

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale

Francesco Caggia, Dipl. Bau-Ing. FH/SIA REG A, ASTRA, Bellinzona/CH

Filippo Civetta, Dipl. Bau-Ing., ASTRA, Bellinzona/CH

Francesco Amberg, Dipl. Bau-Ing. ETH, Lombardi AG, Giubiasco/CH

Francesco De Salvo, Dipl. Bau-Ing., Lombardi AG, Giubiasco/CH

Davide Merlini, Dipl. Bau-Ing., Pini Group SA, Lugano/CH

Marcello Zampieri, Dipl. Geol., Lombardi AG, Giubiasco/CH

N2-Tunnel Melide–Grancia

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale

Am 8. Juni 2017 stürzte ein Teil der Verkleidung des seit 1968 in Betrieb befindlichen Melide–Grancia-Tunnels auf der Autobahn N2 südlich von Lugano ein.

Das Ereignis von 2017 hat gezeigt, dass der derzeitige Zustand der Verkleidung des Tunnels nach Verstärkungsmassnahmen verlangt, welche heute unter Betrieb durchgeführt werden. Der Tunnel wurde jedoch gerade erst zwischen 2010 und 2015 instand gesetzt.

N2 Melide–Grancia Tunnel

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

On 8 June 2017, part of the lining of the Melide–Grancia Tunnel, which had been in operation since 1968, collapsed on the N2 motorway south of Lugano.

The event in 2017 showed that the current status of the tunnel lining demands reinforcement measures, which are now being performed while the tunnel continues to operate. However, the tunnel was just repaired between 2010 and 2015.

1 Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

1.1 Beschreibung des ursprünglichen Bauwerks

Der in den Jahren 1966 bis 1968 gebaute, 1740 m lange doppelröhrige Tunnel Melide–Grancia befindet sich entlang der Autobahn N2 südlich von Lugano. Es handelt sich um den ersten realisierten Autobahntunnel im Tessin, er wurde von einer Generalunternehmung gebaut. Das innere Hufeisenprofil der Verkleidung ist etwa 10 m breit und 7 m hoch und jedes Rohr weist zwei Fahrspuren auf. Im zentralen Bereich des Tunnels erreicht die maximale Gebirgsüberlagerung 370 m.

Die Tunnelauskleidung besteht aus einem unbewehrten Betonring mit variabler Stärke zwischen 30 cm und 80 cm, je nach den geotechnischen und hydrologischen Randbedingungen. Nachdem die Wasserinfiltrationen aus dem Gebirge gefasst worden waren, wurde die Auskleidung direkt gegen den Felsen (oder gegen die Sicherungsmassnahmen) betoniert.

Die Zwischendecke, welche den Verkehrsraum von den Lüftungskanälen trennte, sowie vorgefertigte seitliche

1 Description of the Structure and the Breakage Event

1.1 Description of the Original Structure

The 1,740 m long, twin-tube Melide–Grancia Tunnel, which was built in the years 1966 to 1968, is located along the N2 motorway south of Lugano. It is the first motorway tunnel that was realised in the Canton of Ticino, and was built by a General Contractor. The internal horseshoe profile of the lining is about 10 m wide and 7 m high, and each tunnel has two lanes. In the central area of the tunnel the maximum ground overburden reaches 370 m.

The tunnel lining consists of an unreinforced concrete ring with a variable thickness between 30 cm and 80 cm, depending on the geotechnical and hydrological boundary conditions. After the water infiltrations from the ground had been caught, the lining was concreted directly against the rock (or against the primary support measures).

The intermediate ceiling, which separated the traffic area from the ventilation ducts as well as prefabricated lateral in-

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

Tunnel Melide-Grancia sur la N2

Partie 1 : description de l'ouvrage et de l'effondrement

Partie 2 : renforcement du revêtement intérieur

Après le démantèlement de la couche intermédiaire, pour éviter l'infiltration des eaux du massif depuis la calotte sur la voie de circulation, des injections d'hydrogel ont été effectuées dans les années 2010 à 2013 pour assurer l'étanchéité. Cette intervention a cependant entraîné une augmentation de la pression exercée par l'eau du massif sur l'extrados du revêtement. L'effondrement a montré clairement qu'il faut renforcer le revêtement fragile du tunnel et procéder à la reconstitution du dispositif de drainage. Les travaux s'effectuent la nuit malgré les difficultés et les obstacles que cela représente, étant donné que le tunnel doit rester en service en journée compte tenu de l'importance du trafic.

N2 galleria Melide-Grancia

Parte 1: descrizione dell'opera e del crollo

Parte 2: rafforzamento del rivestimento interno

Successivamente allo smantellamento della soletta intermedia, per evitare l'ingresso dell'acqua di montagna dalla calotta sulla carreggiata, negli anni compresi tra il 2010 e il 2013 sono state effettuate delle iniezioni isolanti con idrogel. Questo intervento ha tuttavia causato un aumento della pressione esercitata sull'estradosso del rivestimento dall'acqua presente nell'ammasso roccioso. Il crollo ha dimostrato chiaramente la necessità di procedere al rafforzamento del fragile rivestimento della galleria e al ripristino del drenaggio. I lavori sono attualmente svolti durante la notte con tutte le difficoltà e gli impedimenti del caso, dato che la galleria deve rimanere in esercizio durante il giorno in considerazione del forte traffico.

Innenwände erlaubten allfälliges durch die Tunnelverkleidung eindringendes Bergwasser in die Hauptdrainage abzuleiten.

Im ersten, 350 m langen Abschnitt des Tunnels Melide–Grancia, vom Nordportal ausgehend, wurde zusätzlich eine Hauptabdichtung auf der inneren Seite der Tunnelverkleidung platziert. Dies war wegen Frostgefahr erforderlich. Dazu waren in diesem Bereich auch höhere Wassereintritte prognostiziert als in den Bereichen mit grösserer Gebirgsüberlagerung. Um die nicht selbsttragende Abdichtung zu stützen, wurde es notwendig, einen zweiten innenliegenden Betonring anzubringen (Bild 1). Dieser Ring, auch als Schutzgewölbe bezeichnet, war nicht dafür ausgelegt, bedeutende Wasserdrücke aufzunehmen, betrachtet man seine begrenzte Dicke von nur 30 cm, das Fehlen einer Bewehrung sowie das Vorhandensein der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke.

Aus den Dokumenten [1], [2], [3] und [4] geht hervor, dass in den 60er-Jahren folgende Massnahmen vorgesehen waren, um Wassereintritte in den Tunnelraum zu vermeiden:

- Vorabdichtung: lokale Entnahmen, Abdichtungsfolien und Rohre zum Sammeln und Ableiten der Wasseranfälle vor dem Betonieren des Gewölbes (Aussenring, im Falle eines Doppelrings). Wobei der Begriff «Abdichtung» hierbei nicht ganz korrekt ist, da es sich hauptsächlich um eine Drainage handelt, welche das aus dem Massiv anfallende Wasser zum Hauptsammler des Tunnels transportieren sollte. Dies war eine notwendige Massnahme, um den Betonring bauen zu können, aber zu jener Zeit wurde er auch als dauerhaftes Entwässerungssystem akzeptiert [3] (wenn auch mit einigen Vorbehalten). Zwischen Ausbruchssicherung und Betonverkleidung war somit keine systematische Drainage- und Abdichtungsschicht zu finden, wie es heute üblich ist.

Internal walls, allowed any groundwater penetrating through the tunnel lining to be drained off in the main drainage pipe.

In the first 350 m long section of the Melide–Grancia Tunnel starting from the northern portal, a main waterproofing system was additionally placed on the internal side of the tunnel lining. This was necessary due to the danger of freezing. Higher water ingress was predicted in this area than in the areas with a greater ground overburden. To support the non-self-bearing waterproofing system, it was necessary to install a second internal concrete ring (Fig. 1). This ring, also known as a protective vault, was not designed to resist significant water pressures, given its limited thickness of only 30 cm, the lack of reinforcement and the presence of the niche for the suspension of the intermediate ceiling.

