

Unterquerung Autobahn A2 am Ceneri Basistunnel - Erfahrungen mit Bauhilfsmassnahmen

Dipl. Bauing. ETH M. Weissenberger, Consorzio ingegneri ITC Itesca-Toscano, Sigrino

Kurzfassung:

Zur Unterquerung der Autobahn A2 wurden beim Bau des Ceneri Basistunnels sowohl umfangreiche HDI-Arbeiten (Jetting) sowie Rohrschirme ausgeführt. Die vertikalen HDI-Säulen dienen hauptsächlich der stabilen Gründung der Voreinschnitte und der ersten zehn Metern Untertag im Bereich des Lockermaterials der Autobahnböschung. Die horizontalen HDI-Arbeiten wurden als Bauhilfsmassnahme in der Lockermaterialzone angewendet; im Bereich mit aufgelockertem Fels wurden die HDI-Schirme zur Rohrschirme ersetzt. Der nachfolgende Bericht erläutert die Rahmenbedingungen und fasst Ausführung sowie massgebliche Erfahrungen und abzuleitende Massnahmen zusammen.

1. Einleitung

Der Ceneri-Basistunnel (CBT) wird künftig den Gotthard-Basistunnel ergänzen und sowohl den Bahnverkehr auf der Nord-Süd-Achse beschleunigen als auch massive Verbesserungen im Regionalverkehr des Kantons Tessin ermöglichen. Nach der öffentlichen Planaufgabe 2003 und der Kreditfreigabe 2004 durch die eidgenössischen Räte, wurde 2006 mit dem Bau des 15.4 km langen CBT begonnen. Die Inbetriebnahme ist im Jahre 2019 geplant.

Die Arbeiten am Nordportal (Los 853) wurden im Herbst 2008 begonnen und beinhalten im Wesentlichen zwei Voreinschnitte in der Böschung der Autobahn A2, die Unterquerung der A2 in Lockermaterial und zerrüttetem Fels mit einer Minimalüberdeckung von rund sieben Metern, zwei grosse bergmännisch auszubrechende Verzweigungskavernen inkl. anschliessende Einspurtunnel und zwei Querschläge. Als Herausforderung bezüglich Bautechnik und Koordination erwies sich dabei vor allem die Unterquerung der Autobahn, welche während den gesamten Arbeiten in Betrieb bleiben musste und welche natürlich möglichst geringem Risiko bezüglich Verkehrsstörungen und Schäden am Bauwerk ausgesetzt werden durfte.

2. Projekt Unterquerung A2

Auf den ersten 50 m des Bauloses 853 wurde die Autobahn A2 gleich zweimal unterquert. Im Westen durch den Voreinschnitt Bretella und den zugehörigen „Raccordo Bretella“ (54 m; 6 Etappen à 9 m), im Osten durch den Voreinschnitt Vigana und den „Raccordo Caverna Est“ (48 m; 4 Etappen à 9 m + 1 Etappe à 12 m). Die Voreinschnitte wurden in Etappen à 1.5 m ausgehoben und als Nagelwände mit passiven Selbstbohrankern mit bis zu 18 m Länge gesichert. Die Sollstärken der mit Armierungsnetzen bewehrten Spritzbetonwände betragen dabei 25 cm (Südwände; gegen Autobahn hin) und 20 cm.

Die Hauptabmessungen der Voreinschnitte betragen (jeweils Südwand; max. Höhe / Breite):

Raccordo Caverna Est:	20 m / 26 m
Bretella Lugano-Bellinzona:	16 m / 12 m

Von den Voreinschnitten aus wurden anschliessend die Untertagarbeiten begonnen, welche dem Hauptlos 852 (Zwischenangriff in Sigirino) bis auf eine Tiefe von 770 m Vorarbeit leisten und die anspruchsvolle Autobahnunterquerung und die grossen Verzweigungskavernen beinhalten. Der Vortrieb des grossen Kavernenprofils unter der Autobahn wurde in den folgenden Schritten vollzogen: Erstellung zweier Paramentstollen (einfacher Jetschirm), Betonieren der Kalottenbogenauflagern in den Paramentstollen, Sicherung & Ausbruch der Kalotte (doppelter Jetschirm), Ausbruch der Strosse und Erstellung des Sohlgewölbes (siehe auch Bild 9).

