Studien abgeleitet wurden, da nicht jeder eindringende Niederschlag die Grundwasserleiter in der Tiefe, sondern der Großteil nur oberflächlichere Fließsysteme in Quartärspeichern erreicht.

Von den vorhandenen Infiltrationswerten ausgehend sind dann maximale Schätzungen zur Teilmenge, die Richtung Untergrund fließt, erstellt worden, indem sowohl der morphologische wie auch der geologische Kontext auf der Vertikalen der hydrogeologisch aktiven Elemente der horizontalen Lage berücksichtigt wurden.

Bei Grundwasserleitern zum Beispiel, bei denen einige Störungen mit Bacheinschnitten an der Oberfläche übereinstimmen, wurde die Infiltrationsstufe höher eingeschätzt als bei Grundwasserleitern, die durch Hanglagen aufgefüllt werden, da die Wasserläufe in den Einschnitten eine wichtige Versorgungsquelle darstellen.

7.3.3. Portate stabilizzate

Le portate stabilizzate calcolate per le diverse tratte del cunicolo esplorativo sono riportate nelle tabelle che seguono.

Ai fini del calcolo di queste portate, contrariamente al caso del calcolo delle portate transitorie con formulazione di Goodman et al. (1965) è stato utilizzato un solo valore che si ritiene grossomodo rappresentativo della permeabilità media dell'ammasso nella tratta considerata. Il valore di conducibilità adottato è generalmente prossimo al valore più basso fra i tre adottati nell'applicazione della formulazione di Goodman et al. (1965) per il calcolo delle portate transitorie. Questa scelta appare giustificata dal fatto che nei tunnel profondi, quale quello in esame, generalmente nel caso di drenaggio a lungo termine, si manifesta una riduzione della permeabilità del reticolo di fratture dovuta alla progressiva chiusura delle discontinuità, correlabile con la caduta del carico idraulico.

I valori di infiltrazione sono stati invece stimati come frazioni dei valori di infiltrazione dedotti dagli studi idrologici eseguiti (§ 6.1), dal momento che non tutte le precipitazioni che infiltrano vanno ad alimentare gli acquiferi profondi, poiché la maggior parte alimenta solo sistemi di flusso più superficiali impostati nei depositi quaternari.

Partendo dai dati di infiltrazione disponibili sono quindi state eseguite delle stime di larga massima sulla frazione diretta verso il substrato, tenendo in conto sia il contesto morfologico che quello geologico sulla verticale degli elementi ritenuti idrogeologicamente attivi del basamento.

Ad esempio per acquiferi quali alcune faglie che in superficie corrispondono ad incisioni torrentizie, il grado di infiltrazione è stato considerato maggiore che per acquiferi con zona di ricarica ubicata a mezzo versante, dal momento che i corsi d'acqua presenti nelle incisioni possono garantire una fonte di alimentazione significativa.

Tratta		INPUT						OUTPUT		
		Infiltrazione		Carico idraulico iniziale	Conducibilità idraulica stabilizzato	Estensione laterale dell'acquifero	Raggio del tunnel	Portata specifica stabilizzata	Portata stabilizzata nella tratta	Altezza finale della colonna d'acqua sul tunnel
Da	A	I		H ₀	k	L	r _g			H _{fin}
(km)		m/a	m/s	m	m/s	m	m	l/s*10m	l/s	m
32,085	32,515	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,2	994
32,515	32,535	0,5	1,6E-08	1200	1,0E-07	500	3	0,156	0,3	231
32,535	33,100	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,2	994
33,100	33,140	1	3,2E-08	1200	5,0E-07	750	3	0,462	1,8	101
33,140	35,100	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,7	994
35,100	35,600	0,02	6,3E-10	1200	1,0E-09	300	3	0,004	0,2	867
35,600	35,960	0,02	6,3E-10	1000	1,0E-09	300	3	0,004	0,1	740
35,960	36,030	0,5	1,6E-08	1000	5,0E-08	300	3	0,094	0,7	370
36,030	36,090	2	6,3E-08	1000	5,0E-07	2000	3	2,511	15,1	300
36,090	36,270	0,02	6,3E-10	1000	1,0E-09	300	3	0,004	0,1	740
36,270	36,300	1	3,2E-08	900	5,0E-07	750	3	0,458	1,4	82
36,300	36,405	0,02	6,3E-10	900	1,0E-09	300	3	0,004	0,04	676
36,405	36,450	2	6,3E-08	750	5,0E-07	1000	3	1,246	5,6	167
36,450	36,630	0,5	1,6E-08	750	5,0E-08	300	3	0,094	1,7	291
36,630	36,650	0,7	2,2E-08	750	5,0E-07	400	3	0,165	0,3	43
36,650	36,720	0,5	1,6E-08	750	5,0E-08	300	3	0,094	0,7	291
36,720	36,850	0,02	6,3E-10	750	1,0E-09	300	3	0,004	0,0	581
36,850	36,960	0,5	1,6E-08	750	5,0E-08	300	3	0,094	1,0	291
36,960	37,245	0,02	6,3E-10	750	1,0E-09	300	3	0,004	0,1	581
37,245	37,265	1	3,2E-08	750	5,0E-07	1000	3	0,611	1,2	83
37,265	37,310	0,5	1,6E-08	750	2,5E-07	1000	3	0,306	1,4	83
37,310	37,330	1	3,2E-08	750	5,0E-07	1000	3	0,611	1,2	83
37,330	37,340	0,3	9,5E-09	750	1,0E-07	1000	3	0,186	0,2	125
37,340	37,460	0,05	1,6E-09	800	5,0E-09	300	3	0,009	0,1	307
37,460	37,500	0,2	6,3E-09	800	5,0E-08	1000	3	0,125	0,5	173
37,500	37,620	0,05	1,6E-09	800	5,0E-09	300	3	0,009	0,1	307
37,620	37,715	0,1	3,2E-09	800	2,5E-08	2000	3	0,125	1,2	273
37,715	37,780	1	3,2E-08	750	2,5E-07	2000	3	1,254	8,2	266
37,780	38,190	0,1	3,2E-09	700	2,5E-08	2000	3	0,125	5,1	259
38,190	38,280	0,5	1,6E-08	650	1,0E-07	2000	3	0,628	5,7	314
38,280	38,850	0,1	3,2E-09	850	2,5E-08	1000	3	0,062	3,6	179

Tabelle 9: Es folgt in der Tabelle 10

Tabella 9: Continua in Tabella 10:

Tratta		INPUT					OUTPUT			
		Infiltrazione		Carico idraulico iniziale	Conducibilità idraulica stabilizzata	Estensione laterale dell'acquifero	Raggio del tunnel	Portata specifica stabilizzata	Portata stabilizzata nella tratta	Altezza finale della colonna d'acqua sul tunnel
Da	A	I		H ₀	k	L	r _g			H _{fin}
(km)		m/a	m/s	m	m/s	m	m	l/s*10m	l/s	m
38,850	38,915	0,03	9,5E-10	1000	2,0E-09	300	3	0,006	0,04	555
38,915	38,990	0,2	6,3E-09	1000	5,0E-08	750	3	0,094	0,7	177
38,990	39,515	0,05	1,6E-09	1100	5,0E-09	300	3	0,009	0,5	402
39,515	39,850	0,1	3,2E-09	1100	2,0E-08	500	3	0,031	1,0	215
39,850	40,140	0,2	6,3E-09	1100	5,0E-08	500	3	0,062	1,8	172
40,140	40,455	0,05	1,6E-09	1100	5,0E-09	300	3	0,009	0,3	402
40,455	40,485	0,5	1,6E-08	1200	2,5E-07	1000	3	0,309	0,9	112
40,485	40,560	0,1	3,2E-09	1200	5,0E-08	1000	3	0,062	0,5	112
40,560	40,590	0,5	1,6E-08	1200	5,0E-07	1000	3	0,300	0,9	56
40,590	40,870	0,2	6,3E-09	1400	5,0E-08	300	3	0,037	1,0	199
40,870	41,930	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,4	994
41,930	41,990	1	3,2E-08	1400	2,5E-07	1000	3	0,627	3,8	249
41,990	42,240	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,1	994
42,240	42,325	0,05	1,6E-09	1400	5,0E-08	300	3	0,009	0,1	50
42,325	42,400	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,03	994
42,400	42,470	0,05	1,6E-09	1400	5,0E-08	300	3	0,009	0,1	50
42,470	42,820	0,02	6,3E-10	1400	1,0E-09	300	3	0,004	0,1	994
42,820	42,920	0,5	1,6E-08	1400	5,0E-08	300	3	0,095	0,9	497
42,920	42,940	0,5	1,6E-08	1400	5,0E-07	500	3	0,149	0,3	53
42,940	43,045	0,5	1,6E-08	1400	5,0E-08	300	3	0,095	1,0	497
43,045	43,065	0,3	9,5E-09	1400	2,5E-07	500	3	0,091	0,2	63
43,065	43,155	0,05	1,6E-09	1400	5,0E-09	300	3	0,009	0,1	497
43,155	43,175	0,5	1,6E-08	1400	5,0E-08	300	3	0,095	0,2	497
43,175	43,740	0,03	9,5E-10	1200	2,5E-09	300	3	0,006	0,3	520
43,740	43,780	0,5	1,6E-08	1100	1,0E-07	2000	3	0,629	2,5	392
43,780	44,600	0,03	9,5E-10	1000	2,5E-09	300	3	0,006	0,5	444
44,600	44,830	0,03	9,5E-10	1000	2,5E-09	300	3	0,006	0,1	444
44,830	44,870	0,5	1,6E-08	1100	1,0E-07	2000	3	0,629	2,5	392
44,870	45,090	0,03	9,5E-10	1100	2,5E-09	300	3	0,006	0,1	482
45,090	45,160	0,1	3,2E-09	1100	1,0E-08	500	3	0,031	0,2	430
45,160	45,495	0,03	9,5E-10	1100	2,5E-09	300	3	0,006	0,2	482
45,495	45,515	0,1	3,2E-09	1100	1,0E-08	500	3	0,031	0,1	430
45,515	46,600	0,03	9,5E-10	900	2,0E-09	300	3	0,006	0,6	507
46,600	46,900	0,03	9,5E-10	700	2,0E-09	300	3	0,006	0,2	412

Tabelle 10: Tabelle zu den mit der Formel Ribacchi- et al. (2002) berechneten Werten der stabilisierten Schüttungsmenge.

Tabella 10: Tabella dei valori di portata stabilizzata calcolati con formulazione di Ribacchi et al. (2002).

7.3.4. Stabilisierte kumulative Schüttungen

Auf der Grundlage von Tabelle 9 und Tabelle 10 liegen die stabilisierten Schüttungen, die von dem Abschnitt des Stollens, in dem Langzeitstudien (Jahre) durchgeführt wurden, ablaufen, in einer Größenordnung von ca. 80 l/s, vorsichtshalber auf 100 l/s aufgerundet

7.3.4. Portate cumulate stabilizzate

Sulla base delle Tabella 9: e Tabella 10: le portate stabilizzate, defluenti dalla tratta di cunicolo oggetto di studio sul lungo termine (anni) saranno di circa 80 l/s o, arrotondando cautelativamente per eccesso, di circa 100 l/s.

8. BESCHREIBUNG DES ERWARTETEN HYDROGEOLOGISCHEN GEFÜGES ENTLANG DER TRASSE

Das erwartete hydrogeologische Gefüge entlang der Trasse wird unter Bezugnahme auf die homogenen hydrogeologischen Bereiche beschrieben, die im hydrogeologischen Profil ermittelt wurden, das als Anlage an den vorliegenden Bericht beigelegt und in der Beschreibungszeile 11 zu finden ist

8.1. Bereich 1

Durchlässigkeit/Konnektivität – Das Maß an Durchlässigkeit ist in der Hauptsache sehr niedrig oder niedrig, denn die Gneise weisen eine niedrige Zerklüftungsdichte auf. Lokale Steigerungen können im Zusammenhang mit zwei Störungen auftreten, die im Abschnitt S504 und SL01 erwartet werden. Es wird angenommen, dass die hydraulische Konnektivität auch entlang der Störungen eher gering ist. Das liegt einerseits an der geringen Dicke dieser Strukturen, andererseits daran, dass Strukturen mit geringer Kraft und geringer seitlicher Persistenz einer Segmentierung unterworfen sind, die eine hydraulische Unterbrechung zur Folge haben kann.

Wasserdrucke – Die geschätzten hydraulischen Drücke sind sehr hoch und können bis zu 1500-1600 m im Bereich zwischen pk 33 und 34 erreichen. Von diesem Bereich aus Richtung Norden müsste die Tendenz dann bis auf 1300-1400 m fallen, während sie Richtung Süden bis auf 1000-1100 m fällt. Man muss allerdings hinzufügen, dass in dem Bereich keine direkten Messungen der hydraulischen Drücke durchgeführt worden sind.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die maximalen vorübergehenden Schüttungen werden niedrig eingeschätzt (Feuchtigkeit, Quellfluren), auch wenn bei der Querung von einzelnen besser leitenden Klüften größere Wassermengen erwartet werden können (bis zu einigen Litern pro Sekunde), die im Laufe der Zeit rapide abnehmen (Stunden – Tage). Aufgrund der hohen anfänglichen hydraulischen Drücke können bei der Querung der zwei vorgesehenen Störungen punktuelle Zutritte auftreten, die sehr hoch sein können (> 10 l/s). Das gilt vor allem für die Störung SL01, die einen Bereich von großen Schäden aufzeigt. Im Falle der Störung S504 müssten die Zutritte recht schnell und in großem Ausmaß abnehmen, während bei der Störung SL01 die Verringerung des Schüttungsmenge gleicher Intensität langsamer sein wird, da es sich hier um ein hydrogeologisches Element

8. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO IDROGEOLOGICO ATTESO LUNGO IL TRACCIATO

L'assetto idrogeologico atteso lungo lo sviluppo del tracciato verrà descritto facendo riferimento ai settori idrogeologicamente omogenei individuati nel profilo idrogeologico allegato al presente rapporto e codificati nella riga descrittiva n. 11.

8.1. Settore 1

Permeabilità/connettività – Il grado di permeabilità è perlopiù molto basso o basso, poiché gli ortogneiss presentano una bassa densità di fratturazione; anche la connettività idraulica è scarsa. Aumenti locali, anche consistenti possono verificarsi in corrispondenza delle due faglie previste nella tratta (S504 e SL01). Si ritiene che la connettività idraulica anche lungo le faglie sia piuttosto scarsa, sia a causa del modesto spessore di queste strutture, sia perché strutture discrete con scarsa potenza e scarsa persistenza laterale sono verosimilmente soggette ad una segmentazione che può determinare l'interruzione della continuità idraulica.

Carichi idraulici – I carichi idraulici stimati sono molto elevati e possono raggiungere i 1500-1600m nel settore compreso tra le pk 33 e 34. A partire da questo settore verso nord dovrebbero poi tendere a diminuire fino a 1300-1400m, mentre verso sud si abbassano fino a 1000-1100m. Va comunque precisato che nel settore non esiste alcuna misura diretta del carico idraulico.

Portate massime transitorie – Le portate massime transitorie sono previste molto basse (umidità, stillicidi), anche se all'intersezione di singole fratture più conduttive si possono riscontrare venute più consistenti (fino a pochi litri per secondo), in rapida diminuzione al passar del tempo (ore-giorni). A causa dei carichi idraulici iniziali molto elevati, venute puntuali anche molto elevate (> 10l/s) si possono verificare all'intersezione con le due faglie previste, e specialmente la faglia SL01, che presenta una zona di danneggiamento più potente. Nel caso della faglia S504 le venute dovrebbero diminuire piuttosto rapidamente e in modo consistente, mentre nel caso della faglia SL01, la diminuzione di portata, pure consistente, dovrebbe risultare più lenta trattandosi di un elemento idrogeologico maggiormente capacitivo.

handelt, das eine weit höhere Kapazität hat.

Stabilisierte Schüttungen – Die vorhergesehenen stabilisierten Schüttungen sind von einer geringen Größenordnung; es handelt sich um wenige Liter pro Sekunde. Vor allem wird damit gerechnet, dass sie in der Störung SL01 konzentriert sind, die als einziges Element hydraulisch mit der Oberfläche verbunden sein könnte, wenn auch in geringem Ausmaß.

Wassertemperaturen – Die erwarteten Temperaturen der drainierten Wasser sind recht hoch, sie können bis zu 40°C auf dem Abschnitt der stärksten topographischen Überlagerung erreichen.

Interferenzen mit Flusssystemen – Es werden keine bedeutenden Interferenzen mit Flusssystemen erwartet.

8.2. Bereich 2

Durchlässigkeit/Konnektivität – Theoretisch müsste dieser Sektor sehr ähnliche Merkmale wie Bereich 1 aufweisen, da der lithologische Kontext der gleiche ist. Trotzdem sollte vermerkt werden, dass die Bohrung Vi-B-06/05, die 1,5 km entfernt östlich von der Trasse durchgeführt wurde, gezeigt hat, dass der Untergrund aus Gneis in großer Tiefe, also in einem dem Abschnitt ähnlichen Kontext, von hydrogeologischen Zirkulationen betroffen ist, die recht aktiv scheinen, deren Wasser reich an Sulfat ist und die artesischen Zutritte am Bohrloch verursacht haben. Anscheinend gab es im Bereich des durchdrungenen Untergrunds keine erkennbaren Elemente für eine abweichende erhöhte Durchlässigkeit wie bei den Störungen. Die Bohrung zeigt also, dass im Untergrund aus Gneis, zumindest in den Berührungsbereichen mit der Überlagerung, erhöhte Durchlässigkeit möglich ist (von einer nicht näher bestimmbareren Größenordnung), die vielleicht entlang einzelner, unterschiedlich miteinander verbundener Klüfte verläuft und von Strömungen der anliegenden Überlagerungen versorgt wird (Sulfat-Charakter der Gewässer). Diese Tatsache stellt sicher ein Element der Ungewissheit dar, das berücksichtigt werden sollte.

Wasserdrucke – Die hydraulischen Drücke werden hoch eingeschätzt und liegen in einer Größenordnung von 800-1100 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die maximalen vorübergehenden Schüttungen werden niedrig erwartet (Feuchtigkeit, Quellfluren), da es keine Elemente gibt, die eine ungewöhnliche Erhöhung der Durchlässigkeit aufzeigen. Trotz allem lassen die beschriebenen Unsicherheitsfaktoren die Möglichkeit offen, dass es lokale Fließsysteme gibt, die mit Zonen verbunden sind, die erhöhte Durchlässigkeit aufweisen.

Stabilisierte Schüttungen – Die erwarteten stabilisier-

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate previste sono di entità piuttosto modesta, dell'ordine di pochi litri per secondo, e perlopiù si presume che saranno concentrate in corrispondenza della faglia SL01, unico elemento che presenta delle seppur modeste probabilità di essere idraulicamente interconnessa con la superficie.

Temperature dell'acqua – Le temperature attese per le acque drenate sono piuttosto elevate, con picchi di 40°C nella tratta a maggior copertura topografica.

Interferenze con sistemi di flusso – Non sono previste interferenze con sistemi di flusso rilevanti.

8.2. Settore 2

Permeabilità/connettività – In linea teorica questo settore dovrebbe risultare piuttosto simile al precedente, dal momento che il contesto litologico è il medesimo. Vale tuttavia la pena segnalare che nel sondaggio Vi-B-06/05, eseguito circa 1,5 km a est del tracciato, il substrato gneissico intersecato a profondità molto elevate, quindi in un contesto simile a quello della presente tratta, era interessato da circolazioni idrogeologiche apparentemente piuttosto attive con acque ricche in solfati che hanno determinato venute artesiane a bocca foro. Apparentemente non esistevano nel settore di substrato attraversato elementi evidenti per un incremento anomalo della permeabilità, quali la presenza di faglie. Il sondaggio indica dunque che nel substrato gneissico, almeno in prossimità del contatto con le coperture, sono possibili incrementi di permeabilità (di entità non meglio specificabile), forse lungo fratture singole variamente interconnesse e alimentate anche da flussi nelle adiacenti coperture (carattere solfatico delle acque). Tale aspetto rappresenta sicuramente un elemento di incertezza di cui tenere conto.

Carichi idraulici – I carichi idraulici stimati sono elevati, dell'ordine degli 800-1100m.

Portate massime transitorie – Le portate massime transitorie, in assenza di evidenti elementi che indichino aumenti anomali di permeabilità, sono previste molto basse (umidità, stillicidi), tuttavia i fattori di incertezza di cui sopra lasciano aperta la possibilità che esistano locali sistemi di flusso connessi a zone ad elevata permeabilità.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate previste

ten Durchflüsse sind von mäßiger Größenordnung und liegen unter 1 l/s.

Wassertemperaturen – Die Temperaturen bei der Entwässerung werden um 21-25°C erwartet.

Interferenzen mit Flusssystemen – Es werden keine bedeutenden Interferenzen mit Fließsystemen erwartet.

8.3. Bereich 3

Durchlässigkeit/Konnektivität – Hier werden Durchlässigkeiten erwartet, die in bestimmten Bereichen wegen der möglichen Präsenz von Auflösungserscheinungen des Karbonats entlang der Klüfte hohe Werte erreichen können; die höchsten Werte werden im Hochstegener-Marmor erwartet. Diese Annahmen sind jedoch recht unsicher, weil dieser Bereich noch nie mittels Bohrungen untersucht worden ist. Sollten erhöhte Durchlässigkeiten auftreten, müssten dort auch gute Verbindungen mit der Oberfläche vorhanden sein, da die Auflösungserscheinungen tendenziell nach oben hin ansteigen.