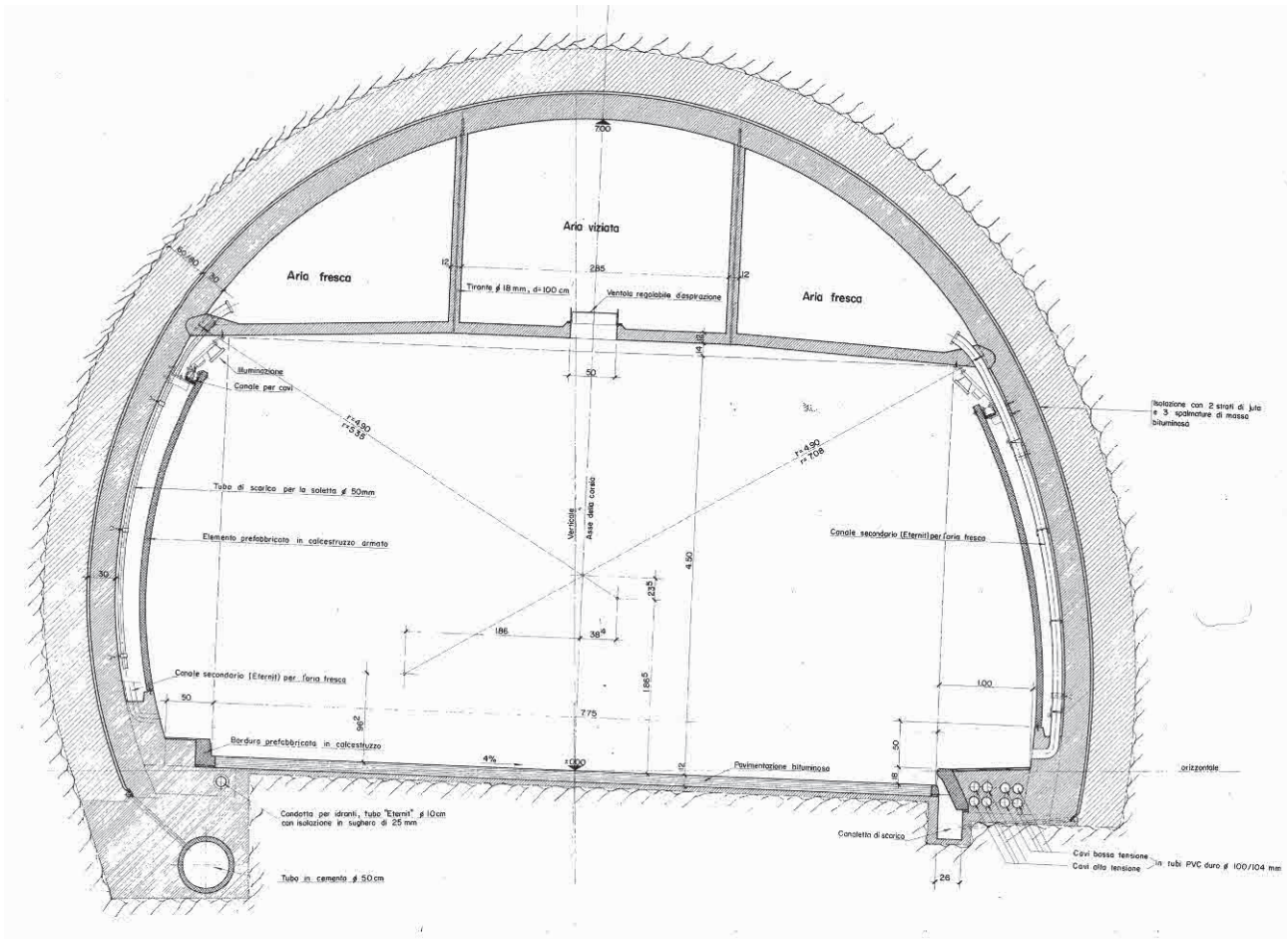
Documents [1], [2], [3] and [4] indicate that in the 1960s the following measures were planned to prevent water ingress in the tunnel space:

- Primary waterproofing system: capture of local water ingress, sealing sheeting and pipes to collect and drain the water ingress before the concreting of the vault (outer ring in case of a double ring). The term “waterproofing system” is not entirely correct here, because it primarily involves drainage, which was intended to transport the water arising from the massif to the main collector of the tunnel. This was a necessary measure to make it possible to build the concrete ring, but at that time it was also accepted as a permanent drainage system [3] (although with a few reservations). Between excavation support and concrete lining there was therefore no systematic drainage and waterproofing system layer, as is common today.

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: ASTRA-Archiv

1 Ursprünglicher Tunnelquerschnitt im nördlichen Bereich mit Doppelring und Hauptabdichtung im Zwischenraum (ursprünglicher Zustand mit Zwischendecke und seitlichen Innenwänden)

Original tunnel cross-section in the northern area with double ring and main waterproofing system in the gap (original status with intermediate ceiling and lateral internal walls)

- Hauptabdichtung: in den Abschnitten mit möglicher Eissbildung im Winter, typischerweise in der Nähe der Portale und in den Kanälen der Frischluftzufuhr. Das Dokument [1] von 1963 erwähnt zwei Lösungen: bei Gebirge guter Qualität, wo keine Betonverkleidung erforderlich war, Auftragen von Epoxidharz auf die Oberfläche, ansonsten die Lösung mit einem Doppelring (Trag- und Schutzgewölbe) und armierten Bitumenbahnen im Zwischenraum. In den Dokumenten [2], [3] und [4], welche von 1969 bis 1977 erstellt wurden, wurden auch andere Lösungen vorgestellt, wonach davon auszugehen ist, dass es keine standardisierte und konsolidierte Praxis gab. Das Ganze befand sich in der Entwicklung.

Die Hauptabdichtung in der Strecke mit Doppelring des Tunnels Melide–Grancia, bestehend aus zwei Schichten Jute und drei Bitumenbeschichtungen, entspricht dem eben erwähnten bewehrten Bitumen. Jute ist daher die «Bewehrung» dieser Abdichtung. Auch in dem Dokument [4] ist die Rede von «sealing sheets of bitumen modified with synthetics».

Es scheint daher, dass Jute eher die Funktion einer Bewehrung und nicht diejenige einer drainierenden Schicht hat.

- Secondary main waterproofing system: in the sections with possible ice formation in winter, typically near the portals and in the fresh-air-supply ducts. Document [1] from 1963 mentions two solutions: for ground of good quality, where no concrete lining was necessary, application of epoxy resin on the surface, otherwise the solution with a double ring (bearing and protective vault) and reinforced bituminous sheeting in the gap. In documents [2], [3] and [4], which were created from 1969 to 1977, other solutions were also presented, from which it can be assumed that there was no standardised and consolidated practice. It was all being developed.

The secondary main waterproofing system in the stretch of the Melide–Grancia Tunnel with a double ring, consisting of two layers of jute and three bitumen coatings, corresponds to the above-mentioned reinforced bitumen. Jute is therefore the “reinforcement” of this waterproofing system. Also in document [4] there is talk of “sealing sheets of bitumen modified with synthetics”.

It therefore appears that jute has more the function of a reinforcement rather than that of a draining layer. Therefore,

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

Über die Drainagewirkung der im Hohlraum zwischen den beiden Ringen vorhandenen Abdichtung könnte daher eine gewisse Unsicherheit bestehen bleiben.

Der Zwischenraum zwischen beiden Betonringen hat jedoch Entwässerungsröhre am Fusse der Paramente, womit ein übermässiger Anstieg des Wasserdrucks vermieden werden kann. Die Wirksamkeit des Entwässerungselements hängt sehr stark von der Wassermenge ab, welche den äusseren Betonring passieren kann; sie ist jedoch minimal.

Die Thematik der Wasserinfiltration existiert seit der Inbetriebnahme des Tunnels. In der Tat wurden in der Vergangenheit bereits Massnahmen getroffen, um die Wasserinfiltrationen besser zu kontrollieren, wie die Beschichtung der Zwischendecke mit flüssigem Asphalt, die Installation von Stahlblechen, Injektionen, lokale Wasserentlastungsbohrungen usw.

1.2 Sanierungsarbeiten 2008–2015

Um den Tunnel auf den heutigen Sicherheitsstandard zu bringen, wurden in den Jahren 2008 bis 2015 einige Erhaltungsarbeiten durchgeführt:

- 2008–2009 Bau eines technischen Stollens zwischen den beiden Röhren;
- 2010–2013 Abdichtungsinjektionen mit Hydrogel [5], mit dem Zweck, das Eindringen von Wasser in den Tunnel zu reduzieren, indem ein Injektionsschleier im Untergrund in den Bereichen der beobachteten Feuchtstellen zu erstellen ist (sowohl im Einzelring- als auch im Doppelringabschnitt);
- 2012–2015 Abriss der Zwischendecke und Einrichtung der neuen elektromechanischen Installationen.

1.3 Niederbruch der Betonverkleidung am 8. Juni 2017

Ein Teil des inneren Schutzgewölbes, geschätzt auf ein Betonvolumen von etwa 2,5 m³, stürzte plötzlich auf die Überholspur in der Nord-Süd-Röhre in einem Abstand von 190–195 m vom Nordportal. Der Bruchkörper war nach oben von der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke begrenzt, seitlich und nach unten von Rissen sowie teilweise von der Fuge zwischen den Verkleidungsblöcken (Bild 2). Beim Einsturz wurde ein Fahrzeug leicht beschädigt, Menschen kamen jedoch nicht zu Schaden. Das äussere, tragende, 80 cm dicke Traggewölbe ist intakt geblieben. Im Hohlraum zwischen den beiden Gewölben wurde Hydrogel beobachtet und es war die Anwesenheit der Hauptabdichtung erkennbar.

Erste Massnahmen zur provisorischen Sicherung der Einsturzstelle wurden sofort getroffen, indem die Kalotte auf Höhe der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke von unten abgestützt wurde. Der Tunnel konnte somit gleich wieder in Betrieb gesetzt werden.

