

Ing. A. Fontana⁽¹⁾

⁽¹⁾ Consorzio ITC – Pini Associati SA, Galleria di Base del Ceneri – Direzione Lavori, Sigirino, Switzerland

Inhalt

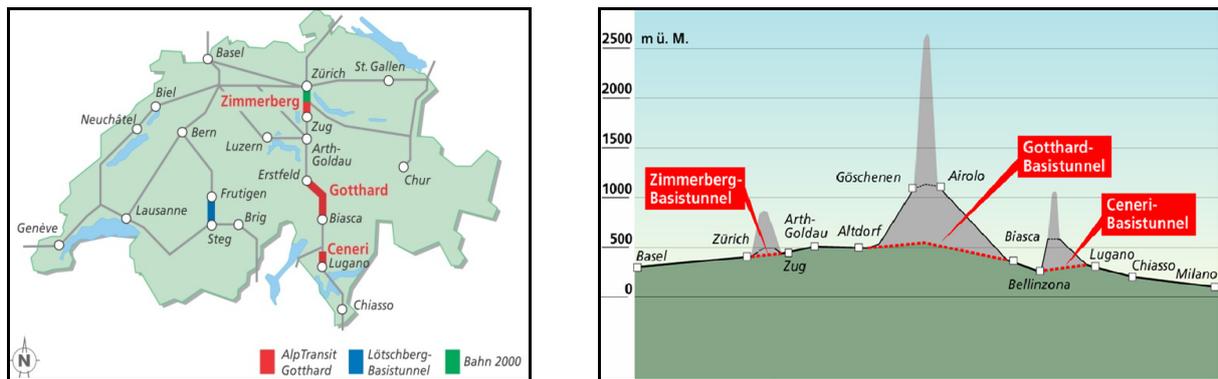
1	Einleitung	1
2	Allgemeine Übersicht des Ceneri-Basistunnels	2
3	Prognose und Befund der Geologie der Linea Val Colla (LVC)	3
4	Einsatz von schweren Sicherungstypen (SPV7 - SPV10) in Abhängigkeit des Gebirgsverhalten .	6
5	Gebirgsverhalten im Störungsbereich der LVC (Streckenabschnitt von Tm 945 bis Tm 1100) ...	10
6	Ausserordentliches Ereignis Niederbruch in der Linea Val Colla Tm 1095 (03.05.2011)	11
6.1	Beschreibung des Niederbruchs	11
6.2	Vorgehensweise	13
6.2.1	Vorauserkunden und Vermessen des Verbruchkörpers	13
6.2.2	Massnahmenplan	14
6.2.3	Überwachung des Gebirgsverhaltens und Begleitung des Vortriebs im Bereich des Niederbruchs	18
7	Schlussfolgerungen	20
8	Bibliografie	21

1 Einleitung

Voraussetzungen für einen erfolgreichen Untertagebau sind umfangreiche Kenntnisse der geologisch-geotechnischen Gegebenheiten. Dabei richtet sich die Wahl der Sicherungstypen im Tunnelvortrieb direkt nach den angetroffenen Gebirgseigenschaften. Das Gebirgsverhalten wird durch die Petrographie, das Trennflächengefüge und die Hydrogeologie bestimmt. Das Trennflächengefüge kann den Tunnelbau in hohem Masse beeinflussen. Bei gleicher Gesteinsfestigkeit ist ein anstehender Fels mit einer intensiven Durchtrennung bautechnisch ganz anders zu beurteilen als ein Fels mit geringer Durchtrennung. Mit täglichen geologischen Untersuchungen an der Ortsbrust unterstützt durch Vorauserkundungen und geotechnischen Messverfahren wird versucht, das Verhalten des Gebirges auf den Vortrieb zu verstehen und auf den bevorstehenden Ausbruch vorherzusehen. In stark heterogenen Felsverhältnissen ist eine präzise Prognose auf den bevorstehenden Vortrieb besonders schwierig zu erstellen. Dabei müssen immer Faktoren wie Bauzeit und Baukosten im Auge behalten werden, um stets die angepassten Sicherungstypen unter der Berücksichtigung der Arbeitssicherheit zu wählen.

Dieses Skriptum beschreibt praktische Erfahrungen, welche während der Durchörterung der Linea Val Colla gesammelt wurden. Anhand einer Beschreibung der Durchörterung dieser schwierigen Gebirgsverhältnisse wird aufgezeigt, wie ein Massnahmenplan erstellt werden kann, der es erlaubt, die Durchörterung dieser schwierigen Felsverhältnisse möglichst effizient auszuführen.

2 Allgemeine Übersicht des Ceneri-Basistunnels



Abbildungen 1: Übersicht der Schlüsselprojekte der NEAT (Quelle ATG)

Der Ceneri-Basistunnel gehört zur NEAT und ist ein bedeutendes Teilprojekt für die Nord-Süd Verbindung der Eisenbahn. Mit einer Tunnellänge von 15.4 km ist der Ceneri-Basistunnel nach dem Gotthard- und Lötschberg-Basistunnel der drittlängste Tunnel der NEAT. Der Ceneri-Basistunnel ist für das Projekt NEAT die logische Weiterführung der Flachbahn durch die Schweiz im Süden.

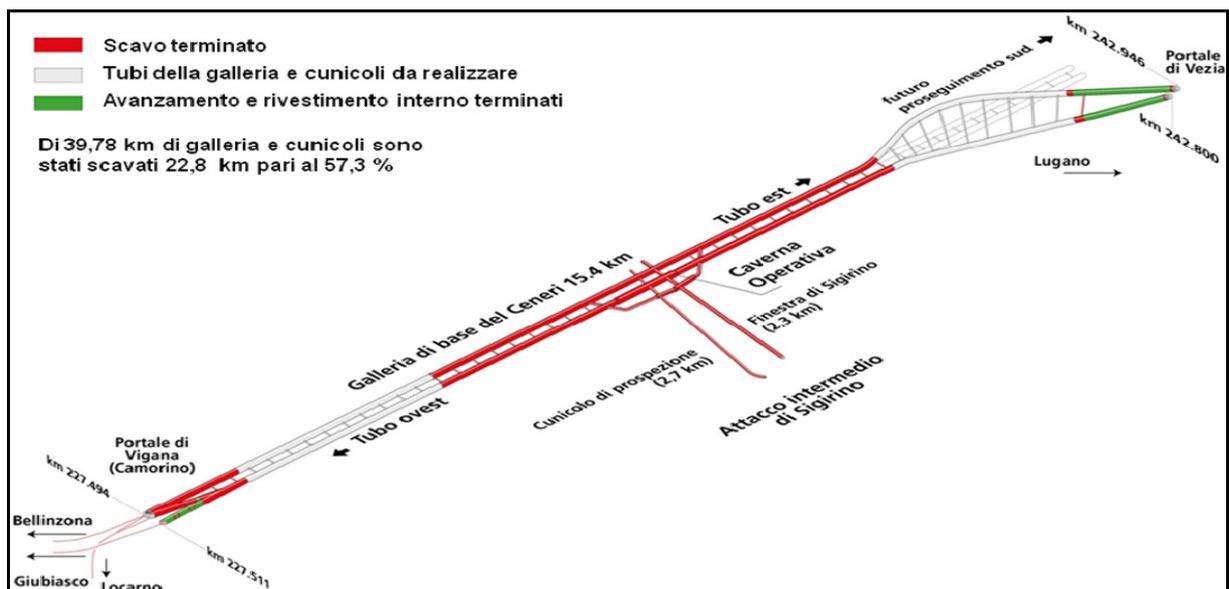


Abbildung 2: Stand der Arbeiten 01.12.2012 Ceneri Basistunnel (Quelle ATG)

Er besteht aus 2 Tunnelröhren von je 15.4 km länge, die alle 325m mit einem Sicherheitsquerschlag verbunden sind. Für die Realisierung des Tunnels werden rund 40 km Tunnel und Stollen im Sprengvortrieb ausgebrochen. Dies entspricht einem Volumen von ca. 4 Mio m³.

Die maximale Gebirgsüberlagerung beträgt 800m. Der Vortrieb wird von drei Standorten aus realisiert. In beiden Portalbereichen, Vigana im Norden und Vezia im Süden, wurde der Vortrieb bereits abgeschlossen. Das Herzstück der Strecke wird im Hauptlos über einen Zwischenangriff in Sigirino sowohl Richtung Norden als auch Richtung Süden ausgebrochen. Der Zwischenangriff in Sigirino wurde mit einem Fensterstollen von 2.4km erschlossen. Dieser wurde mit einer offenen Hartgesteins-TBM aufgefahren.