Wasserdrucke – Die angenommenen hydraulischen Drücke sind hier recht hoch und liegen in einer Größenordnung von 800-1000 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die erwarteten maximalen vorübergehenden Schüttungsmengen liegen bei hoch bis sehr hoch, vor allem im Hochstegener-Marmor, wo die vorhergesehenen Mittelwerte in einer Größenordnung von 10 l/s*10m liegen. Da man aber den Bestand von Bereichen mit intensiver Auflösung von Karbonat nicht ausschließen kann, können durchaus und ausnahmsweise Schüttungen von Dutzenden von Litern pro Sekunde erreicht werden.

Stabilisierte Schüttungen – Es werden stabilisierte Schüttungen in einer Größenordnung von 15 l/s auf diesem Abschnitt erwartet.

Wassertemperaturen – Die erwarteten Temperaturen liegen bei 18-22°C.

Interferenzen mit Flusssystemen – In diesem Sektor besteht die größte Möglichkeit der Zirkulation des wichtigsten Durchflusses, der das System von Brennerbad (FSI-R-3) versorgt und sich vor allem im Inneren des Hochstegener Marmors befinden sollte.

8.4. Bereich 4

Durchlässigkeit/Konnektivität – Es werden sehr niedrige Werte bei Durchlässigkeit und Konnektivität erwartet.

sind von entität modesta, inferiori a 1 l/s.

Temperature dell'acqua – Le temperature delle acque drenate sono previste nell'ordine dei 21-25°C.

Interferenze con sistemi di flusso – Non sono previste interferenze con sistemi di flusso rilevanti.

8.3. Settore 3

Permeabilità/connettività – Si prevedono permeabilità che localmente possono essere piuttosto elevate per la possibile presenza di fenomeni di dissoluzione del carbonato lungo le fratture; le permeabilità maggiori sono attese all'interno dei Marmi di Hochstegen. Tali assunzioni sono comunque piuttosto incerte poiché questo contesto non è mai stato investigato direttamente con sondaggi. Qualora siano presenti permeabilità relativamente elevate, sicuramente sarebbe presente anche un buon grado di connettività con la superficie, dal momento che i fenomeni di dissoluzione tendono ad aumentare spostandosi verso l'alto.

Carichi idraulici – I carichi idraulici ipotizzabili sono elevati, dell'ordine degli 800-1000m.

Portate massime transitorie – Le portate massime transitorie attese sono da elevate a molto elevate, soprattutto all'interno dei Marmi di Hochstegen, dove i valori medi previsti sono dell'ordine dei 10 l/s*10m, ma non potendo escludere l'esistenza di zone con intensa dissoluzione del carbonato, valori di portata di alcune decine di litri per secondo sono eccezionalmente raggiungibili.

Portate stabilizzate – Si stimano portate stabilizzate nell'ordine dei 15 l/s sulla tratta.

Temperature dell'acqua – Le temperature attese sono di 18-22°C.

Interferenze con sistemi di flusso – Questo settore è quello che con maggiori probabilità ospita la circolazione del sistema di flusso principale alimentante le Terme del Brennero (FSI-R-3), che dovrebbe essere presente principalmente all'interno dei marmi di Hochstegen.

8.4. Settore 4

Permeabilità/connettività – Si prevede un grado di permeabilità e di connettività idraulica molto basso.

Wasserdrucke – Die hydraulischen Drücke sind hoch und liegen bei 750-1000 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die erwarteten vorübergehenden Schüttungen sind sehr gering (Feuchtigkeit, Quellsfluren).

Stabilisierte Schüttungen – Stabilisierte Schüttungen werden praktisch nicht vorhanden sein.

Wassertemperaturen – Die erwarteten Temperaturen liegen bei 18-22°C.

Interferenzen mit Flusssystemen – Es wird keine bedeutende Interferenz mit Fließsystemen erwartet.

8.5. Bereich 5

Durchlässigkeit/Konnektivität – Dieser Sektor ist von hoher lithologischer Heterogenität. Aus diesem Grund trifft man auf häufige Veränderungen bezüglich der Durchlässigkeit, einerseits weil die Häufigkeit der Klüfte von einem Gesteinstyp zum anderen stark variieren kann, andererseits weil Zwischenlagen von evaporitischen Karbonatgesteinstypen und von Silikatgesteinstypen vorhanden sind, die auf die chemische Auflösungserscheinung, die vom zirkulierenden Wasser hervorgerufen wird, unterschiedlich reagieren. Im Allgemeinen werden aber keine erhöhten oder hohen Werte der Durchlässigkeit erwartet, außer in den Bereichen der Störzonen (Vi-5-755, Vi-5-535, Vi-4-963, Vi-4-962), wo kurze Strecken mit punktuell sehr hoher Durchlässigkeit nicht ausgeschlossen werden können, besonders dort, wo kataklastische Phänomene und Auflösungserscheinungen von Karbonaten und Evaporiten zusammentreffen (mögliches Vorkommen von meterhohem unzusammenhängendem Restmaterial).

Außerhalb der Störungen, d.h. im Gestein, das aus Silikaten besteht, ist die Durchlässigkeit immer sehr gering oder gering, während im Karbonatgestein die Durchlässigkeit auf 10^{-8} und 10^{-7} m/s geschätzt wird, mit möglichen punktuellen Steigerungen, die auch über 10^{-7} m/s liegen können.

Die hydraulische Konnektivität kann entlang der Störungen recht umfangreich sein; im restlichen Gebirge im Inneren der Karbonatbänke kann man das Vorkommen von relativ kontinuierlichen und untereinander verbundenen Bereichen nicht ausschließen.

Wasserdrucke – Die hydraulischen Drücke erreichen in den südlichen Bereichen Werte von 650-750 m und in den nördlichen 750-900 m. Diese Werte sind ziemlich zuverlässig, denn die Vorhersage gründet auf hydraulischen Tests, die bei den Bohrungen Vi-B-05 und Vi-B-04 durchgeführt wurden.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die bedeutendsten Schüttungen sind bei der Überschneidung mit den Störungen zu erwarten, wo Zuflüsse von 5-10

Carichi idraulici – I carichi idraulici sono elevati, dell'ordine dei 750-1000m.

Portate massime transitorie – Le portate transitorie attese sono molto basse (umidità, stillicidi).

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate saranno praticamente assenti.

Temperature dell'acqua – Le temperature dell'acqua sono previste essere nell'ordine dei 18-22°C.

Interferenze con sistemi di flusso – Nessuna interferenza con sistemi di flusso significativi.

8.5. Settore 5

Permeabilità/connettività – Questo settore è caratterizzato da una forte eterogeneità litologica a scala metrico-decmetrica; pertanto si potranno riscontrare variazioni piuttosto frequenti del grado di permeabilità, sia perché la densità di fratturazione può variare sensibilmente da un litotipo all'altro, sia perché esistono interstrati di litotipi carbonatico-evaporitici e litotipi silicatici che presentano diversa risposta al fenomeno di dissoluzione chimica operata dall'acqua circolante. In linea generale non sono comunque attese zone con grado di permeabilità elevato o molto elevato, se non in corrispondenza delle zone di faglia (Vi-5-755, Vi-5-535, Vi-4-963, Vi-4-962) ove non possono essere esclusi brevi tratti puntuali con grado di permeabilità anche molto elevato, soprattutto per l'occorrenza congiunta di fenomeni cataclastici e fenomeni di dissoluzione dei carbonati ed evaporiti (possibile presenza di livelli metrici di materiale residuale poco coesivo).

Al di fuori delle faglie, nelle rocce a composizione silicatica la permeabilità sarà sempre molto bassa o bassa, mentre nelle rocce carbonatiche sono da attendersi permeabilità prevalenti comprese tra 10^{-8} e 10^{-7} m/s, con possibili picchi locali piuttosto circoscritti di entità anche superiore a 10^{-7} m/s.

Il grado di connettività idraulica potrà essere piuttosto elevato lungo le faglie; nel resto dell'ammasso all'interno delle bancate carbonatiche non si esclude la presenza di zone conduttive relativamente continue e interconnesse.

Carichi idraulici – I carichi idraulici sono compresi tra i 650 e 750m nella parte più meridionale del settore e tra i 750 e 900m nella parte settentrionale. Tali valori sono da ritenersi piuttosto attendibili, poiché la previsione si basa sui test idraulici eseguiti nei sondaggi Vi-B-05 e Vi-B-04.

Portate massime transitorie – Le portate più consistenti sono attese all'intersezione con le faglie, dove afflussi di 5-10 l/sx10m sono piuttosto probabili; pun-

l/s x 10 m nicht ungewöhnlich sind. Nicht auszuschließen sind punktuelle Zuflüsse von Dutzenden von Litern pro Sekunde mit schnellem Rückgang (Stunden-Tage) nach der anfänglichen Entwässerungsphase. Im restlichen Gesteinsmassiv, also im durchquerten Silikatgestein, werden ausschließlich Feuchtigkeit und Quellfluren erwartet, während im Karbonatgestein die Normalsituation mit verbreitetem Quellfluren gekennzeichnet ist, mit möglichen, punktuell eingeschränkten Zutritten von einigen Litern pro Sekunde.

Stabilisierte Schüttungen – Die gesamten stabilisierten Schüttungen des Abschnitts werden auf 10-15 l/s geschätzt. Es wird sich dabei wohl um verstreute Zuflüsse handeln, denn die Störzonen, wo sich die bedeutenderen Zuflüsse in der Übergangsphase konzentrieren, neigen dazu sich rasch entwässern zu lassen, da sie seitlich nur wenig Persistenz aufweisen und daher langfristig über wenig Auffüllung verfügen.

Wassertemperaturen – Die erwarteten Temperaturen werden bei 18-22°C liegen.

Interferenzen mit Flusssystemen – Im behandelten Sektor scheint es keine besonders aktiven Flusssysteme zu geben. Trotzdem wurde im Zweifelsfall das Vorhandensein von zwei tief liegenden Flusssystemen FSI-R-6 und FSI-R-7 angenommen, auf die man während der Aushubarbeiten stoßen könnte.

8.6. Bereich 6

Durchlässigkeit/Konnektivität – Es handelt sich hier um einen Sektor, in dem die Durchlässigkeit recht hoch sein müsste, da er sich in Karbonatgestein zwischen zwei Störzonen befindet. Man kann also von einer mittleren Zerklüftungsdichte ausgehen (besonders hoch in den Störzonen n-f539a und n-f539b) und von Auflösungserscheinungen. Die erwartete hydraulische Konnektivität ist recht hoch und weist Flusssysteme auf, die von einer beachtlichen Versorgung von der Oberfläche her gekennzeichnet ist.

Wasserdrucke – Die hydraulischen Drücke liegen bei 650-750 m. Dieser Wert ist allerdings eine Schätzung, die nicht durch Bohrlochproben überprüft wurde.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die vorübergehenden Schüttungen können recht kräftig ausfallen und liegen in der Größenordnung von 5-10 l/sx10m; nicht ausgeschlossen werden sporadisch auftretende punktuelle Zuflüsse von einigen Dutzend Litern pro Sekunde, die nach einer anfänglichen Entwässerungsphase rasch zurückgehen (Stunden-Tage).

Stabilisierte Schüttungen – Die stabilisierten Schüttungen können recht kräftig sein und liegen in einer Größenordnung von 5 l/s, da die grundwasserleitenden Zonen gute Konnektivität mit der Oberfläche und

tualmente non si possono escludere afflussi di alcune decine di litri per secondo in rapida decrescita (ore-giorni) dopo la fase di drenaggio iniziale. Nel resto dell'ammasso, nelle zone di attraversamento in rocce silicatiche sono previsti esclusivamente umidità e stillicidi, mentre nel caso delle rocce carbonatiche la situazione normale sarà quella di presenza di stillicidi diffusi, con possibili venute piuttosto localizzate dell'entità di qualche litro per secondo.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate complessive sull'intera tratta sono stimate nell'ordine dei 10-15 l/s; si tratterà presumibilmente di afflussi diffusi, perché le zone di faglia, in cui si concentrano le venute più importanti in fase transitoria, tenderanno a essere drenate piuttosto rapidamente, essendo poco persistenti lateralmente e disponendo quindi di poca ricarica sul lungo periodo.

Temperature dell'acqua – Sono attese temperature comprese tra 18 e 22°C.

Interferenze con sistemi di flusso – Nel settore in esame non sembrano essere presenti sistemi di flusso particolarmente attivi. Tuttavia è stata dubitativamente ipotizzata la presenza di due sistemi di flusso profondi FSI-R-6 e FSI-R-7, che potrebbero essere intercettati durante gli scavi.

8.6. Settore 6

Permeabilità/connettività – Si tratta di un settore in cui il grado di permeabilità dovrebbe essere piuttosto elevato, dal momento che si sviluppa in rocce carbonatiche comprese tra due zone di faglia; si ipotizza quindi una densità di fratturazione media piuttosto grande (più consistente in corrispondenza delle zone di faglia n-f539a e n-f539b) e possibili fenomeni di dissoluzione. La connettività idraulica attesa è piuttosto elevata, con sistemi di flusso caratterizzati da una consistente ricarica dalla superficie.

Carichi idraulici – I carichi idraulici sono dell'ordine dei 650-750m; da notare che tale dato è una stima non verificata direttamente tramite prove in foro.

Portate massime transitorie – Le portate transitorie potranno essere piuttosto consistenti, dell'ordine di 5-10 l/sx10m; non si possono escludere sporadici afflussi puntuali di alcune decine di litri per secondo in rapida decrescita (ore-giorni) dopo la fase di drenaggio iniziale.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate potranno essere piuttosto consistenti, dell'ordine dei 5 l/s, poiché le zone acquifere sono dotate di una buona connessione con la superficie e anche di una discreta

eine einigermaßen gute Versorgung aufweisen.

Wassertemperaturen – Die Wassertemperaturen werden auf 18-22°C geschätzt.

Interferenzen mit Flusssystemen – Dieser Grundwasserbereich auf oberflächlichem Niveau birgt in sich das Flusssystem FSI-R-2, während in tieferen Lagen von einem längeren Flusssystem ausgegangen wird, das FSI-R-4 genannt wird und am Ursprung der Thermalquellen von Brennerbad liegen könnte (weniger wahrscheinliche Vermutung im Vergleich zum Ursprung im System FSI-R-3). Störungen beider Systeme sind während der Entwässerungsphase vom Tunnel aus möglich.

8.7. Bereich 7

Durchlässigkeit/Konnektivität - In diesem Bereich herrscht geringe oder sehr niedrige Durchlässigkeit; die lokale und sehr unwahrscheinlich Zunahme kann nur entsprechend den Marmorschichten um den pk 37+480 beobachtet werden, wo Auflösungsphänomene zu bescheidenen Erweiterungen der Klüfte geführt haben können. Die voraussichtliche hydraulische Konnektivität ist gering.

Wasserdrucke – Die Wasserdrucke belaufen sich auf eine Größenordnung von 750-800m.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Nachweisbare vorübergehende Zutritte, zwar immer nur in sehr geringem Ausmaß, sind nur auf Höhe der Marmorschicht um den pk 37+480 vorgesehen und hier in der Größenordnung von einem Liter pro Sekunde, mit möglichen, aber unwahrscheinlichen Höchstwerten bis zu einigen Litern pro Sekunde. Im restlichen Abschnitt findet man lediglich Feuchtigkeit und Quellfluren vor.

Stabilisierte Schüttungen – Die voraussichtlichen stabilisierten Schüttungen sind sehr gering und liegen bei weniger als 1 l/s

Wassertemperatur – es sind Temperaturen zwischen 18 bis 22 °C vorgesehen.

Interferenzen mit Flusssystemen - In diesem Abschnitt gibt es keine relevanten Flusssysteme.

8.8. Bereich 8

Durchlässigkeit / Konnektivität - In diesem Bereich wird die Anwesenheit einer großen Störung (S05) erwartet. Ihre Existenz ist aber sehr unsicher, da sie nur mittels fotogeologischer Analysen identifiziert wurde und nie direkt beobachtet wurde. Unter der Annahme, dass diese Trennfläche tatsächlich vorhanden ist, wäre die Permeabilität nicht besonders hoch. Im Durchschnitt sollte sie bei $1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s, da die

alimentazione.

Temperature dell'acqua – Le temperature sono previste nell'ordine dei 18-22 l/s.

Interferenze con sistemi di flusso – Questa zona acquifera a livelli superficiali è sede del sistema di flusso FSI-R-2, mentre a livelli più profondi è stata ipotizzata la presenza di un sistema di flusso più lungo, denominato FSI-R-4, che potrebbe essere all'origine delle sorgenti termali del Brennero (ipotesi meno probabile rispetto a quella di un'origine dal sistema FSI-R-3). Perturbazioni a entrambi i sistemi sono possibili in fase di drenaggio da parte della galleria.

8.7. Settore 7

Permeabilità/connettività – In questo settore prevalgono permeabilità basse o molto basse; locali e poco probabili incrementi si possono osservare solo in corrispondenza del livello di marmi presente intorno alla pk 37+480, ove i fenomeni di dissoluzione possono aver determinato modesti allargamenti delle fratture. La connettività idraulica prevista è bassa.

Carichi idraulici – I carichi idraulici stimabili sono dell'ordine dei 750-800m.

Portate massime transitorie – Afflussi transitori rilevabili, seppur sempre piuttosto modesti, sono previsti solo in corrispondenza del livello di marmi intorno alla pk 37+480, nell'ordine del litro per secondo, con possibili ma poco probabili incrementi puntuali fino a qualche litro per secondo. Sul resto della tratta sono previsti esclusivamente umidità e stillicidi.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate previste sono molto basse, inferiori a 1l/s.

Temperature dell'acqua – Sono previste temperature comprese tra i 18 e 22°C.

Interferenze con sistemi di flusso – In questa tratta non sono presenti sistemi di flusso rilevanti.

8.8. Settore 8

Permeabilità/connettività – In questo settore è prevista la presenza di una faglia importante (S05), la cui esistenza è però molto incerta, poiché essa è stata identificata solo sulla base dell'analisi fotogeologica e non è mai stata osservata direttamente. Assumendo che la discontinuità esista effettivamente, la permeabilità al suo interno potrebbe in media non essere particolarmente elevata ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s), dal mo-

Trennfläche Lithotypen, welche reich an Phyllosilikaten sind, betrifft. Möglich ist hier eine lokale Steigerung der Permeabilität in der Größenordnung von 1×10^{-6} m/s. Diese wird vor allem durch die Möglichkeit von Auflösungserscheinungen von –Schiefer-Karbonat in der Deformationszone erhöht. Im restlichen Abschnitt, außerhalb der Störungszone, ist eine niedrige Permeabilität vorgesehen, aber immer noch höher als im Schiefer anderer, nicht deformierter Bereiche, da es sich um ein Gebiet mit einer höheren Klüftungsdichte handeln könnte, die aufgrund der Nähe zur Hauptstörung leicht über dem normalen Wert liegen könnte.

Die vermutliche hydraulische Konnektivität ist nur im Bereich der Störung relativ hoch

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke sollten bei rund 700 m liegen.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Die vorübergehenden Schüttungen sind relativ hoch, insbesondere an der Störung S05. Hier werden sie auf eine Größenordnung von $5 \text{ l/s} \times 10 \text{ m}$ geschätzt, mit möglichen sporadischen Steigerungen bis zu circa $10 \text{ l/s} \times 10 \text{ m}$. Im restlichen Abschnitt besteht die Möglichkeit von Quellschüttungen mit sporadischen Zutritten bis $1 \text{ l/s} \times 10 \text{ m}$.

Stabilisierte Schüttungen – Die stabilisierten Schüttungen können erheblich sein, bis zu einer Größenordnung von 10 l/s , da die Störung S05 eine Struktur mit bemerkenswerter seitlicher Persistenz aufweist und somit potentiell gut aufgefüllt werden kann. Sie stimmt aus hydrogeologischer Sicht mit dem Gleichgewicht des Gewässersystems des Pfitschtals und den anderen Gewässersystemen, die in den Ablagerungen von tief liegenden, gravitativen Verformungen an der rechten Seite der Pfitsch vorhanden sind, überein.

Wassertemperatur – Die vorgesehenen Wassertemperaturen bewegen sich in der Größenordnung von $18-22^\circ \text{C}$.

Interferenzen mit Flusssystemen – Entlang der Störung S05 könnte sich ein Teil des Flusssystems FSI-R-4 entwickeln (unwahrscheinliche, aber mögliche Hypothese); der davon betroffene Störungsbereich würde sich östlich der Kreuzung mit dem Tunnel befinden, wodurch ein direkter Einfluss nicht annehmbar wäre. Allerdings könnte eine hydrodynamische Störung in einem benachbarten Sektor eine Ausweitung bis zum Abschnitt der Störung, welche von diesem System genutzt wird, zur Folge haben

8.9. Bereich 9

Durchlässigkeit/Konnektivität - In diesem Bereich unter der Talsohle des Pfitschtals befindet sich Karbonatgestein. Dieses ist in verschiedenem Ausmaß

mentum, dass die Diskontinuität interessiert lithotypen reich in silicatosilikaten. Allerdings sind lokale Inkremente lokal bis zu einer Permeabilität der Ordnung von 1×10^{-6} m/s, hauptsächlich für die Möglichkeit, dass es Phänomene der Auflösung des Carbonats der Kalksteine in der Deformationszone gibt. Im Rest des Bereichs, außerhalb der Störung, sind niedrige Permeabilitäten vorgesehen, aber immer noch höher als in anderen Schiefer, nicht deformierter Bereiche, da es sich um ein Gebiet mit einer höheren Klüftungsdichte handeln könnte, die aufgrund der Nähe zur Hauptstörung leicht über dem normalen Wert liegen könnte.

Die vermutliche hydraulische Konnektivität ist nur im Bereich der Störung relativ hoch

Carichi idraulici – I carichi idraulici si dovrebbero collocare circa intorno ai 700m.