2 Sofortmassnahmen

Die Beurteilung des Zustandes der Tunnelauskleidung startete unmittelbar nach dem Ereignis mittels visueller

some uncertainty persisted about the drainage effect of the waterproofing system present in the cavity between the two rings.

However, the gap between the concrete rings has drainage pipes at the foot of the side walls, with which an excessive increase of the water pressure can be prevented. The effectiveness of the drainage element depends to a very large extent on the amount of water that can pass through the external concrete ring; however, this is minimal.

The topic of water infiltration has existed since the start of operation of the tunnel. In fact, in the past, measures were already implemented to better control the water infiltrations, such as coating the intermediate ceiling with liquid asphalt, installing steel sheets, injections, local water drainage drillholes, etc.

1.2 Renovation Work 2008–2015

To bring the tunnel up to the current safety standard, some maintenance work was performed in the years 2008 to 2015:

- 2008–2009 construction of a technical gallery between the two tubes.
- 2010–2013 sealing injections with hydrogel [5] with the aim of reducing the penetration of water into the tunnel by creating an injection curtain in the substrate in the areas of the observed wet patches (both in the single-ring and in the double-ring section).
- 2012–2015 demolition of the intermediate ceiling and installation of the new electromechanical installations.

1.3 Breakage Event of the Concrete Lining on 8 June 2017

A part of the internal protective vault, estimated to have a concrete volume of about 2.5 m³, suddenly collapsed on the overtaking lane of the north–south tube at a distance of 190–195 m from the northern portal. The unstable block was bordered above by the niche for the suspension of the inter-



2 Niederbruch des inneren Schutzgewölbes (Foto vom 08.06.2017)
Cave-in of the internal protective vault (photo dated 08.06.2017)

Quelle/credit: Lombardi AG

Inspektionen, Laserscan, Georadar und Laboruntersuchungen. Eine Überwachung startete auch sofort mit der Messung von Grundwasserdrücken ausserhalb der Tunnelverkleidung und allfälliger Bewegungen zwischen benachbarten Verkleidungsblöcken mittels oberflächlich angebrachter Glasfaserkabel.

Der sich daraus ergebende Zustand war nicht besonders befriedigend:

- Die Wasserdrücke waren nicht zu hoch, jedoch war die Zuverlässigkeit der gemessenen Werte wegen der sehr tiefen Durchlässigkeit des Gebirges nicht eindeutig. Ein minimaler Wasserverlust durch die Packer könnte bereits die Messwerte abmindern.
- Der innere Betonring wies diverse Defekte auf wie Unterprofile und Kiesnester.
- Das Hydrogel war instabil. Bei Fugen und bei Bohrungen wurden häufig Gelaustritte beobachtet.

Von da an wurden auch Massnahmen in zwei Phasen getroffen, um die Sicherheit gegenüber weiteren potenziellen Einstürzen vorübergehend zu erhöhen.

Phase 1 (Periode Juni–August 2017):

- Wiederherstellung des inneren Betonrings beim Verkleidungsblock 28, wo der obere Teil des Paraments eingestürzt war;
- Verstärkung des Verkleidungsblockes 32, welcher ein ähnliches Rissbild aufwies wie Verkleidungsblock 28;
- Entlastungsbohrungen \varnothing 32 mm alle 3,5 m in Tunnellängsrichtung bei jedem Parament im Bereich des Doppelrings.

Phase 2 (Periode September–Dezember 2017):

- Verstärkung der Entlastungsbohrungen (die Bohrungen der Phase 1 wurden ständig durch Hydrogel verstopft);
- Drainagevorrichtungen, um das aus den Entlastungsbohrungen kommende Wasser abzuleiten;
- Verstärkung des inneren Betonrings mittels Füllung der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke mit dem Zweck, eine statische Kontinuität zwischen neuem und altem Beton zu erreichen.

3 Mittelfristige Instandsetzung des Tunnels

3.1 Kritikalität im Tunnel und Hauptziele der Sanierung

Auch nach Ausführung der obenerwähnten Massnahmen blieben potenzielle kritische Bedingungen über die gesamte Tunnellänge bestehen:

- Koexistenz einer brüchigen Verkleidung infolge fehlender Bewehrung und hydrostatischer Drücke, welche den strukturellen Widerstand möglicherweise überschreiten könnten;
- Risiken für den Betrieb durch Wassereintritte und Eisbildung im Tunnel sowie durch Hydrogel auf der Fahrbahn.

Aufgrund der angetroffenen Kritikalität war eine generelle Sanierung des Tunnels erforderlich, wobei die folgenden

mediate ceiling, laterally and below by cracks and partially by the joint between the lining blocks (Fig. 2). One vehicle sustained light damage due to the collapse, however no one was injured. The external, bearing, 80 cm thick bearing vault remained intact. In the cavity between the two vaults hydrogel was observed, and the presence of the main secondary waterproofing system was identifiable.

The first measures for provisionally securing the collapse site were implemented immediately by supporting the top heading at the height of the niche for suspending the intermediate ceiling from below. As a result, it was possible to resume the operation of the tunnel immediately.

2 Immediate Measures

The appraisal of the condition of the tunnel lining began immediately after the event by means of visual inspections, laser scan, ground radar and laboratory analyses. Monitoring also began immediately with the measurement of groundwater pressures outside the tunnel lining and possible movements between neighbouring lining blocks by means of fibre optic cable attached to the surfaces.

The condition these measures revealed was not particularly satisfactory:

- The water pressures were not too high, however, due to the very high permeability of the ground, the reliability of the measured values was ambiguous. A minimal loss of water due to the packers could already reduce the measured values.
- The inner concrete ring showed various defects such as subprofiles and rock pockets.
- The hydrogel was unstable. Gel ingresses were often observed at joints and at boreholes.

From then on measures were also implemented in two phases in order to temporarily increase the safety with regard to additional potential collapses.

Phase 1 (period of June–August 2017):

- Restoration of the internal concrete ring at lining block 28, where the top part of the sidewall collapsed.
- Reinforcement of lining block 32, which exhibited a crack pattern similar to that of lining block 28.
- Pressure relief boreholes \varnothing 32 mm every 3.5 m in the longitudinal direction of the tunnel at each sidewall in the area of the double ring.

Phase 2 (period of September–December 2017):

- Intensification of the pressure relief boreholes (the boreholes of phase 1 were constantly clogged with hydrogel).
- Drainage devices to drain off the water coming out of the pressure relief drill holes.
- Reinforcement of the internal concrete ring by filling the niche for suspending the intermediate ceiling with the aim of achieving static continuity between the new and old concrete.

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

Hauptziele zu verfolgen waren:

- strukturelle Verstärkung der Tunnelverkleidung;
- Reduktion von Wassereintritten hin zur Fahrbahn;
- Drainage des Gebirgswassers zur Reduktion des Wasserdrucks auf die Verkleidung.

3.2 Randbedingungen

Der Melide–Grancia-Tunnel ist am frühen Morgen in Richtung Norden und am späten Nachmittag in südlicher Richtung durch Pendlerverkehr (insbesondere den grenzüberschreitenden Verkehr) stark überlastet. Die Sanierungsarbeiten am Tunnel waren so durchzuführen, dass tagsüber beide Tunnelröhren in Betrieb bleiben konnten. Für die Sanierungsarbeiten wurde daher die Sperrung einer Tunnelröhre in den nächtlichen Stunden vorgesehen, während die andere Röhre den Verkehr dann in beide Richtungen aufnehmen sollte.

Die Nutzungsdauer der Intervention wurde auf 20 Jahre festgelegt, um so den Zeitraum zwischen dem Ende der betreffenden Sanierung und dem Abschluss des Projektes zur Engpassbeseitigung des Autobahnabschnitts zwischen Lugano und Mendrisio (sog. Projekt PoLuMe), in dem der Rückbau der betreffenden Tunnelstrukturen geplant ist, abzudecken. In diesem Zusammenhang wird eine der beiden Röhren aufgeweitet werden (bei der die gesamte Verkleidung abgebaut wird), während die andere Röhre für den Verkehr offenbleiben wird; daher soll die aktuelle Sanierung auch die volle Sicherheit der Arbeiten während dieser künftigen Bauphasen gewährleisten.

3.3 Instandsetzungsmassnahmen

3.3.1 Strukturelle Verstärkung der Tunnelauskleidung

Um das Einsturzrisiko der Tunnelverkleidung zu minimieren, wurden verschiedene Lösungen betrachtet:

- «diskontinuierliche» Stützmittel: beispielsweise durch Anbringung von Stahlprofilen in regelmässigen Abstand (Bild 3), eventuell verstärkt mit Stahlbeton zwischen benachbarten Stahlprofilen (Bild 4);
- «kontinuierliche» Stützmittel (Bild 5): durch eine Stahlbetonauskleidung mittels verloreener (mitwirkend oder nicht mitwirkend) oder normaler Schalung.