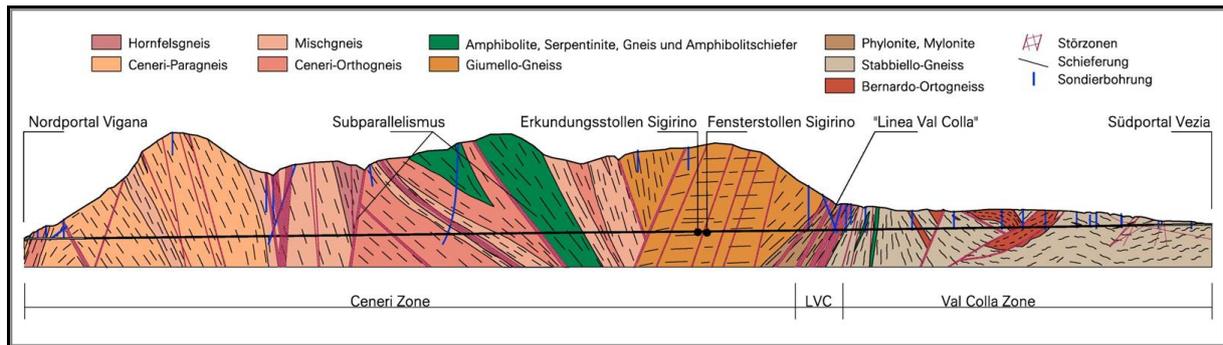


Abbildung 3. Geologischer Längsschnitt Ceneri Basistunnel

Laut geologischem Längsprofil werden im nördlichen und mittleren Ceneri Paragneise, Mischgneise, Orthogneise, Amphibolite und Glimmerschiefer erwartet. In der Linea Val Colla waren Mylonite, Phyllite und quarzreiche Glimmerschiefer prognostiziert. Im Ceneri Süd ist mit Glimmerschiefern, Orthogneisen und Amphibolite zu rechnen.

Der Ceneri-Basistunnel durchörtert das kristalline Grundgebirge, welches prä-alpin und alpin tektonisch stark beansprucht wurde und somit petrographisch und tektonisch sehr heterogen und vielfältig ist. Im Störzonenkataster wurden 46 Homogenbereiche definiert, von denen 12 als kataklastische-kakiritische Störzonen mit variablem prozentualem Anteil an Kakirit mit bautechnischer Relevanz prognostiziert wurden. Der heutige Befund zeigt, dass neben den prognostizierten Störzonen scharenweise kleinere Störungen im Vortrieb auftraten. Das durchtrennte und heterogene Gebirge des Ceneri verlangt kontinuierlich eine grosse Anpassungsfähigkeit bei der Wahl der richtigen Sicherungstypen. Die Bauleitung, die Projektierung und die Unternehmung sind bestrebt, anhand der mit fortlaufendem Vortrieb gewonnenen Erfahrungen regelmässig die Sicherungsmittel und die Vortriebstechnik anzupassen und zu verbessern. Dies erlaubt eine maximale Optimierung der Vortriebsleistungen. Auch die geologischen Prognosen müssen mithilfe von Vorauserkundungen laufend angepasst und verfeinert werden.

Als geotechnische Schlüsselstelle des Ceneri-Basistunnels war die Linea Val Colla prognostiziert worden. Diese tektonische Zone wurde auf einer Länge von 658m in der Oströhre und 529m in der Weströhre erfolgreich durchörtert (Februar 2011 bis November 2011). Der Anfang der Linea Val Colla wurde durch eine zirka 70m mächtigen kataklastische Störzone eröffnet. Diese Störzone war zur Tunnelachse spitzwinklig orientiert und erforderte den Einbau eines Sicherungstyp SPV9, welcher bis zum damaligen Zeitpunkt andernorts am Ceneri nie eingesetzt werden musste. Im Vertrag des Hauptlooses hat die Baustelle 10 Ausbruchstypen (1 bis 10) zur Verfügung (Abbildung 9).

3 Prognose und Befund der Geologie der Linea Val Colla (LVC)

Die Linea Val Colla, nachfolgend mit LVC abgekürzt, ist eine prä-alpine tektonische Zone, welche die Ceneri Zone im Norden und die Val Colla Zone im Süden trennt. Weil in der LVC ein tektonisch stark beanspruchtes Gebirge zu erwarten war wurde sie in der Machbarkeitsstudie besonders intensiv untersucht, um deren Komplexität auf Tunnelniveau zu verstehen. Für das Projekt wurde anhand seismischer Prospektion und zahlreicher Tiefenbohrungen ausgehend von der Oberfläche ein vereinfachtes geologisches Modell für die LVC erarbeitet, das die Lithologien der LVC in drei Lithotypen unterteilt:

- Lithotyp 1a: Phyllit, Mylonit, Glimmerschiefer
- Lithotyp 1b: Vorwiegend Gneise
- Lithotyp 2: Heterogenes Gemisch aus den Lithotypen 1a und 1b sowie Kakirit des Typs "fault-breccia" und "fault-gouge"
- Lithotyp 3: Entspricht dem Kakirit des Typs "fault-gouge".

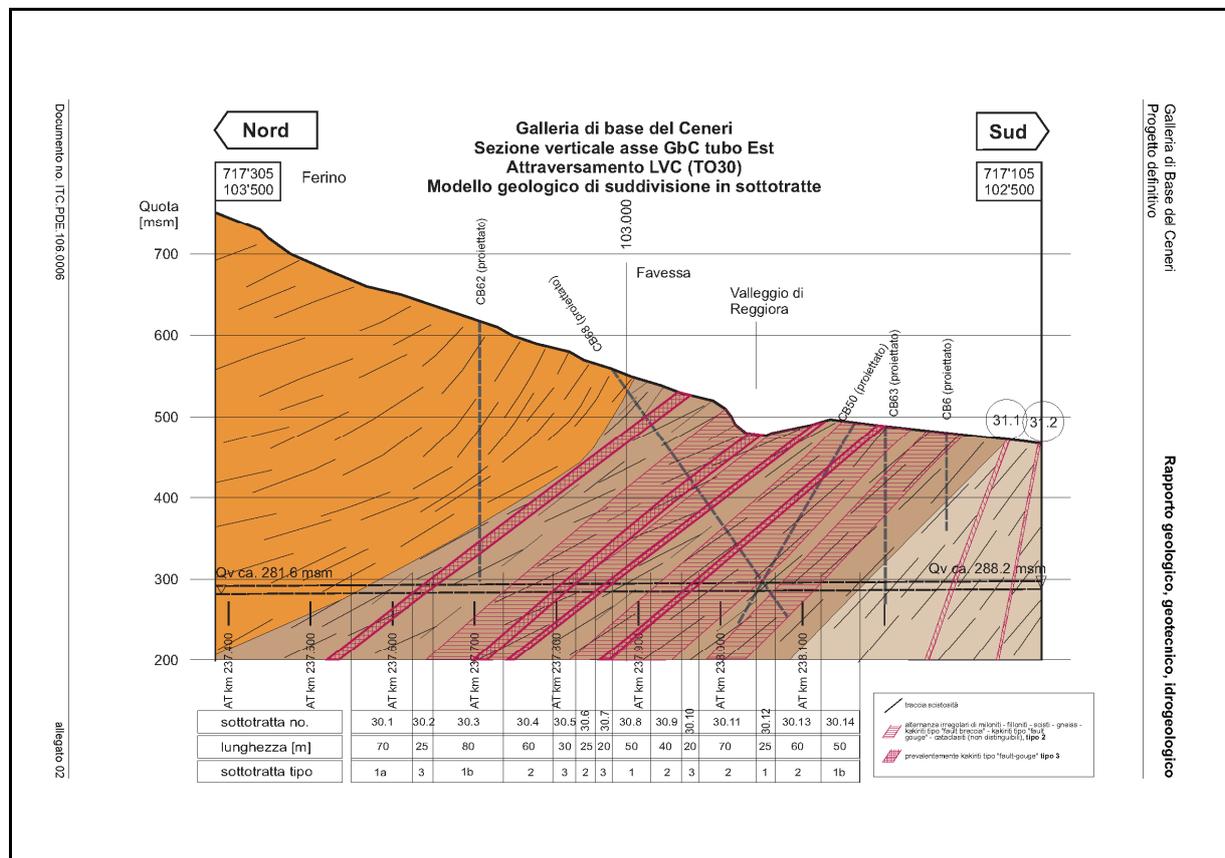


Abbildung 4: Modell für die geologische Prognose in der LVC

Eines der plausibelsten Modelle der LVC (Abbildung 4) sah eine Verteilung von 15% des Lithotyps 3, 41% Lithotyp 2 und 44% Lithotyp 1a und 1b vor. Der Übergang Giumelloigneis – LVC war als ungestörter Kontakt prognostiziert. Innerhalb der LVC waren 4 grössere Störzonen mit Mächtigkeiten grösser zehn Meter zu erwarten, welche dem Kakirit des Typs "fault-gouge" entsprachen.

Für die Durchörterung der Lithotypen 1a und 1b waren Sicherungstypen SPV 7 und SPV 8 geplant, wogegen die Lithotypen 2 und 3 mit den schwersten Sicherungstypen SPV 9 und SPV 10 auf einer Streckenlänge von 56% vorgesehen waren.

Der Vergleich Prognose-Befund stützt sich auf das Modell aus der Prognose des Projektes und dem Befund der im Vortrieb angetroffenen Geologie in der LVC.

Die beim Vortrieb effektiv angetroffene Lithologie in der LVC zeigte im Vergleich zur Prognose eine unterschiedliche Verteilung der Lithotypen (Abbildung 5). Der Lithotyp 3 wurde nur untergeordnet mit einer summierten Gesamtlänge von 1% angetroffen und lag in Form von Harnischflächen mit Kakiritfüllung (Schmierlassen) vor. Mit einem Anteil von 26% der Länge der LVC wurde der Lithotyp 2 vorwiegend in der nichtprognostizierten Störung angetroffen. Die restliche Strecke wurde im Lithotyp 1a und 1b ausgebrochen, was einem Anteil von 73% entspricht.

Es zeigte sich, dass die Gebirgseigenschaften auf dem nördlichen Streckenabschnitt der LVC im Vergleich zur Prognose aufgrund der nicht prognostizierten Störzone schlechter waren als erwartet. Dagegen waren diejenigen im südlichen Streckenabschnitt der LVC besser als geplant.

