Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und Landmanagement

Band: 108 (2010)

Heft: 12: AlpTransit

Artikel: Il ruolo della misurazione nel traforo del Monte Ceneri

Autor: Bernasconi, Cristiano

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-236733

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Il ruolo della misurazione nel traforo del Monte Ceneri

Il ruolo della misurazione, spesso misconosciuto, è da considerare fondamentale nella realizzazione di opere complesse ed esigenti come la galleria ferroviaria del Monte Ceneri. Nelle fasi preliminari, gli specialisti della misurazione sono chiamati a rilevare e fornire i geodati di base necessari per la progettazione, poi a definire le reti esterne di punti fissi di riferimento ed a tracciare i punti principali in galleria per garantire un corretto orientamento dei lavori di scavo. Inoltre, durante l'avanzamento, devono essere verificati i profili del tunnel e monitorati i manufatti a cielo aperto (esistenti ed in costruzione) in modo da poter riconoscere tempestivamente eventuali deformazioni. Infine, si devono posare e determinare con estrema precisione (sotto il millimetro) i punti di riferimento per la posa dei binari e tutti gli impianti tecnici della ferrovia ad alta velocità.

Le rôle souvent négligé des mesurages est cependant un élément essentiel dans le cadre de la réalisation d'ouvrages complexes et éxigeants tel que le tunnel ferroviaire du Monte Ceneri. Lors des phases de préparation les spécialistes de la mensuration sont tenus de fournir pour le projet les données géodésiques nécessaires: ils doivent donc définir les réseaux extérieurs des points de référence fixes et déterminer les points les plus importants dans la galerie afin de garantir une orientation correcte des travaux de creusage. En outre les profils du tunnel doivent être surveillés pendant l'avancement des travaux et les ouvrages à l'air libre contrôlés (aussi bien les existants que ceux en cours de réalisation) afin de détecter à temps d'éventuelles déformations. Enfin il y a lieu de définir et fixer avec une extrème précision les points de référence (avec une tolérence en dessous du millimètre) pour la pose des rails et pour toutes les installations techniques du train à grande vitesse.

C. Bernasconi

Introduzione

Il traforo ferroviario di base del Monte Ceneri si sviluppa su una lunghezza di 15,4 km e comporta lo scavo complessivo di ca. 40 km di gallerie e cunicoli (fig. 1). Il portale nord si trova sul piano di Magadino, in territorio di Camorino ad una quota di ca. 220 m.s.l.m, mentre il portale sud si trova a Vezia, ad una quota di ca. 330 m.s.l.m. Per questioni tecniche e logistiche, gran parte dello scavo sarà eseguito a partire dall'attacco intermedio di Sigirino, dove attraverso una galleria di 2,3 km (la cosiddetta «finestra di Sigirino»), si raggiunge il cuore dell'opera: la caverna operativa centrale.

Gli specialisti della misurazione sono stati coinvolti nel progetto fin dall'inizio degli anni novanta del secolo scorso, per allestire la cartografia di base necessaria per la progettazione di massima del tunnel e delle vie d'accesso. La tecnica di rilievo adottata fu quella della fotogrammetria aerea che permise di realizzare in tempi relativamente brevi modelli topografici precisi del vasto perimetro interessato e centinaia di profili e sezioni del terreno da mettere a disposizione dei progettisti.

Nel 1995, le Ferrovie Federali Svizzere aprirono un concorso pubblico per assegnare ad un rappresentante esterno il ruolo di geometra del committente e quindi la responsabilità dei lavori di misurazione legati alla realizzazione vera e propria della galleria. Il concorso fu vinto da COGESUD, un consorzio tutto ticinese composto da cinque studi d'ingegneria specializzati in misurazione (vedi riquadro).

La prima fase dei lavori di COGESUD riguardò l'allestimento delle reti dei punti fissi di riferimento, vale a dire un'ossatura affidabile sulla quale basare tutti i lavori di misurazione futuri. Subito dopo fu eseguito il primo traforo (il «cunicolo di prospezione» di Sigirino, lungo 2,7 km) necessario per le indagini geologiche e geotecniche preliminari. Con quest'opera, gli specialisti di COGESUD furono chia-