Aus dem Variantenvergleich wurde die Lösung der durchgehenden Innenschale wegen der folgenden Vorteile vorgeschlagen:

- statisch unabhängig von der bestehenden Verkleidung, deren tatsächlicher Beitrag zum Widerstand ungewiss bleibt;

3 Medium-Term Repair of the Tunnel

3.1 Criticality in the Tunnel and Main Goals of the Renovation

Even after implementing the measures mentioned above, potential critical conditions still existed over the entire length of the tunnel:

- Coexistence of a fragile lining due to a lack of reinforcement and hydrostatic pressures, which could possibly exceed the structural resistance.
- Risks for the operation due to water ingress and ice formation in the tunnel as well as due to hydrogel on the carriageway.

Based on the criticality that was found, a general renovation of the tunnel was necessary, in which the following main goals were to be pursued:

- Structural reinforcement of the tunnel lining.
- Reduction of the water ingress to the carriageway.
- Drainage of the water to reduce the water pressure on the lining.

3.2 Boundary Conditions

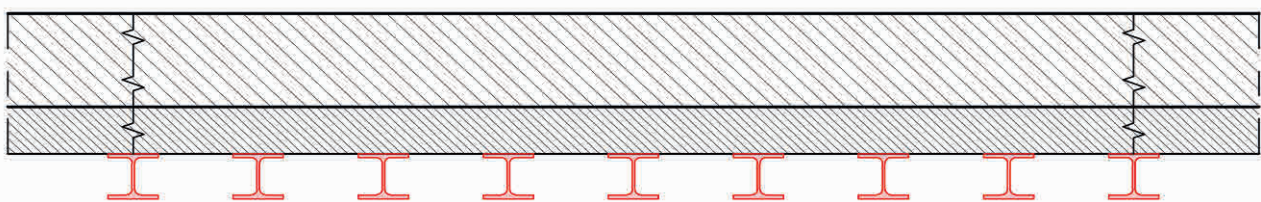
The Melide–Grancia Tunnel is heavily overburdened by commuter traffic (particularly cross-border traffic) in the early morning in the northern direction, in the late afternoon in the southern direction. The renovation work on the tunnel was to be performed in such a way that both tunnel tubes could remain in operation during the day. For the renovation work the closure of one tunnel tube in the night-time hours was scheduled, while the other tube was to accept bidirectional traffic.

The service life of the intervention was determined to be 20 years to cover the period between the end of the renovation in question and the conclusion of the project for bottleneck removal on the motorway section between Lugano and Mendrisio (the so-called PoLuMe project), in which the decommissioning of the tunnel structures in question is planned. In this context, one of the two tubes will be enlarged (for which the entire lining will be removed), while the other tube will remain open for traffic; therefore, the current renovation should also guarantee the complete safety of the work during the future construction phases.

3.3 Repair Measures

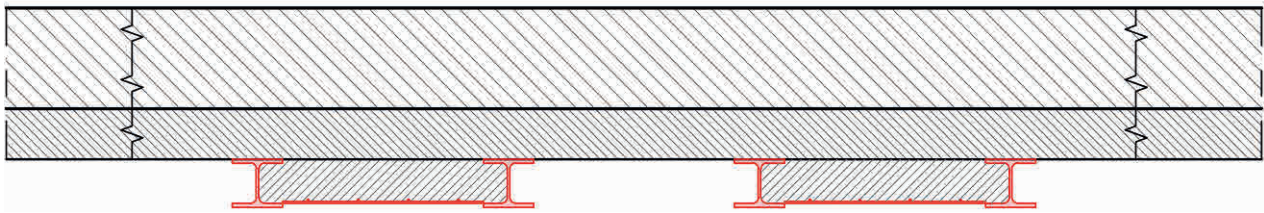
3.3.1 Structural Reinforcement of the Tunnel Lining

To minimise the risk of the collapse of the tunnel lining, various solutions were considered:



3 Diskontinuierliche Stützmittel mit Anbringung von Stahlprofilen
Discontinuous means of support with installation of steel profiles

Quelle/credit: Consorzio TILUME



Quelle/credit: Consorzio TILUME

4 Diskontinuierliche Stützmittel mit Stahlbetonrippen zwischen benachbarten Stahlprofilen
Discontinuous means of support with reinforced concrete ribs between neighbouring steel profiles

- maximale statische Wirkung;
- bessere Brandbeständigkeit;
- Verringerung von Wassereintritten auf der Fahrbahn durch die Abdichtung zwischen der Innenschale und der bestehenden Verkleidung;
- erhöhte Sicherheit bei Unfällen mit Anprall gegen die Tunnelwand;
- hoher Fahrkomfort dank des regelmässigen und kontinuierlichen Wandprofils.

3.3.2 Vorgeschlagene strukturelle Stützmassnahme

Die Realisierung der Innenschale nur nachts mit täglichen Sperrungen des Tunnels für den Verkehr ist mit erheblichen technischen Schwierigkeiten verbunden. Das notwendige Schalungssystem darf in keiner Weise den Verkehrsraum beeinträchtigen.

Es wurde daher entschieden, gebogene Predalles-Elemente zu verwenden, welche keine zusätzlichen Elemente benötigen, die den Verkehr beeinträchtigen könnten. Es handelt sich um selbsttragende Ringsegmente aus vorgefertigtem Stahlbeton (Bild 6). Nach der Installation dieser Elemente wird der Hohlraum dahinter mit selbstverdichtendem Beton verfüllt.

Das System aus zwei Stücken erlaubt eine isostatische Bogenstruktur mit drei Scharnieren zu schaffen, welche an der vorhandenen Verkleidung stabilisiert wird. Dies ermöglicht die Wiederöffnung des Tunnels für den Verkehr in absoluter Sicherheit, ohne dass sofort mit der Betonhinterfüllung begonnen werden muss. Um mögliche die Fahrbahn betreffende Wasserinfiltrationen zu reduzieren, ist eine PVC-Platte am Übergang von zwei Auskleidungselementen vorgesehen.

- “Discontinuous” means of support: for example, by installing steel profiles at regular intervals (Fig. 3), possibly reinforced with reinforced concrete between neighbouring steel profiles (Fig. 4).
- “Continuous” means of support (Fig. 5): by a reinforced concrete lining by means of lost (contributing or non-contributing) or normal formwork.

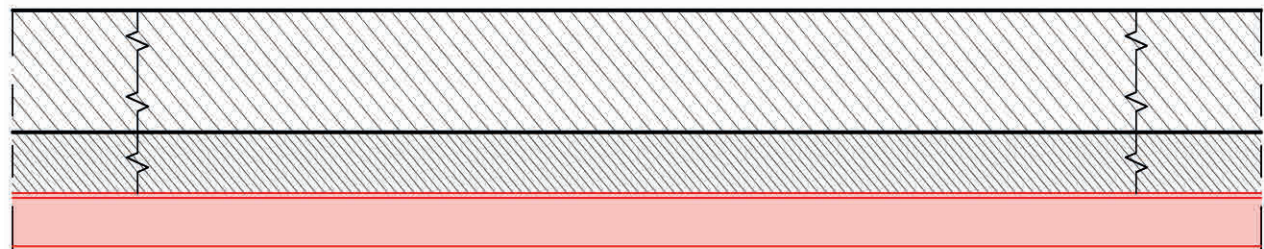
From the comparison of variants, the solution of the continuous inner lining was suggested due to the following advantages:

- Statically independent of the existing lining, whose actual contribution to the resistance remains uncertain.
- Maximum static effect.
- Better fire resistance.
- Reduction of water ingress on the carriageway due to the waterproofing system between the inner lining and the existing lining.
- Increased safety in case of accidents with impact against the tunnel wall.
- High driving comfort thanks to regular and continuous wall profile.

3.3.2 Suggested Structural Support Measure

The implementation of the inner lining only at night with daily closures of the tunnel to traffic is associated with significant technical difficulties. The required formwork system must not impair the traffic area in any way.

The decision was therefore made to use curved predalles elements, which do not require any additional elements that could affect traffic. They are self-bearing ring elements made of prefabricated reinforced concrete (Fig. 6). Following the installation of the elements, the cavity behind them is filled with self-compacting concrete.