Portate massime transitorie – Le portate transitorie previste sono relativamente elevate soprattutto in corrispondenza della faglia S05, dove si stimano nell'ordine dei $5 \text{ l/s} \times 10 \text{ m}$, con possibili sporadici incrementi fino ai $10 \text{ l/s} \times 10 \text{ m}$ ca. Nel resto della tratta sono previsti stillicidi con possibilità di sporadiche venute puntuali non superiori a $1 \text{ l/s} \times 10 \text{ m}$.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate potrebbero risultare piuttosto consistenti, nell'ordine dei 10 l/s , poiché la faglia S05 è una struttura con notevole persistenza laterale e quindi potenzialmente dotata di una buona ricarica. Peraltro, dal punto di vista idrogeologico essa risulta in equilibrio con il sistema acquifero del fondovalle Vizze e con altri sistemi acquiferi presenti nei depositi delle deformazioni gravitative profonde del versante destro della Val di Vizze.

Temperature dell'acqua – Le temperature previste sono dell'ordine dei $18-22^\circ \text{C}$.

Interferenze con sistemi di flusso – Lungo la faglia S05 potrebbe svilupparsi parte del sistema di flusso FSI-R-4 (ipotesi poco probabile ma possibile); il settore di faglia interessato da tale sistema sarebbe comunque localizzato a est del punto di intersezione con il tunnel, pertanto un impatto diretto non sarebbe ipotizzabile. Tuttavia una perturbazione idrodinamica causata in un settore adiacente potrebbe propagarsi fino alla porzione di faglia sfruttata da questo sistema.

8.9. Settore 9

Permeabilità/connettività – In questo settore ubicato sotto il fondovalle Vizze, le rocce carbonatiche presenti possono essere interessate in vario grado da

durch die Phänomene der Karbonatauflösung betroffen. Im Substrat unterhalb der Talsohle könnte es zu subglazialen Zirkulationen gekommen sein, welche von eher aggressiven Wasserläufen geprägt wurden. Obwohl diese Phänomene der Auflösung in der Tiefe zum Sinken neigen, wird angenommen, dass deren Wirkung auf der Höhe des Tunnels noch spürbar sind. In der Regel ist die Permeabilität dieses Gebirges nicht besonders hoch ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s), aber doch weit verbreitet. Eine erhöhte örtliche Permeabilität könnte dagegen recht häufig vorkommen, vor allem in unreinen Marmorzonen im Achsabschnitt des Tales.

Es wird angenommen, dass der Grad der hydraulischen Konnektivität vor allem im Marmor erheblich ist, da in diesen Lithotypen die Auflösung ein häufiges Phänomen ist, während dieses im Schiefer nicht durchgängig ist.

Wasserdrucke - Die Erhebung Vi-B-07 zeigt, dass in diesem Bereich die Wasserdrucke des Gebirges im Gleichgewicht mit jenen des quartären Aquifers der Talsohle liegen und sich in der Größenordnung von 600-650m befinden.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Vorübergehende Schüttungen von 2-5 l/s*10 m werden in der Regel auf der Höhe des Marmors erwartet. Hier sind auch Zuflüsse bis zu 10 l/s * 10m möglich, aber nicht sehr wahrscheinlich. Im Rest des Abschnitts sind Quelfluren und kleinere, punktuelle Zutritte zu erwarten.

Stabilisierte Schüttungen - Die Gesamtschüttungen in diesem Bereich sollten in der Größenordnung von 5-10 l/s liegen und vor allem auf die Marmorschicht konzentriert sein.

Wassertemperatur - Es wird mit Temperaturen um 18-22 °C gerechnet.

Interferenzen mit Flusssystemen - Es gibt keine signifikanten Interferenzen mit Durchflusssystemen.

8.10. Bereich 10

Durchlässigkeit / Konnektivität - In diesem Bereich herrscht eine geringe oder sehr geringe Durchlässigkeit vor; lokale, aber unwahrscheinlich Erhöhungen könnte man in Übereinstimmung mit der Marmorschicht um den pk 38+950 beobachten, wo die Auflösungsphänomene zu moderaten Erweiterungen der Klüfte geführt haben könnten. Die erwartete hydraulische Konnektivität ist gering, außer bei der Marmorschicht, wo mögliche Auflösungserscheinungen einen höheren Verbindungsgrad zwischen den Klüften fördern könnten.

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke werden auf eine Größenordnung von 850-1000 m geschätzt.

fenomeni di dissoluzione del carbonato; il substrato al di sotto del solco vallivo può infatti essere stato sede di circolazioni subglaciali caratterizzate da acque piuttosto aggressive. Sebbene i fenomeni di dissoluzione tendano sicuramente a diminuire verso il basso, si ritiene che alle quote della galleria se ne possano ancora sentire gli effetti. In generale quindi l'ammasso potrebbe essere caratterizzato da una permeabilità non particolarmente elevata ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s) ma comunque piuttosto diffusa. Incrementi locali di permeabilità potrebbero invece essere piuttosto frequenti, soprattutto nei marmi impuri presenti nella zona assiale della valle.

Si stima invece che il grado di connettività idraulica possa essere consistente solo nei marmi, poiché è verosimile che mentre in questi litotipi i fenomeni di dissoluzione siano più diffusi, nei calcescisti essi siano più discontinui.

Carichi idraulici - Il sondaggio Vi-B-07 indica che in questa zona i carichi idraulici nell'ammasso sono in equilibrio con quelli presenti nell'acquifero quaternario di fondovalle e dell'ordine dei 600-650m.

Portate massime transitorie - Portate transitorie dell'ordine di 2-5 l/s*10m sono attese di norma nel livello di marmi, ove sono anche possibili ma poco probabili afflussi fino ai 10 l/s*10m. Nel resto della tratta sono previsti stillicidi diffusi o piccole venute puntali.

Portate stabilizzate - Le portate complessive nella tratta dovrebbero essere dell'ordine dei 5-10 l/s, principalmente concentrati in corrispondenza del livello di marmi.

Temperature dell'acqua - Sono previste temperature di 18-22°C.

Interferenze con sistemi di flusso - non sono previste interferenze con sistemi di flusso importanti.

8.10. Settore 10

Permeabilità/connettività - In questo settore prevalgono permeabilità basse o molto basse; locali e poco probabili incrementi si possono osservare solo in corrispondenza del livello di marmi presente intorno alla pk 38+950, ove i fenomeni di dissoluzione possono aver determinato modesti allargamenti delle fratture. La connettività idraulica prevista è bassa, fatto salvo per il livello di marmi, ove eventuali fenomeni di dissoluzione possono favorire un maggior grado di connessione tra le fratture

Carichi idraulici - Si stima che i carichi idraulici siano dell'ordine degli 850-1000m.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Nachweisbare vorübergehende Zuflüsse, wenn auch recht bescheiden, sind nur auf der Höhe der Marmorschicht um den pk 38+950 vorgesehen und hier in der Größenordnung von einem Liter pro Sekunde, mit möglichen, aber unwahrscheinlichen Steigerungen bis zu einigen Litern pro Sekunde. Im restlichen Abschnitt findet man lediglich Feuchtigkeit und Quellfluren.

Stabilisierte Schüttungen - Die erwarteten stabilisierten Schüttungen sind niedrig, in der Größenordnung von einem Liter pro Sekunde.

Wassertemperaturen – Es werden Temperaturen zwischen 21 und 25 l/s erwartet.

Interferenzen mit Flusssystemen – Es werden keine signifikanten Interferenzen mit Flusssystemen erwartet.

8.11. Bereich 11

Durchlässigkeit/Konnektivität – Dieser Bereich ist aus lithologischer Sicht sehr heterogen. Hier herrschen jedoch Blöcke von unreinem Marmor vor, welche eine verbreitete, wenn auch nicht besonders hohe Durchlässigkeit ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s) aufweisen können. Sporadisch kann die Durchlässigkeit dieser Lithotypen bis etwa 1×10^{-6} m/s erhöht sein. Diese Vorhersagen sind jedoch sehr unsicher, da die Marmorschichten nie auf Tunnelhöhe untersucht wurden, und daher ist nicht klar, wie ausgeprägt die Auflösungserscheinungen des Karbonats entlang der Klüfte unter diesen Bedingungen sind. Die Schätzung geht davon aus, dass diese Phänomene nicht oder nur sehr sporadisch vorhanden sind, da der Schnittpunkt in sehr großer Tiefe liegt im Verhältnis zu höher gelegenen Lagen mit den gleichen Marmorschichten, die durch die Untersuchung Av-B-01/05 getestet wurden und wo die Auflösungserscheinungen sehr ausgeprägt waren. Die Schätzung ist auch übereinstimmend mit den abgeleiteten Daten aus der Untersuchung Vi-B-12/11, welche die Marmorschicht in höheren Lagen auf der linken Seite des Pfitschtales, aber bis in recht beachtliche Tiefen untersucht hat. Diese Untersuchung hat die Durchlässigkeit des Marmors im Allgemeinen relativ gering ($< 1 \times 10^{-7}$ m/s), mit sporadischen durchlässigeren Bereichen, bewertet.

In den anderen Lithotypen dieses Bereichs wird generell eine geringe Permeabilität erwartet. Entlang der zwei Störungen S09 und S10 ist das Vorhandensein von Abschnitten mit sehr hoher Permeabilität möglich.

Das Ausmaß der hydraulischen Konnektivität könnte in Übereinstimmung mit den Störungen sehr hoch liegen, während sie im Schiefer und in den Prasiniten sehr niedrig geschätzt wird. In den Marmorschichten abseits der Störungen könnte dies ein geringes Ausmaß an Konnektivität bedeuten, und zwar in Übereinstimmung mit den Zonen größerer Durchlässigkeit, da

Portate massime transitorie – Afflussi transitori rilevabili, seppur sempre piuttosto modesti, sono previsti solo in corrispondenza del livello di marmi intorno alla pk 38+950, nell'ordine del litro per secondo, con possibili ma poco probabili incrementi puntuali fino a qualche litro per secondo. Sul resto della tratta sono previsti esclusivamente umidità e stillicidi.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate attese sono basse, dell'ordine del litro per secondo.

Temperature dell'acqua – Si prevedono temperature comprese tra 21 e 25 l/s.

Interferenze con sistemi di flusso – Non sono attese interferenze con sistemi di flusso significativi.

8.11. Settore 11

Permeabilità/connettività – Questo settore è piuttosto eterogeneo dal punto di vista litologico; tuttavia prevalgono bancate di marmi impuri, che possono presentare una permeabilità diffusa, seppur non particolarmente elevata ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s); per contro sporadicamente questi litotipi possono presentare aumenti della permeabilità fino a circa 1×10^{-6} m/s. Tali previsioni sono comunque affette da un'incertezza elevata, poiché i livelli di marmi non sono mai stati investigati a quota tunnel e quindi non è chiaro quale sia il grado di intensità dei fenomeni di dissoluzione del carbonato lungo le fratture in queste condizioni. La stima fornita parte dal presupposto che tali fenomeni non siano presenti, se non sporadicamente, dal momento che l'intersezione avviene a profondità piuttosto grandi rispetto a situazioni più pellicolari note per gli stessi livelli di marmi, quali quelle investigate con il sondaggio Av-B-01/05, ove i fenomeni di dissoluzione erano piuttosto intensi. La stima fornita peraltro è in buon accordo con i dati derivanti dal sondaggio Vi-B-12/11 che ha intersecato questi marmi a quote più elevate sul versante sinistro della val di Vizze ma a profondità già piuttosto considerevoli; in tale sondaggio la permeabilità nei marmi è in generale relativamente bassa ($< 1 \times 10^{-7}$ m/s) con sporadiche zone più permeabili.

Negli altri litotipi del settore si attendono in prevalenza permeabilità basse. Lungo le due faglie S09 e S10 è invece possibile la presenza di tratte con permeabilità molto elevata.

Il grado di connettività idraulica potrà risultare sicuramente piuttosto elevato in corrispondenza delle faglie, mentre si stima che sia basso nei calcescisti e nelle prasiniten. Nei livelli di marmi al di fuori delle faglie non si esclude che vi sia un moderato grado di connettività, in corrispondenza delle zone di maggior permeabilità poiché, essendo queste indotte da fenomeni di

in diesen Bereichen aufgrund der Auflösungserscheinungen eine Korrespondenz zu höheren Bereichen besteht, in denen diese Phänomene allgegenwärtig sind.

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke werden auf eine Größenordnung von 1000-1200 m geschätzt. Als indirekter Anhaltspunkt wurden bei dieser Einschätzung Daten aus den hydraulischen Analyseergebnissen Vi-B-12/11 verwendet, welche für die gleichen lithostratigraphischen, wenn auch höher gelegenen topographischen Ebenen angestellt wurden.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Die vorübergehenden Schüttungen werden in Übereinstimmung mit den Störungen höher zu erwarten sein, insbesondere Störungsbereich S10, der auf der Höhe des Tunnels eine Marmorschicht (durchlässiger) aufweist, während die Störung S09 sich auf Schiefergestein (weniger durchlässig) beschränkt. Im Fall der Störung S10 sind wahrscheinliche vorübergehende Schüttungen von etwa 10 l/s*10 m möglich. Mögliche punktuelle Höchstwerte über 50 l/s*10 m können nicht ausgeschlossen werden, obwohl sie als eher unwahrscheinlich beurteilt werden. Bei der Störung S09 dürfte die Durchflussmenge auch in Ausnahmefällen nicht mehr als 10-15 l/s*10 m betragen. Bei beiden Störungen ist mit einer schnellen Abnahme der Schüttungen nach dem Drainagebeginn zu rechnen, da diese beiden Trennflächen keine hohe, seitliche Persistenz aufweisen und keine hohe Kapazität aufweisen.

Innerhalb des Marmors sollten die vorübergehenden Schüttungen normalerweise weniger als 1 l/s*10 m sein und nur in Ausnahmefällen bis 5 l/s*10 m ansteigen. Im Schiefer und in den Prasiniten sind Quellfluren und geringe punktuelle Zutritte zu erwarten.

Stabilisierte Schüttungen - Die stabilisierten Schüttungen in diesem Gebiet sollten in der Größenordnung von 5-10 l/s liegen. Diese sollten ziemlich homogen auf die Marmorschichten verteilt sein; die Störungen sollten aufgrund der bereits erwähnten geringen Versorgung aus hydrogeologischer Sicht keine langfristigen relevanten Auswirkungen haben.

Wassertemperatur - Die Temperatur des Wassers sollte in der Größenordnung von 27-31 °C im nördlichsten Teil des Abschnitts liegen, wo die topographische Überlagerung niedriger ist, und bis zu 30-34 °C im südlichsten Teil ansteigen.

Interferenzen mit Flusssystemen - Das Vorhandensein von aktiven Flusssystemen in diesem Bereich ist ziemlich ungewiss. Hypothetisch gesprochen kann das Vorhandensein eines Flusssystems in den tiefen Marmorschichten (FSI-R-11) erwartet werden, das durch die Drainage im Zuge der Bauarbeiten gestört werden würde. In den oberflächlicheren Schichten wird der gleiche Aquifer durch schnellere lokale Flusssysteme (FSI-R-8, FSI-R-9, FSI-R-10) genutzt. Diese könnten möglicherweise im hydrodynamischen

dissolutione, sono sicuramente in comunicazione verso l'alto con settori ove tali fenomeni sono maggiormente pervasivi.

Carichi idraulici - Si possono ipotizzare carichi idraulici dell'ordine dei 1000-1200m. A supporto indiretto di tale valutazione sono stati utilizzati i dati provenienti dai test idraulici eseguiti nel sondaggio Vi-B-12/11, che ha interessato i medesimi livelli litostratigrafici seppur a livelli topografici più elevati.

Portate massime transitorie - Le portate transitorie più elevate sono attese in corrispondenza delle faglie, e in particolare in corrispondenza della faglia S10, che a quota tunnel interessa un livello di marmi (più permeabile), mentre la faglia S09 interessa i calcescisti (meno permeabili). Nel caso della faglia S10 sono probabili portate transitorie dell'ordine dei 10 l/s*10m, ma non possono essere escluse, seppur ritenute meno probabili, portate puntuali anche superiori a 50 l/s*10m; per la faglia S09 le portate, anche in casi eccezionali, non dovrebbero superare i 10-15 l/s*10m. Per entrambe le faglie la decrescita delle portate dopo l'inizio del drenaggio dovrebbe risultare piuttosto rapida, poiché le due discontinuità non presentano una grande persistenza laterale e sono poco capacitive.

All'interno dei marmi le portate transitorie dovrebbero di norma essere inferiori a 1 l/s*10m e solo eccezionalmente attestarsi intorno ai 5 l/s*10m. Nei calcescisti e prasiniti si prevedono stillicidi o al più modeste venute puntuali.

Portate stabilizzate - Le portate stabilizzate complessive sulla tratta dovrebbero essere dell'ordine dei 5-10 l/s, distribuite in maniera piuttosto omogenea all'interno dei livelli di marmi; le faglie non dovrebbero risultare rilevanti idrogeologicamente sul lungo periodo per la scarda alimentazione cui si è già accennato.

Temperature dell'acqua - Le temperature delle acque dovrebbero risultare dell'ordine dei 27-31°C nella parte più settentrionale della tratta, ove le coperture topografiche sono inferiori, per salire a 30-34°C nella zona più meridionale.

Interferenze con sistemi di flusso - La presenza di sistemi di flusso attivi in questo settore è piuttosto incerta. In via ipotetica è stata prevista la presenza di un sistema di flusso profondo nei livelli marmorei (FSI-R-11), che pertanto verrebbe perturbato dal drenaggio esercitato dall'opera. A livello più superficiale il medesimo acquifero è sfruttato da sistemi di flusso locali più rapidi (FSI-R-8, FSI-R-9, FSI-R-10) che possono trovarsi in equilibrio idrodinamico con il sistema più profondo. Pertanto una perturbazione di quest'ultimo

Gleichgewicht mit dem tiefer liegenden System sein. Eine Störung des letzteren könnte hiermit indirekte Auswirkungen auf die anderen, oberflächlicheren Systeme haben

sistema potrebbe indirettamente determinare impatti anche sugli altri sistemi più superficiali.

8.12. Bereich 12

Durchlässigkeit / Konnektivität – Es wird ein gewisses Ausmaß an Durchlässigkeit und hydraulischer Konnektivität angenommen, mit Ausnahme des Bereichs, welcher sich mit der Störung S11 kreuzt. Hier kann die Durchlässigkeit lokal hoch sein und es wird ein hohes Maß an Konnektivität mit der Oberfläche angenommen.

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke sind sehr hoch, in der Größenordnung von 1200-1400 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die zu erwartenden vorübergehenden Schüttungen im nicht gestörten Gebirge sind sehr gering (Feuchtigkeit, Quellfluren). An der Störung werden Schüttungen in einer Größenordnung von 5 l/s erwartet, welche in seltenen Fällen 10 l/s erreichen und überschreiten können.

Stabilisierte Schüttungen - Die stabilisierten Schüttungen bewegen sich in einer Größenordnung von insgesamt 5 l/s und sind weitgehend konzentriert auf den Bereich der Störung, welcher über die Oberfläche eine ziemlich gute Speisung erhält und wo es zu einer Überschneidung mit Aquiferen in Ablagerungen überschneidet, welche durch tiefgründige Massenbewegung und durch glaziale Ablagerungen entstanden sind. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich, dass die Störung S11 von der Störung S12 gespeist wird, mit welcher sie sich überschneidet.

Wassertemperatur - Die Temperatur des Wassers sollte um die 33-37 °C im Norden des Bereichs liegen und auf 36-40 °C im Süden steigen.

Interferenzen mit Durchflusssystemen - Keine Interferenzen mit erheblichen Durchflusssystemen.

8.13. Bereich 13

Durchlässigkeit/Konnektivität - In diesem Bereich liegt eine ziemlich heterogene Verteilung der Durchlässigkeit vor. Die potentiell durchlässigeren Lithotypen sind unreine Marmore, die eine diffuse, wenngleich nicht sehr hohe, Durchlässigkeit aufweisen können ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s); andererseits können diese Lithotypen sporadisch eine erhöhte Durchlässigkeit von ca. 1×10^{-6} m/s erreichen. Diese Prognosen sind jedoch unsicher, aus denselben wie schon für den Abschnitt 11 genannten Gründen.

Ein ähnliches hydrogeologisches Verhalten wie die unreinen Marmore könnten auch die aus Evaporit-

8.12. Settore 12

Permeabilità/connettività – Si prevede un grado di permeabilità e di connettività idraulica molto basso, ad esclusione della zona di intersezione con la faglia S11, ove le permeabilità possono essere localmente alte e ove si ipotizza un buon grado di connettività con la superficie.

Carichi idraulici – I carichi idraulici sono molto elevati, dell'ordine dei 1200-1400m.

Portate massime transitorie – Le portate transitorie attese nell'ammasso non fagliato sono molto basse (umidità, stillicidi). In corrispondenza della faglia si attendono venute dell'ordine dei 5 l/s, che in qualche rara occasione potrebbero raggiungere e superare di poco i 10 l/s.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate saranno complessivamente nell'ordine dei 5 l/s, in gran parte concentrate nella zona di faglia che sembra disporre di una discreta alimentazione dalla superficie, ove interseca acquiferi sviluppati in depositi di accumulo connessi a una deformazione gravitativa di versante e a depositi glaciali; è inoltre probabile che la faglia S11 riceva un'alimentazione dalla faglia S12 che la interseca.

Temperature dell'acqua – Le temperature dell'acqua dovrebbero attestarsi intorno ai 33-37°C nella parte nord del settore, per salire a 36-40°C nella parte sud.

Interferenze con sistemi di flusso – Nessuna interferenza con sistemi di flusso significativi.

8.13. Settore 13

Permeabilità/connettività – In questo settore la distribuzione della permeabilità è piuttosto eterogenea. I litotipi potenzialmente più permeabili sono rappresentati dai marmi impuri, che possono presentare una permeabilità diffusa, seppur non particolarmente elevata ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s); per contro sporadicamente questi litotipi possono presentare aumenti della permeabilità fino a circa 1×10^{-6} m/s. Tali previsioni sono comunque affette da incertezza, per motivi analoghi a quelli già citati per il settore 11.