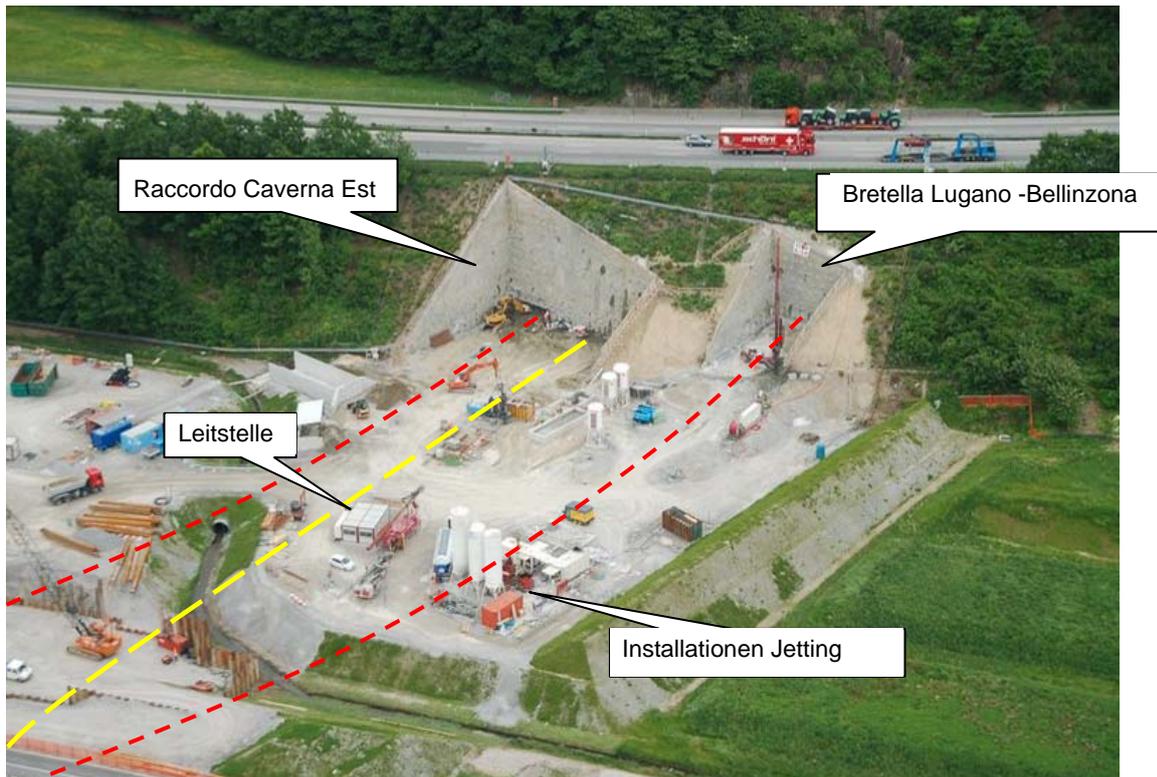


Bild 1: Helikopteransicht Hauptinstallationsplatz Vigana mit Autobahn A2

Nach Bauende werden künftig ein Geleise in die Bretella Lugano-Bellinzona und zwei Geleise in den Raccordo Caverna Est führen, wobei das mittlere der drei Geleise im Freien den künftigen Viadukt Piano di Magadino unterquert und in Richtung Locarno abzweigt während die beiden anderen Geleise Lugano und Bellinzona verbinden (siehe auch Bild 3).

3. Baugrund

Der Ausbruch der Vortriebe unterhalb der Autobahn wurde im Bereich Bretella auf rund 15 m und im Bereich des Raccordo Caverna Est auf rund 25 m in Lockermaterial durchgeführt. Die Geologie in diesem Bereich setzt sich hauptsächlich zusammen aus (von oben nach unten): gut verdichtetem Schüttmaterial **R** (vom Autobahn-Bau), alten Böden (mit Erdmaterial und Wurzeln versehenes Bodenmaterial), Oberböden **O** und Moräne **M** (stark verdichtet mit viel Silt und Ton). Darunter befindet sich die Felsoberfläche **S**, welche unterhalb der A2 schräg ansteigt und diese bis zur bergseitigen Autobahnseite unterquert.

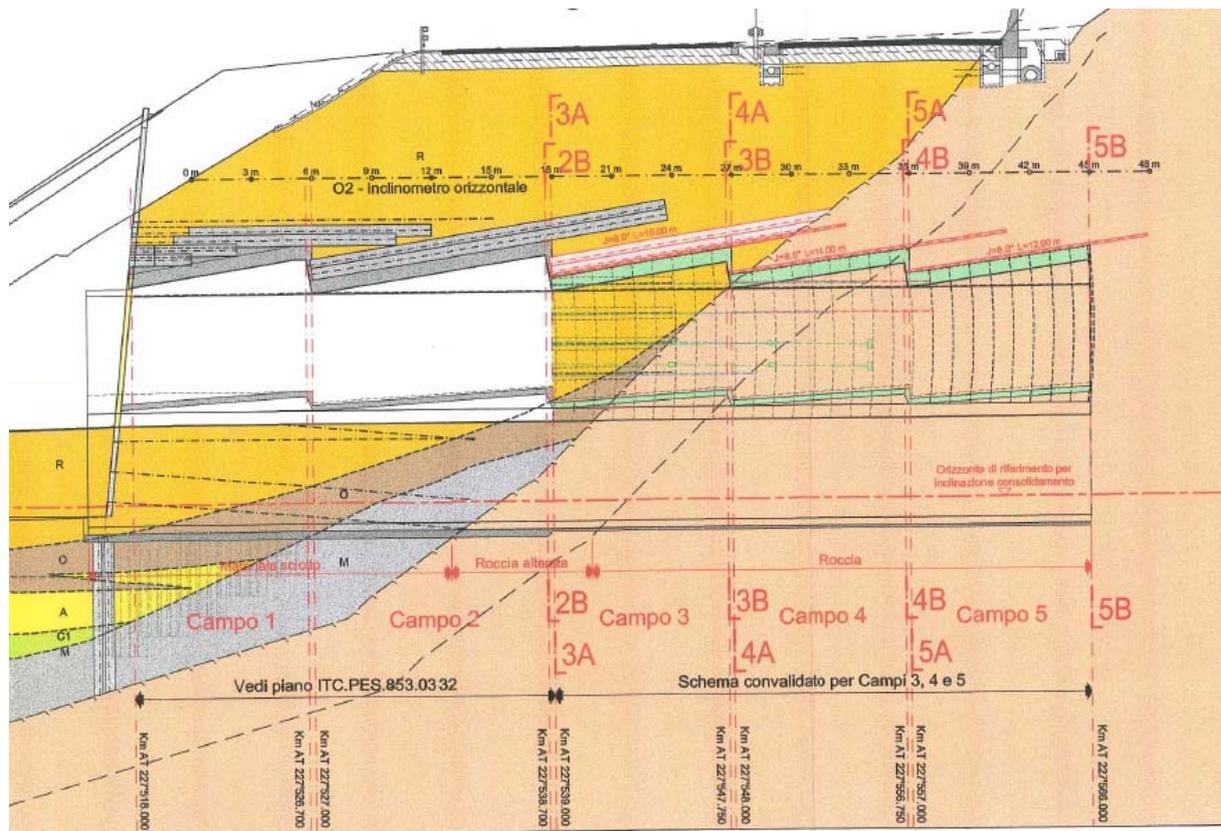


Bild 2: Längsschnitt Horizontaljetting Raccordo Caverna Est (doppelter Jetschirm) mit Geologie im Bereich der Unterquerung A2 (schematisch)