Quelle/credit: Consorzio TILUME

5 Kontinuierliche Stützmittel (durchgehende Innenschale)
Continuous means of support (continuous inner lining)

N2 Melide–Grancia Tunnel •

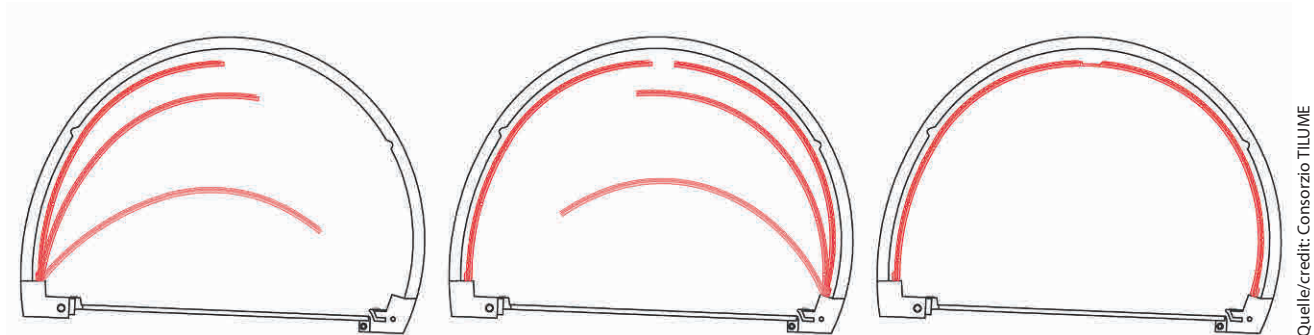
Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

In Anbetracht der verkürzten Nutzungsdauer der Massnahme, die den künftigen Arbeiten zur Tunnelerweiterung im Bereich PoLuMe entspricht, wurde von vornherein auf eine kostspielige Erweiterung der Innenschale über den gesamten Tunnel verzichtet (eine Massnahme, die im Falle einer Sanierung mit normaler Nutzungsdauer sicherlich vorzuziehen wäre). Die Notwendigkeit der Erweiterung der Verkleidung mit einer Innenschale wurde daher mittels einer Risikoanalyse ermittelt, welche ergab, dass darauf verzichtet werden kann, sofern die vorhandene Verkleidung robuster ist, z.B. in Tunnelabschnitten mit einer (nicht verschlissenen) Verkleidungsdicke von 60 cm.

The two-piece system allows for the creation of an isostatic arch structure with three hinges, which is stabilised on the existing lining. This allows for the reopening of the tunnel to traffic with absolute safety without having to start the concrete backfilling immediately. To reduce water infiltrations that possibly affect the carriageway, a PVC plate is planned on the transition of two lining elements.

In view of the shortened service life of the measure, which corresponds to the future work for tunnel expansion in the PoLuMe area, from the beginning a costly expansion of the inner lining of the entire tunnel was not considered



6 Innenring-Konzept mit Predalles-Platten
Inner ring concept with predalles slabs

3.4 Drainage

Die Entwässerung ist so auszulegen, dass sie den auf die Tunnelverkleidung wirkenden Wasserdruck reduziert. Hierbei stellt die Anwesenheit von instabilen Hydrogelen nahe der Verkleidung eine grosse Herausforderung dar. Das Hydrogel könnte das neue Entwässerungssystem verstopfen und einen Effizienzverlust verursachen. Es wurde daher ein Drainagesystem entwickelt, welches trotz Anwesenheit von Hydrogel weiter funktionieren kann. Um das Verstopfungsrisiko zu begrenzen, wurden Drainagebohrungen ausgeführt, welche in den ersten Metern entsprechend verrohrt sind, damit das mit Hydrogel verunreinigte Wasser dort nicht gefasst wird. Dieser verrohrte Abschnitt ist dann mit den verbleibenden Bohrlochmetern mit einem Schlitzrohr verbunden.

So wird das Wasser ausschliesslich in einem gewissen Abstand von der Verkleidung drainiert, welcher – so die Annahme – nicht mit Hydrogel verunreinigt ist.

Bild 7 veranschaulicht das Konzept der Realisierung von Drainagebohrungen ausgehend von sogenannten offenen Schlitzten, welche innerhalb der neuen Innenschale liegen. Die offenen Schlitzte ermöglichen auch die Unterbringung von Wellrohren, welche dann mit einem abnehmbaren Metallblech abgedeckt sind und so die Wandverkleidung homogen machen.

Im Gegensatz zur Innenschale ergab die Risikoanalyse die Notwendigkeit, das Entwässerungskonzept auf den gesamten Tunnel auszuweiten (systematische Entwässerung

(a measure that would certainly be preferable in case of a renovation with a standard service life). The necessity of expanding the lining with an inner lining was therefore determined by means of a risk analysis, which showed that the inner lining is not necessary if the existing lining is more robust, e.g. in tunnel sections with a (not worn-out) lining thickness of 60 cm.

3.4 Drainage

The drainage must be designed so that it reduces the water pressure acting on the tunnel lining. Here the presence of unstable hydrogels near the lining represents a great challenge. The hydrogel could clog the new drainage system and cause a loss of efficiency. Therefore, a drainage system was developed that can continue to function despite the presence of hydrogel. To limit the risk of clogging, drainage boreholes were implemented which are lined over the first few meters so that water contaminated with hydrogel is not caught there. This lined section is then connected with the remaining borehole meters with a slot pipe.

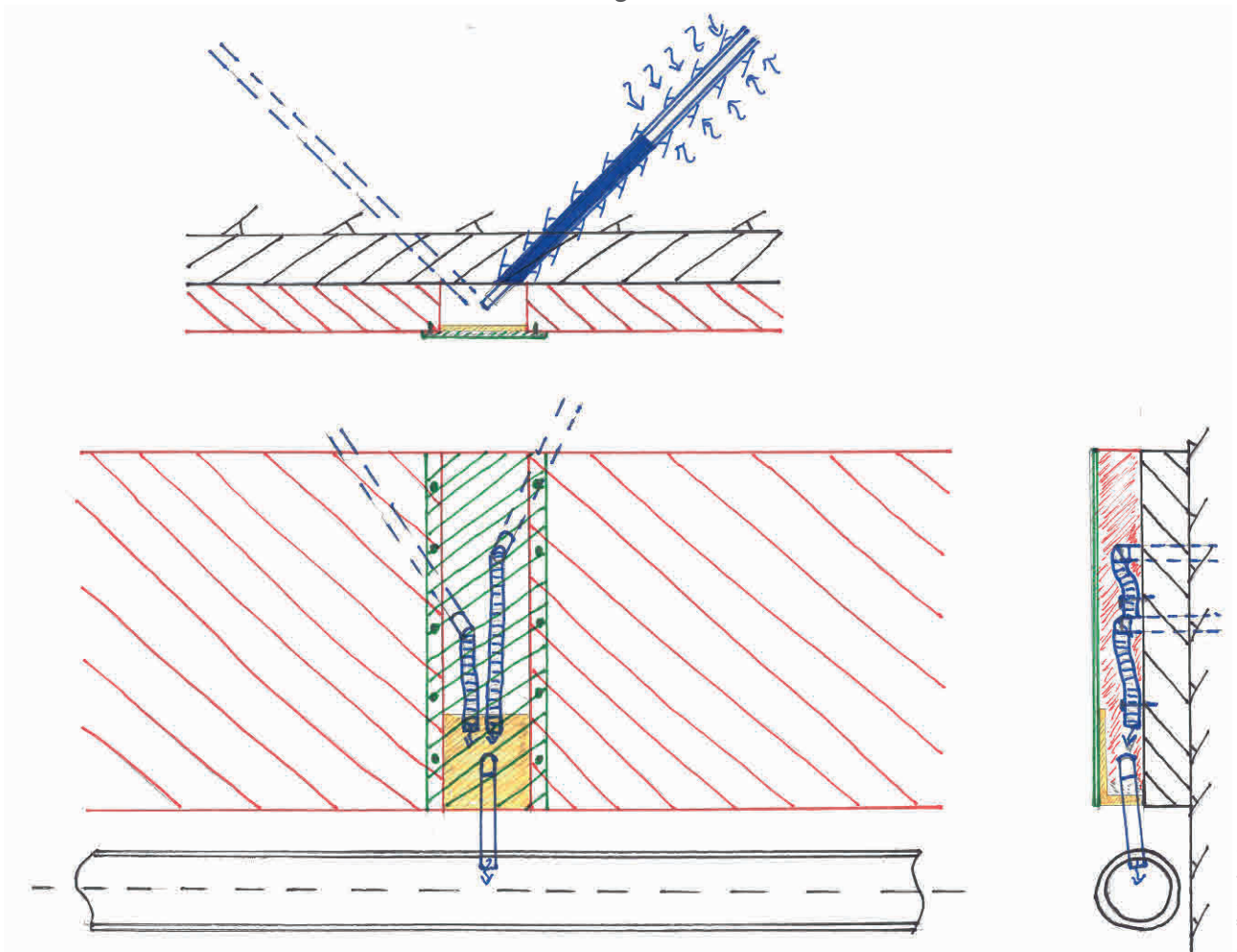
As a result, the water is drained from the lining only at a certain distance, which – it is assumed – is not contaminated with hydrogel.

Fig. 7 illustrates the concept of the realisation of drainage boreholes originating from so-called open slots which lie within the new inner lining. The open slots also allow for the accommodation of corrugated pipes which are covered with a removable metal plate, thus making the wall lining homogeneous.

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: Consorzio TILUME

7 Drainagevorrichtung

Drainage device

ung), um die hydraulische Belastung der Verkleidung zu begrenzen.

4 Ausführungsprojekt und Realisierungsphase

4.1 Bauprogramm

Das Arbeitsprogramm beinhaltet folgende Bedingungen:

- Nachtsperren von 21.30 bis 4.30 Uhr;
- Einheitsleistungen etwa 5 m pro AT;
- Arbeitsdauer Röhre Süd–Nord 20 Mt., Röhre Nord–Süd 18 Mt.;
- bauliche Massnahmen im Gewölbereich sind mit den zeitgleich stattfindenden Arbeiten an der BSA eng zu koordinieren, max. 300 m Tunnel-Freistrecke, um die Mindestbetriebsbedingungen zu gewährleisten;
- bauliche Massnahmen im Bankett erfolgen unabhängig von den BSA-Arbeiten.