Un comportamento idrogeologico simile a quello dei marmi impuri potrebbe riguardare anche i livelli a

siliziklastischen Gesteinen bestehenden Lagen der Aigerbach-Formation aufweisen. Auch in diesem Fall sind die Prognosen jedoch unsicher.

In den anderen Lithotypen, darunter auch die Gesteine der Kaserer-Formation, werden sehr geringe Durchlässigkeiten erwartet.

In den Marmorlagen und den Evaporit-siliziklastischen Lithotypen wird nicht ausgeschlossen, dass es eine geringe Konnektivität in den Bereichen mit höherer Durchlässigkeit gibt, da diese Lösungserscheinungen aufweisen und daher nach oben kommunizieren könnten, wo diese Phänomene ausgeprägter sind.

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke sind sehr hoch, in der Größenordnung von 1200-1400 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die größten vorübergehenden Schüttungen werden bei der Schnittstelle auf Höhe der unreinen Marmore und der aus Evaporit-siliziklastischen Gesteinen bestehenden Lagen der Aigerbach-Formation erwartet. Diese liegen bei 0,5-2 l/s*10m. Im restlichen Abschnitt werden keine bedeutsamen Wasserzutritte erwartet.

Stationäre Schüttungen – Die erwarteten stationären Schüttungen sind niedrig und liegen unter 1 l/s.

Wassertemperaturen – Die Wassertemperaturen sollten in der Größenordnung 36-40°C liegen.

Interferenzen mit Durchflusssystemen - Keine Interferenzen mit erheblichen Durchflusssystemen.

8.14. Bereich 14

Durchlässigkeit/Konnektivität - In diesem Bereich herrscht unreiner Marmor vor, welcher eine weit verbreitete, wenn auch nicht besonders hohe Durchlässigkeit ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s) aufweisen kann. Sporadisch können diese Lithotypen eine erhöhte Durchlässigkeit bis zu etwa 1×10^{-6} m/s aufweisen. Diese Vorhersagen sind jedoch sehr unsicher, aus ähnlichen Gründen wie den bereits für den Bereich 11 genannten.

In den Schiefen wird eine überwiegend geringe Permeabilität erwartet. Entlang der beiden Störungen SWNW01 und SWNW02 ist das Vorhandensein von Bereichen mit sehr hoher Permeabilität möglich.

Der Grad der hydraulischen Konnektivität kann im Bereich der Störungen besonders hoch sein. Auf der Marmorebene außerhalb der Störungen ist ein gewisses Maß an Konnektivität möglich, und zwar in Übereinstimmung mit den Zonen größerer Durchlässigkeit, da diese durch Auflösungsphänomene herbeigeführt wurden und in Verbindung zu den oben Sektoren, in welchen diese Phänomene weit verbreitet sind, ste-

composizione evaporitico-silicoclastica della Formazione di Aigerbach. Anche in questo caso tuttavia le previsioni sono affette da incertezze.

Negli altri litotipi, fra cui quelli della Formazione di Kaserer sono attese permeabilità molto basse.

Nei livelli di marmi e di litotipi evaporitico-silicoclastici, non si esclude che vi sia un moderato grado di connettività in corrispondenza delle zone di maggior permeabilità, poiché, essendo queste indotte da fenomeni di dissoluzione, potrebbero essere in comunicazione verso l'alto con settori ove tali fenomeni sono maggiormente pervasivi.

Carichi idraulici – I carichi idraulici sono molto elevati, dell'ordine dei 1200-1400m.

Portate massime transitorie – Le portate transitorie maggiori sono attese all'intersezione del livello di marmi impuri e del livello a composizioneevaporitico-silicoclastica della Formazione dell'Aigerbach. Esse sono dell'ordine di 0,5-2 l/s*10m. Nel resto della tratta non si ipotizzano afflussi significativi.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate attese sono basse, inferiori a 1 l/s.

Temperature dell'acqua – Le temperature dell'acqua dovrebbero attestarsi intorno 36-40°C.

Interferenze con sistemi di flusso – Nessuna interferenza con sistemi di flusso significativi.

8.14. Settore 14

Permeabilità/connettività – In questo settore prevalgono i marmi impuri, che possono presentare una permeabilità diffusa, seppur non particolarmente elevata ($1 \times 10^{-8} < k < 1 \times 10^{-7}$ m/s); per contro sporadicamente questi litotipi possono presentare aumenti della permeabilità fino a circa 1×10^{-6} m/s. Tali previsioni sono comunque affette da incertezza, per motivi analoghi a quelli già citati per il settore 11

Nei calcescisti si attengono in prevalenza permeabilità basse. Lungo le due faglie SWNW01 e SWNW02 è invece possibile la presenza di tratte con permeabilità molto elevata.

Il grado di connettività idraulica potrà risultare sicuramente piuttosto elevato in corrispondenza delle faglie. Nei livelli di marmi al di fuori delle faglie non si esclude che vi sia un moderato grado di connettività, in corrispondenza delle zone di maggior permeabilità, poiché, essendo queste indotte da fenomeni di dissoluzione, potrebbero essere in comunicazione verso l'alto con settori ove tali fenomeni sono maggiormente

hen können.

Wasserdrucke – Die Wasserdrucke können hier in der Größenordnung von 1200-1400 m liegen.

Maximale vorübergehende Schüttungen – Die höchsten vorübergehenden Schüttungen werden hier in Übereinstimmung mit den Störungen erwartet, insbesondere bei der Störung SWNW01, welche auf der Höhe des Tunnels eine Marmorschicht (durchlässiger) darstellt, während sich die Störung SWNW02 das Schiefergestein (weniger durchlässig) betrifft. Im Falle der Störung SWNW01 sind mögliche vorübergehende Schüttungen von ca. 10 l/s*10 m wahrscheinlich, wobei punktuelle Höchstwerte, wenn auch sehr unwahrscheinlich, von mehr als 50 l/s*10 m nicht ausgeschlossen werden können. Bei der Störung S09 werden die vorübergehenden Schüttungen auch in Ausnahmefällen kaum mehr als 10-15 l/s*10 m betragen. Bei beiden Störungen kommt es nach Drainagebeginn zu einer raschen Abnahme der Schüttungen, da beide Trennflächen eine geringe laterale Persistenz und eine geringe Kapazität aufweisen.

Im Marmor betragen die vorübergehenden Schüttungen normalerweise weniger als 1 l/s*10 m, und nur in Ausnahmefällen erreichen sie etwa 5 l/s*10 m. Im Schiefer ist mit Quellfluren oder punktuellen Zutritten zu rechnen.

Stabilisierte Schüttungen - Die stabilisierten Gesamtschüttungen in diesem Abschnitt sollten in der Größenordnung von 3-5 l/s liegen, und zwar ziemlich homogen auf die Marmorschichten verteilt; die Störungen dürften keine relevanten langfristigen hydrogeologischen Auswirkungen haben, da sie, wie bereits erwähnt, kaum gespeist werden.

Wassertemperatur - Die Temperatur des Wassers sollte sich in der Größenordnung von 36-40 °C liegen.

Interferenzen mit Durchflusssystemen – Es ist mit keinen Durchflussstörungen in diesem Bereich zu rechnen.

8.15. Bereich 15

Durchlässigkeit/Konnektivität - Dieser kurze Abschnitt wird durch das angenommene Vorhandensein einer dünnen Schicht von Dolomitmarmor und Rauhacke zwischen phyllitischem Schiefer charakterisiert. Hierbei wird angemerkt, dass die dünne Schicht aus Marmor und Rauhacke ausschließlich mittels Oberflächenextrapolation wurde. Aufgrund der geringen Dicke der Schicht und der erheblichen Länge der Extrapolation ist deren Existenz auf der Höhe des Tunnels sehr unsicher. In jedem Fall bedeutet das, wenn man von diesem Vorhandensein ausgeht, dass diese Schicht durch eine moderate Durchlässigkeit geprägt ist, da eventuelle Auflösungsphänomene, welche die Permeabilität steigern könnten, durch eine so dünne Schicht nur schwerlich in große Tiefen aus-

pervasivi.

Carichi idraulici – Si possono ipotizzare carichi idraulici dell'ordine dei 1200-1400m.

Portate massime transitorie – Le portate transitorie più elevate sono attese in corrispondenza delle faglie, e in particolare in corrispondenza della faglia SWNW01, che a quota tunnel interessa un livello di marmi (più permeabile), mentre la faglia SWNW02 interessa i calcescisti (meno permeabili). Nel caso della faglia SWNW01 sono probabili portate transitorie dell'ordine dei 10 l/s*10m, ma non possono essere escluse, seppur ritenute meno probabili, portate puntuali anche superiori a 50 l/s*10m; per la faglia S09 le portate, anche in casi eccezionali, non dovrebbero superare i 10-15 l/s*10m. Per entrambe le faglie la decrescita delle portate dopo l'inizio del drenaggio dovrebbe risultare rapida, poiché le due discontinuità hanno una scarsa persistenza laterale e sono poco capacitive.

All'interno dei marmi le portate transitorie dovrebbero di norma essere inferiori a 1 l/s*10m e solo eccezionalmente attestarsi intorno ai 5 l/s*10m. Nei calcescisti si prevedono stillicidi o al più modeste venute puntuali.

Portate stabilizzate – Le portate stabilizzate complessive sulla tratta dovrebbero essere dell'ordine dei 3-5 l/s, distribuite in maniera piuttosto omogenea all'interno dei livelli di marmi; le faglie non dovrebbero risultare rilevanti idrogeologicamente sul lungo periodo per la scarsa alimentazione cui si è già accennato.

Temperature dell'acqua – Le temperature delle acque dovrebbero risultare dell'ordine dei 36-40°C.

Interferenze con sistemi di flusso – Non sono previsti sistemi di flusso in questo settore.

8.15. Settore 15

Permeabilità/connettività – Questa breve tratta è caratterizzata dalla presenza presunta di un sottile livello di marmi dolomitici e carnioli interposti a calcescisti filladici. Si sottolinea che il sottile livello di marmi e carnioli è stato estrapolato a partire esclusivamente da dati di superficie. Dato l'esiguo spessore del livello e la notevole lunghezza di estrapolazione, la sua esistenza a quota tunnel è piuttosto incerta. In ogni caso, qualora presente si può assumere che esso sia caratterizzato da permeabilità moderate, dal momento che difficilmente eventuali fenomeni di dissoluzione in grado di aumentare la permeabilità possono propagarsi significativamente a grandi profondità attraverso un livello così sottile.

breiten können. Die hydraulische Konnektivität ist als moderat zu bewerten

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke sind hier sehr hoch, und zwar in der Größenordnung von 1200-1400 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Die maximalen vorübergehenden Schüttungen werden in erster Linie in der Karbonatschicht erwartet und sollten in der Regel weniger als $1 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$ betragen. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass hier Kapazitäten von bis zu $5-10 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$ auftreten werden.

Stabilisierte Schüttungen - Die stabilisierten Schüttungen liegen sehr niedrig, und zwar bei weniger als 1 l/s .

Wassertemperatur - Die Temperaturen betragen zwischen $33-37 \text{ }^\circ\text{C}$.

Interferenzen mit Flusssystemen - Es werden keine Flusssysteme in diesem Bereich erwartet

8.16. Bereich 16

Durchlässigkeit/Konnektivität - Die Durchlässigkeit außerhalb der Störzone ist gering bis sehr gering, in der Störzone ist eine mögliche Erhöhung des Durchlässigkeitsgrades bis zu $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ möglich (Störungen S15 und S30). Das Vorhandensein von Auflösungsphänomenen entlang der Klüfte ist als unwahrscheinlich zu betrachten. Die hydraulische Konnektivität ist sehr gering im ungestörten Gebirge, während in der Störzone ein gewisses Maß an Konnektivität vermutet wird, auch entlang der tektonischen Trennflächen. Aber das reichliche Vorhandensein von Phyllosilikaten führt zu erheblichen Unterbrechungen der durchlässigen Zonen und zu einer Verdickung der Phyllosilikatschichten entlang der Setzungszone.

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke liegen zwischen 900 und 1200 m.

Maximale vorübergehende Schüttungen - Die höchsten vorübergehenden Schüttungen befinden sich in den beiden Störzonen und sind eher bescheiden. Sie bewegen sich etwa in der Höhe von $1-2 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$ mit möglichen, aber unwahrscheinlichen Spitzen in der Größenordnung von $5 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$. Außerhalb der Störungen sind nur Feuchtigkeit und verbreitete oder konzentrierte Quelfluren zu erwarten.

Stabilisierte Schüttungen - Die stabilisierten Schüttungen liegen insgesamt in der Größenordnung von $5-7 \text{ l/s}$ und sind vor allem entlang der beiden Störzonen zu lokalisieren, welche durch ihre erhebliche seitliche Persistenz gut gespeist sein sollten

Wassertemperatur - Die Temperaturen liegen zwischen 30 und $34 \text{ }^\circ\text{C}$ im nördlichen Teil des Bereiches, wo die topographische Überlagerung höher ist, wäh-

La connettività idraulica viene arbitrariamente assunta come modesta.

Carichi idraulici - I carichi idraulici sono molto elevati, dell'ordine dei $1200-1400 \text{ m}$.

Portate massime transitorie - Le portate massime transitorie attese si localizzano essenzialmente nel livello carbonatico e di norma dovrebbero risultare inferiori a $1 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$, ma non si può escludere che si verifichino portate fino a $5-10 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$.

Portate stabilizzate - Le portate stabilizzate sono molto modeste, inferiori a 1 l/s .

Temperature dell'acqua - Si prevedono temperature di $33-37 \text{ }^\circ\text{C}$.

Interferenze con sistemi di flusso - Non sono previsti sistemi di flusso in questo settore.

8.16. Settore 16

Permeabilità/connettività - La permeabilità fuori dalle zone di faglia è da bassa a molto bassa; in zona di faglia sono possibili aumenti del grado di permeabilità fino a $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ circa (faglie S15 e S30). La presenza di fenomeni di dissoluzione lungo i giunti è ritenuta poco probabile. La connettività idraulica è molto bassa nell'ammasso non fagliato, mentre in zona di faglia si può ipotizzare un grado di connettività moderato; anche lungo le discontinuità tettoniche comunque l'abbondante presenza di fillosilicati determina verosimilmente delle interruzioni delle zone permeabili su grande scala, legate a ispessimenti di layers fillosilicatici lungo la zona di scorrimento.

Carichi idraulici - I carichi idraulici sono compresi tra i 900 e 1200m.

Portate massime transitorie - Le portate transitorie più elevate sono localizzate nelle due zone di faglia e sono comunque di entità piuttosto modesta, poiché si attestano intorno agli $1-2 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$ con possibili ma poco probabili picchi dell'ordine dei $5 \text{ l/s} \cdot 10 \text{ m}$. Fuori dalle zone di faglia sono prevedibili solo umidità e stillicidi di diffusi o concentrati.

Portate stabilizzate - Le portate stabilizzate complessive sono dell'ordine dei $5-7 \text{ l/s}$, prevalentemente localizzate in corrispondenza delle due zone di faglia, che per la loro considerevole persistenza laterale dovrebbero disporre di una buona ricarica.

Temperature dell'acqua - Le temperature previste sono comprese tra 30 e $34 \text{ }^\circ\text{C}$ nella parte nord del settore ove le coperture topografiche sono maggiori,

rend sie im Süden auf 27-31 °C sinkt.

Interferenzen mit Flusssystemen - Entlang der Störungen und insbesondere der Störung S15 können Flusssysteme des Typs FSI-R-13 auftreten, die durch den Tunnel gestört werden könnten

8.17. Bereich 17

Durchlässigkeit/Konnektivität - Der Durchlässigkeitsgrad in diesem Bereich ist sehr gering bis gering, mit Ausnahme des Bereichs des Schnittpunktes mit einer eher schwachen Störung (S19). Hier kann man einen maximalen Wert von 1×10^{-6} m/s messen.

Wasserdrucke - Die Wasserdrucke liegen meist zwischen 900 und 1000 m, außer im südlichen Teil des Abschnitts, wo sie allmählich bis auf 600-700 m sinken

Maximale vorübergehende Schüttungen - Die vorübergehenden Schüttungen sind eher von bescheidenem Ausmaß (Feuchtigkeit, Quellfluren), und auch in der Störzone S19 belaufen sie sich auf eine Größenordnung von höchstens 1-2 l/s*10 m

Stabilisierte Schüttungen - Die stabilisierten Schüttungen bewegen sich um 1-2 l/s.

Wassertemperatur - Die Temperatur des Wassers im nördlichen Teil dieses Bereichs beträgt zwischen 27 bis 31 °C und im Süden zwischen 21-25°C, mit geringerer topographischer Überlagerung

Interferenzen mit Flusssystemen - in diesem Bereich werden keine Flusssysteme erwartet

9. WASSER- UND GEBIRGSTEMPATUREN

Die voraussichtlichen Temperaturen der Zuflüsse, die während des Tunnelbaus angetroffen werden, findet man in der Textzeile Nr. 18 des hydrogeologischen Profils im Anhang dieses Berichts. In der obigen Beschreibung der Bereiche wird bereits auf die erwarteten Wassertemperaturen in den verschiedenen Zonen eingegangen. Im vorliegenden Abschnitt wird dagegen eine kurze Übersicht über die allgemeine Situation gegeben.

In erster Linie wird darauf hingewiesen, dass die Temperaturen der Textzeile Nr. 18 als Referenz sowohl für die Gewässer als auch für das Gebirge genommen werden können. Lokal bedingt kann die Temperatur des Wassers von der Temperatur des Gebirges abweichen, aber auf den Erfahrungen des bisherigen Tunnelvortriebs basierend kann davon ausgegangen werden, dass es sich in der Regel um nur geringe Unterschiede in der Größenordnung von

mentre verso sud decrescono a 27-31°C.

Interferenze con sistemi di flusso - Lungo le faglie e in particolare la S15, possono essere presenti sistemi di flusso del tipo FSI-R-13 che potranno subire delle perturbazioni da parte del cunicolo.

8.17. Settore 17

Permeabilità/connettività - Il grado di permeabilità in questo settore è da molto basso a basso, ad eccezione che per la zona di intersezione con una faglia di modesta rilevanza (S19), in corrispondenza della quale si possono registrare valori massimi di 1×10^{-6} m/s

Carichi idraulici - I carichi idraulici sono prevalentemente compresi tra 900 e 1000m, fatto salvo che per la parte meridionale del settore, ove diminuiscono gradualmente fino a 600-700m.

Portate massime transitorie - Le portate transitorie sono di entità piuttosto modesta (umidità, stillicidi); anche nella zona di faglia S19 sono previste portate dell'ordine, al più, di 1-2 l/s*10m.

Portate stabilizzate - Le portate stabilizzate si attestano intorno a 1-2 l/s

Temperature dell'acqua - Le temperature dell'acqua passano da 27-31°C nella parte settentrionale di questo settore a 21-25 nella zona sud, con minori coperture topografiche.

Interferenze con sistemi di flusso - Non sono previsti sistemi di flusso in questo settore.

9. TEMPERATURE DELLE ACQUE E DELL'AMMASSO

Le temperature previste per le venute d'acqua che si incontreranno durante la realizzazione del cunicolo sono riportate alla riga descrittiva n. 18 del profilo idrogeologico allegato al presente rapporto. Nella precedente descrizione per settori è già stato fornito un commento sulle temperature delle acque nelle diverse zone; in questo paragrafo si fornisce invece un breve commento alla situazione generale.

Si precisa innanzitutto che le temperature riportate sulla riga descrittiva n. 18 possono essere prese come riferimento sia per le acque che per l'ammasso. Infatti, seppur sia possibile che localmente le acque si trovino in disequilibrio con la temperatura della roccia, sulla base dell'esperienza di scavo di tunnel precedenti, emerge che questo disequilibrio si traduce generalmente in differenze molto limitate, dell'ordine di 1-2°C. Dal momento che la previsione fornita nel pro-

1-2 °C handelt. Die Prognosen in diesem Profil berücksichtigen immer ein Unsicherheitsintervall und darum kann man gesichert annehmen, dass die beiden unterschiedlichen Arten von Temperaturen in diesem Bereich liegen.

Die geschätzten Temperaturen wurden auf Grundlage der Daten von Messungen in tiefen Bereichen erhalten.

Die höchsten Temperaturen zwischen 35 und 40 °C sind in den beiden Bereichen, wo der Verlauf unter der höchsten topografischen Überlagerung liegt, d. h. zwischen pk 32+080 und pk 35 +100 sowie zwischen pk 41+000 und ca. pk 43+ 400 anzutreffen.

Die niedrigsten Temperaturen im Bereich von ca. 18 bis 22 °C werden bei der Unterquerung der Talsohle des Pfitschertals und seiner orographisch rechten Seite erwartet, und zwar zwischen pk 36+000 sowie pk 38+600. In diesem Bereich gibt es relativ wenige topographische Daten, und die Daten der Analyse Vi-B-04/05 weisen ungewöhnlich niedrige geothermischen Gradienten auf.

Erwähnenswert ist überdies, dass die Gebiete mit den höchsten erwarteten Zuflüssen, die stabile und langfristige Zuflüsse garantieren sollten (stabile Situation), meist in diesem Bereich der niedrigen Temperaturen konzentriert sind, zwar zwischen pk 36+000 und pk 37+800.

Bedeutende Zuflusszonen sind auch in den Bereichen mit hohen Temperaturen zu erwarten, genauer gesagt um pk 33+100 und zwischen pk 41+900 und pk 43+000. In diesem Fall ist aber davon auszugehen, dass sich die langfristigen Zuflüsse ganz erheblich reduzieren und daher nicht zur drastischen Erhöhung der kumulierten durchschnittlichen Temperatur des aus dem Baulos des geplanten Tunnels abgeleiteten Wassers führen werden.