Um die ersten zehn Meter Tunnel und die jetzigen und künftigen Bauwerke im Bereich des Portals Nord stabil gründen zu können, wurde die entsprechenden Lockermaterialzonen mit Vertikaljetting stabilisiert. Der anschliessende Vortrieb im Lockermaterial wurde durch Horizontaljetting und Rohrschirme (im aufgelockerten Fels) als Bauhilfsmassnahmen ermöglicht, welche mittels Bogeneffekt die darüber liegenden Lasten auf stabilisierten Boden, Fels oder die Ortbetonaufleger ableiten. Die Ortsbrüste wurden je nach Etappe mit horizontalen, armierten Jetsäulen (Anker im Zentrum der Jetsäule; Säulen zur Homogenisierung des anstehenden Materials) oder Selbstbohrankern gesichert.

Die Verformungen der Ortsbrüst während dem Ausbruch der Kalotte wurden mittels drei Extensometern des Typs RHX (Solexperts AG) kontrolliert und diese täglich den Prognosewerten des Projektverfassers gegenübergestellt. Die aufgezeichneten Werte zeigten dabei eine hervorragende Korrelation mit den Prognosewerten.

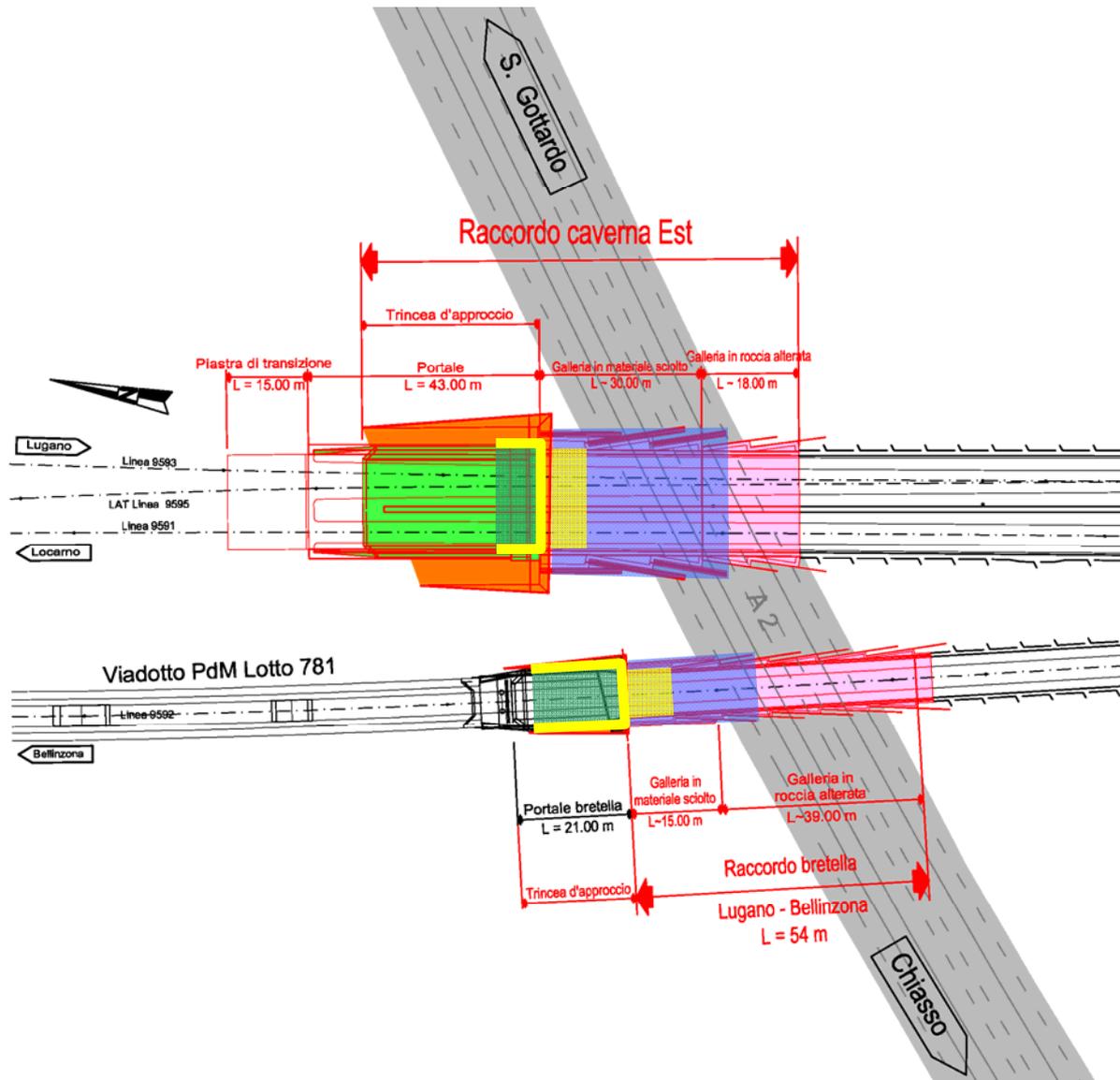


Bild 3: Anwendungszonen Jetting (grün, gelb, blau)

4. Ausführung der HDI- / Jettingarbeiten

4.1 Probefelder vertikal

Um die Gründungs- und Bodenverbesserungsarbeiten im Bereich unter Punkt 3 beschriebenen Zonen abzustimmen und optimieren zu können wurden bereits mit der Ausschreibung vertikale Probesäulen im Voreinschnitt Bretella vorgesehen. Ziel dieser Probesäulen war erstens die notwendigen Injektionsdrücke und die optimale Rückzugsgeschwindigkeit des Bohrgestänges beim Injizieren zu bestimmen, um die gemäss Projekt erforderlichen Säulendurchmesser zu erreichen. Zweitens ging es darum, die Injizierbarkeit der Moräne zu testen und drittens, einen weiteren Aufschluss über die genaue Felsoberfläche zu erhalten.