LVC litotipo	LVC GbC-SE		LVC GbC-SO		LVC GbC-SE + GbC-SO	
	m	%	m	%	m	%
LVC-1a	291	44	306	58	597	55
LVC-1b	196	30	97	18	193	18
LVC-2	161	24	121	23	282	26
LVC-3	10	2	5	1	15	1
Totale	658		529		1087	

Abbildung 5: Befund der Lithotypenverteilung in der LVC

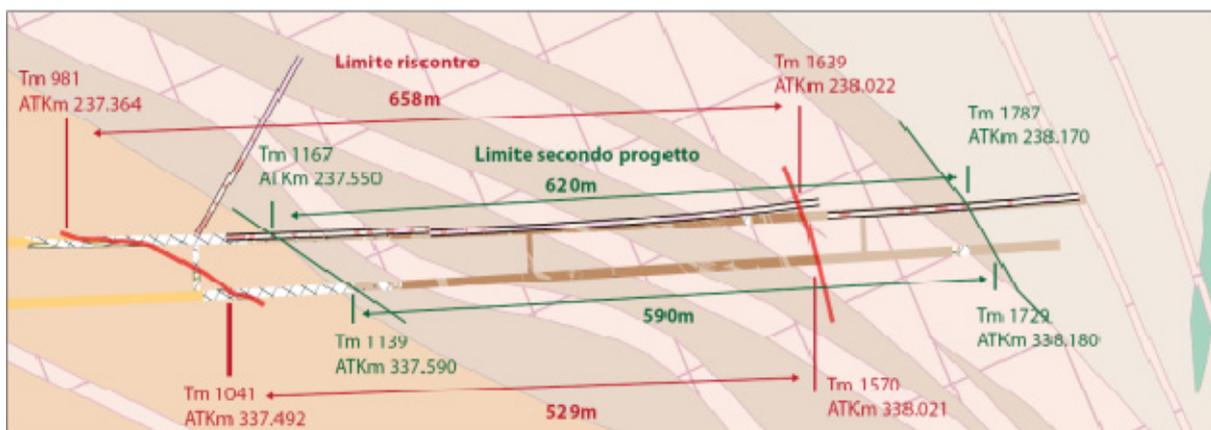


Abbildung 6: Horizontalplan Vergleich Prognose-Befund

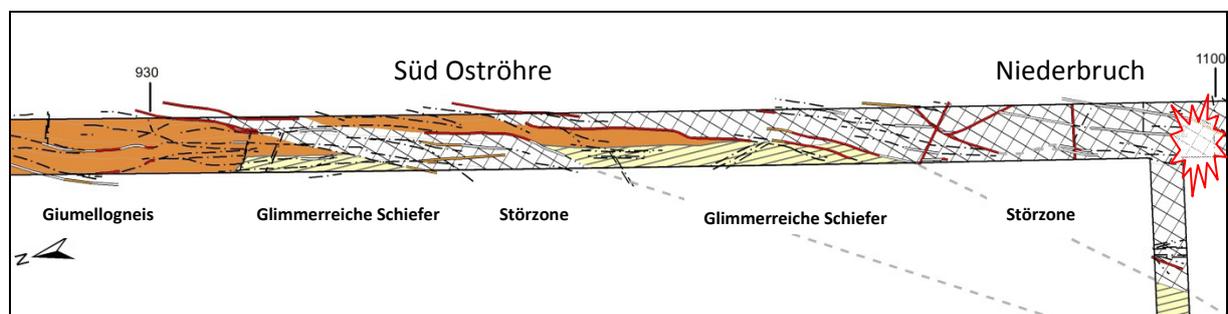


Abbildung 7: Befund nicht prognostizierte Störzone am Kontakt Giumellogneis-LVC

Der Störungsbereich am Eingang der LVC war sehr heterogen. Beginnend mit einem intensiv durchtrennten Giumellogneis folgte eine erste kataklastische Störung mit angrenzenden glimmerreichen Schiefen, die durch den Einfluss der Störzone stark mineralisiert und verglimmert waren.

Die Hauptstörung der LVC beinhaltet stark tektonisierte Gneise und Schiefer mit variablen Gemengeteilen an Kakirit des Typs „fault-breccia“. Zum Teil konnten einige tektonisch schwach verformte Schürflinge dem Stabbiellogneis zugeordnet werden.

Im intensiv gestörten Bereich waren hauptsächlich schwarze Kataklastite mit Anteilen von Kakirit des Typs „fault-breccia“ im Meterbereich anstehend. Kakirit vom Typ „fault-gouge“ durchtrennten den Fels in Form von Harnischflächen. Im Bereich des Niederbruchs, welcher in Kapitel 6 beschrieben wird, ist eine diffuse Zunahme an Kakirit des Typs „fault-gouge“ in

Form von unregelmässig verästelten Schmierlassen festgestellt worden. Kakirit vom Typ „fault-gouge“ konnte nie mächtiger als 0.2m kartiert werden.

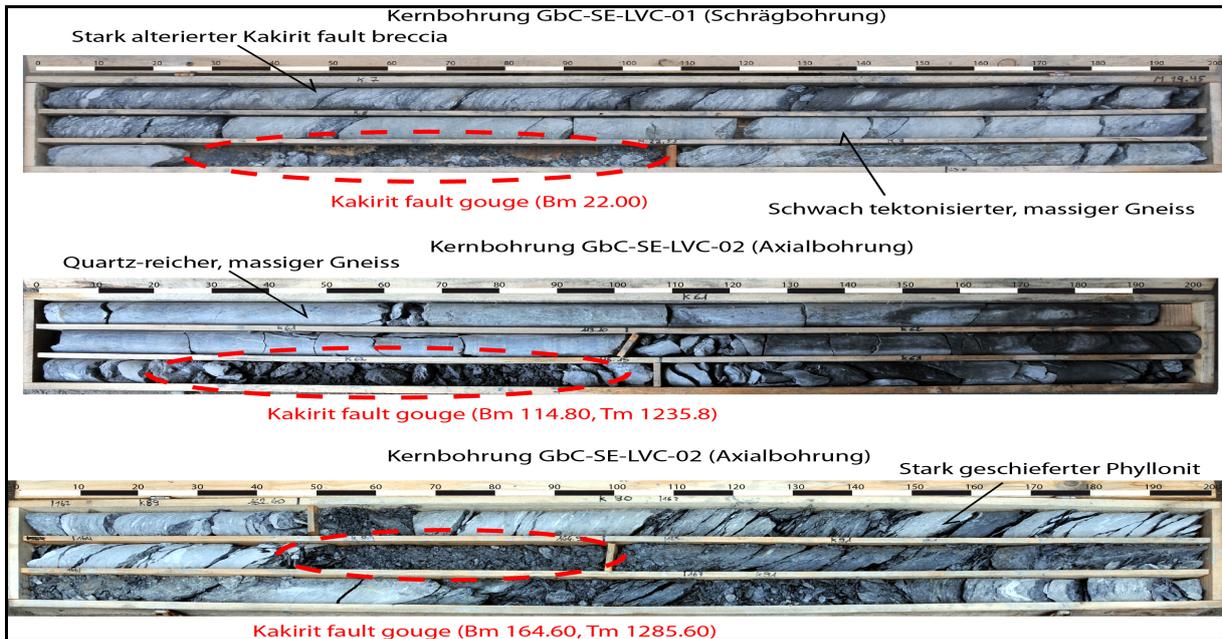


Abbildung 8: Ausschnitt von Bohrkernen Linea Val Colla

4 Einsatz von schweren Sicherungstypen (SPV7 - SPV10) in Abhängigkeit des Gebirgsverhalten

Für den Vortrieb des Ceneri-Basistunnels wurden im Projekt insgesamt zehn verschiedene Sicherungstypen ausgearbeitet.

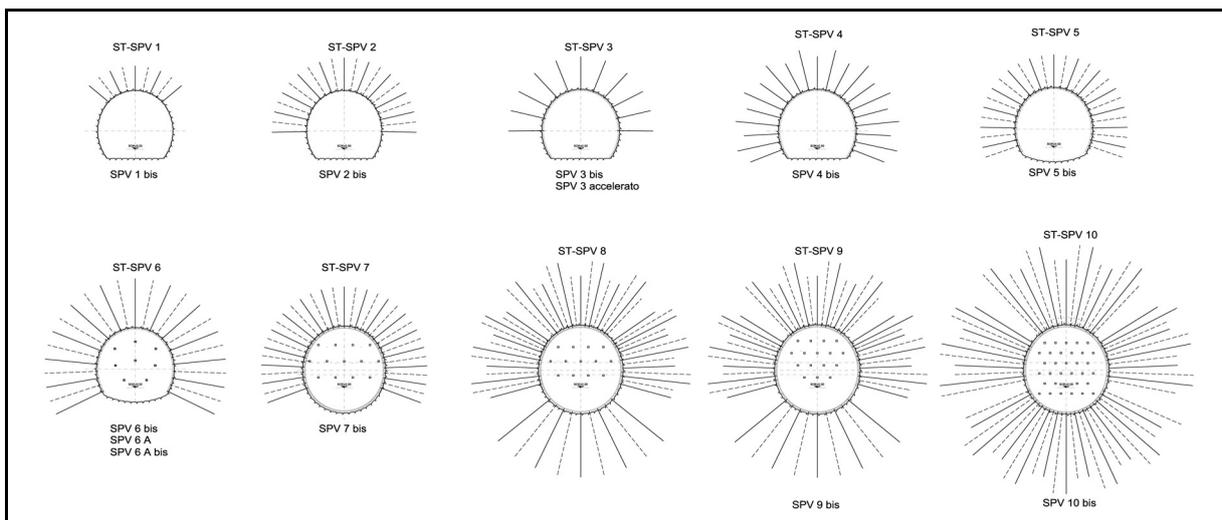


Abbildung 9: Vertragliche vorgesehene Ausbruchsicherungstypen 1 bis 10

Für die Durchörterung der LVC waren nur Sicherungstypen SPV 7 oder höher vorgesehen. Die Erfahrungen während dem Vortrieb zeigten aber, dass für die Lithotypen 1a und 1b die Sicherungstypen SPV 4 und SPV 6 ausreichend waren und deshalb auch eingesetzt werden konnten.