Weitere ziemlich erhebliche Zuflussbereiche befinden sich in den Abschnitten mit Temperaturen die zwischen den Maximal- und Minimalwerten, genauer gesagt zwischen pk 40+400 und pk 40+900 (Temperaturen von 30-34 °C), zwischen pk 43 +750 und pk 43+800 (Temperaturen von 27-31 °C), zwischen pk 44+800 sowie pk 44+900 (Temperaturen von 27-31 °C).

10. INTERFERENZEN MIT DEN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN

10.1. Risikobeurteilung der Quellen

Die Risikoanalyse der Quellen und der Brunnen wur-

filo tiene sempre conto di un intervallo di incertezza, è possibile affermare che i due diversi tipi di temperature sono sempre compresi in questo intervallo.

Le temperature sono state stimate sulla base dei dati ottenuti dalle misurazioni nei sondaggi profondi effettuati.

Le temperature maggiori, comprese tra 35 e 40°C, si trovano nelle due zone ove il tracciato si sviluppa sotto la maggior copertura topografica, ovverosia, tra le pk 32+080 e 35+100 e tra le pk 41+000 e 43+400 ca.

Le temperature minori, comprese tra 18 e 22°C ca. sono invece previste in corrispondenza del sottoattraversamento del fondovalle Vizze e del suo versante destro orografico, tra le pk 36+000 e 38+600. In questo settore le coperture topografiche sono relativamente scarse e i dati rilevati all'interno del sondaggio Vi-B-04/05 indicano gradienti geotermici anormalmente bassi.

Vale inoltre la pena ricordare che le zone di venuta maggiori previste, che dovrebbero garantire afflussi anche sul lungo termine (situazione stabilizzata), sono perlopiù concentrate in questo settore di basse temperature e più precisamente tra la pk 36+000 e la pk 37+800.

Zone di venuta importanti sono attese anche per i settori con temperature elevate, e più precisamente intorno alla pk 33+100 e tra le pk 41+900 e 43+000; tuttavia in questo caso si prevede che sul lungo termine gli afflussi si ridurranno in modo piuttosto consistente e pertanto non contribuiranno ad aumentare in maniera consistente la temperatura media cumulata delle acque drenate dal lotto di cunicolo in progettazione.

Altre zone di venuta piuttosto importanti saranno localizzate in settori con temperature intermedie tra quelle massime e minime, più precisamente tra le pk 40+400 e 40+900 (temperature di 30-34°C), tra le pk 43+750 e 43+800 (temperature di 27-31°C), tra le pk 44+800 e 44+900 (temperature di 27-31°C).

10. INTERFERENZE CON LE RISORSE IDRICHE DI SUPERFICIE

10.1. Valutazione del rischio per le sorgenti

L'analisi del rischio di sorgenti e pozzi è stata mutuata

de mittels der II-Phasen-Studie zum Einreichprojekt (Bericht GEOTEAM, Brandner, John, Perello 2008 G1.1c-01) ermittelt, da die Kriterien, welche für diesen Bereich verwendet wurden, im Wesentlichen korrekt und immer noch gültig sind.

dallo studio di Fase II relativa al Progetto Definitivo (Rapporto GEOTEAM, Brandner, John, Perello 2008 G1.1c-01), dal momento che i criteri utilizzati in quell'ambito sono ritenuti sostanzialmente corretti e tutt'ora validi.

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Risikobewertungen für die Quellen im betroffenen Bereich

Le tabelle che seguono riportano le valutazioni di rischio per le sorgenti dell'area di interesse.

Kodierung vorliegenden Bericht / Codice presente studio	Kodierung BBT / Codice BBT	Quelle Name / Nome sorgente	Nutzung / Utilizzo	Risiko / Rischio	Erste Analyse / Prima analisi
S0144	-	Augenquelle	n.u.	hoch / alto	2002
S0146	535	Lueggeralmquelle_mittlere_talseitig	u.p.	gering/basso	2001
S0147	536	Lueggeralmquelle_obere_bergseitig	u.p.	gering/basso	2001
S0148	537	Lueggeralmquelle_untere_bergseitig	u.p.	gering/basso	2001
S0149	-	Lueggeralmquelle_untere_talseitig	u.p.	gering/basso	2001
S0150	522	Pulverstampf	u.p.	kein/nullo	2001
S0151	538	Ralserquelle	u.pr.	gering/basso	2001
S0152	523 & 524	Schellbergquelle_Ueberfall	u.p.	kein/nullo	2001
S0153	18	Thermalquelle_Brennerbad	u.p.	hoch / alto	2001
S0154	1835	Freienfelderquelle_rog_rechts_vorderste	u.p.	gering/basso	2001
S0155	1836	Freienfelderquelle_mitte_rog_rechts	u.p.	gering/basso	2001
S0156	1837	Freienfelderquelle_mitte	u.p.	gering/basso	2001
S0157	1838	Freienfelderquelle_mitte_rog_links	u.p.	gering/basso	2001
S0158	1842	Freienfelderquelle_rog_links_hinterste	u.p.	gering/basso	2001
S0159	1971	Gansoer_untere	u.p.	gering/basso	2002
S0160	1970	Gansoerteig_obere	u.p.	kein/nullo	2002
S0161	1840	Haslwiesruggen_rog_links_hintere	u.p.	gering/basso	2001
S0162	1839	Haslwiesruggen_rog_rechts_vordere	u.p.	gering/basso	2001
S0163	1828	Langwiese_rog_rechts_vorderste	u.p.	gering/basso	2001
S0164	1829	Langwiese_mitte_rog_rechts	u.p.	gering/basso	2001
S0165	1830	Langwiese_mitte_rog_links	u.p.	gering/basso	2001
S0166	1847	Langwiese_rog_links_hinterste	u.p.	gering/basso	2001
S0169	1827	Prantnerwasser_rog_rechts_vorderste	u.p.	gering/basso	2001
S0170	1844	Prantnerwasser_rog_rechts_2_vorderste	u.p.	gering/basso	2001
S0171	-	Prantnerwasser_mitte_rog_rechts	u.p.	gering/basso	2001
S0172	1845	Prantnerwasser_mitte_rog_links	u.p.	gering/basso	2001
S0173	1846	Prantnerwasser_rog_links_2_hinterste	u.p.	gering/basso	2001
S0174	-	Prantnerwasser_rog_links_hinterste	u.p.	gering/basso	2001
S0175	1941 & 1942	Saeequelle_Ueberlauf	u.p.	mittel/medio	2001
S0176	1869 (Austrittshöhe 1800 m)	Schusterwaldquelle_links_talseitig	u.p.	mittel/medio	2001
S0177	1869	Schusterwaldquelle_rechts_bergseitig	u.p.	mittel/medio	2001
S0191	2993	Moarwaldquelle	u.p.	kein/nullo	2001
S0195	3087	Brunntal_Pfammesleite	u.p.	kein/nullo	2001
S0197	3079	Eggerwald_Eisenrohr_rog_rechts	u.p.	kein/nullo	2002
S0198	3079	Eggerwald_Einlauf_hinten	u.p.	kein/nullo	2002
S0199	3045	Gallner	u.p.	kein/nullo	2001
S0200	3059	Grube	u.p.	kein/nullo	2001
S0201	3078	Issenhuette	u.p.	kein/nullo	2001
S0202	3078	Issenhuette_Einlauf_rog_links	u.p.	kein/nullo	2002
S0203	3078	Issenhuette_Einlauf_mitte_oben	u.p.	kein/nullo	2002
S0204	3078	Issenhuette_Einlauf_rog_rechts	u.p.	kein/nullo	2002

Tabelle 11: Liste der Quellen im betroffenen

Tabella 11: Elenco delle sorgenti nel settore di in-

Bereich und Risikograd eines damit verbundenen Versiegens. Fortsetzung in der nächsten Tabelle

teresse e grado di rischio d'isterilimento associato. Continua nella tabella successiva.

Kodierung vorliegenden Bericht / Codice presente studio	Kodierung BBT / Codice BBT	Quelle Name / Nome sorgente	Nutzung / Utilizzo	Risiko / Rischio	Erste Analyse / Prima analisi
S0205	VQS3	Kaltwasser	u.p.	mittel/medio	2001
S0206	VQS 4	Kematen_Giessen_Zutritt_Rohr_1	n.u.	gering/basso	2001
S0207	VQS 5	Kematen_Giessen_Zutritt_Rohr_2	n.u.	gering/basso	2001
S0208	3043	Knappe_Obere	u.p.	kein/nullo	2001
S0209	3044	Knappe_Untere	u.p.	kein/nullo	2001
S0210	3044	Knappe_Untere_Einlauf_rog_links	u.p.	kein/nullo	2002
S0211	3044	Knappe_Untere_Einlauf_mitte	u.p.	kein/nullo	2002
S0212	3063	Ladestatt_5	u.p.	gering/basso	2001
S0213	3064	Ladestatt_6	u.p.	gering/basso	2001
S0214	3065	Ladestatt_7	n.u.	gering/basso	2001
S0215	3066	Ladestatt_8	u.p.	gering/basso	2001
S0216	VQS 3	Larchhof_Quelle_rog_links	n.u.	mittel/medio	2001
S0217	VQS 2	Larchhof_Quelle_mitte	n.u.	mittel/medio	2001
S0218	VQS 1	Larchhof_Quelle_rog_rechts	n.u.	mittel/medio	2001
S0219	3088	Leitnergraben	u.p.	gering/basso	2001
S0220	3050	Oettlquelle_Obere	u.p.	mittel/medio	2001
S0221	3051	Oettlquelle_Untere	u.p.	mittel/medio	2001
S0222	3042	Reitermoosquelle	u.p.	kein/nullo	2001
S0223	3072	Ritterbrunnen	u.p.	kein/nullo	2001
S0224	3072	Ritterbrunnen_Stahlrohr_rog_links	u.p.	kein/nullo	2002
S0225	3072	Ritterbrunnen_mitte	u.p.	kein/nullo	2001
S0226	Zulauf von 3073 und 3077	Schmuderer_Zulaufbecken_Zulauf_rog_links	u.p.	kein/nullo	2001
S0227	Zulauf von 3072, 3078 und 3079	Schmuderer_Zulaufbecken_Zulauf_rog_rechts	u.p.	kein/nullo	2001
S0228	3046	Schnagge_Oben	u.p.	gering/basso	2001
S0229	3047	Schnagge_Unten	u.p.	gering/basso	2001
S0230	3077	Steidelmad_Obere	u.p.	kein/nullo	2001
S0231	3073	Steidelmad_Oberste	u.p.	kein/nullo	2001
S0232	3384	Zochnquelle-3384	n.u.	kein/nullo	2001
S0236	Zulaufb. der Nasstalqu. 2907, 2908 und 2909	Nasstal_Quelle_Zulaufbecken_Zulauf	u.p.	kein/nullo	2001
S0272	1459	Anzill_obere	n.u.	gering/basso	2005
S0273	1459	Anzill_untere	n.u.	gering/basso	2005
S0274	1465	Auckenthalerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0275	402	Bachelquelle	u.pr.	gering/basso	2005
S0276		Baumgartnerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0277		Belangeequelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0279	1189	Blasbichelquelle	u.p.	gering/basso	2005
S0280	389	Dachsquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0282	7011	Finkquelle_1	u.pr.	kein/nullo	2005
S0283		Finkquelle_2	n.u.	kein/nullo	2005
S0285		Flainsquelle	u.p.	gering/basso	2005
S0286	702	Gampiquelle	u.p.	gering/basso	2005

Tabelle 12: Liste der Quellen im betroffenen Bereich und Risikograd eines damit verbundenen Versiegens. Fortsetzung in der nächsten Ta-

Tabella 12: Elenco delle sorgenti nel settore di interesse e grado di rischio d'isterilimento associato. Continua nella tabella successiva.

belle

Kodierung vorliegenden Bericht / Codice presente studio	Kodierung BBT / Codice BBT	Quelle Name / Nome sorgente	Nutzung / Utilizzo	Risiko / Rischio	Erste Analyse / Prima analisi
S0287		Hirberquelle	u.p.	kein/nullo	2005
S0288	3360	Hoferquelle	u.p.	kein/nullo	2005
S0289		Kienerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0290	1415	Knappwaldquelle	u.p.	gering/basso	2005
S0291		Kockquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0292	402	Kreithofquelle_rog_links	u.p.	kein/nullo	2005
S0293		Loachquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0294		Mair_Albert_Quelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0295		Mair_Daniel_Quelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0296		Moidlhofquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0297		Muellerhofquelle_1	u.pr.	kein/nullo	2005
S0298		Muellerhofquelle_2	u.pr.	kein/nullo	2005
S0299		Muellerhofquelle_3	n.u.	kein/nullo	2005
S0300	1423	Mulesquelle	n.u.	gering/basso	2005
S0303	3367	Ralsbauerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0304		Salzburgerquelle	n.u.	kein/nullo	2005
S0305	527/1	Schneiderkassel_1	n.u.	kein/nullo	2005
S0306	527/2	Schneiderkassel_2	n.u.	kein/nullo	2005
S0307	527/3	Schneiderkassel_3	n.u.	kein/nullo	2005
S0308	527/4	Schneiderkassel_4		kein/nullo	2005
S0309	699	Schwitzerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0311	403	Spingersanterquelle	u.p.	kein/nullo	2005
S0312	485	Stollenquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0313	1467	Stuixnerhofquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0315	547	Volggerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0316	558	Wildnerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0317	1460	Zollquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0319		Gerinne_Quellgruppe_12-13	n.u.	kein/nullo	2005
S0320		Pensenquelle	n.u.	kein/nullo	2005
S0321	10	Quelle_10_Forstunterlagen	u.pr.	kein/nullo	2005
S0322	116	Quelle_116_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0323	12	Quelle_12_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0324	13	Quelle_13_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0325	1363	Quelle_1363_Quellkataster	u.pr.	kein/nullo	2005
S0326	1373	Quelle_1373_Einlauf_rog_links	u.p.	kein/nullo	2005
S0327	16	Quelle_16_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0328	2	Quelle_2_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0329	64	Quelle_64_Forstunterlagen	n.u.	gering/basso	2005
S0330	65	Quelle_65_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0331	69	Quelle_69_Forstunterlagen	n.u.	gering/basso	2005
S0332		Steinbruchquelle	n.u.	kein/nullo	2005

Tabelle 13: Liste der Quellen im betroffenen Bereich und Risikograd eines damit verbundenen Versiegens. Fortsetzung in der nächsten Tabelle

Tabella 13: Elenco delle sorgenti nel settore di interesse e grado di rischio d'isterilimento associato. Continua nella tabella successiva.

Kodierung vorliegenden Bericht / Codice presente studio	Kodierung BBT / Codice BBT	Quelle Name / Nome sorgente	Nutzung / Utilizzo	Risiko / Rischio	Erste Analyse / Prima analisi
S0546	555	FF_SS	u.pr.	kein/nullo	2005
S0549	100	Quelle_100_Forstunterlagen	u.pr.	kein/nullo	2005
S0551	115	Quelle_115_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0552	17	Quelle_17_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0553	3	Quelle_3_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0554	35	Quelle_35_Forstunterlagen	n.u.	gering/basso	2005
S0555	36	Quelle_36_Forstunterlagen	n.u.	gering/basso	2005
S0556	4	Quelle_4_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0557	43	Quelle_43_Forstunterlagen	n.u.	gering/basso	2005
S0558	44	Quelle_44_Forstunterlagen	n.u.	gering/basso	2005
S0559	59	Quelle_59_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0560		Quelle_66_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0561	67	Quelle_67_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0562	70	Quelle_70_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0569	1952	Stampferquelle		kein/nullo	2005
S0570	1941	Steindlquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0571	1508	Wehrwaldquelle	n.u.	kein/nullo	2005
S0574	1458	Postalmquelle	-	kein/nullo	2005
S0575	3332	Zirolalmquelle_oro_re	u.pr.	kein/nullo	2005
S1109	1460	Zollquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S0292_1	402	Kreithofquelle_rog_rechts	u.p.	kein/nullo	2005
S0300_1	1423	Mulesquelle_rog_links_vorderste	n.u.	gering/basso	2006
S0300_2	1423	Mulesquelle_rog_links_mitte	n.u.	gering/basso	2006
S0300_3	1423	Mulesquelle_mitte	n.u.	gering/basso	2006
S0326_1	1373	Quelle_1373_Einlauf_mitte_rog_links	u.p.	kein/nullo	2005
S0326_2	1373	Quelle_1373_Einlauf_rog_rechts	u.p.	kein/nullo	2005
S0326_3	1373	Quelle_1373_Einlauf_mitte_rog_rechts	u.p.	kein/nullo	2005
S0566	76	Quelle_76_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0565	75	Quelle_75_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S2041	74	Quelle_74_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S2042		Quelle_73_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2005
S0548	746	Groebnerquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S2061		Burgumeralmquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S2062		Burgumeralmquelle-2	u.pr.	kein/nullo	2005
S2063		Burgumeralmquelle-3_oben	u.pr.	kein/nullo	2005
S2064		Burgumeralmquelle-3_unten	u.pr.	kein/nullo	2005
S2065		Burgumeralmquelle-4	u.pr.	kein/nullo	2005
S2066		Burgumeralmquelle-5	u.pr.	kein/nullo	2005
S2094		Lochnquelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S2109		Quelle_115-2_Forstunterlagen	?	kein/nullo	2005
S2113		Quelle_4_Oberrauch_rechts	u.pr.	kein/nullo	2005

Tabella 14: Liste der Quellen im betroffenen Bereich und Risikograd eines damit verbundenen Versiegens. Fortsetzung in der nächsten Tabelle

Tabella 15: Elenco delle sorgenti nel settore di interesse e grado di rischio d'isterilimento associato. Continua nella tabella successiva.

Kodierung vorliegenden Bericht / Codice presente studio	Kodierung BBT / Codice BBT	Quelle Name / Nome sorgente	Nutzung / Utilizzo	Risiko / Rischio	Erste Analyse / Prima analisi
S2114		Quelle_6_Mair_Daniel	u.pr.	kein/nullo	2005
S2120		Quelle_Enzianhuette	u.pr.	kein/nullo	2005
S2134		Quelle_Zirogalm_2	?	kein/nullo	2005
S2143		Simile Madhalm_1	u.pr.	kein/nullo	2005
S2144		Simile Madhalm_2		kein/nullo	2005
S2145		Simile Madhalm_3		kein/nullo	2005
S2154		Zirogalmquelle_oro_li	n.u.	kein/nullo	2005
S3037	S_nuova	Hasler_Quelle	u.pr.	kein/nullo	2006
S3044	S_nuova	Issenhuette_mitte	u.p.	kein/nullo	2006
S3045	S_nuova	Issenhuette_orog_rechts_oben	u.p.	kein/nullo	2006
S3046	S_nuova	Issenhuette_orog_rechts_unten	u.p.	kein/nullo	2006
S3047	S_nuova	Issenhuettequelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S3060	S_nuova	Laufbrunnen Issenhuette_3372	u.pr.	kein/nullo	2005
S3063	S_nuova	Madeiski_1	u.pr.	kein/nullo	2006
S3064	S_nuova	Madeiski_2	n.u.	kein/nullo	2006
S3077	S_nuova	Mulesquelle_orog_links_hinterste	n.u.	gering/basso	2006
S3084	S_nuova	Partingsquelle_mitte	u.pr.	gering/basso	2006
S3087	S_nuova	Partingsquelle_Wasserhahn	u.pr.	gering/basso	2006
S3102	S_nuova	Quelle_13_Forstunterlagen_orog_links	n.u.	kein/nullo	2006
S3103	S_nuova	Quelle_13_Forstunterlagen_orog_mitte	n.u.	kein/nullo	2006
S3104	S_nuova	Quelle_13_Forstunterlagen_orog_rechts	n.u.	kein/nullo	2006
S3109	S_nuova	Quelle_2_Lamprecht_J_untere	u.pr.	kein/nullo	2006
S3116	S_nuova	Quelle_3_Lamprecht_J_obere	?	kein/nullo	2006
S3124	S_nuova	Quelle_37_Jochtal_AG_Rottensteinalm_berg	u.p.	kein/nullo	2006
S3125	S_nuova	Quelle_37_Jochtal_AG_Rottensteinalm_mitte	u.p.	kein/nullo	2006
S3126	S_nuova	Quelle_37_Jochtal_AG_Rottensteinalm_tal	u.p.	kein/nullo	2006
S3129	S_nuova	Quelle_77_Forstunterlagen	n.u.	kein/nullo	2006
S3138	S_nuova	Quelle_Hoelzler	u.pr.	kein/nullo	2006
S3161	S_nuova	Ritterbrunnen_orog_rechts	u.p.	kein/nullo	2006
S3173	S_nuova	Sonntagbrunneinquelle	u.pr.	kein/nullo	2006
S3177	S_nuova	Steinquelle_mitte	u.p.	kein/nullo	2006
S3178	S_nuova	Steinquelle_obere	u.p.	kein/nullo	2006
S3179	S_nuova	Steinquelle_untere	u.p.	kein/nullo	2006
S3181	S_nuova	Sterzingerhuettequelle	u.pr.	kein/nullo	2005
S3182	S_nuova	Stilfserquelle	u.p.	kein/nullo	2006
S3187	S_nuova	Tschurtschenmuehlquelle	u.pr.	kein/nullo	2006

Tabella 15: Liste der Quellen im betroffenen Bereich und Risikograd eines damit verbundenen Versiegens.

Tabella 16: Elenco delle sorgenti nel settore di interesse e grado di rischio d'isterilimento associato.

10.1.1. Bereich der Voralpen (Zentralgneis), Untere Schieferhülle und Aigerbach- sowie Seidlwinkl-Formation (Anteil –der Pfitscher Decke).

Das ist der einzige Sektor, in dem Quellen mit hohem Risikograd ermittelt wurden.