Die Probearbeiten umfassten schliesslich zwei Tripel einfasig erstellter Säulen (längs angeordnet; Zielgrösse Säulendurchmesser 0.6 m) am Rand des Voreinschnittes Bretella und drei Tripel zweiphasig erstellte Säulen (im Dreieck angeordnet; Zielgrösse Säulendurchmesser 1.35 m). Die Säulen wurden 28 Tage (eff.; min. gefordert 7 d) nach der Herstellung mittels

Vertikal- und Schrägbohrungen erschlossen und deren Qualität und Durchmesser auf Grund von Bohrkernen analysiert, wobei die Kontrollbohrungen in den Kern-, Überschneidungs- und Randzonen durchgeführt wurden. Überdies wurden auch rechnerische Kontrollen wie zum Beispiel das Verhältnis der injizierten Zementsuspension zum theoretischen Volumen der Säulen erstellt.

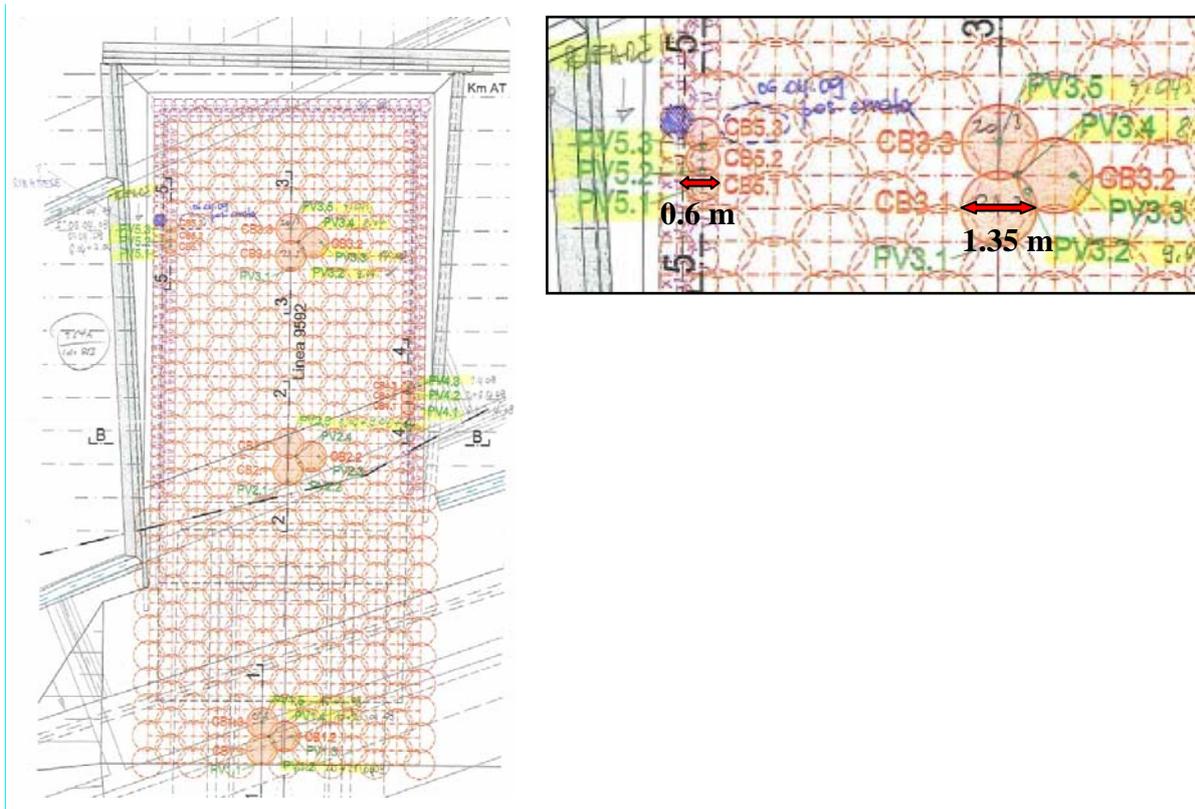


Bild 4: Aufsicht Probefeld Bretella Vertikaljetting

Bezüglich der Ausführung ist zu bemerken, dass die Injektionen der Vertikalsäulen mit einer Überdeckung von mind. 4 Metern Bodenmaterial durchgeführt wurden (Injektionsdrücke!). Die Absteckung der Bohrungen Übertag wurde mittels Schnurgespann und Steckisen durchgeführt. Im Bereich der Paramentstollen wurde auf dem betonierten Sohlbogen erst angezeichnet und anschliessend mittels Bohrungen eine „Bohrschablone“ für die HDI-Arbeiten erstellt.