4.2 Verantwortlichkeiten

Der Projektverfasser ist allgemein für die Ausführungsplanung verantwortlich. Der Unternehmer ist für die Projektierung der Detailplanung der Predalles (insbesondere der vorfabrizierten Elemente) inkl. deren Bemessung und für die statischen Nachweise verantwortlich. Der Projektverfasser ist

In contrast to the inner lining, the risk analysis showed the necessity of expanding the drainage concept to the entire tunnel (systematic drainage) to limit the hydraulic load on the lining.

4 Implementation Project Plan and Realisation Phase

4.1 Construction Schedule

The work programme includes the following conditions:

- Night closures from 9.30 p.m. to 4.30 a.m.
- Unit outputs of about 5 m per working day.
- Work duration of south–north tubes 20 months, north–south tubes 18 months.
- Construction measures in the vault area must be closely coordinated with the work on the operational and safety equipment being performed simultaneously, max. 300 m free stretch of tunnel to ensure the minimum operating conditions.
- Construction measures in the walkway are carried out independently of the operational and safety equipment work.

4.2 Responsibilities

The Project Designer is generally responsible for the detailed design. The Contractor is responsible for the good

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

für die Validierung der vom Unternehmer erstellten Detailplanung verantwortlich.

4.3 Änderungen und Optimierungen während der Ausführungsphase

Während der Ausführungsphase wurden insbesondere die folgenden Änderungen und Optimierungen durchgeführt:

- Reduzierung der Länge der Fertigteilenelemente;
- Anpassung der baulichen Ausführung von Nischen und Portalen: Rückverankerung der Longarinen und Anker mit dem Stahlrahmen;
- Verzicht auf neue Piezometer und Verringerung der Anzahl Piezometer, die in der Betriebsphase beibehalten werden sollen;
- Reduzierung der baulichen Massnahmen im Bankett für den Interventionstyp IT2;
- Optimierung der Betonierungsphasen;
- Verbesserung der Schnittstelle BA–BSA;
- Verzicht auf die Erneuerung der Deckschicht des Strassenbelags.

4.4 Normalprofil

Die beiden Normalprofile werden als IT1 und IT2 bezeichnet:

- IT1: Profil mit Beton-Konterschale, bestehend aus gekrümmten Predalles (Betonfertigteile); zur Fertigstellung werden eine mittragende SCC-Ortbetonschicht und ein darüberliegendes Abdichtungssystem aufgebracht;
- IT2: Profil mit Gewölbesicherheitsnetzen.

for construction design of the predalles (in particular the prefabricated elements) including their static dimensioning. The Project Designer is responsible for the validation of the good for construction design performed by the Contractor.

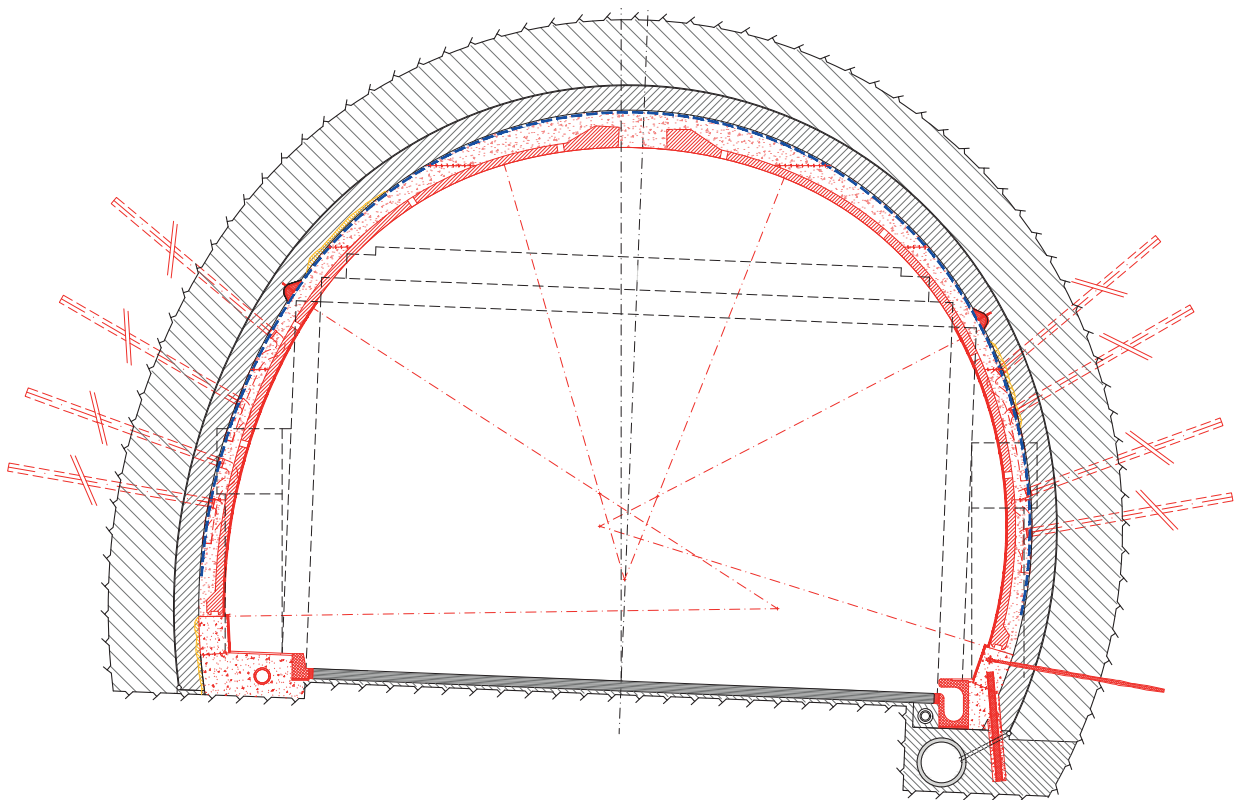
4.3 Changes and Optimisations During the Construction Phase

During the construction phase, the following changes and optimisations in particular were performed:

- Reduction of the length of the prefabricated elements.
- Adjustment of the structural design of niches and portals; back-anchoring of girders and anchors with the steel frame.
- Waiving the installation of new piezometers and reduction of the number of piezometers that are to be retained in the operating phase.
- Reduction of the construction measures in the walkway for the intervention type IT2.
- Optimisation of the concreting phases.
- Improvement of the interface between construction and operational and safety equipment.
- Waiving the renovation of the top layer of the road surface.

4.4 Standard Tunnel Cross-Section

The two standard tunnel cross-sections are designated as IT1 and IT2:



8 Normalprofil IT1

Standard tunnel cross-section IT1

Quelle/credit: Consorzio TILUME

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: Consorzio TILUME

9 Montage der Predalles-Elemente
Installation of the predalles elements

4.5 Generelle Projektierungsaspekte beim Normalprofil IT1

4.5.1 Bemessung der Fertigelemente

Die Fertigteilelemente sind für die Bau- und Betriebsphase unter Berücksichtigung der folgenden Einwirkungen bemessen:

- Bemessung der Bauphase von Predalles-Elementen: Belastungen der Transport- und Montagezustände, Systemstabilität vor der Betonierung, SCC-Betondruck während der Betonierungsphasen usw.;
- Bemessung der Betriebsphase der gesamten Konterschale: Nachweis der hydrostatischen Belastung, Belastungsnachweis durch Gebirgs-/Auflockerungsdruck, Brand-, Anprallnachweise usw.

4.5.2 Ausführung der SOS- und Hydrantennischen

Im Bereich der SOS- und Hydrantennischen und dergleichen lagern die vorgefertigten Predalles-Platten auf Stahlrahmen auf, die am Fuss in einen Stahlbetonsockel eingebunden sind. Diese konstruktive Lösung ermöglicht es, bestehende BSA-Elemente (Kabel, Schilder usw.) beizubehalten und neue Elemente zu integrieren.

- IT1: Profile with concrete counter shell, consisting of curved predalles (concrete prefabricated segments); for completion a contributing SCC cast in-situ concrete layer and an overlying sealing system are applied.
- IT2: Profile with vault safety mesh.

4.5 General Development Aspects for Standard Tunnel Cross-Section IT1

4.5.1 Dimensioning of the Prefabricated Elements

The prefabricated elements are dimensioned for the construction and operating phase with consideration of the following effects:

- Dimensioning of the construction phase of predalles elements: loads of the transport and installation conditions, system stability before concreting, SCC concrete pressure during the concreting phases, etc.
- Dimensioning of the operating phase of the entire counter-shell: proof of the hydrostatic load, proof of load due to ground/decompaction pressure, proofs of fire, impact, etc.

4.5.2 Construction of the SOS and Hydrant Niches

In the area of the SOS and hydrant niches and the like, the prefabricated predalles plates are supported on steel frames, which are integrated at the foot in a reinforced concrete base. This constructive solution makes it possible for existing operational and safety equipment (cables, signs, etc.) to be retained and new elements to be integrated.