Geotechnisch können im Bereich der LVC drei Streckenabschnitte voneinander unterschieden werden, in denen sich das Gebirge unterschiedlich verhielt. Betrachtet man die Trendlinien der 3D Konvergenzmessungen im Giummelogneis, so macht sich die Annäherung der spitzwinklig orientierten Störzone an die Tunnelachse mit Zunahme der Horizontaldeformation bereits 150m vor dem Erreichen der LVC bemerkbar.

Das vorwiegend angetroffene Gefährdungsbild im südlichsten Giummelogneis war hauptsächlich die Bildung von Kluftkörpern im östlichen Parament und in der Kalotte.

In diesem Streckenabschnitt wurde die Ausbruchsicherung mit zunehmendem Vortrieb von SPV 5 auf SPV 7 erhöht.

In der Hauptstörungszone der LVC führte die Auflockerung des intensiv durchtrennten Gebirges zu radialen Konvergenzen bis zu 30 cm. Die Störzone hatte eine hohe bautechnische Relevanz, in der die Sicherungstypen SPV 9 und SPV 10 eingebaut werden mussten.

Schwierig zu bewältigen waren die sehr heterogenen Gesteinstypen innerhalb des Lithotyps 2, welche sich in grossen Unterschieden der Druckfestigkeiten innerhalb der Ortsbrust manifestierten.

GbC-Sud Est - Lithotypen LVC									
Prognose					Befund				
Länge der Strecke	1a	1b	2	3	Länge der Strecke	1a	1b	2	3
620m	17%	27%	41%	15%	658m	44%	27%	27%	2%
Sicherungstyp	SPV 7-8		SPV 9-10		Sicherungstyp	SPV 4 / 6 / 7		SPV 7-10	

Abbildung 10: Vergleich Prognose-Befund der Sicherungstypen in der LVC

Ein anderer interessanter Aspekt waren die variablen Kohäsionen der Gesteinsproben. In einigen Abschlügen wurden Gesteine angetroffen, die sehr tiefe Kohäsionswerte hatten und die nach Beigabe von Wasser in kurzer Zeit ihre Kohäsion verloren. Verliert ein Gestein die Kohäsion ist die Gefahr einer instabilen Ortsbrust hoch, es kann zu einer Kaminbildung in der Kalotte führen. Um dieser Gefährdung entgegenzuwirken, wurden folgende Massnahmen umgesetzt:

- Einsatz Sicherungstyp 10
- Erhöhung der Ankerlängen
- Einsatz von Deformationsslots
- Unterteilung der Ortsbrust
- Bereithalten von Spritzmobil und Spritzbeton mit Stahlfasern
- Minimaler Einsatz von Wasser wenn möglich (Bohrwasser minimieren)
- Stillstandzeiten vermeiden

- Sohlenschluss unmittelbar nach Ausbruch der Kalotte nachziehen.

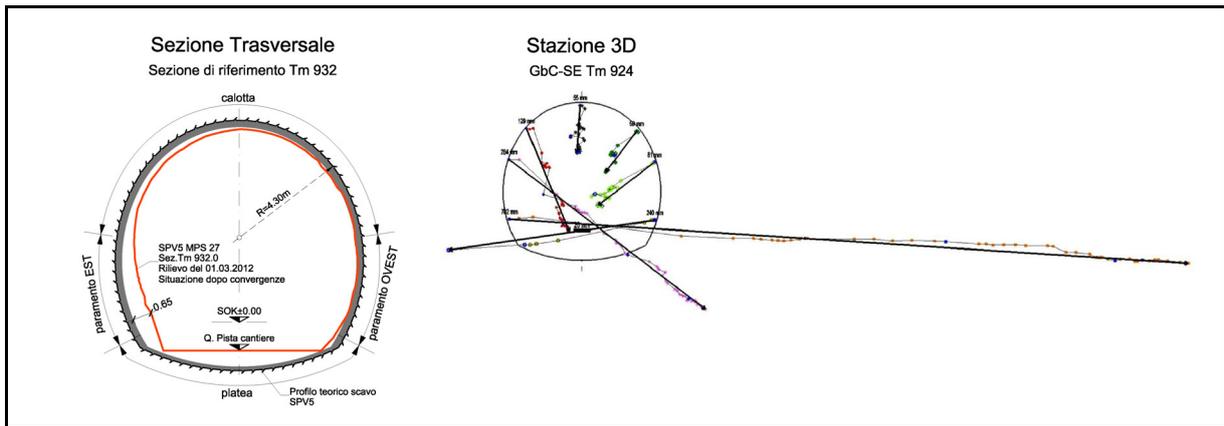


Abbildung 11: Unterprofil linkes Parament und dementsprechende 3 D Messung (Rekordmessspiegel 73cm)

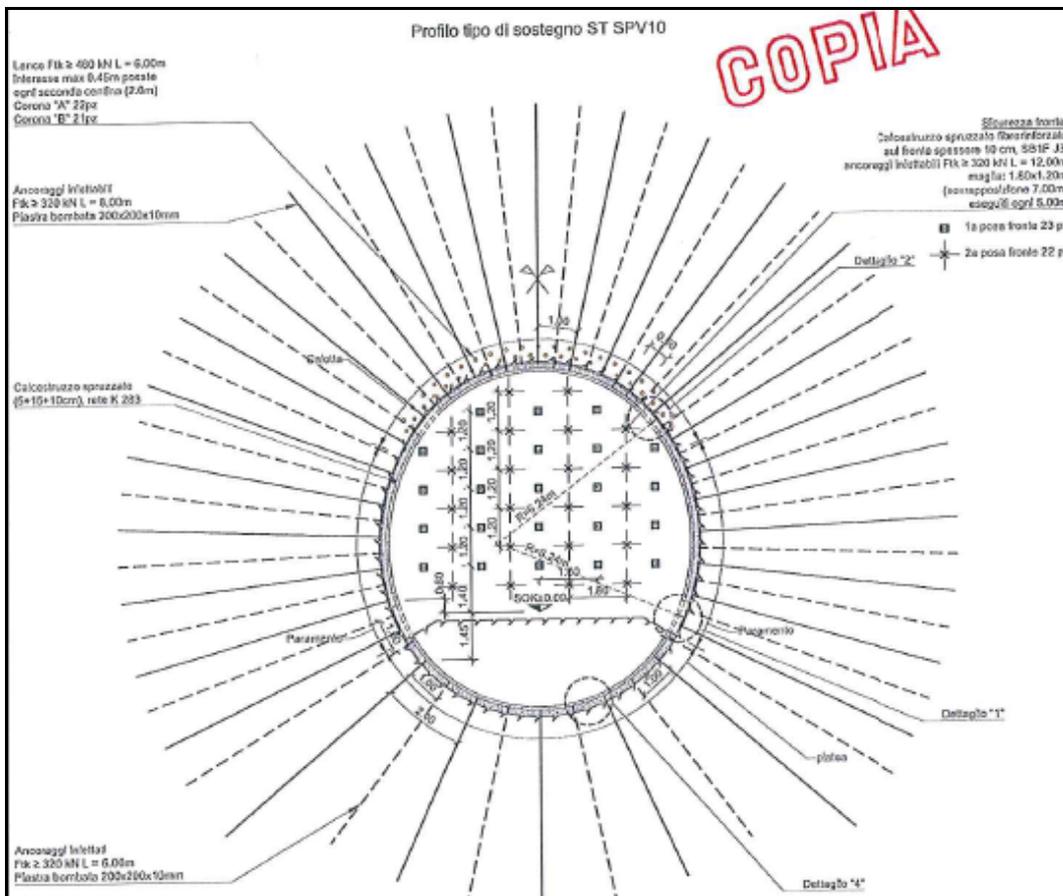


Abbildung 12: Ausbruchsicherungstyp 10 (330m Anker /Ausbruchmeter)