Es handelt sich um die Brenner Thermalquellen (die ungefasste Quelle S144 und die gefasste Quelle St. Zacharias S153), deren Speisung auf das System

10.1.1. Settore del Basamento pre-alpino (Gneiss Centrale), Untere Schieferhülle e Formazioni Aigerbach e Seidlwinkl (Falda di Vizez parte)

Questo è il solo settore dove sono state individuate sorgenti con rischio di grado elevato.

Si tratta delle sorgenti termali del Brennero (la sorgente non captata S144 e la sorgente captata St. Zacharias S153) la cui alimentazione principale può essere

FSI-R-3 oder alternativ auf das System FSI-R-4 zurückgeführt werden kann. Bei beiden Systemen ist eine Interferenz durch den Tunnel in den Abschnitten km 35+960 – 36+090 und km 37+245 – 37+330 möglich. Das Risiko beruht teilweise auch auf dem Kreuzen der Störung S05 zwischen km 37+715 und 37+780, die möglicherweise eines der hydrogeologischen Elemente der thermalen Zirkulation darstellt.

Um die besagten Auswirkungen zu reduzieren müssen Maßnahmen vorgesehen werden, welche genauer im Bericht zur Stellungnahme der Anmerkungen CIPE beschrieben sind (Maßnahmen zur Reduktion der hydraulischen Durchlässigkeit um den Ausbruch mittels Injektionen von Harz und / oder Zement.

Die Quellen S216, S217 e S218 (Larchhof Quellen) wurden als Quellen mit mittlerem Versiegeungsrisiko klassifiziert. In diesem Fall ist das Fließsystem oberflächlicher (FSI-R-3), zeigt jedoch in der Tiefe ein wahrscheinliches hydrodynamisches Gleichgewicht mit dem Brenner Thermalsystem. Aus diesem Grunde könnte der Tunnelvortrieb - durch die Destabilisierung des Systems FSI-R-4 - auch diese Quellen beeinflussen.

Einer oberflächennäheren Zirkulation (FSI-R-1) gehören die Quellen S146, S147, S148 und S149 (Lueggeralmquellen) und die Quelle S151 (Ralserquelle) an, die aufgrund des eher geringen Abstandes (1,5-2 km) von der Basistunnelachse ein geringes Risiko aufweisen. Ihr Fließsystem (FSI-R-1) könnte im hydrodynamischen Gleichgewicht mit den Systemen FSI-R-3, FSI-R-7 und FSI-Ö-2 stehen, die vom Tunnel gekreuzt werden könnten (km 35+960 – 36+090 die beiden ersten; km 30+550 – 30+700 das dritte). Die geringe Wahrscheinlichkeit von Auswirkungen beruht auch darauf, dass die Durchlässigkeit des Aquifers des Systems FSI-R-3 als ein oder zwei Größenordnungen über der der Aquifere der anderen Systeme geschätzt wird.

Eine Quellenserie auf der rechten Seite in der Hangmitte des Pfitschertals (S212, S213, S214 und S215 Ladestatt) weist ein geringes Versiegeungsrisiko auf. Diese Quellen sind mit dem Fließsystem verbunden, das innerhalb des ausgedehnten rechten Hangabschnitts des Pfitschertals verläuft, welches von einer tiefgründigen Massenbewegung (FSI-Q-2) betroffen ist. Dieser Hangabschnitt könnte in der Tat ein Einzugsgebiet für tiefere und somit hydraulisch mit ihm verbundene Fließsysteme darstellen, die vom Erkundungstollen dräniert werden könnten. Es handelt sich um die Systeme FSI-Q-6 und FSI-Q-7, deren Aquifere jedoch eine geringere Durchlässigkeit als der Aquifer des Systems FSI-Q-2 aufweisen. Vor diesem Hintergrund wurde ihnen ein geringes Versiegeungsrisiko zugeordnet.

Aus dem gleichen Grund wurde den Quellen 206 und 207 (Kematenquellen) ein geringes Versiegeungsrisiko zugewiesen, da sie, obwohl sie sich am Fuß des

riferita al sistema FSI-R-3 o, in alternativa, al sistema FSI-R-4. Per entrambi questi sistemi è possibile una interferenza da parte del tunnel, rispettivamente nelle tratte km 35+960 – 36+090 e km 37+245 – 37+330. Il rischio è anche in parte derivante dall'intersezione della faglia S05 tra il km 37+715 e 37+780, rappresentante forse uno degli elementi idrogeologici del circuito termale.

Al fine di ridurre le interferenze si devono prevedere degli interventi di mitigazione che sono stati meglio definiti nella relazione di ottemperanza alle osservazioni del CIPE (interventi di riduzione della permeabilità al contorno del cavo mediante iniezioni di resine e/o cementi).

Le sorgenti S216, S217 e S218 (Larchhof Quellen) risultano a grado di pericolosità d'isterilimento medio. In questo caso il sistema di flusso è più superficiale (FSI-R-2) ma in profondità presenta un probabile equilibrio idrodinamico con il sistema FSI-R-4 per il quale sono possibili interferenze (vedi capoverso precedente). Per tale motivo, destabilizzando il sistema FSI-R-4, lo scavo del tunnel potrebbe avere ripercussioni anche su queste sorgenti.

A un circuito più superficiale (FSI-R-1) appartengono le sorgenti S146, S147, S148 e S149 (Lueggeralmquellen) e la sorgente S151 (Ralserquelle) che risultano a rischio basso vista la distanza piuttosto elevata che le separa dall'asse del tunnel di base (1,5-2 km). Il loro sistema di flusso, FSI-R-1 potrebbe essere in equilibrio idrodinamico con i sistemi FSI-R-3, FSI-R-7 e FSI-Ö-2 che potrebbero venire intersecati dal tunnel (km 35+960 – 36+090 i primi due; km 30+550 – 30+700 il terzo). La bassa probabilità di impatto deriva anche dal fatto che la permeabilità dell'acquifero relativo al sistema FSI-R-3 è stimata essere di uno/due ordini di grandezza maggiore rispetto a quella degli acquiferi degli altri sistemi.

Una serie di sorgenti localizzate in destra orografica della Val di Vizze a medio versante (S212, S213, S214 e S215 Ladestatt) risultano a rischio d'isterilimento basso. Queste sorgenti sono legate al sistema di flusso sviluppato all'interno dell'estesa porzione di versante destro della Val di Vizze coinvolta in fenomeni di deformazione gravitativa profonda (FSI-Q-2). Questa porzione di versante infatti, potrebbe costituire una zona di ricarica per sistemi di flusso più profondi (quindi ad essi connessa idraulicamente) e che potrebbero essere drenati dal cunicolo esplorativo. Si tratta dei sistemi FSI-Q-6, FSI-Q7, che hanno però acquiferi con permeabilità molto inferiore a quello dell'FSI-Q-2. In questo contesto è stato loro attribuito un grado di pericolosità d'isterilimento basso.

Per lo stesso motivo, un grado d'isterilimento basso è stato attribuito alle sorgenti 206 e 207 (Kematenquellen) che, pur trovandosi al piede del versante, risulta-

Hanges befinden, von dem Aquifer im tiefgründigen Massenbewegungskörper am rechten Hang des Pfitschertals gespeist werden.

Die Quellen 554, 555, 557 und 558 (Quellen 35, 36, 43 bzw. 44 Forstunterlagen) weisen aufgrund ihrer Nähe zur Erkundungstollenachse (bis zu 200m) und ihrer wahrscheinlichen Verbindung mit den Zirkulationen in den kalkig-dolomitischen und evaporitischen Formationen wie der Aigerbachformation, die von der Trasse des Erkundungstollens geschnitten werden (FSI-R-4), ein geringes Versiegersisiko auf. Auch in diesem Fall ist die Durchlässigkeit des tiefen Fließsystems im Vergleich zu der der Quellen sehr gering; die Austausche dürften daher sehr begrenzt sein. Dennoch sind Schwankungen der Schüttung dieser Quellen nicht auszuschließen.

10.1.2. Sektor der Bündnerschiefern der Pfitscherdecke und der Glocknerdecke

In den Bündnerschiefern der Pfitscher- und der Glocknerdecke werden die unterirdischen Zirkulationen durch den chemischen Lösungsgrad und Zerklüftunggrad sowie durch die Anwesenheit regionaler Störungen stark beeinflusst.

Aus der im Zuge des Einreichprojekts durchgeführten und hier im Wesentlichen wiedergegebenen Analyse des DHI wurde abgeleitet, dass die im mittleren Pfitschtal und im Eisacktal auftretenden Quellen oft ein Versiegersisiko aufweisen, das jedoch generell als niedrig einzustufen ist.

Im Besonderen ist die gefasste Quelle S205 (Kaltwasser), die derzeit die Ortschaften von Afens und Wiesen mit Wasser versorgt, laut den im Zuge des Einreichprojekts durchgeführten Analysen einem mittleren Risiko ausgesetzt, auch und vor allem aufgrund ihrer Nähe zum Pfitscher Fensterstollen, der zwischen km 1+000 und km 1+500 die Störungssysteme schnitt, mit denen die Wasserzirkulation (FSI-R-8), welche die Quellen speist, verbunden zu sein scheint. Risiken für diese Quelle können auch durch die mögliche Kreuzung des Basistunnels mit den Systemen FSI-R-9 und FSI-R-11 zwischen km 40+240 und 40+500 verursacht werden, die im hydrodynamischen Gleichgewicht mit dem System der Quelle stehen könnten. Denn die Störungen, entlang der das System FSI-R-8 zirkuliert, schneiden den Aquifer der Systeme FSI-R-9 und FSI-R-11.

Die Quellen S220 und S221 (Oettelquellen), die dem Aquifer innerhalb der basalen Marmore der Pfitscherdecke angehören (FSI-R-9), weisen aufgrund der Kreuzung der Basistunneltrasse mit dem System FSI-R-11 zwischen km 39+515 und 40+870, in dem ein hydrodynamisches Gleichgewicht mit dem versorgenden Fließsystem festgestellt werden könnte, ein mittelhohes Risiko auf. Außerdem könnten diese Quellen an jene Zirkulationen gebunden sein, die ent-

no essere alimentate dall'acquifero impostato nel corpo di frana profonda che occupa il versante destro della Val di Vizze.

Le sorgenti 554, 555, 557 e 558 (rispettivamente sorgenti Forstunterlagen 35, 36, 43 e 44) risultano con grado d'isterilimento basso in virtù della loro vicinanza all'asse del cunicolo esplorativo (fino a 200 metri) e della loro probabile connessione con i flussi che s'impostano all'interno delle formazioni calcareo-dolomitiche ed evaporitiche tipo Aigerbach e Seidlwinkl intersecate dal tracciato del cunicolo esplorativo (FSI-R-4). Anche in questo caso la permeabilità del sistema di flusso profondo è molto bassa rispetto al sistema delle sorgenti e gli scambi dovrebbero quindi essere molto limitati; nondimeno non si possono escludere variazioni dei regimi di portata di tali sorgenti.

10.1.2. Settore del settore dei calcescisti della Falda di Vizze e Falda el Glockner

Nei calcescisti della Falda di Vizze e del Glockner le circolazioni idriche sotterranee sono fortemente condizionate dal grado di dissoluzione chimica e di fratturazione nonché dalla presenza di faglie a persistenza anche regionale.

Dall'analisi DHI realizzata nel corso del Progetto definitivo e qui sostanzialmente ripresa, emerge che le sorgenti affioranti nella media Val di Vizze e della Valle Isarco risultano sovente a rischio d'isterilimento, se pur generalmente basso.

In particolare, la sorgente captata S205 (Kaltwasser), che attualmente rifornisce la rete idropotabile degli abitati di Avenes e di Prati di Vizze, dalle analisi realizzate nel Progetto Definitivo risultava a rischio medio anche e soprattutto per la sua vicinanza con la galleria di accesso della Val di Vizze che, tra il Km 1+000 e il Km 1+500 tagliava i sistemi di faglia ai quali sembra essere legata la circolazione idrica che alimenta le sorgenti (FSI-R-8). Nonostante che la galleria di accesso di Vizze non sia più prevista nel progetto, la previsione di rischio medio è stata mantenuta, poiché rischi per questa sorgente sono anche causati dalla possibile intersezione del tunnel di base con il sistema FSI-R-11 tra il Km 39+515 e 40+870, che potrebbe presentare un equilibrio idrodinamico con il sistema della sorgente. Le faglie lungo cui è impostato il sistema di circolazione FSI-R-8 intersecano infatti l'acquifero del sistema FSI- FSI-R-11.

Le sorgenti S220 e S221 (Oettelquellen), tributarie dell'acquifero impostato nei marmi basali della Falda di Vizze (FSI-R-9), risultano a rischio medio in virtù dell'intersezione del Tunnel di Base con con il sistema FSI-R-11 tra il Km 39+515 e 40+870 che potrebbe risultare in equilibrio idrodinamico con il sistema di flusso che le alimenta. Inoltre, queste sorgenti potrebbero essere connesse ai flussi che si sviluppano lungo la grande faglia NNE-SSW (S05) che, data la natura

lang der NNO-SSW- gerichteten Störung (S05) auftreten, welche aufgrund der karbonatischen Gesteinsnatur zur Entwicklung von Lösungsphänomenen auch in der Tiefe beitragen könnte.

Innerhalb dieses Sektors wurden andere risikobehaftete Quellen beobachtet; sie sind an die tiefen Abschnitte der Lithotypen der Glocknerdecke, gekennzeichnet durch regionale Störungen, gebunden.

Dies trifft für die Quelle S175 (Saegequelle) zu, welche in die Gruppe der Quellen mit mittlerem Risiko fällt. Die Quelle stellt eine bedeutende Austrittszone (15 l/s) des Maulssektors dar. Sie liegt 500 m westlich der Basistunnelachse. Ihr Fließsystem wird mit der S15 Störung in Verbindung gebracht, die vom Tunnel zwischen km 43+740 und km 43+780 gequert wird.

Hinsichtlich dieser Quelle müssen weitere Informationen geliefert werden. Ihre Fassung besteht aus zwei Leitungen, welche im Fassungsbecken zusammenfließen. Diese sind in den quartären Ablagerungen im Tal, jede davon fasst zwei verschiedene Bereiche. Aus mündlichen Informationen ist bekannt, dass für diese Quelle in den vergangenen Jahren eine Studie mit Tracertests durchgeführt wurden, um die Verbindung mit dem Gerinne der Talsohle zu bewerten. Gemäß den erhaltenen Informationen, wurde der ins Gerinne zugegebene Tracer in einer der Leitungen festgestellt, in der anderen jedoch nicht.

Dies zeigt deutlich, dass zumindest eines der beiden Quellgebiete, welche die Quelle speisen, in Verbindung mit dem Gerinne steht, das andere andere nicht. Die Versorgung setzt sich sicherlich zumindest aus zwei Elementen zusammen: i) der Decke des Gerinnes an der Talsohle in Verbindung mit letzterem, ii) möglichem tiefer liegenden Grundwasser, dessen Existenz nicht sicher ist. In einem solchen Kontext kann angenommen werden, dass auch im Falle von Auswirkungen auf das eventuelle tiefer liegende Grundwasser die Quelle weiterhin einen Teil ihrer Speisung aus dem Grundwasser des Gerinnes erhalten wird.

Die Quellen S176 und S177 (Schusterwaldquellen) zeigen auch ein mittleres Risiko; sie gehören jedoch zu Wasserkreisläufen, die an die Auswaschung von Gips und Anhydrit führenden Gesteinen (FSI-R-15) gebunden sind; die als wahrscheinlich vorhanden betrachtet werden, obwohl deren genaue Lage entlang der Tunneltrasse nicht bekannt ist.

Quellen mit geringem Risiko sind dagegen:

- S154-S159, S161-S166 und S169-S174;
- S210-S211;
- S222 und S228-S229.

carbonatica dei terreni, potrebbe favorire lo sviluppo di fenomeni di dissoluzione anche in profondità.

Altre sorgenti a rischio sono state individuate in questo settore; i loro sistemi di flusso risultano potenzialmente connessi con zone profonde dell'ammasso roccioso attraversato dal tunnel per la presenza di faglie importanti.

E' il caso della sorgente S175 (Saegequelle), che cade tra le sorgenti a rischio medio. Questa sorgente rappresenta un'importante zona di emergenza (15 l/s) del settore di Mules. Essa si trova a circa 500 metri a ovest dell'asse del tunnel di base. Il suo sistema di flusso è stato messo in relazione alla faglia S15 intercettata dal tunnel tra il Km 43+740 e il Km 43+780.

Al riguardo di questa sorgente vanno tuttavia forniti alcuni chiarimenti. La sua captazione è in realtà costituita da due tubazioni che convergono nel bottino di presa. Esse sono intestate nei depositi quaternari di fondovalle nei quali captano ognuno due settori differenti. Da notizie raccolte verbalmente è noto che per questa sorgente negli anni passati è stato eseguito uno studio con prove di tracciamento per valutare la sua interconnessione con il torrente di fondovalle. All'immissione di un tracciante nel torrente, secondo le informazioni ricevute, in uno dei due tubi che scaricano alla sorgente si è registrato l'arrivo del tracciante, mentre nell'altro no.

Ciò indica chiaramente che almeno una delle due emergenze che alimentano la sorgente è in comunicazione con il torrente, mentre l'altra no. Pertanto la sua alimentazione è sicuramente un misto di almeno due elementi; i) la falda del torrente di fondovalle in comunicazione con quest'ultimo; ii) una possibile falda più profonda di esistenza peraltro incerta. In un simile contesto è possibile ipotizzare che, anche in caso di impatti sulla eventuale falda profonda la sorgente continuerebbe sicuramente a ricevere parte della sua alimentazione dalla falda del torrente.

Le sorgenti S176 e S177 (Schusterwaldquellen), sempre a rischio medio, fanno invece parte di circuiti legata a liscivazione di rocce contenenti gesso e anidriti (FSI-R-15), la cui localizzazione lungo lo sviluppo del tunnel non è prevedibile nel dettaglio ma la cui esistenza è ritenuta probabile.

Le sorgenti a rischio basso risultano essere invece le seguenti:

- da S154 a S159, da S161 a S166 e da S169 a S174;
- S210-S211;

- S275 und S290;
- S329;
- S3084, S3086 e S3087.

Sie scheinen mit den Flüssen verbunden zu sein, die in der Tiefe entlang den NNO-SSW-Störungen verlaufen, welche die oberflächennaheren Aquifere mit den Fließsystemen in den karbonatisch-dolomitischen Überlagerungen im Hangenden der Bündnerschiefer der Glocknerdecke verbinden.

Dabei stellt die Quelle S329 (Quelle 64 Fortunterlagen) einen besonders wichtigen Austritt mit einer mittleren Schüttung von ca. 20l/s dar, d.h. der Hälfte dessen, was von allen Quellen mit geringem Risiko dieses Sektors geschüttet wird. Es ist nicht auszuschließen, dass sie teilweise mit Zirkulationen entlang der Störung verbunden ist, die vom Tunnel zwischen km 39+470 und km 39+490 gequert werden.

10.1.2.1. Sektor des Ostalpinen Altkristallins und Südalpin

In diesem Bereich gibt es keine Quellen, die nicht – in unterschiedlicher Weise, von einem Versiegungsrisiko oder einem Zurückgang aufgrund des gegenständlichen Vortriebs-Abschnitts betroffen sind. Das Risiko des Versiegens wird in der Regel dem Vortrieb im vorhergehenden Baulos zugeschrieben, das die Störungen Sprechenstein-Muls und des Pustertals betrifft.

10.2. Risikobewertung für die Gerinne

In diesem Kapitel wird ein qualitativer Hinweis über das mögliche Risiko des Einflusses des Basistunnels auf die oberflächige Hydrographie des italienischen Abschnittes des Projekts gegeben. Die Schätzung wurde unter Berücksichtigung des möglichen Austausches zwischen den Wasserläufen und den innerhalb des Untergrundes und der quartären Ablagerungen beherbergten Fließsysteme durchgeführt. Ein möglicher Einfluss auf die Fließsysteme seitens des Tunnels wurde schon in den vorigen Kapiteln beschrieben. Der Einfluss auf die Wasserläufe von drei Hauptbecken wurde abgeschätzt: der Eisack Bach, der Pfitscher Bach und der Maulser Bach.

Die Auswahl der abzuschätzenden Wasserläufe wurde auf Basis folgender Kriterien durchgeführt:

1. Wasserläufe, die von Bedeutung für die Bewässerung sind;
2. Wasserläufe mit bedeutenden und dauernden Schüttungen;
3. Wasserläufe, die für die Produktion von elektrischer Energie genutzt werden.

- S222 e S228-S229;
- S275 e S290;
- S329;
- S3084, S3086 e S3087.

Queste sembrano essere connesse ai flussi che in profondità si impostano lungo le faglie NNE-SSW che mettono in connessione gli acquiferi più superficiali con i sistemi di flusso ospitati all'interno delle coperture carbonatico-dolomitiche a letto dei calcescisti della Falda di Vizze e del Glockner.

In particolare, la sorgente S329 (Quelle 64 Fortunterlagen) rappresenta una risorgenza di particolare importanza con una portata media di circa 20l/s ovvero circa la metà di quanto scaricato dall'insieme delle sorgenti a rischio basso di questo settore. Non si può escludere che essa sia in parte legata a circolazioni lungo le faglie NNE-SSW che portebbero intercettare il tunnel in questo settore.

10.1.2.1. Settore del Basamento Austroalpino e Sudalpino

In questo settore non esistono sorgenti a cui non sia associato, in misura variabile da sorgente a sorgente, un certo grado di rischio connesso all'insterilimento o alla riduzione della produttività riconducibile alla tratta di scavo in oggetto. Il rischio di insterilimento è in genere riconducibile allo scavo del lotto precedente, che intercetta la zona di faglia di Sprechenstein-Muls e la Linea della Pusteria.