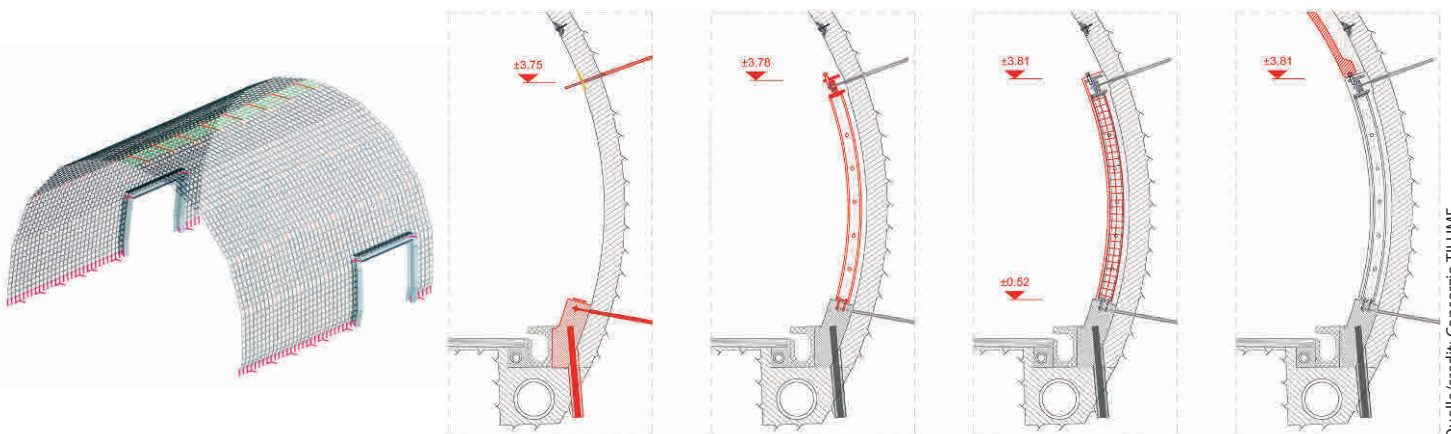
4.5.3 Foundation Types

The predalles (prefabricated elements) are primarily based on two foundation types:

- Direct foundation via a concrete strip foundation.
- Indirect back-anchoring by means of micro piles and tie rods in order to prevent an overload of the existing drainage line.

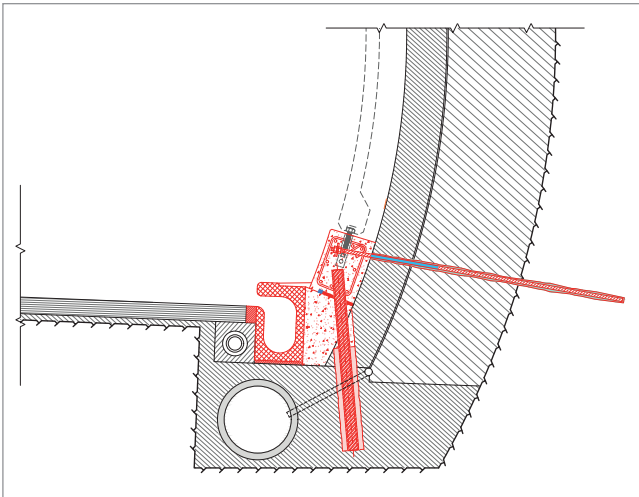
4.5.4 Waterproofing and Dewatering System

On the back of the prefabricated elements a waterproofing system is incorporated, which consists of a drainage layer,



Quelle/credit: Consorzio TILUME

10 Stahlportal bei den SOS- und Hydrantennischen
Steel portal at the SOS and hydrant niches



11 Indirekte Gründung mit Mikropfählen und Ankern
Indirect foundation with micro piles and anchors



Quelle/credit: Consorzio TILUME

4.5.3 Fundamenttypen

Die Predalles (Fertigteilelemente) sind primär auf zwei Fundamenttypen gegründet:

- direkte Gründung über ein Betonstreifenfundament;
- indirekte Rückverankerung mittels Mikropfählen und Zugankern, um eine Überlastung der vorhandenen Entwässerungsleitung zu vermeiden.

4.5.4 Abdichtungs- und Entwässerungssystem

Auf der Rückseite der Fertigteilelemente wird ein Abdichtungssystem eingebaut, das aus einer Drainageschicht, einer PVC-Abdichtungsfolie sowie einer PVC-Schutzschicht besteht. Der untere Rand der PVC-Abdichtungsfolie, welcher mit einem speziellen Abschlussband abgedichtet ist, hat einen schrägen Verlauf und ermöglicht die Ableitung des Wassers in Richtung der dafür vorgesehenen Schächte, die ca. alle 24 m positioniert sind. Die Konstruktion muss der Abdichtungsstufe 1 gemäss Norm SIA 272 entsprechen. Die Ableitung des Fahrbahnwassers wird durch den Einbau neuer Schlitzrinnen gewährleistet.

4.6 Wichtigste Themen Normalprofil IT2

Das Normalprofil IT2 wird in den Tunnelabschnitten ohne Konterschale durchgeführt und sieht die Sicherung des Gewölbes mittels elektrogeweisster und mit mechanischen Ankern befestigter Maschen vor. Der Zweck ist, kleine Betonabplatzungen zu vermeiden.

4.7 Lessons learned

Eine derart innovative Lösung für ein solch kompliziertes Bauwerk führte zu einigen kritischen Aspekten, die im Folgenden zusammengefasst sind.

4.7.1 Planung

Aus Planungssicht sind folgende kritischen Punkte hervorzuheben:

- Schnittstellenkoordination mit den bestehenden Infrastrukturen: alte Hydrantenleitung, Schmutzwasserleitung usw.;

a PVC sealing sheet and a PVC protection layer. The bottom edge of the PVC sealing sheet, which is sealed with a special closure tape, has a slanted course and allows the water to be removed in the direction of the shafts provided for this purpose, which are positioned approx. every 24 m. The construction must correspond to waterproofing system class 1 in accordance with the SIA 272 standard. The removal of the carriageway water is ensured by the installation of new slotted channels.

4.6 The Most Important Topics of the Standard Tunnel Cross-Section of IT2

The standard tunnel cross-section of IT2 is performed in the tunnel sections without counter shell and specifies the securing of the vault by means of electrically welded meshes secured with mechanical anchors. The purpose is to avoid small concrete spalling.

4.7 Lessons Learned

Such an innovative solution for such a complicated structure resulted in some critical aspects, which are summarised below.

4.7.1 Design Activities

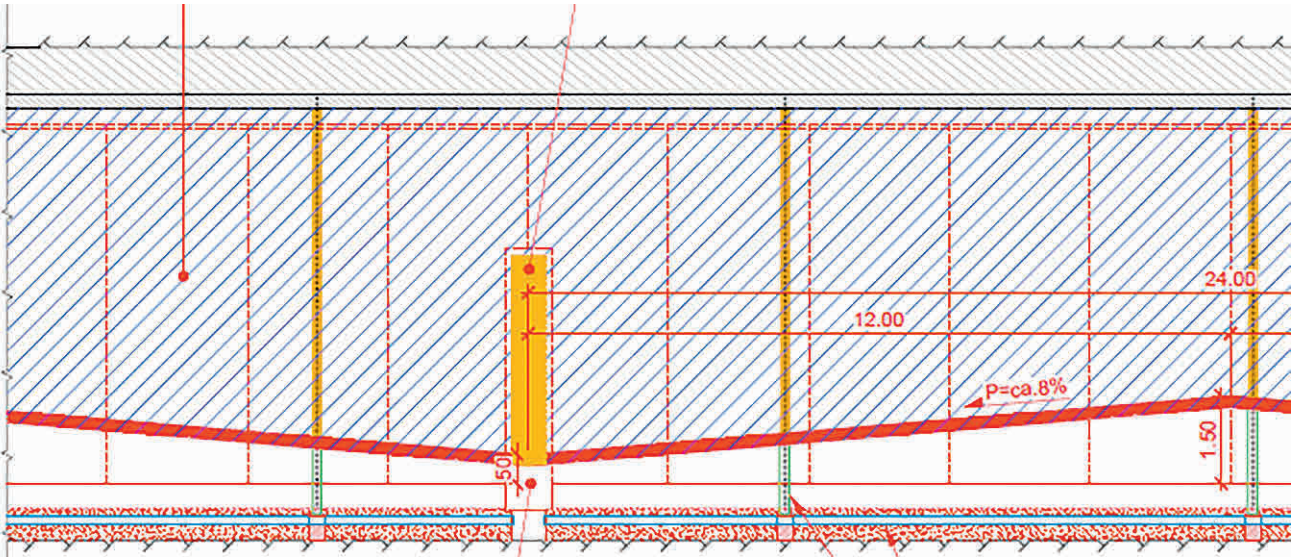
From a design perspective, the following critical points should be emphasised:

- Interface coordination with the existing infrastructure: old hydrant line, wastewater pipe, etc.
- Difficulties during the implementation of the last concreting phase and determination of the formwork construction.
- Project of the temporary support measures such as steel arches and girders to ensure the stability of the predalles elements during the installation and the concreting phases.
- the internal profile of the tunnel offers only limited space for the installation of counter shells and for ensuring the useful space in terms of traffic engineering and the

N2-Tunnel Melide-Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: Consorzio TILUME

12 Abdichtungssystem Sealing system

- Schwierigkeiten bei der Ausführung der letzten Betonierungsphase und Festlegung der Schalungskonstruktion;
- Projekt der temporären Stützmassnahmen wie Stahlbögen und Longarinen, um die Stabilität der Predalles-Elemente während des Einbaus und der Betonierungsphasen zu gewährleisten.

minimum thickness of the counter shell; therefore the existing interior lining had to be re-profiled.