Massgebende Werte der Ausführung:

Einphasiges Jetting

Injektionsdruck	400 bar
Injektionszeit	3.4 s / 3.9 s (danach Rückzug des Gestänges um 0.04 m)
Säulenabstand	0.45 m
Injektionsmenge	~245 kg/m (Mittelwert; vorgesehener theor. Wert gem. Vertrag 200 kg/m)
Vergütung	Pro m ² Injektionswand; Leerbohrung separat vergütet

Zweiphasiges Jetting

Injektionsdruck	400 bar
Injektionszeit	7.0 s (danach Rückzug des Gestänges um 0.04 m)
Säulnraster	1.00 m x 1.20 m; versetzt
Injektionsmenge	~510 kg/m (Mittelwert)
Vergütung	Pro m ³ injizierter Boden; Leerbohrung separat vergütet

4.2 Probefelder horizontal

Ähnlich den vertikalen Probetripeln wurden im Voreinschnitt Vigana horizontale Probesäulen erstellt. Da die HDI-Säulen beim massgebenden Vortrieb unter der Autobahn A2 nur rund sieben Meter unterhalb der Fahrbahnoberfläche durchgeführt werden sollten, wurden auch die entsprechenden Probesäulen ausgeführt, als die Überdeckung des Probefeldes durch den Aushub des Voreinschnittes sieben Meter betrug. Geologisch konnte man davon ausgehen, dass diese in etwa demselben Material mit ähnlichen Eigenschaften erstellt werden, wie die später zu erstellenden horizontalen Säulen für die Unterquerung.

Das Ziel der Probesäulen war primär, die notwendigen Injektionsdrücke und die optimale Rückzugsgeschwindigkeit des Bohrgestänges beim Injizieren zu bestimmen. Natürlich wollte man aber auch das Verhalten des Bodens hinsichtlich Hebungen/Setzungen und „Ausbläser“ bzw. Ausfliessen von Material an der Oberfläche prüfen.

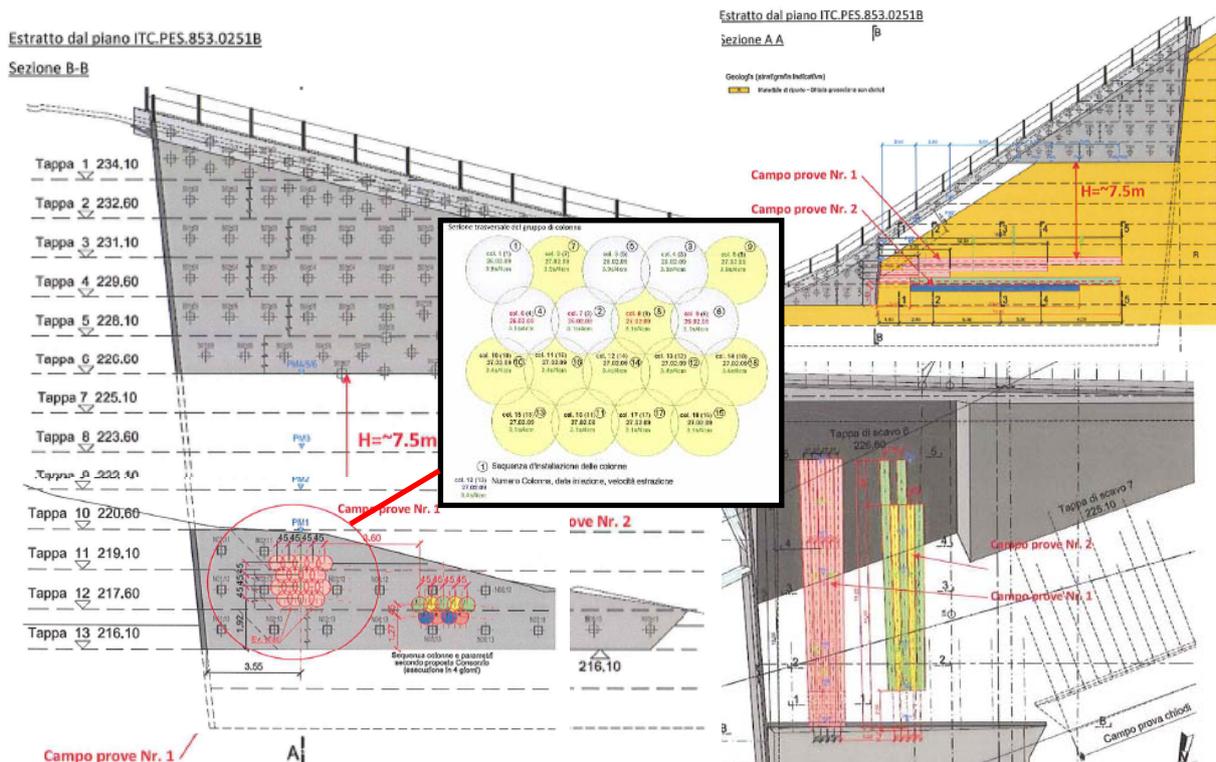


Bild 5: Ausschnitt Projekt Probefeld Horizontaljetting

Um die erstellten Säulen zu verifizieren wurden diese erst mittels Kernbohrungen erschlossen und anschliessend mit dem fortschreitenden Abtiefen des Voreinschnittes freigelegt und analysiert.



Bild 6: Beispiel freigelegter, horizontaler Probesäulen (Probefeld 1)

Massgebende Werte der Ausführung:

Einphasiges Jetting

Injektionsdruck	400 bar (letzter halber Injektionsmeter mit auf Null abnehmendem Druck; Druck auf Spritzbetonwand!)
Injektionszeit	3.7 s (danach Rückzug des Gestänges um 0.04 m)
Säulenabstand	0.45 m
Injektionsmenge	~225 kg/m (Mittelwert)
Vergütung	Pro m Injektionssäule; Leerbohrung separat vergütet

5. Qualitätssicherung Horizontaljetting

Der Qualitätssicherung beim Horizontaljetting im Untertagebau kommt bei jedem Projekt eine zentrale Rolle zu Teil, geht es doch darum, nicht nur während der Ausführung negative Auswirkungen auf umliegende Bauwerke zu minimieren, sondern auch beim anschliessenden Ausbruch die Sicherheit im noch ungesicherten, freigelegten Vortrieb zu gewährleisten. Das für schweizerische, wohl aber auch für europäische Verhältnisse bezüglich seiner Dimensionen seinesgleichen suchende HDI-Projekt unter einer Autobahn in Betrieb, erforderte dementsprechend auch eine ganze Reihe an Massnahmen zur ordnungsgemässen und sicheren Durchführung.