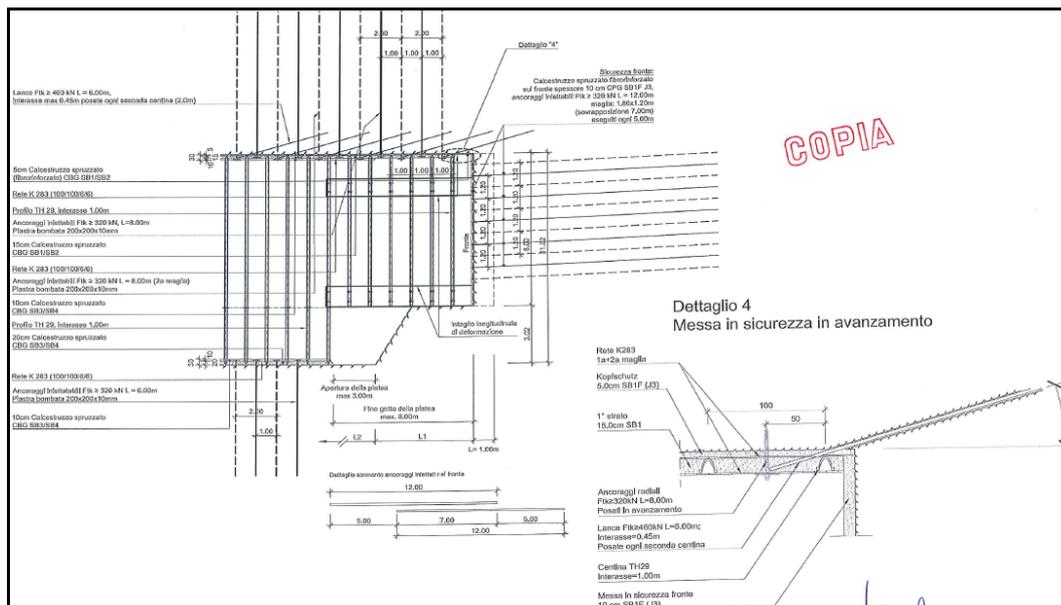


Abbildung 13: Längsprofil Ausbruchssicherungstyp 10 mit Spiesen und Brustankerung



Abbildung 14: Ausführung von Deformationsschlitze (slots) in der Linea Val Colla

Die LVC südlich der nichtprognostizierten Störzone konnte aufgrund der wesentlich besseren Gebirgseigenschaften mit den Sicherungstypen SPV 4, SPV 6 und SPV 7 durchörtert werden. Die angetroffenen Gefährdungsbilder waren Klufförperbildung in der Kalotte und lokale Ortsbrustinstabilitäten, welche auf bergwärts ausfallende Kluffscharen an der Ortsbrust zurückzuführen waren. Mit einer gründlichen Felsreinigung konnte diesen Ortsbrustinstabilitäten effizient bewältigt werden.

5 Gebirgsverhalten im Störungsbereich der Linea Val Colla (Streckenabschnitt von Tm 945 bis Tm 1100)

Da die Hauptstörung der LVC im nördlichen Streckenabschnitt subparallel zur Tunnelachse orientiert war, verlief sie über eine lange Strecke entlang dem Vortrieb, aber ausserhalb des östlichen Paramentes. Ab Tm 945 bog die Hauptstörung innerhalb weniger Metern ab und kreuzte beide Tunnelröhren in diagonaler Richtung.

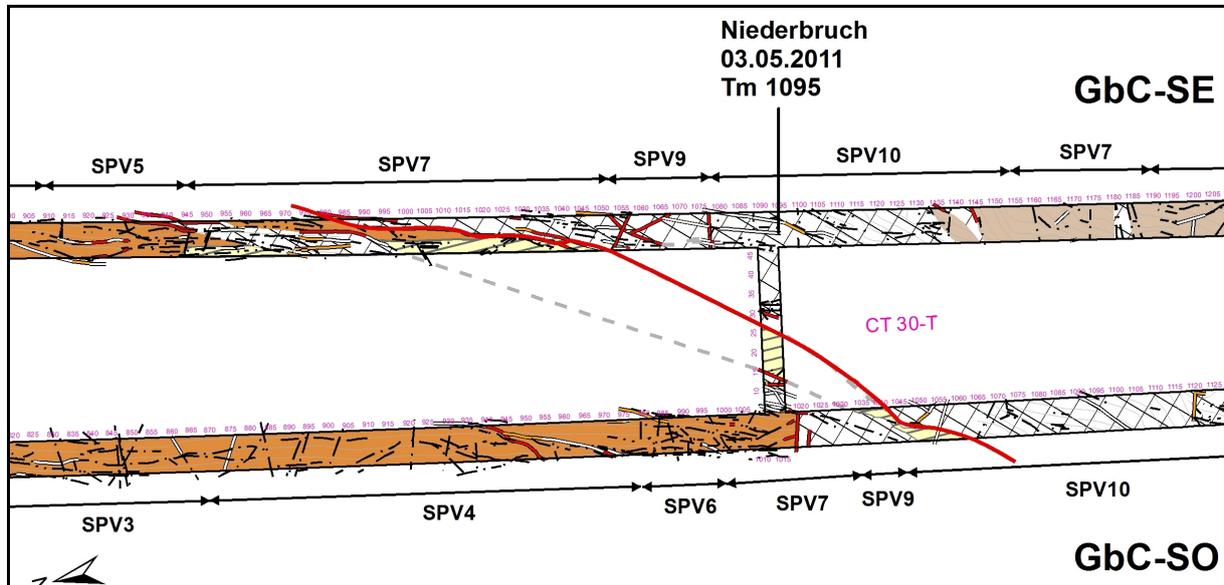


Abbildung 15: Auszug GIS Linea Val CollaAusführung

Die Gebirgseigenschaften verschlechterten sich rapide mit zunehmendem Vortrieb. Gleichzeitig änderte sich die Richtung der Gebirgsverformungen von horizontalen Konvergenzen im Paramentbereich in stark wachsende, vertikale Konvergenzen im Firstbereich. Im Querprofil machte sich diese Umverteilung der Konvergenzen durch Setzungen vorwiegend im rechten Kämpferbereich bemerkbar.

Der Kohäsionsverlust des Gesteins in diesem Bereich führte zusätzlich zu einer Beschleunigung der Auflockerung.

Als Folge des Zusammenspiels dieser bautechnisch ungünstigen Einflüsse, Konvergenzen im Kämpferbereich und Kohäsionsverlust des Gesteins, ereignete sich ein Niederbruch.



Abbildung 18: Schuttkegel des Niederbruches GbC-Sud-Est

Der Schuttkegel des Niederbruchmaterials erstreckte sich über ca. 7m von der Ortsbrust (Tm 1095) im Kalottenbereich bis hin zu Tm 1087 auf Sohlniveau. Der obere Teil des Schuttkegels wurde als Sofortmassnahme mit Spritzbeton eingespritzt. Das Niederbruchmaterial bestand vor allem aus Blöcken mit Volumina zwischen wenigen Kubikdezimetern bis hin zu 0.5-0.75m³. Das Material bestand hauptsächlich aus Kakiriten des Typs "fault breccia" und Kataklasiten dunkler Farbe. Die Blöcke hatten eine glatte, glänzende Oberfläche und wiesen streifenförmige Spuren auf (Harnischflächen), welche auf intensive Tektonisierung hinweisen.

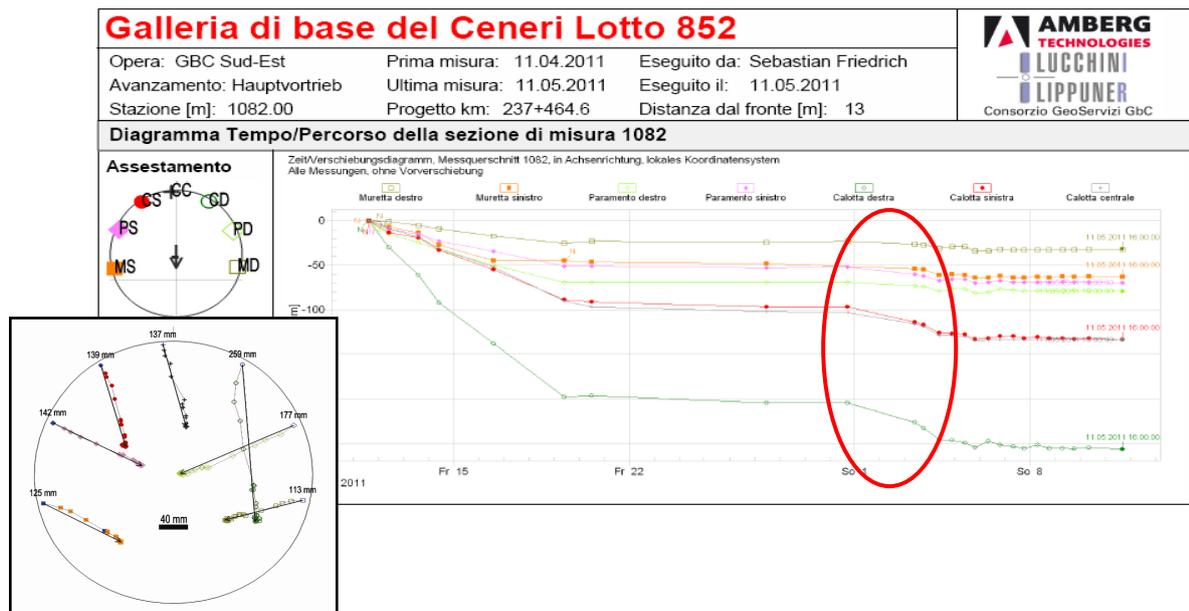


Abbildung 19: 3D Konvergenzmessungen geben Auskunft über das Gebirgsverhalten mit denen Gefährdungsbilder für den Vortrieb erstellt werden können. Auflockerung führt bei dieser Messstation zu gravitativen Setzungen. Rot gekennzeichnet ist die Beschleunigung der Deformationen unmittelbar vor dem Niederbruch. Messung der 3D Spiegel 2 Tage vor und unmittelbar nach dem Niederbruch.