4.7.2 Logistics for the Construction Work

From the perspective of construction site logistics, the following critical aspects should be emphasised:

- Das Innenprofil des Tunnels bietet nur einen begrenzten Raum für den Einbau der Konterschale und die Gewährleistung des verkehrstechnischen Nutzraums sowie der Mindestdicke der Konterschale; daher musste die bestehende Innenverkleidung nachprofilieren werden.

4.7.2 Baulogistik

Aus baustellenlogistischer Sicht sind die folgenden kritischen Aspekte hervorzuheben:

- Baustelle mit Tätigkeiten, die in engen räumlichen Bedingungen durchzuführen sind;
- Baustellenzugang nur über das Nordportal möglich;
- Konflikte zwischen den verschiedenen Tätigkeiten: Betonierung des Kickers, Ausführung des Abdichtungssystems, Ausführung der Konterschale;
- Schnittstelle zwischen den Arbeitsbereichen von Rohbau und BSA.

4.7.3 Ausführung

Aus ausführungstechnischer Sicht sind die folgenden kritischen Aspekte hervorzuheben:

- Lernkurve bei der Ausführung der Arbeiten;
- Verzögerungen bei der Lieferung von Baumaterialien;
- Qualitätsmängel bei den Predalles-Elementen, Notwendigkeit zur Verbesserung verschiedener Ausführungsdetails;
- Anpassung der SCC-Betonrezeptur;
- Schnittstelle zu den BSA-Arbeiten, kontrolliertes Abbauen der Sektoren, Schaden an BSA;
- ehrgeiziges Bauprogramm auf der Grundlage effektiver Arbeitsleistungen;
- Risiko der Nichtwiedereröffnung des Tunnels am Morgen mit wesentlichen Auswirkungen auf den Verkehr (30 km Stau) und daraus resultierenden Schwierigkeiten mit der Öffentlichkeit.

5 Schlussfolgerungen

Die Intervention in bestehenden Bauwerken kann spezifische Risiken mit sich bringen, welche nur nach einer sorgfältigen Beurteilung der Zustandssituation richtig identifiziert werden können.

Beim Tunnel Melide–Grancia sind nur ein paar Jahre nach einer generellen Instandsetzung schon wieder Sanierungsmassnahmen erforderlich.

Die in den Jahren 2010 bis 2013 durchgeführten Abdichtungsinjektionen haben den drainierenden Effekt des Tunnels geändert, sodass im Jahr 2017 der Wasserdruck in der Lage war, einen lokalen Einsturz der Tunnelverkleidung zu verursachen.

Um die Sicherheit des Tunnels für weitere 20 Jahre zu gewährleisten, werden zwischen 2021 und 2023 Überbrückungsmassnahmen durchgeführt: Einerseits wird die relativ anfällige Tunnelverkleidung verstärkt, andererseits werden Entlastungsbohrungen durchge-

- Construction site with activities that must be carried out in tight spatial conditions.
- Construction site access only possible via the northern portal.
- Conflicts between the various activities: concreting of the kicker, construction of the waterproofing system, construction of the counter shell.
- Interface between the work areas of construction and operational and safety equipment.

4.7.3 Construction

From the perspective of construction engineering, the following critical aspects should be emphasised:

- Learning curve during the performance of the work.
- Delays with the delivery of construction materials.
- Quality deficiencies in the predalles elements, necessity to improve various construction details.
- Adaptation of the SCC concrete repair;
- Interface to the operational and safety equipment, controlled dismantling of the sectors, damage to the operational and safety equipment.
- Ambitious construction programme based on effective work performance.
- Risk of the tunnel not reopening in the morning with significant effects on traffic (30 km traffic jam) and resulting difficulties with the public.

5 Conclusions

The intervention in existing structures can entail significant risks, which can only be correctly identified after a thorough appraisal of the status.

In the Melide–Grancia Tunnel, only a few years after a general repair, renovation measures are necessary once again.

The waterproofing injections performed in 2010 to 2013 changed the tunnel's draining effect, so that in 2017 the water pressure was able to cause a local collapse of the tunnel lining.

To ensure the safety of the tunnel for another 20 years, bridging measures will be carried out between 2021 and 2023: on the one hand, the relatively fragile tunnel lining will be reinforced; on the other hand relief drill holes will be implemented in order to reduce the water pressure in the surrounding ground.

The chosen technical solution is highly technically innovative; numerous requirements had to be taken into account in the design, which arose from the significance of the work, in particular the necessity to perform the work only during night-time closures, while the tunnel was open to traffic again during the day. The main challenges were of a logistical nature, as construction and operational and safety equipment work occurred simultaneously, and the tunnel's minimum operating conditions always had to be ensured so that it could be safely reopened during the day.

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale

führt, um den Wasserdruck im umliegenden Gebirge zu reduzieren.

Die gewählte technische Lösung weist einen hohen Innovationsgrad auf; bei der Planung mussten zahlreiche Anforderungen berücksichtigt werden, die sich aus der Bedeutung der Arbeiten ergaben, insbesondere die Notwendigkeit, die Arbeiten nur in Nachtsperrungen auszuführen, während der Tunnel tagsüber wieder für den Verkehr freigegeben wurde. Die Hauptherausforderungen waren logistischer Art, da gleichzeitig Bau- und BSA-Arbeiten stattfanden und die Mindestbetriebsbedingungen des Tunnels stets gewährleistet sein mussten, damit er tagsüber sicher wieder geöffnet werden konnte.

Literatur/References

- [1] Wintersichere Strassenverbindung durch den Gotthard, Schlussbericht der Studiengruppe Gotthardtunnel, September 1963
- [2] Die Abdichtung von Strassentunneln (in der Schweiz angewendete Verfahren), Paul Halter, Sektionschef beim Eidg. Amt für Strassen und Flussbau, Atti del primo convegno internazionale sui problemi tecnici nella costruzione di gallerie, Torino, 26-28 settembre 1969
- [3] Dossier pilote des tunnels, Groupe de Travail des Tunnels de l'Organe Technique Regional de Lyon, Mai 1970
- [4] Developments of road tunnel construction in Switzerland, Report prepared for the Swiss Federal Office for Roads and Rivers, Electrowatt AG, November 1977
- [5] Nachträgliche Abdichtungsmassnahmen an erdberührten Bauwerken mittels Vergelung, P. Trunner, April 2014

PROJEKTDATEN

Region

Kanton Tessin

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Infrastrukturfiliale Bellinzona

Consorzio SAVE:

- Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca
- Boess Engineering AG, Thun

Planung und Bauleitung

Consorzio TILUME:

- Lombardi SA, Giubiasco
- Pini Group SA, Lugano
- AFRY SA, Rivera

Ausführung

Bau: Pizzarotti SA, Bellinzona

BSA: Kummler & Matter ETV SA, Mezzovico

Kenndaten

Bauzeit: 2021–2023

Inbetriebnahme: Ende 2023

Baukosten

Tunnel: ca. 55 Mio. Schweizer Franken (Bau) + ca. 8 Mio. Schweizer Franken (BSA)

Gesamtlänge: 1740 m (jede Röhre)

Ausbruchquerschnitt: Hufeisenprofil (Innenabmessungen B = 10 m, H = 7 m)

Besondere Merkmale

Sanierung bestehender Tunnel nach Niederbruch der Innenschale

PROJECT DATA

Region

Canton of Tessin

Client, project management and senior construction management

Federal Roads Office (FEDRO)

Infrastructure Branch Bellinzona

Consorzio SAVE:

- Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca
- Boess Engineering AG, Thun

Design and construction management

Consorzio TILUME:

- Lombardi SA, Giubiasco
- Pini Group SA, Lugano
- AFRY SA, Rivera

Construction

Construction: Pizzarotti SA, Bellinzona

Operational and safety equipment: Kummler & Matter ETV SA, Mezzovico

Key data

Construction time: 2021–2023

Commissioning: End of 2023

Tunnel construction

costs: approx. 55 million Swiss francs (construction) + approx. 8 million Swiss francs (operational and safety equipment)

Total length: 1.740 m (each tube)

Excavation

cross-section: Horseshoe profile (internal dimensions W = 10 m, H = 7 m)

Special Features

Renovation of existing tunnel after cave-in of the inner lining