Die Positionierung der Lafette des Bohrgerätes wurde mittels Bohrpunkt an der Ortsbrust und Lot und Schnurgerüst am Lafettenende vorgenommen. Um die Ausrichtung der Lafette mit fortlaufenden Bohren/Jetting sicher zu stellen, wurde am Lafettenende ein Zielspiegel angebracht, welcher mittels Laser während der gesamten Bohrung übereinstimmen musste

(Kontrollmöglichkeit). Die Vertragsvorgabe an die Genauigkeit der Bohrungen betrug 0.5 % Abweichung von der Bohrachse. Die Norm 118/267 Anhang C6.1 schreibt „nur“ eine Abweichung von 2 % vor und es lohnt sich klar zu werden, was die verschärfte Vorgabe von 0.5 % bedeutet: bei einer Bohrung von 15 m Länge ist dies am Säulenende gerade mal eine Abweichung von 75 mm von der Achse!

Zur Kontrolle des Bohrgestänges vor und während des Bohrvorganges wurde auch das System „Tigor“ verwendet, welches horizontale Abweichungen mit einem „Kompassystem“ misst und vertikal wie ein Inklinometer funktioniert. Aus Sicht der Bauleitung waren dabei vor allem die vertikalen Resultate zufrieden stellend. Die horizontalen Werte hingegen liessen vereinzelt Zweifel über die Zuverlässigkeit der Angaben.



Bild 7: Visualisierung Positionierung Bohrlafette (mit Zielspiegel und Laser)

Während dem Injizieren wurde einerseits periodisch die Qualität des Injektionsmaterials geprüft (Setzmass, Dichte, Viskosität) und andererseits der Rückfluss aus dem Bohrloch kontrolliert (Dichte, ausgewaschenes Material → Absieben). Weitere Kontrollparameter lieferte das auf der Bohrsonde installierte Kontrollsystem „Lutz“, welches Drücke, Tiefen, Bohrgeschwindigkeit, Energieverbrauch, Rückzugsgeschwindigkeiten, etc. erfasst. Vom Injektions- und vom Rückflussmaterial wurden zudem periodisch Würfel gegossen und diese auf Druckfestigkeit geprüft. Der Sollfestigkeit des mit Jetting behandelten Bodens nach 28 Tagen betrug dabei $f_{cd} \geq 5 \text{ MPa}$ ($E > 3'000 \text{ MPa}$, 90 % Zementierung des Bohrkerns). Auch von den horizontalen Jetsäulen wurden zur Kontrolle des Säulendurchmessers Kernbohrungen durchgeführt.

Weitere wichtige Faktoren zur Qualitätssicherung und Minimierung der Bodenverformungen waren ein seitens Projektingenieur klar vorgegebener Ablauf der zu erstellenden Säulen, wobei diese mit einem „erweiterten Pilgerschrittverfahren“ erstellt wurden, d.h. die Säulen wurden nicht „frisch-in-frisch“ erstellt, sondern zwischen einer Säule und der darauf folgenden wurden je nachdem zwei bis vier Säulen übersprungen, um eine Massierung von frisch

erstellten Säulen zu vermeiden. Dieses Vorgehen wirkte sich vorteilhaft auf die Bodenverformungen aus und half, diese zu minimieren. Weiter half der während des Injizierens permanent geforderte Rückfluss von Zementsuspension, Überdrücke im Untergrund und somit Hebungen der Autobahn zu vermeiden.

Um die Arbeiten zu koordinieren, wurden durch Projektingenieur, Unternehmung und Bauleitung täglich Sitzungen abgehalten, um die Arbeitsschritte, die zu erstellenden Säulen, die erforderlichen Proben und Kontrollen absprechen und den Kontrollplan laufend anpassen zu können.