10.2. Valutazione del rischio per i torrenti

In questo paragrafo si fornisce un'indicazione qualitativa riguardo al rischio potenziale di impatto da parte del Tunnel di Base sull'idrografia superficiale nel settore italiano di progetto. La valutazione è stata condotta tenendo in considerazione i possibili scambi tra i corsi d'acqua e i sistemi di flusso ospitati nel substrato e nelle coperture quaternarie, il cui impatto potenziale da parte del tunnel è già stato trattato nel paragrafo precedente. L'impatto è stato valutato sui corsi d'acqua di tre bacini principali: il Torrente Isarco, il Rio di Vizze e il Rio Muls.

La scelta dei corsi d'acqua da valutare è stata fatta tenendo conto dei seguenti criteri:

1. Corsi d'acqua che possono avere un interesse a fini irrigui;
2. corsi d'acqua con portate rilevanti e permanenti;
3. corsi d'acqua sfruttati a fini di produzione di energia idroelettrica.

Um die möglichen Interferenzen auf die Wildbäche abzuschätzen wurden zwei Hauptfaktoren berücksichtigt:

1. mögliche Verarmungen von eventuellen Fließsystemen, die mit den Wildbächen im hydrodynamische Gleichgewicht sind; wenn Verarmungen von diesen Systemen existieren, existiert offensichtlich auch ein möglicher Einfluss auf die Wildbäche.
2. mögliche Schüttungsabnahmen die durch indirekten Auswirkungen auf die Nebenzuflüsse der Wasserläufe stammen; wenn die Nebenzuflüsse eines Wasserlaufes eine Schüttungsabnahme erfahren, kommen auch Schüttungsabnahmen des Hauptwasserlaufes zustande, auch wenn Letzterer keine direkten Wasserverluste erfährt, die von Auswirkungen auf das Fließsystem mit dem er im Gleichgewicht steht, verursacht werden.

Auf Basis der qualitativen Analyse, die nach den oben genannten Parametern durchgeführt wurde, wurde jeder Wasserlauf nach dessen Zuordnung zu einer Risikoklasse klassifiziert. Die Zuordnung der Risikoklasse wurde nach den folgenden Kriterien durchgeführt:

Klasse Classe	Bedeutung / Significato
A	Austrocknungsrisiko des Wasserlaufes; geschätzte Schüttungsabnahmen von 80-100 % Rischio di disseccamento del corso d'acqua; cali di portata stimati del 80-100%
B	Starke Beeinträchtigung des Wasserlaufes; geschätzte Schüttungsabnahmen von 50-80% Forte depauperamento del corso d'acqua; cali di portata stimati del 50-80%
C	Mittlere Beeinträchtigung des Wasserlaufes; geschätzte Schüttungsabnahmen von 10-50% Moderato depauperamento del corso d'acqua; cali di portata del 10-50%
D	Geringe oder fehlende Auswirkungen; geschätzte Schüttungsabnahmen von 0-10% Impatti minori o assenti; cali di portata dello 0-10%

Tabelle 16:

lassen des Ausmaßes des vom Wasserlauf erfahrenen, potentiellen Schadens. Das Ausmaß der Schäden bezieht sich auf einen niedrigen Pegelstand.

Es ist zu beachten, dass sich die Risikobewertung auf die Phase eines niedrigen Pegelstandes der Gerinne bezieht, da dies die heikelste Phase für die Handhabung der Auswirkungen darstellt. Bei niedrigem Pegelstand wird die Wassermenge des Gerinnes vor allem durch unterirdische Zuflüsse garantiert, welche bei ihrem Ausbleiben deutliche Auswirkungen zeigen. Gleichzeitig ist der eventuelle Wasserverlust entlang der Laufs während der Phase des niedrigen Pegelstands besonders relevant, da die Infiltrationen in den Untergrund deutlicher werden, wenn keine Vernässungen und kein Schneeschmelzwasser vor-

Per valutare le possibili interferenze sui corsi d'acqua si è tenuto conto di due fattori principali:

1. possibili depauperamenti di eventuali sistemi di flusso con cui i corsi d'acqua si trovano in equilibrio idrodinamico; se esistono depauperamenti di tali sistemi esiste ovviamente una possibilità di impatto anche sui corsi d'acqua;
2. possibili decrementi di portata derivanti da impatti indiretti sugli affluenti dei corsi d'acqua; se gli affluenti di un corso d'acqua subiscono abbassamenti di portata si determinano diminuzioni di portata sul corso d'acqua principale anche se quest'ultimo non subisce perdite dirette causate da impatti sul sistema di flusso con cui si trova in equilibrio.

Sulla base dell'analisi qualitativa condotta secondo i parametri ora ricordati, ogni corso d'acqua è stato classificato secondo la sua appartenenza ad una classe di rischio. L'attribuzione della classe di rischio risponde ai criteri riportati alla tabella seguente.

Tabella 17:

Classi che descrivono l'entità del danno potenziale subito da un torrente. L'entità del danno è riferita all'impatto sulle portate in fase di magra.

Si noti che la valutazione del rischio è riferita alla fase di portate di magra dei torrenti, poiché questa è la fase più delicata per la gestione degli impatti. Nel periodo di magra la portata di base del torrente è garantita soprattutto dagli apporti dal deflusso sotterraneo, che, qualora vengano a mancare determinano impatti molto evidenti. Allo stesso tempo le eventuali perdite di acqua lungo il corso divengono più rilevanti in fase di magra, poiché l'infiltrazione verso il substrato diviene più evidente quando non sono presenti gli apporti di acque di ruscellamento o di scioglimento delle nevi.

handen sind.

Im Folgenden wird der mögliche Einfluss auf die obengenannten Wasserläufe getrennt beschrieben und es wird auf das Kapitel, das den Einfluss auf die Fließsysteme behandelt verwiesen. Die Tabelle 17 fasst die Risikoklassen zusammen, die für die verschiedenen Wasserläufe erwartet werden.

10.2.1.1. Eisack Bach

Der Eisack Bach kann in drei Abschnitte mit verschiedenen Eigenschaften eingeteilt und analysiert werden:

- Abschnitt 1 - Der Abschnitt stromaufwärts der Mündung mit dem Pflerscher Bach;
- Abschnitt 2 - Der Abschnitt zwischen der Mündung mit dem Pflerscher Bach und den Bächen Ridnauner und Pfitscher;
- Abschnitt 3 - Der Abschnitt talabwärts der Mündung mit den Bächen Ridnauner und Pfitscher.

Obwohl der erste Abschnitt nicht überwacht wurde, ist bekannt, dass in diesem Abschnitt die Schüttung ziemlich gering ist, wahrscheinlich weniger als 500-1000 l/s (Bericht G4.1c-04, Vertrag D0104). Dieser Abschnitt entwickelt sich im hydrodynamischen Kontakt mit einem Talsohleaquifer für das keine bedeutenden Interferenzen mit dem Tunnel vorhersehbar sind. Eine Ausnahme kann nichtsdestotrotz das Gebiet der Brenner Therme darstellen, wo das thermale Fließsystem Wechselwirkungen erfahren könnte, die sich auch auf das Talsohleystem auswirken könnten und in Folge z.T. auch auf den Bach. Es kann somit für diesen ersten Abschnitt eine begrenzte Schüttungsabnahme nicht ausgeschlossen werden.

Auch für den zweiten Abschnitt existieren keine Überwachungseinrichtungen. Trotzdem zeigt in diesem Fall die Schüttung des Eisacks eine starke Zunahme talabwärts der Mündung mit dem Pflerscher Bach. Wegen dieser Zunahme würden die eventuellen Wasserverluste in dem ersten Abschnitt innerhalb dieses zweitens völlig vernachlässigbar sein. Wasserverluste aufgrund von Wechselwirkungen mit dem Talsohleaquifer sind nicht abschätzbar.

In dem dritten Abschnitt zeigt die Schüttung des Eisacks eine bedeutende Zunahme wegen der Mündung mit den Bächen Ridnaun und Pfitsch. Obwohl in diesem Abschnitt einige der Nebenzuflüsse (insbesondere der Pfitscher Bach und der Maulser Bach) Schüttungsabnahmen erfahren können, sind gerade wegen der hohen Basis-Schüttung des Eisacks diese Wasserverluste völlig vernachlässigbar. In ähnlicher Weise sind eventuelle Infiltrationen von dem Talsohleaquifer in Richtung des Basistunnels durch die Störungssysteme, im Hinblick eventueller Auswirkungen auf den Eisacker Bach, vernachlässigbar.

Qui di seguito sarà discussa separatamente la possibilità di impatto su ciascuno dei suddetti corsi d'acqua e si rimanderà ampiamente al paragrafo che tratta l'impatto sui sistemi di flusso. La Tabella 18: 17: riassume le classi di rischio previste per i vari torrenti.

10.2.1.1. Torrente Isarco

Il Torrente Isarco può essere analizzato suddividendo il corso in tre tratte con caratteristiche differenti:

- Tratto 1 - Settore a monte della confluenza con il Rio Fleres;
- Tratto 2 - Settore tra la confluenza con il Rio Fleres e le confluenze dei Rii Ridanna e Vizze;
- Tratto 3 - Settore a Valle della confluenza con i Rii Ridanna e Vizze.

Benché il tratto 1 non sia monitorato è noto che la portata del torrente in questo settore è piuttosto bassa, probabilmente inferiore ai 500-1000 l/s (elaborato G4.1c-04, contratto D0104). Questo tratto si sviluppa prevalentemente in contatto idrodinamico con un acquifero di fondovalle per il quale non sono prevedibili importanti interferenze con il tunnel. Un'eccezione può tuttavia essere rappresentata dal settore di Terme del Brennero dove il sistema di flusso termale potrebbe subire delle interferenze che si ripercuoterebbero anche sul sistema di fondovalle e conseguentemente, in parte anche sul torrente. Non è quindi possibile escludere per questo primo tratto una limitata riduzione delle portate.

Anche per il tratto 2 non esistono monitoraggi. Tuttavia in questo caso la portata dell'Isarco è consistentemente incrementata a valle della confluenza del Rio Fleres. A causa di tale incremento le eventuali perdite di portata nel tratto 1 diverrebbero del tutto trascurabili nell'ambito di questo secondo tratto. Perdite per scambi con l'acquifero di fondovalle non sono prevedibili.

Nel tratto 3 la portata del Torrente Isarco registra un considerevole incremento a causa della confluenza dei Rii Vizze e Ridanna. In tale tratto, sebbene alcuni degli affluenti laterali (in particolare i Rii Vizze e Mules) possano subire delle diminuzioni di portata, proprio in virtù dell'elevata portata di base dell'Isarco, tali perdite divengono del tutto irrilevanti. Allo stesso modo eventuali parziali infiltrazioni dall'acquifero di fondovalle verso il cunicolo esplorativo attraverso i sistemi di faglie sono da considerarsi del tutto trascurabili nei confronti di eventuali impatti sul Torrente Isarco.

10.2.1.2. Becken des Pfitscher Baches

Der Pfitscher Bach wird in zwei Teilen behandelt; der Bachtteil stromaufwärts und der Bachtteil talabwärts des Pfitscher Wasserkraftwerks werden getrennt analysiert. Diese Trennung ist mit den verschiedenen hydrogeologischen Eigenschaften der Talsohleablagerungen des Pfitschertals stromaufwärts der Rieder-Massenbewegung verbunden; von diesen Eigenschaften hängt das Verhalten des Pfitscher Baches bezüglich der möglichen Dränungen des Tunnels ab.

Pfitscher Bach stromaufwärts von Ried

Die geologische Studie und die durchgeführten geognostischen Untersuchungen erlaubten die quartären Ablagerungen der Pfitschertalsole zu charakterisieren und das Vorhandensein über einem ersten Intervall aus kiesigen Ablagerungen mit mittel- hoher Durchlässigkeit von einer mehrere zehnermetermächtigen Lage aus Schluffen zu erkennen. Das Vorhandensein dieser undurchlässigen Lage lässt den Schluss zu, dass während des Vortriebes ein direkter Einfluss auf das Bachbett und damit auf die Schüttung des Pfitscher Baches auszuschließen ist, da der oberflächige Aquifer durch Schluffe von dem tiefsten Fließsystem isoliert ist, das sich am Kontakt mit dem Untergrund entwickelt.

Trotzdem hat die Analyse der im Rahmen des Kontraktes D0104 (Dokumente G4.1c) durchgeführten Schüttungsmessungen der Hauptbäche, für einige Nebenzuflüsse auf der rechten und auf der linken Seite des Pfitschertals, die Möglichkeit eines Gleichgewichtes mit Fließsystemen in dem Untergrund oder in durch tiefgründige Massenbewegungen beeinflussten Gebirgsabschnitte gezeigt.

Insbesondere auf der rechten Seite des Tals, auf Höhe der großen tiefgründigen Massenbewegung, die den Hang zwischen Kematen und Platz kennzeichnet, haben die Schüttungsmessungen (Berichte G4.1c-04 und G4.1c-07, Vertrag D0104) für den Möserbach Zunahmen der Schüttung gezeigt, die auf der wahrscheinlichen Speisung (d.h. dem Vorhandensein von Quellen im Bachbett) durch das Fließsystem FSI-Q-2 beruhen. Die Zunahmen der Schüttung sind mit 5-10 l/s gering. Die mittlere Schüttung dieses Wasserlaufs an der Mündung in den Pfitscherbach beträgt 25l/s.

Da beim Fließsystem FSI-Q-2 Auswirkungen im unteren Teil des Hangs möglich sind (die hauptsächlich mit der möglichen Dränage durch den Tunnel des darunter liegenden Gesteinssystems FSI-R-3 und FSI-R-4, mit dem FSI-R-2 im hydrodynamischen Gleichgewicht steht, zusammenhängen), können Auswirkungen auf den talseitigen Teil des **Kematenbachs**, die allerdings schwer quantifizierbar sind, nicht ausgeschlossen werden.

Für den Wiedenbach, der unmittelbar westlich vom

10.2.1.2. Bacino del Rio di Vizze

Il rio di Vizze sarà trattato in due parti, prendendo in analisi separatamente la porzione del torrente a monte della stazione idroelettrica omonima e quella a valle. Questa suddivisione è dettata dalle diverse caratteristiche idrogeologiche dei depositi del fondovalle Vizze a monte e a valle della Frana di Novale; da tali caratteristiche dipende il comportamento del Rio Vizze nei confronti di possibili drenaggi esercitati dal tunnel.

Rio di Vizze a monte di Novale

Lo studio geologico e le indagini geognostiche effettuate hanno permesso di caratterizzare i depositi quarternari di fondovalle della Val di Vizze e di riconoscere la presenza al di sopra di un primo intervallo di depositi ghiaiosi con permeabilità da media ad elevata, di un livello di potenza di parecchie decine di metri di limi impermeabili. La presenza di questo livello impermeabile permette di escludere che vi sia in fase di scavo un'influenza diretta sull'alveo del torrente e quindi sulla portata del Rio di Vizze, poiché la falda freatica superficiale è isolata dai limi dal sistema di flusso più profondo che si sviluppa a contatto con il substrato roccioso sepolto.

Tuttavia l'analisi delle misure di portata effettuate nell'ambito del contratto D0104 (documenti G4.1c) sui principali torrenti aveva evidenziato per alcuni degli affluenti, ubicati sia in destra che in sinistra della Val di Vizze, la possibilità di un equilibrio con sistemi di flusso sviluppati all'interno delle rocce del substrato o nelle porzioni di ammasso roccioso coinvolti in fenomeni di deformazione gravitativa profonda.

In particolare in destra orografica della valle, in corrispondenza della grossa DGPV che caratterizza il versante tra Caminata e Piazza, le misure di portata (elaborati G4.1c-04 e G4.1c-07, contratto D0104) hanno mostrato per il Rio di Caminata (o Moserbach) la presenza di incrementi di portata dovuti alla probabile alimentazione (i.e. presenza di sorgenti in alveo) da parte del sistema di flusso FSI-Q-2. Gli incrementi di portata sono di entità ridotta e pari a 5-10 l/s. La portata media di questo torrente alla confluenza con il Rio di Vizze è di 25l/s.

Poiché per il sistema di flusso FSI-Q-2 sono possibili degli impatti nella parte bassa del versante (legati principalmente al possibile drenaggio da parte del tunnel del sottostante sistema in roccia FSI-R-3 e FSI-R-4, con cui l'FSI-R-2 si trova in equilibrio idrodinamico), per il **Rio Caminata** non si possono escludere impatti, peraltro difficilmente quantificabili, nella sua parte di valle.

Per il Rio Saletto o Wiedenbach, immediatamente ad

Möserbach liegt und im Gleichgewicht mit dem Fließsystem FSI-R-2 steht, kann, obwohl keine Schüttungsmessungen vorliegen, Ähnliches angenommen werden. Auch für den **Wiedenbach** können daher Auswirkungen auf den talseitigen Teil, die allerdings schwer quantifizierbar sind, nicht ausgeschlossen werden.

Im Hinblick auf die anderen Bäche die sich auf demselben Hang befinden, ist, wegen seiner Schüttungen, der **Gemsgruberbach** als wichtigster zu nennen: er befindet sich ein wenig mehr westlich und zeigt eine Schüttung von 80l/s ca.. Dieser Bach fließt oberhalb der sedimentären Bedeckungen, die der Aigerbachformation zuzuordnen sind (hydrogeologische Komplexe 6a und 6b) und könnte in hydrodynamischem Gleichgewicht mit dem oberflächigen Fließsystem FSI-Q-1a stehen, für das das potentielle Risiko einer Verarmung zu erwarten ist. Im Falle, dass dieses Fließsystem z.T. die Schüttung des **Gemsgruberbach** speisen würde, ist die Auswirkung auf den Bach allerdings nicht als quantifizierbar anzunehmen.

Der **Grubergbach**, der **Rainbach**, der **Platzbach**, der **Walchhofbach** und der **Aigerbach** weisen dagegen keine Risiken potenzieller Interferenzen auf, da sie ausschließlich über dem Aquifer fließen, der das Fließsystem FSI-Q-3 speist und keine Interferenzrisiken aufweist.

Die Nebenzuflüsse auf der orografisch linken Seite des Tals, sind wegen ihrer Schüttungen bedeutender und fließen über den Bündnerschiefer der Pfitscherdecke, die durch die wichtigen Störungen des Systems NNO-SSW durchquert wird. Es handelt sich um den Burgumer Bach und den Großbergbach; die zwei erreichen mittlere Schüttungen von 198l/s und 289l/s in der Zone der Mündung mit dem Pfitscher Bach. Für den Burgumer Bach wurden zwei Speisungspunkte von Fließsystemen angenommen, die in den Störungszonen der NNO-SSW gerichteten Systeme (Kontrakt D0104, Dokument G4.1c-07) beherbergt sind. Trotzdem könnten die angezeigten Schüttungszunahmen auch in Bezug mit dem Vorhandensein einer Sub-Flussbett Speisung durch ebensoviel Nebenzuflüsse des Hauptbaches stehen. Die gemessenen Schüttungszunahmen erreichten 45l/s für den Punkt mehr stromaufwärts und 20l/s für den Punkt mehr talabwärts.

Im Falle, dass die Speisung der Quellen effektiv mit Zirkulationen entlang der Störungssysteme verbunden wäre, ist es möglich, dass sie Auswirkung seitens des Tunnelvortriebes erfahren, es können Schüttungsabnahmen des Baches nicht ausgeschlossen werden. Für den **Burgumer Bach** ist somit die Möglichkeit einer Auswirkung gegeben.

Für den Großbergbach wurde in der thematischen Karte über die Bäche (Kontrakt D0104) kein Vorhandensein von punktuellen Speisungen durch spezifische Fließsysteme in dem Grundgebirge verzeichnet.

ovest del Rio Caminata, che si trova in equilibrio con il sistema di flusso FSI-R-2, benché non esistano misure di portata, si può ipotizzare un discorso analogo. Anche per il **Rio Saletto** non si possono quindi escludere impatti, peraltro difficilmente quantificabili, nella sua parte di valle.

Riguardo agli altri torrenti presenti sul medesimo versante il più rilevante per la sua portata è il Rio delle Fosse dei Camosci ubicato poco più ad W, al quale spetta una portata media di 80l/s circa. Questo torrente scorre al di sopra delle coperture sedimentarie ascrivibili alla formazione dell'Aigerbach e Seidlwinkl (complessi idrogeologici 6a e 6b) e potrebbe essere in equilibrio idrodinamico con il sistema di flusso superficiale FSI-Q-1a, per il quale è stato evidenziato il rischio potenziale di depauperamento. Nel caso in cui tale sistema di flusso alimenti in parte la portata del **Rio delle Fosse dei Camosci**, è ipotizzabile un impatto sul torrente tuttavia non quantificabile.

Il **Grubergbach**, il **Rio di Riva (o Rainbach)**, il **Rio di Piazza (o Platzbach)**, il **Walchhofbach** e l'**Aigerbach**, non presentano invece rischi di potenziali interferenze poiché scorrono esclusivamente sull'acquifero che alimenta il sistema di flusso FSI-Q-3 che non presenta rischi di interferenza

Per quanto riguarda gli affluenti presenti in sinistra orografica, questi sono più importanti per le loro portate, e scorrono al di sopra dei calcescisti della Falda di Vizze che sono attraversati dalle importanti faglie del sistema a direzione NNE-SSW. Si tratta in particolare del Rio di Borgone e del Rio di Fossa di Trues; ai due spettano portate medie di 198l/s e di 289l/s nei pressi della confluenza con il rio di Vizze. Per il Rio di Borgone erano stati ipotizzati due punti di alimentazione da parte dei sistemi di flusso ospitati lungo le zone di faglia del sistema a direzione NNE-SSW (contratto D0104, documento G4.1c-07). Tuttavia gli aumenti di portata segnalati potrebbero anche essere da mettere in relazione alla presenza di alimentazione di subalveo di altrettanti affluenti del rio principale. Gli incrementi di portata misurati erano di circa 45l/s per il punto più a monte e di 20l/s per quello più a valle.