6.2 Vorgehensweise

Bei kleinen Niederbrüchen mit Volumen von 100-300m³ mit Kaminbildung kann es vorkommen, dass der Schuttkegel die Kaminöffnung verdeckt und je nach Kamindurchmesser auch die Kaminöffnung bis weit in den Kamin hinein verfüllt bleibt. Damit für die Bewältigung des Niederbruchs ein geeigneter Massnahmenplan erstellt werden kann, muss einerseits die Geometrie des Hohlraumes und andererseits die Qualität des umliegenden Felses bekannt sein.

Der einfachste Fall ist die Bewältigung von offenen Kaminen bei denen die Geometrie direkt aus dem Tunnel vermessen werden kann. Der Niederbruch in der LVC bildete aber einen geschlossenen Kamin, was eine anspruchsvollere Planung der Durchörterung erforderlich machte. Als Sofortmassnahme wurde innerhalb der ersten zwei Stunden nach dem Niederbruch eine präzise Erkundungskampagne mit Schlagbohrungen angeordnet, um den Zustand des umliegenden Felses, die Geometrie des Hohlraumes und die Lage der Verfüllung zu definieren. Anhand der gewonnenen Informationen wurde zusammen mit der Unternehmung und dem Projektingenieur das Vorgehen für die Verfüllung und Stabilisierung des Kamins sowie die Sicherungsmittel für den weiteren Vortrieb geplant. In einem nächsten Schritt wurden die beschlossenen Massnahmen umgesetzt. Innerhalb von 6 Tagen konnte der Vortrieb wieder aufgenommen werden.

Als letzter Schritt wurden zur Verifizierung der Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen mittels 3D Konvergenzmessungen und Extensometer im Gewölbe sowie Messanker in der Sohle eingerichtet.

Anhand dieses Monitoringsystems konnte einerseits das Gebirgsverhalten überwacht und andererseits die Dimensionierung der Sicherungsmittel im Bereich des Niederbruchs geprüft werden.

Zusammenfassend wird im Falle eines Niederbruchs wie folgt vorgegangen:

1. Vorauserkundungskonzept definieren und umsetzen
2. Vermessen des Bruchkörpers
3. Gemeinsame Massnahmenplanung zusammen mit der Unternehmung zur Ausführung der Sofortmassnahmen: Verfüllung, Verfestigung und Einbau von Sicherungsmittel
4. Umsetzen des Massnahmenplans
5. Überwachung des Gebirgsverhaltens mit geotechnischen Hilfsmitteln und Begleiten des Vortriebs im Bereich des Niederbruchs.

6.2.1 Vorauserkunden und Vermessen des Verbruchkörpers (1/2)

Die Vorauserkundungen mit Schlagbohrungen im Bereich des Niederbruchs müssen gezielt angesetzt werden. Das Raster wird so gewählt, dass der gesamte vermutete Bruchkörper mit dem anstehenden Fels erfasst werden kann. Während der Bohrung wird versucht festzustellen, ob Hohlraum, Gesteinsschutt oder anstehender Fels vorhanden ist. Dabei ist auch der Auslauf des Bohrwassers zu beobachten, um zusätzliche Hinweise über den Zustand des Bruchkörpers zu erhalten. Mit Hilfe der geometrischen und geologischen Auskunft können Querschnitte und dreidimensionale Modelle des Bruchkörpers erstellt werden. Für die Verfüllung und Verfestigung des Bruchkörpers sind Informationen über die Geometrie und das Volumen nötig. Um die Sicherungsmittel dimensionieren zu können, wie

zum Beispiel die Wahl der Ankerlänge, muss bekannt sein, wo fester Fels ansteht und wie dessen Qualität ist. Während die Erkundungsbohrungen ausgeführt werden, wird parallel dazu am Massnahmenplan gearbeitet. Werden neue Erkenntnisse aus den Erkundungsbohrungen gewonnen, so wird das Vorauserkundungskonzept bei Bedarf laufend an die neuen Erkenntnisse angepasst.

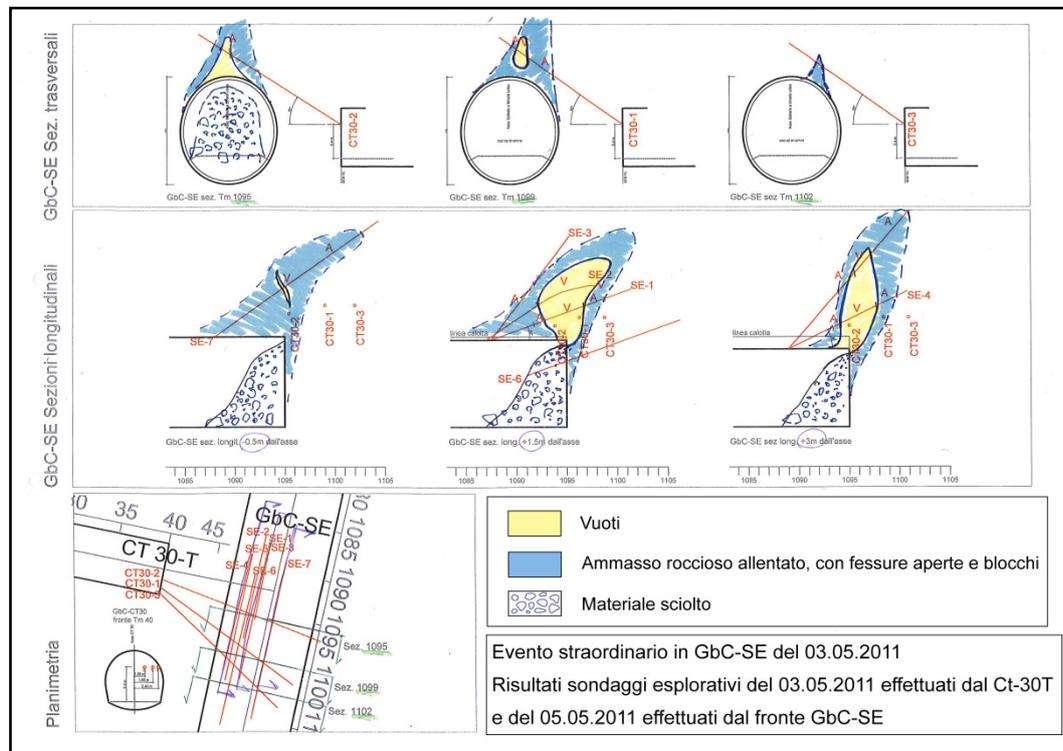


Abbildung 20: Interpretierte Querschnitte, Längsschnitte und Horizontalplan anhand der Schlagbohrungen durchgeführt im GbC-Sud Est und im Querschlag CT-30T

6.2.2 Massnahmenplan (3/4)

Im Folgenden wird die durch die Bauleitung zusammen mit dem Unternehmer und dem Projektgenieur erarbeitete Planung der Massnahmen zur Verfestigung des Verbruchkörpers beschrieben.

1. Starrstellen des vorangängigen Ausbruchprofil so wie schliessen der Deformationsschlitzte mit Spritzbeton (Slots), nachziehen des Sohlenschlusses, Nachankern
2. Sicherung des Schuttkegels mit Spritzbeton, etappenweises Abbauen des Schuttkegels bis zur verschütteten Ortsbrust.
3. Versiegelung der Ortsbrust und des Ausbruchprofils bis zum zuletzt gestellten Stahlbogen mit stahlfaserverstärktem Spritzbeton einer variablen Schichtstärke (10-15cm)
4. Erstellen der Bohrungen für den Einbau der Betonpumprohre (Durchmesser 102mm) und der Entlüftungsrohre (Durchmesser 51mm). Anschliessend einbauen der insgesamt 3 Paar Betonpumprohre und Entlüftungsrohre.
5. Gleichzeitig zur Phase 2: Entfernen des bestehenden Spritzbetons an der Ortsbrust des Querschlages 30 und herstellen einer konkaven Form der Ortsbrust. Einbau eines Kopfschutzes mit stahlfaserverstärktem Spritzbeton in einer Schichtstärke von 10cm. Einspritzen der Netze mit Spritzbeton in einer

Schichtstärke von 10-15cm. Anschliessend einbauen der zuvor entfernten 3 optischen Messspiegel an der Ortsbrust.

6. Einbau des Betons zur Verfüllung des Niederbruchbereichs in drei Phasen: Abbildung 21
 - a. Phase 1: Verfüllen bis auf eine maximale Höhe von ca. 1.5m über der Kalotte (ca. 3-5 m³)
 - b. Phase 2: Verfüllen bis auf eine maximale Höhe von ca. 4m über der Kalotte (ca. 10-15 m³)
 - c. Phase 3: Verfüllen des kompletten noch bestehenden Hohlraumes (ca. 15-25 m³)
7. Ausführen eines doppelten Spiessschirmes mit IBO Ankern $F_{tk} > 320\text{kN}$, $L=6\text{m}$, Ankerabstand 0.7m. Einbauen je eines Spiessschirmes über dem vorletzten und letzten Bogen. Versetzen der Spiesse fächerförmig mit einer Neigung von ca. 5° gegen aussen. Injizieren der Anker so lange fortsetzen, bis alle allfälligen Hohlräume verfüllt sind.
8. Abtrag des Materials an der Ortsbrust in Etappen von max. 1.5m Höhe. Sicherung jeder halbseitig unterteilten Vortriebsetappe (links und rechts) mit stahlfaserverstärktem Spritzbeton mit einer Schichtstärke von mindestens 15cm. Anschliessen des Spritzbetons an die bestehende Spritzbetonversiegelung gemäss Phase 1. Zusätzlich versetzen von radialer IBO- Ankern $L=12\text{m}$ $F_{tk} > 320\text{kN}$ mit flacher Ankerplatte $200 \times 200\text{mm}$, Stärke 8mm. Aushub und Sicherung immer zuerst auf der linken Seite, die rechte Seite nachfolgend ausführen. Nach dem öffnen einer Etappe und dem Beurteilen der Stabilität ist die Anzahl und Lage der Anker mit der Bauleitung abzusprechen.