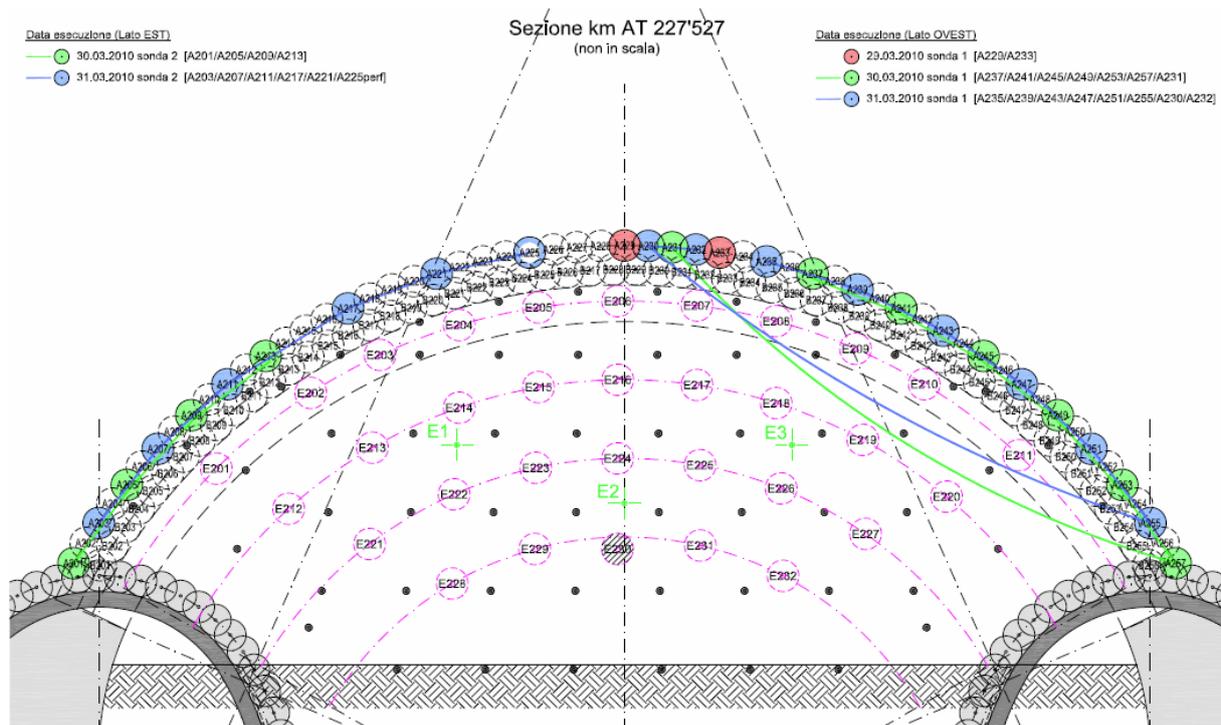


Bild 8: Beispiel eines „erweiterten Pilgerschritts“ für den Raccordo Caverna Est mit Darstellung der beiden Paramentstollen, den Kalottenbogenauflagern (unten) und des Kalottenbogens.

Auflistung der Kontrollmassnahmen während den diversen Jetting- und Ausbruchsphasen:

- Geotechnisch/geodätisches Kontrollsystem auf und im Bereich der Autobahn; gewährleistet durch IG Ceneri Monitor/ Los 704 (Amberg Technologies AG, BSF Swisphoto AG; permanente Messung gekoppelt mit automatischem Alarmsystem)
- Zusätzliche geodätische Kontrollpunkte auf der Autobahn und deren Böschung (tägliche Kontrolle)
- Kontrolle der Positionierung des Jetting-Bohrwagens (nach Bedarf)
- RHX-Extensimeter in der Ortsbrust (kontinuierliche Messung; Kontrolle täglich)
- Bohrprotokolle Lutz
- Protokolle Tigor zur Kontrolle der Präzision der Bohrungen
- Kontrolle der Injektionssuspension in situ und im Labor
- Kontrolle der Rücklaufssuspension in situ und im Labor

Bemerkungen zur Ausschreibung und Ausführung von horizontalen Jetschirmen:

Die setzungsarme Positionierung des Bohrgerätes ist grundsätzlich Sache der Unternehmung (Voraussetzung für eine präzise Durchführung der Bohrungen), es lohnt sich aber, bereits mit der Ausschreibung Minimalanforderungen und Massnahmen zur Gewährleistung dieses Punktes genau vorzuschreiben. Dasselbe gilt für den Umfang und die genauen Vorgaben bezüglich Überwachung umliegender Bauwerke, wobei die Anforderungen deren Eigentümer frühzeitig abzuklären ist. Die entsprechenden Überwachungsaufgaben sind mit auszusprechen und dem Unternehmer seine Aufgaben detailliert anzugeben.

Gleiches gilt für die während dem Erstellen der Säulen durchzuführenden Kontrollen. Kontrollen und damit verbundene, eventuelle Bohr-/Injektionsunterbrüche sind zu berücksichtigen und in der Ausschreibung genau zu umschreiben (Anzahl pro Meter HDI-Säule, Vergütung separat/inklusive, etc.). Schliesslich gilt selbes auch für die einzuhaltenden Randbedingungen, nach welcher Zeit und unter welchen Bedingungen der Vortrieb unter dem erstellten HDI-Schirm gestartet werden darf. Der Verweis auf den Stand der Technik ist unzureichend und es lohnt sich, in die Ausschreibung eine minimale Festigkeit vorzuschreiben, welche die letzten erstellten Säulen erreichen müssen, bevor mit dem Vortrieb gestartet werden darf. Alternativ kann eine auf Versuchen basierte Minimalerhärtungszeit vorgeschrieben werden.

6. Materialbewirtschaftung

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Verwendung des HDI-Verfahrens als Bauhilfsmassnahme ist die Behandlung und Entsorgung der anfallenden Schlämme, welche infolge des permanenten Rücklaufs der Jettingsuspension entstehen. Diese Schlämme sind zu sammeln, der Zement vom Wasser zu trennen (mittels Zentrifuge oder Schlammpresse) und anschliessend die verbliebenen Schlammreste zu entsorgen. Sucht man in der Fachliteratur findet man die Menge der Überschusssuspension mit zwischen $0.25-0.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ behandeltem Boden. Dieser Wert hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von der Lagerungsdichte und dem Porenvolumen des vorhandenen Bodenmaterials. Die Erfahrungen am Ceneri Los 853 mit der sehr kompakten Autobahnaufschüttung und der dichten Moräne haben gezeigt, dass der obige Wert auch höher ausfallen kann. So zeigen Kontrollrechnungen Werte um die $0.7-1.0 \text{ m}^3$ Überschusssuspension/ m^3 bearbeitetem Boden (Mittel). Dieser Wert wird durch die Jettingarbeiten der Baulose auf dem Nodo di Camorino ebenfalls bestätigt.