Qualora l'alimentazione delle sorgenti in questione sia effettivamente legata a circolazioni lungo i sistemi di faglie, poiché è possibile che essi subiscano degli impatti da parte dello scavo del tunnel, non si possono escludere diminuzioni di portata sul torrente. Per il **Rio di Borgone** esiste quindi la possibilità che si verifichino degli impatti.

Per il Rio di Fossa di Trues nella cartografia tematica sui torrenti del contratto D0104 non era stata segnalata la presenza di nessuna alimentazione puntuale da parte di specifici sistemi di flusso sviluppati nel sub-

Gleichfalls zeigt das verfügbare hydrogeologische Modell (Auswertung G4.1d-02; Vertrag D0104) keine möglichen Speisungen des Baches durch tiefe Fließsysteme auf. Aufgrund dessen scheint es gerechtfertigt, die Möglichkeit einer Auswirkung, auch indirekt, des Tunnels auf dem **Großbergbach** auszuschließen.

Von den anderen Bächen auf der linken Seite, zeigt der **Padaunbach**, der der Wichtigste ist, kein Risiko von Wechselwirkungen.

Hinsichtlich des Hauptbaches des hydrographischen Beckens, d.h. des Pfitscher Baches, beträgt die mittlere gemessene Schüttung während der Überwachungen am Rieder Wasserkraftwerk, 4600l/s. Auf Basis der kurz vorher beschriebenen beobachteten Nebenzuflüsse, wurde angenommen, dass auch im Falle, dass alle potentiellen für die Nebenzuflüsse beschriebenen Auswirkungen erfolgen, die Schüttungsabnahme des Pfitscher Baches in der Größenordnung von wenigen Zehnerlitern pro Sekunde sein würde, d.h. völlig vernachlässigbar ist, wenn sie mit seiner mittleren Schüttung verglichen wird.

Trotzdem muss betont werden, dass, obwohl der Pfitscher Bach nicht im direkten hydrodynamischen Kontakt mit dem Aquifersystem FSI-Q-04 (Aquifersystem mit mehreren Grundwasserstockwerken der Pfitschertalsole) steht, aus vorher erklärten Gründen, er in der Zone von Kematen durch ein Wassergrabennetzwerk teilweise gespeist wird, das von Ausstritten dieses Fließsystems stammt. Für das System FSI-Q-04 sind geringe Auswirkungen lokal möglich und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Schüttungen des Wassergrabennetzwerkes Abnahmen erfahren können. Aus der Auswertung G4.1c-07 kann man schließen, dass das Wassergrabennetzwerk eine Gesamtschüttung in der Größenordnung von 300l/s zeigt, d.h. immer viel niedriger als die mittlere des Pfitscher Baches.

Zusammenfassend wird darauf hingewiesen, dass, auch wenn man vorsichtigerweise die schlechtesten Rahmenbedingungen für die Auswirkung des Tunnels auf den **Pfitscher Bach**, stromaufwärts von Rieder, annimmt, keine bedeutenden Verarmungen zu erwarten sind. Geringfügige Schüttungsabnahmen in der Größenordnung von weniger als 5-7% der Schüttung in Niedrigwasserperioden können auf jeden Fall nicht ausgeschlossen werden.

Pfitscher Bach talabwärts von Ried

Talabwärts von Rieder ist der geologische Aufbau der Talsoleablagerungen wenig bekannt. Es wurde für möglich gehalten, dass der Pfitscher Bach in diesem Abschnitt ein hydrodynamisches Gleichgewicht mit dem Fließsystem der quartären Ablagerungen (FSI-Q-05) aufweist und deswegen Einflüsse sich z.T. auch auf den Bach auswirken können. Die vorher auf die Fließsysteme durchgeführte Analyse unter-

strato. Allo stesso modo il modello idrogeologico disponibile (elaborato G4.1d-02, contratto D0104) non evidenzia possibili alimentazioni del rio da parte di sistemi di flusso profondi. Per questi motivi sembra ragionevole escludere la possibilità di un impatto, seppur indiretto, del tunnel sul **Rio di Fossa di Trues**.

Tra gli altri rii presenti in sinistra il **Rio Padaun**, che è quello più importante, non presenta rischi di interferenze.

Per quanto attiene invece il rio principale del bacino idrografico, ossia il Rio di Vizze, la portata media registrata nel corso dei monitoraggi all'altezza della centrale idroelettrica di Novale, è pari a circa 4600l/s. Alla luce di quanto osservato per gli affluenti discussi poco prima, si ritiene che anche nel caso in cui si verificano tutti gli impatti potenziali descritti per gli affluenti, la portata che verrebbe a mancare al Rio di Vizze sarebbe dell'ordine di poche decine di litri al secondo, quindi ampiamente trascurabile se confrontata con la sua portata media.

Tuttavia va anche rimarcato che, benché il Rio di Vizze non si trovi in contatto idrodinamico diretto con il sistema acquifero FSI-Q-04 (sistema multifalda del fondovalle Vizze), per le ragioni in precedenza spiegate, esso viene in parte alimentato, nel settore di Caminata da un reticolo di fossi che originano da emergenze di tale sistema di flusso. Per il sistema FSI-Q-04 sono possibili lievi impatti a livello locale, e non si può quindi escludere che le portate del reticolo di fossi possano subire delle diminuzioni. Dall'elaborato G4.1c-07 è possibile dedurre che il reticolo di fossi ha una portata complessiva dell'ordine dei 300l/s, quindi sempre ampiamente inferiore a quella media del Rio di Vizze.

In conclusione si ritiene che anche se si assumono cautelativamente gli scenari peggiori per l'impatto da parte del tunnel sul **Rio di Vizze** a monte di Novale, non sono prevedibili depauperamenti consistenti. Lievi diminuzioni della portata, dell'ordine delle differenze di portata di magra tra un anno e non possono comunque essere esclusi. In ogni caso variazioni di questa entità risulteranno probabilmente di difficile identificazione, proprio perché dell'ordine di grandezza delle variazioni cicliche naturali.

Rio di Vizze a valle di Novale

A valle del Lago di Novale la geologia dei depositi del fondovalle Vizze è poco nota, come già ricordato in precedenza. Si ritiene comunque possibile che il Rio di Vizze in questo tratto sia in equilibrio idrodinamico con il sistema di flusso presente nei depositi quaternari (FSI-Q-05) e quindi che impatti su questo sistema possano ripercuotersi anche in parte sul rio. L'analisi effettuata in precedenza sui sistemi di flusso ha mes-

streicht, dass Auswirkungen, wenn auch nur von lokaler Bedeutung, auf das System FSI-Q-05 möglich sind. Das Ausmaß von diesen Einflüssen ist derzeit schwierig abzuschätzen. Auf jeden Fall erwartet man, auch auf Basis der erwarteten Schüttungen der Ausstritte im Tunnel, die mit möglichen Fließsystemen in Verbindung stehen, die ihrerseits mit dem System FSI-Q-05 verbunden sind (300-400 l/s), dass falls Schüttungsabnahmen erfolgen, sie nicht höher als 5-10 % der Schüttung des Baches in Niedrigwasserperioden (3600 l/s ca. an der Ortschaft von Wiese, auf Basis der Überwachungsdaten) sein werden.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass für den Sengesbach Auswirkungen geringen Ausmaßes vermutet wurden, und zwar nur vorsichtshalber und nur für den Bereich unterhalb Sägequellen. Falls diese Quellen, welche einen konsistenten Durchfluss aufweisen, auch nur teilweise beeinflusst werden sollten, kann bei niedrigem Pegelstand des Baches ein mäßiger Rückgang des Ausfließens nicht ausgeschlossen werden

so in evidenza che impatti, seppur importanti solo a scala locale, sono possibili sul sistema FSI-Q-05. L'entità di questi impatti al momento è difficilmente valutabile. In ogni caso, anche in funzione delle portate previste per le venute nel tunnel, legate a possibili sistemi di flusso in connessione con il sistema FSI-Q-05 (300-400 l/s), si prevede che, se avverranno dei decrementi di portata, saranno, come per il caso del tratto posto a monte di Novale, dell'entità delle variazioni cicliche naturali che si registrano tra i diversi anni di misurazione e quindi difficilmente identificabili, seppure non assenti.

Va infine ricordato che per il **Rio di Senges** sono stati ipotizzati degli impatti moderati, a titolo del tutto cautelativo e per il solo settore a valle delle sorgenti Saegequellen. Infatti qualora venissero in parte impattate queste sorgenti, che presentano una portata piuttosto consistente, non si può escludere che il rio in fase di magra subisca delle moderate riduzioni di deflusso.

Wasserlauf Torrente	Abschnitt / Tratta	Klasse Classe
Isarco / Eisack	Stromaufwärts der Mündung des Pflerscher Bachs / A monte della confluenza con il Rio Fleres	C
Isarco / Eisack	Zwischen der Mündung des Pflerscher Bachs und der Mündungen der Ridnauner und Pfitscher Bäche / Tra la confluenza con il Rio Fleres e le confluenze dei Rii Ridanna e Vizze	D
Isarco / Eisack	Talabwärts von der Mündung der Ridnauner und Pfitscher Bäche / A valle della confluenza con i Rii Ridanna e Vizze	D
Caminata / Möser- bach	Talseite / Parte di valle	C
Saletto / Wieden- bach	Talseite / Parte di valle	C
Piazza / Platz	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Fosse dei camosci / Gamsgruberbach	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	C
Gruberghbach	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Rainbach / Rio di Riva	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Plazbach / Rio di Piazza	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Walchhofbach	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Aigerbach	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Borgone / Burgu- mer	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	C
Padaun	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	D
Vizze / Pfitscher	Stromaufwärts des Rieder Stausees / A monte della diga di Novale	D
Vizze / Pfitscher	Talabwärts des Rieder Stausees / A valle della diga di Novale	D
Senges	Gesamte Ersteckung / Tutto lo sviluppo	C

Tabelle 17: *eeinträchtigungsrisiko für die Hauptwasserläufe.*

Die vorliegenden Bewertungen haben der Verminderung der von den unterirdischen Bauten abgeleiteten Wasserflüsse nach der Behandlung des Gebirges um der Laibung nicht Rechnung getragen. Über die Sondermaßnahmen zur Abdichtung der Bauten hinaus, die nur dort angewendet werden können, wo es wirklich erforderlich ist, wird eine begrenzte Minderung der Durchlässigkeit aufgrund der Maßnahmen zur Verbesserung der geomechanischen Eigenschaften des Gebirges erzielt.

Solche Maßnahmen sind im Projekt vorgesehen, um

Tabella 18: *Rischio di depauperamento per i principali corsi d'acqua.*

Le valutazioni presentate sono state eseguite senza tenere in conto l'effetto di diminuzione delle portate drenate dalle opere sotterranee in seguito agli interventi di trattamento dell'ammasso roccioso intorno al cavo. Infatti, oltre agli interventi speciali strettamente mirati all'impermeabilizzazione delle opere, che potranno essere messi in atto solo ove strettamente necessario, un limitato effetto di diminuzione della permeabilità dell'ammasso roccioso sarà probabilmente ottenuto già in seguito agli interventi di miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche della roccia.

Tali interventi sono previsti progettualmente per con-

den Vortrieb zu ermöglichen (z. B. Befestigungen mittels Vernagelung usw.). Die Auswirkung dieser Behandlungen, die üblich und gerade in den Gebieten mit Aquiferen wahrscheinlich sogar häufiger durchgeführt werden, da diese meist auch geomechanische Probleme aufwerfen, kann nur schwer eingeschätzt werden. Von einer Auswirkung kann man mit Sicherheit ausgehen, da diese Maßnahmen nicht eine Reduzierung der Wasserzutritte bezwecken, sondern die Befestigung des Gesteins. Die Auswirkung dieser Behandlungen kann deshalb nicht bei der Bewertung der Wasserzutritte einbezogen werden, die deshalb nur mit Vorsicht zu genießen ist.

10.3. Einflussbereich des Bauwerks

Um die hydrogeologischen Überwachung zu planen und zu disponieren, die während der Umsetzungsphase der Bauwerke notwendig ist, muss der mögliche hydrogeologische Einflussbereich im Zusammenhang mit den Oberflächenstörungen, die verursacht werden, bestimmt werden.

Abbildung 28 zeigt die Grenzen der genannten beeinflussten Fläche. Sie wurde unter vorsichtigen Annahmen definiert, welche im Folgenden kurz beschrieben werden.

Im Osten wurde das Gebiet erweitert, um die erwarteten Ausweitungen für alle wesentlichen Störungen NNO-SSW einzugliedern, die durch den Tunnel gekreuzt werden und potenzielle Zirkulationspunkte von Flusssystemen sind.

Die weiter südöstlich liegenden Störungen wurden ausgeschlossen, da sie bereits vom Vortrieb des derzeitigen Bauloses für den Erkundungstollen betroffen sind und keine erheblichen Schüttungen gezeigt haben. Daher sind auch in der Zukunft keine Störungen entlang ihres Verlaufes zu erwarten.

Im Norden wurde das Einflussgebiet weitgehend auf die Wasserscheide Italien-Österreich beschränkt, da es keine hydrogeologischen Elemente gibt, die auf eine offensichtliche Verbindung mit dem österreichischen Sektor hinweisen

Die westliche Grenze ist komplexer. Nördlich vom Gossenstein wurde das Gebiet bis zur Talsole des Eisacks verlängert, denn dies ist der Bereich, in dem die beeinflussten hydrogeologischen Einheiten, die vom Basistunnel betroffen sind, vom Detachment (oder Abscherhorizont) unterbrochen werden, was auch die Verbindung unterbricht. Im Wesentlichen entwickeln sich westlich des Detachments keine hydrogeologischen Systeme, die von der orographisch linken Seite des Eisacks gespeist werden

Der Bereich zwischen Gossenstein und Sterzing stimmt die westliche Grenze nicht mit der Talsole überein, sondern liegt weiter östlich, da es im Schiefergestein dieses Bereichs keine relevanten Fließsys-

teme (es. Konsolidierung durch Injektionen usw.). Die Wirkung dieser Behandlungen, die üblich und gerade in den Gebieten mit Aquiferen wahrscheinlich sogar häufiger durchgeführt werden, da diese meist auch geomechanische Probleme aufwerfen, kann nur schwer eingeschätzt werden. Von einer Auswirkung kann man mit Sicherheit ausgehen, da diese Maßnahmen nicht eine Reduzierung der Wasserzutritte bezwecken, sondern die Befestigung des Gesteins. Die Wirkung dieser Behandlungen kann deshalb nicht bei der Bewertung der Wasserzutritte einbezogen werden, die deshalb nur mit Vorsicht zu genießen ist.

10.3. Area di influenza dell'opera

Per pianificare e programmare i monitoraggi idrogeologici che dovranno essere realizzati nella fase di realizzazione delle opere si rende necessario definire una possibile area di influenza idrogeologica, legata alle perturbazioni in superficie che esse potrebbero determinare.

L'illustrazione 28: mostra la delimitazione della suddetta area di influenza. Essa è stata definita con assunzioni cautelative, brevemente descritte nel seguito.

Verso est l'area è stata estesa in modo da includere l'estensione prevista per tutte le principali faglie NNE-SSW che verranno intercettate dal tunnel e che sono potenziali sedi di circolazioni di sistemi di flusso. Sono state escluse le faglie poste più a sud-est, poiché queste sono già oggetto di scavo da parte del lotto attualmente in costruzione del cunicolo esplorativo e non hanno determinato la comparsa di portate rilevanti, pertanto non si prevede che in futuro possano verificarsi delle perturbazioni lungo il loro sviluppo.

Verso nord la zona di influenza è stata sostanzialmente limitata allo spartiacque idrologico Italia-Austria, poiché non esistono elementi idrogeologici che permettano una evidente comunicazione con il settore austriaco.

Il limite ovest è più articolato. A nord di Colle Isarco esso è stato esteso fino al fondovalle Isarco, poiché questa è l'area in cui le unità idrogeologiche interessate dal tunnel di base vengono interrotte dal detachment (o zona di taglio normale) del Brennero, che quindi interrompe anche la loro continuità idrogeologica. Sostanzialmente a ovest del detachment già in regime imperturbato non si sviluppano sistemi idrogeologici alimentati dal settore posto in sinistra orografica dell'Isarco.

Nel settore compreso tra Colle Isarco e Vipiteno il limite ovest non coincide con il fondovalle ma ripiega verso est, poiché nei calcescisti presenti in questo settore non sono presenti sistemi di flusso rilevanti e so-

Settore: Progetto Mules II
Objetto: Cunicolo Esplorativo Brennero - Mules

Gegenstand: Erkundungstollen Brenner - Maults

eme gibt und vor allen Dingen gibt es keine hydrogeologischen Elemente, die in Verbindung mit den vom Tunnel betroffenen Aquiferen stehen.

prattutto non vi sono elementi idrogeologici che si trovano in comunicazione con acquiferi inerferiti dal tunnel.

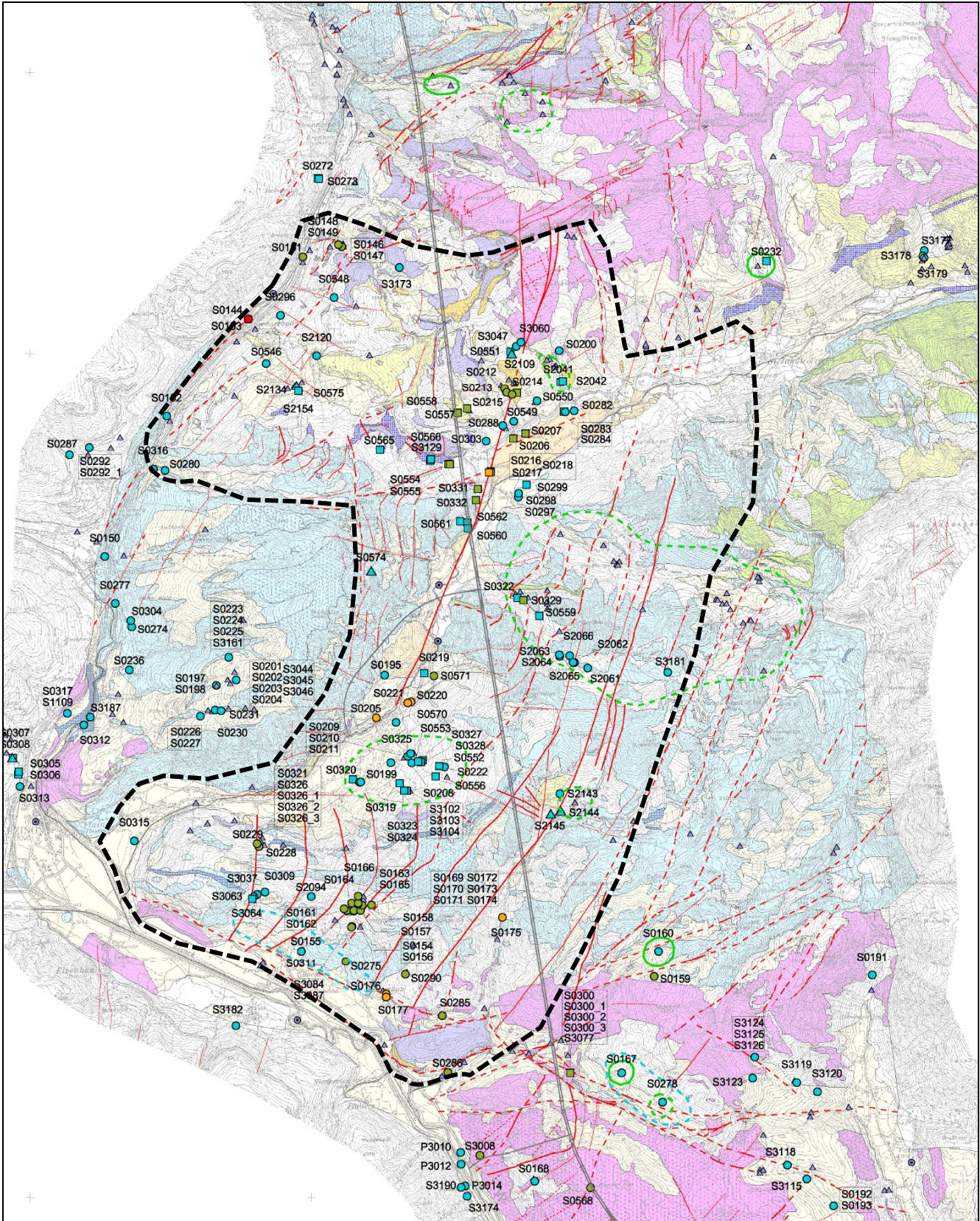


Illustrazione 7: Abgrenzung des hydrogeologischen Einflussgebiets (gestrichelte Linie in Schwarz) des geplanten Tunnelabschnitts, der hydrogeologischen Karte des Einreichprojekts entnommen

Im Süden von Sterzing stimmt die Grenze wieder mit der Eisacktalsohle überein, der vorwiegenden Zuflusszone mit minimalem hydraulischen Potenzial der Fließsysteme an der orographisch linken Talseite

Illustrazione 28: Delimitazione dell'area di influenza idrogeologica (perimetro tratteggiato in nero) della tratta di cunicolo in progettazione; estratto dalla carta idrogeologica del Progetto Definitivo.

A sud di Vipiteno il limite torna a coincidere con il fondovalle Isarco, che è la principale zona di recapito e minimo potenziale idraulico dei sistemi di flusso che si sviluppano in sinistra orografica della valle.

10.4. Referenzliteratur

Drogue, C. 1972. Analyses statistiques des hydrogrammes de décrues des sources karstiques. Journ. Hydrologie, 15, 49-68.

Maillet, E. 1905. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Lib. Scient. Herman, Paris.

Ribacchi, R., Graziani, A., Boldini, D. 2002. Previsione degli afflussi d'acqua in galleria e influenza sull'ambiente. Proceedings of MIR 2002, G. Barla Ed., Torino, 143-199.

10.4. Letteratura consultata