Beschreibung des weiteren Vorgehens nach dem Durchörtern des Niederbruchbereiches

1. Teilausbruch in drei horizontal unterteilte Etappen gleicher Höhe zur Beurteilung der vorhandenen geologischen Bedingungen.
2. Einbau des Kopfschutzes im Gewölbe und an der Ortsbrust mit stahlfaserverstärktem Spritzbeton mit einer Schichtdicke von ca. 10cm.
3. Einbau der Stahlbogen im Abstand von 1.0m. Falls nötig Reduktion des Abstandes auf 0.5m.
4. Hinterfüllen der Stahlbogen mit stahlfaserverstärktem Spritzbeton variabler Schichtstärke.
5. Einbau der radialen Injektionsanker, $F_{tk} \geq 320\text{kN}$, $L=8.0$ (Abbildung 24).
6. Gleichzeitig mit Punkt 5 Einbau eines Spiessschirmes über jedem Stahlbogen mit Ankern $F_{tk} \geq 460\text{kN}$ $L=6.0$ im Abstand von 0.45m, gemäss beigelegtem Schema.
7. Befestigen eines Armierungsnetzes K283 an den zuvor versetzten Radialankern, mit gewölbten Ankerplatten.
8. Einbau von 12m langen Injektionsankern $F_{tk} \geq 320\text{kN}$ in der Ortsbrust alle 5 Vortriebsmeter (Ueberlappung 7m) ab Tm 1099 (Abbildung 13).
9. In dieser Phase werden weder Deformationsschlitze im Spritzbeton in Längsrichtung noch die letzte Lage Spritzbeton ausgeführt.
10. Einbau des Sohlgewölbes 10m hinter der Ortsbrust. Die Sohle darf in Etappen von maximal 3m geöffnet werden (Abbildung 25).
11. Ausführung und Befestigung der Bogenfüsse gemäss (Abbildung 22).

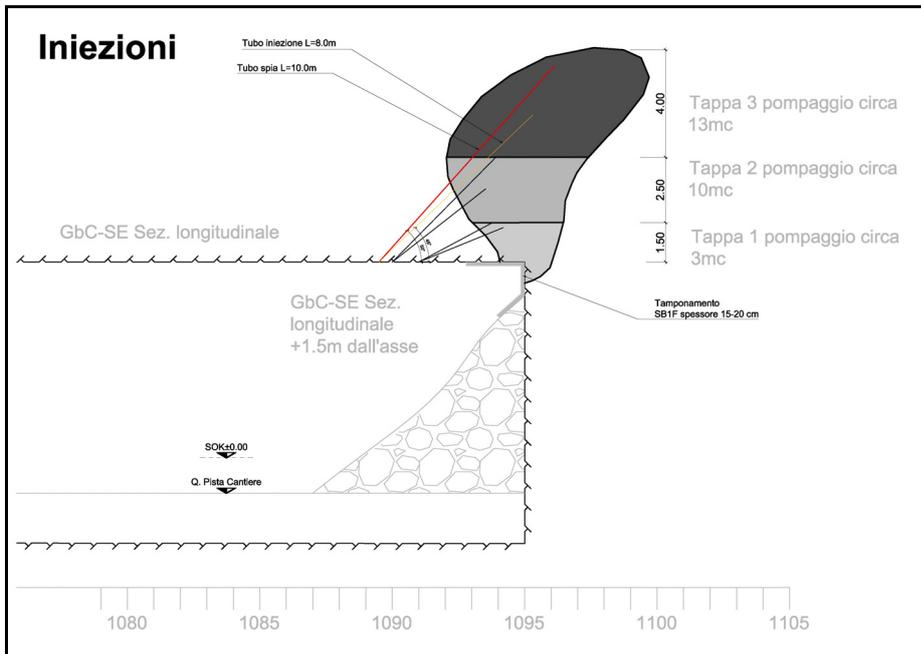
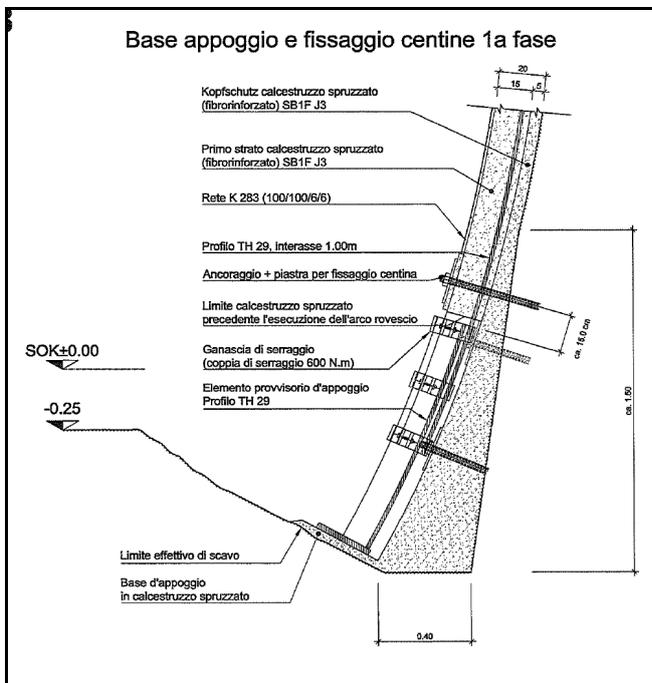


Abbildung 21: Phasenweises auffüllen des Hohlraumes



Abbildungen 22: Anpassung und Verstärkung des Bogenfuss in der Linea Val Colla Ausbruchsicherung 10



Abbildung 23. Teilausbruch mit Abbauhämmer bei Wiederaufnahme des Vortriebes unmittelbar nach dem Niederbruch

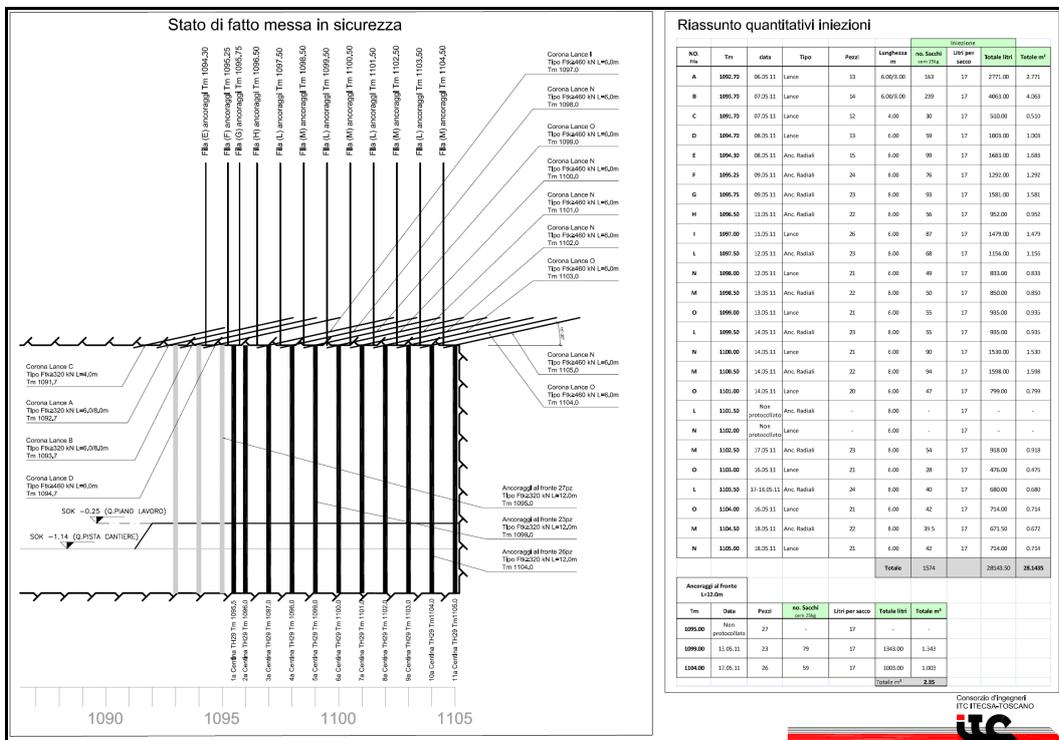


Abbildung 24. Injektionsprotokoll der Radialanker und der Spiesse bei Wiederaufnahme des Vortriebes unmittelbar nach dem Niederbruch



Abbildung 25. Ausführen des Sohlenschluss mit entsprechender Brustsicherung

6.2.3 Überwachung des Gebirgsverhaltens und Begleitung des Vortriebs im Bereich des Niederbruchs (5)

Um die Entwicklung der Deformationen und die Wirksamkeit der Massnahmen zur Verfestigung des Niederbruchkörpers überwachen zu können, hat die Bauleitung beschlossen, die Frequenz der 3D Messquerschnitte zu erhöhen und die Messungen öfter auszulesen.