Die ganze Schlammbewirtschaftung hat insofern an Bedeutung gewonnen, dass immer öfters die ausgesonderten Schlämme nicht mehr ohne Vorbehandlung deponiert werden dürfen. Ursache ist der Gehalt an Schwermetallen, allen voran Chrom-VI ($\text{Cr}^{(\text{VI})}$), welches in den Schlämmen enthalten und giftig ist. Die Problematik liegt darin, dass $\text{Cr}^{(\text{VI})}$ gut wasserlöslich ist und von natürlichen Organismen mit dem Wasser aufgenommen wird (max. zul. Konzentration $\text{Cr}^{(\text{VI})}$: $0.01 \text{ mg Cr}^{(\text{VI})}/\text{Liter}$).

Man kann das Problem beheben, indem man $\text{Cr}^{(\text{VI})}$ in $\text{Cr}^{(\text{III})}$ reduziert. $\text{Cr}^{(\text{III})}$ ist nicht wasserlöslich bei einem pH-Wert > 5.5 (Jetschlämme pH 6-12), ist in Jetschlämmen vorherrschend ($\text{Cr}^{(\text{VI})}$ -Gehalt macht nur einige % des $\text{Cr}^{(\text{III})}$ -Gehaltes aus) und wenig umweltgefährdend (max. zul. Konzentration Cr^{tot} : $500 \text{ mg Cr}^{\text{tot}}/\text{kg}$ Trockenschlamm).

Diese Reduktion kann durch Zugabe von Natriumbisulfat, Lösungen mit zweiwertigem Eisen oder anderen Reagenzien erfolgen. Am Ceneri wurde die Lösung mit zweiwertigem Eisen eingesetzt, entsprechend der folgenden Reaktion:



Zur Behandlung der auf allen Losen des Nodo di Camorino anfallenden Jetschlämme wurde durch den Bauherrn die spezialisierte Firma Eberhard/Ebiox AG beauftragt. Die Verarbeitung der Schlämme indes kann man sich so vorstellen: die getrockneten Schlammsschollen werden angeliefert, in einem Brecher verkleinert und anschliessend in einem Zwangsmischer mechanisch-chemisch aufbereitet (flüssige Zugabe der Reagenz-Lösungsrezeptur). Schliesslich findet nach eine Material- und Milieukonditionierung statt, bevor das Material als bearbeiteter Trockenschlamm in die Inertmaterialdeponie gebracht werden kann. Dieser gesamte Behandlungsvorgang kostet rund 35-40 CHF/m³ Trockenschlamm und sollte bei künftigen Projekten auf jeden Fall einkalkuliert werden, sofern damit zu rechnen ist, dass der Cr^(VI)-Gehalt in den Schlämmen den zulässigen Grenzwert überschreitet.

7. Rohrschirm

Wie eingangs erwähnt wurde im aufgelockerten Fels das HDI-Verfahren durch Rohrschirme ersetzt. Dazu lediglich einige Angaben zu Projekt und Ausführung:

Rohrdurchmesser/-stärke	DN 139.7/10 mm
Rohrabstand	0.45 m
Injektionsmaterial	Mörtelsuspension
Vergütung	Pro m versetztes und ausinjiziertes Stahlrohr

Bei der Ausschreibung ist auf einen ausreichenden Bohrdurchmesser im Verhältnis zu den Rohren zu achten, um ein problemloses Versetzen der Rohre zu ermöglichen.

8. Nachwort und Dank

Die Randbedingungen, welche bei der Unterquerung der A2 durch den CBT, umfangreiche Bauarbeiten auf der Autobahn und somit eine starke Einschränkung des Transitverkehrs verunmöglichten, führten zur Projektidee der Ausführung mit Horizontaljetting. Dieses hat sich als geeignete Massnahme erwiesen, um die beiden Vortriebe des CBT unter der Autobahn zu ermöglichen und möglichst verformungsarm durchzuführen. Bedingung dazu ist aber auch ein stets enges Zusammenarbeiten der am Projekt beteiligten, welchen an dieser Stelle herzlich gedankt wird. Speziell bedanken möchte sich der Verfasser bei den Herren F. Rossi/ G. Dazio & Associati SA und R. Marggi/ITC, deren minutiöse und sorgfältige Arbeit die Grundlagen für den vorliegenden Bericht lieferten.

Projektbeteiligte

Bauherr	AlpTransit AG
Gesamtprojekt Ceneri	IG ITC Itecsa-Toscana (Pini & Associati SA, Toscano SA, Itecsa SA, Amberg Engineering AG)
Projekt Unterquerung A2	IG ITC Itecsa-Toscana / G. Dazio & Associati SA; Projektidee Prof. Dr. K. Kovari
Ausführung	Consorzio MatroSud (Pizzarotti SA, Implenla AG, Cossi SA, Rodio SA, Ennio Ferrari, LGV)
Bauleitung	IG ITC Itecsa-Toscana

9. Grundlagen und weiterführende Literatur:

- [1] Vertrag Lotto 853 „Opere sotterranee di Vigana“ / Alptransit
- [2] Rossi F.; „Attraversamento A2 – Rapporto sul Campo Prove Jetting Orizzontale“ / Rapporto ITC.PES.853.0023 CIPM/ITC

Bildverzeichnis:

- (1) Foto AlpTransit
- (2) Ausführungsplan Calotta raccordo caverna est, ITC.PES.853.0366 / n. 853/0037, CIPM / ITC
- (3) Rapporto Campo Prove Jetting Orizzontale, ITC.PES.853.0023, CIPM / ITC [2]; modifiziert M. Weissenberger
- (4) Rapporto Campo Prove Jetting Orizzontale, ITC.PES.853.0023, CIPM / ITC [2]
- (5) Rapporto Campo Prove Jetting Orizzontale, ITC.PES.853.0023, CIPM / ITC [2]
- (6) Foto Bauleitung ITC
- (7) Foto Bauleitung ITC
- (8) Consolidamento campo 2, ITC.PES.853.0377, CIPM / ITC