Konkret wurden folgende Messquerschnitte zweimal innerhalb von 24 Stunden ausgelesen: Die Messquerschnitte im GbC Süd Ost bei den Tm 1061, 1070 und 1082, die Messquerschnitte im GbC Süd West bei den Tm 1029, 1040 und 1051 sowie der Messquerschnitt im Querschlag 30 bei Tm 38.

Zusätzlich haben die Geomechaniker der Bauleitung beschlossen, im GbC Süd Ost einerseits bei Tm 1093 ein Extensometer zur Messung der Gebirgsdeformationen einzubauen und andererseits bei Tm 1094 eine Messstation zur Überwachung der Deformationen in der Sohle einzurichten..

Um mögliche Auswirkungen des Niederbruchs an der Ortsbrust des Querschlags 30 nachvollziehen zu können, wurden 3 Messspiegel an der Ortsbrust bei Tm 40 eingebaut. Auch diese Messpunkte wurden zweimal innerhalb von 24 Stunden ausgelesen.

Die Geomechaniker der Bauleitung erstellten mit den Resultaten der Messungen einen Tagesrapport, welcher den Verantwortlichen des Bauherrn und des Unternehmers zugestellt wurde.

Zusätzlich zu den beschriebenen Massnahmen war das Personal der Bauleitung (Vortriebsverantwortliche und Geologen) während aller Bohr- und Injektionsarbeiten im Tunnel vor Ort, sei es beim Einbau der Spiessschirme als auch beim Einbau der Radialanker. Die Präsenz der Bauleitung im Tunnel erlaubte es, die Bohrgeschwindigkeiten und die Menge des Injektionsgutes zu überwachen. Speziell das Kontrollieren des Einbaus der Spiessschirme sicherte das korrekte Verfüllen der Hohlräume im Bereich der Ortsbrust.

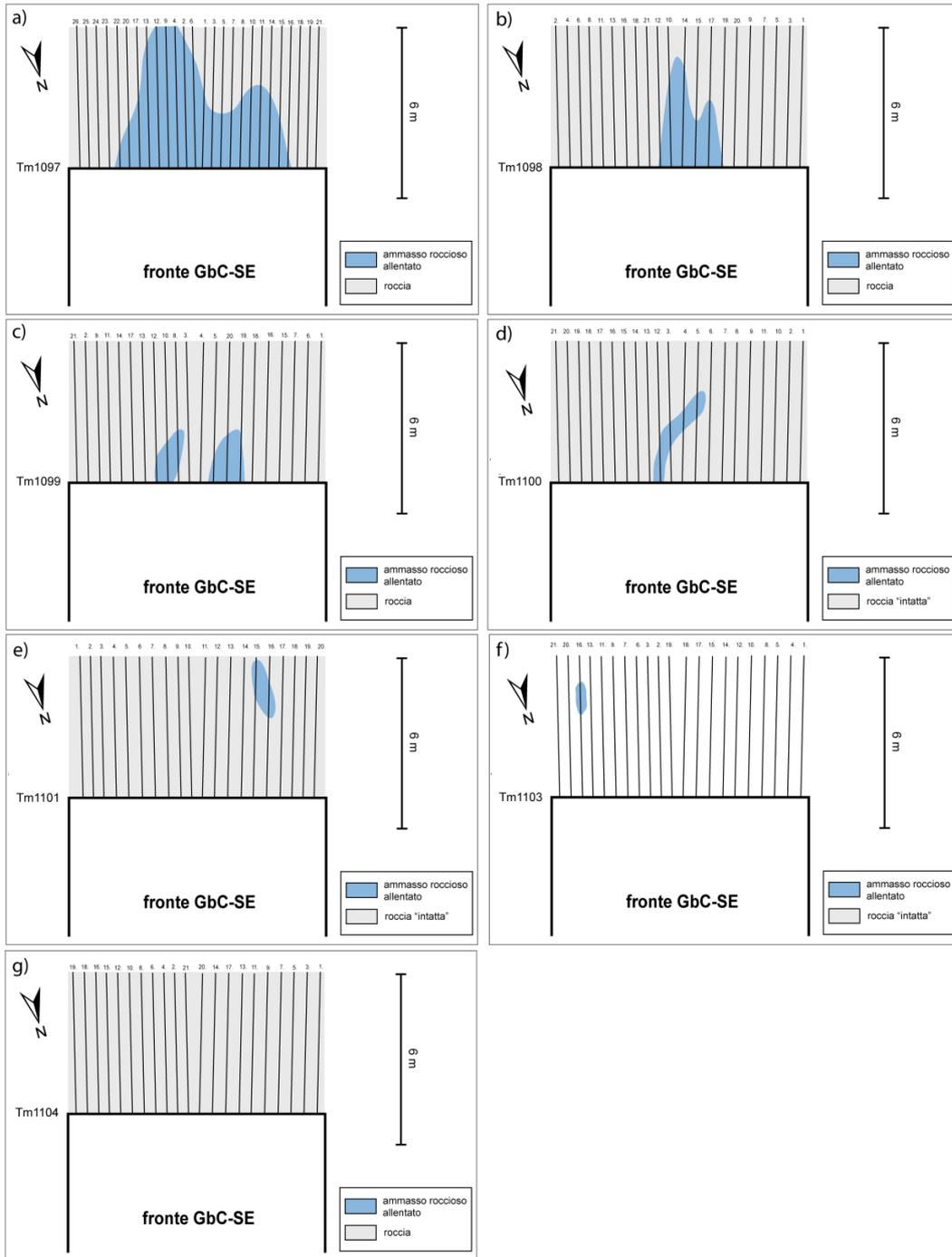


Abbildung 26. Begleiten der Bohrungen für den Einbau von Spiessen nach unmittelbarer Wiederaufnahme des Vortriebs in unmittelbar nach dem Niederbruch. Horizontaler Lageplan der ausgeführten Bohrungen mit geologischer Interpretation.

7 Schlussfolgerungen

Die Baustelle ist ein komplexes System, in welchem folgende Faktoren miteinander interagieren:

- Geologische und geomechanische Bedingungen
- Gefährdungsbilder
- Konstruktive Aspekte

Die zielorientierte Zusammenarbeit der Bauleitung und des Projektingenieurs mit dem Unternehmer ist unabdingbar für ein erfolgreiches Ausführen der Arbeiten. Ein gutes Beispiel dieser Zusammenarbeit war der Massnahmenplan für die Bewältigung des Niederbruches in der Linea Val Colla. Die Kernaufgabe der Bauleitung bleibt jedoch immer noch die Sicherstellung folgender Aspekte:

- Arbeitssicherheit
- Qualität des ausgeführten Bauwerks
- Baukosten
- Bauzeit

Die Reihenfolge dieser Punkte wird auch heute auf jeder Tunnelbaustelle diskutiert. Um die Kontrolle dieser Elemente zu gewährleisten, müssen grosse Datenmengen an Informationen gesammelt werden, welche analysiert und ausgewertet werden müssen. Ein von der Bauleitung Ceneri-Basistunnel regelmässig benutztes Dokument, welches eine grosse Zahl von Daten zusammenfasst, ist der Vortriebssteuerungsplan. Darin sind Informationen bezüglich der Geologie, der Gefährdungsbilder, der eingesetzten Ausbruchssicherungsmittel, Sanierungen, Deformationen, Hydrologie u.s.w. enthalten. Diese Darstellung erlaubt es, Widersprüche festzustellen, aus Fehlern zu lernen und die Prozesse zu optimieren.

8 Bibliografie

- Anagnostou G., Kovari K. 2003. The stability of tunnel in grouted fault zones. Publications of the Division of Geotechnical Engineering (IGT). Vol. 220
- Merlini D. 2009. The Ceneri base Tunnel: conceptual and construction aspects. Gallerie e Grandi Opere Sotterranee n. 89
- Tanzini M. 2006. Gallerie. Aspetti Geotecnici nella Progettazione e Costruzione. D. Flaccovio Editore.
- Malaguti A., Morandi S, Stocker D.: Anisotropic geomechanical behaviour of Tunnelling Val Colla Line, Ceneri base Tunnel, Switzerland. WTC 2013, Geneva (in progress)
- Team DLL: Working communications and documents.
- Hürzeler J.-P., Lunghi A., Morandi S. (Geol. DLL): Posizionamento del Limite Nord e Sud della Linea Val Colla, limite TO 28C – TO 30 / TO 30 – TO 31, Comunicato DLL. 15.02.2012, 852_7_7_5_8_120215.
- Schano A., Morandi S., Genini M., Marggi R., Grosso N. Interventi di sistemazione: Consolidamento GbC SE, Tm 1095. Documento del 05.05.2011, 852_8_2_5_110505.
- Genini M.: intervento di rinforzo GbC-SE_Tm 1090.50 - 1093.50. Documento del 11.04.2011, 852_8_2_5_110419.
- Genini M., Morandi S., Grosso N.: Avanzamento: Messa in sicurezza GbC SE da Tm 1097.0-1105.0 Documento del 10.05.2011, 852_8_2_5_110510.

Dank

Der Verfasser dankt dem Bauherrn Alptransit Gotthard AG, der Projektierung ITC D. Merlini, M. Kündig. Dem Unternehmer „Consorzio Condotte Cossi“ A. Camerotto, M. Ossola, N. Grosso und dem Team der Bauleitung im besonderen D. Stocker, M. Ruggiero, S. Morandi, J-P Hürzeler, M. Genini, und A. Fracasso.



Bauherr



Unternehmung Hauptlos



Projektierung und Bauleitung