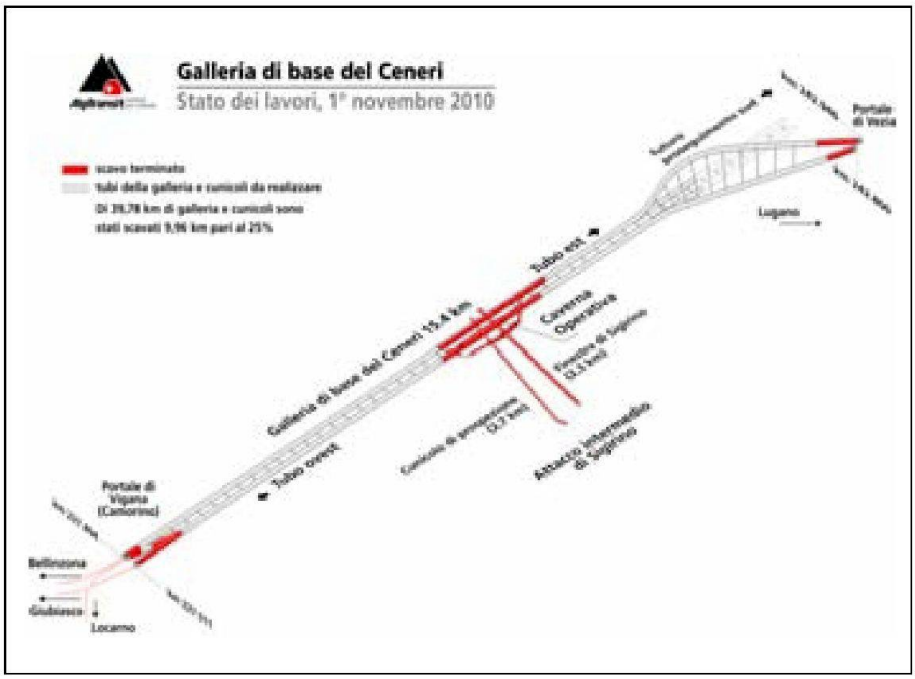

Fig. 1: Schema della galleria di base del Ceneri.
Abb. 1: Schema des Ceneri-Basistunnels.

mati ad eseguire le prime misurazioni in galleria, indispensabili per guidare con precisione lo scavo fino alla posizione della futura caverna operativa centrale.
In seguito, e fino ad oggi, COGESUD ha svolto i suoi compiti contrattuali di sostegno del committente (diventato in seguito AlpTransit San Gottardo SA) occupandosi delle diverse problematiche legate alla misurazione sia dal lato concettuale, sia da quello esecutivo e organizzativo. L'interlocutore diretto di COGESUD è la sezione «Geomatica» del committente (ATG-Geomatica). Con l'inizio dello scavo del lotto principale del Monte Ceneri, nel corso del 2010, i lavori sono da poco entrati nella loro fase più complessa e affascinante.

Reti dei punti fissi

ReteSUD

La rete planimetrica di base per l'esecuzione della galleria del Monte Ceneri è costituita dalla ReteSUD, che si compone di 24 punti fissi situati tra Biasca e Lugano e fa parte della rete di riferimento generale di AlpTransit tra Erstfeld e Lugano. I complessi lavori di determinazione di questa rete sono stati iniziati da AlpTransit San Gottardo e da COGESUD già a metà degli anni '90. Data la delicatezza del compito, in un primo tempo è stato coinvolto come consulente anche il Politecnico federale di Zurigo (ETHZ). Sono state portate a termine diverse campagne di misurazione, con metodo satellitare e terrestre, ed eseguite parecchie varianti di calcolo al fine di ottenere delle basi geodetiche di riferimento il più omogenee ed affidabili possibile. La precisione interna di questa rete è di ±1 cm.

ReteSUD altezze

Nell'ambito della costruzione della galleria di base del Ceneri era pure necessario realizzare un quadro di riferimento altimetrico per i lavori di livellazione esterni e sotterranei. Quale lavoro preliminare, COGESUD ha commissionato all'Ufficio federale di topografia (swisstopo) l'incarico di valutare i fattori che determinano lo scarto teorico al momento del collegamento degli avanzamenti in galleria, segnatamente l'influsso gravimetrico e l'influsso di eventuali forzature nelle quote dei punti fissi del quadro di riferimento nazionale LF02. Dal rapporto di swisstopo si sono tratte le conclusioni che i diversi influssi si compensano in gran parte, dando origine ad uno scarto teorico trascurabile. Si è dunque deciso che l'uso del quadro di riferimento LF02 consentiva il raggiungimento della precisione richiesta. Nel luglio 2004, per verificare eventuali assestamenti locali tra i gruppi di punti fissi LF02, sono state eseguite delle livellazioni di verifica ai tre portali. Le verifiche hanno evidenziato solo dei movimenti minimi.

Reti di portale e di cantiere

Per poter garantire un tracciamento ineccepibile dei punti principali in galleria e anche per collocare in modo preciso tutte le opere annesse è però necessaria una densità maggiore di punti fissi. Per questi motivi, ai portali della galleria e dei cunicoli d'accesso, la rete di base è stata infittita, dando forma alle rispettive reti di portale (di alta precisione, determinante per il tracciamento in galleria) e di cantiere (con esigenze minori, piuttosto per i bisogni delle opere esterne). In queste reti deve essere mantenuta libera la visuale fra i punti stessi (non sempre evidente in cantieri così complessi) nonché la visuale su alcuni punti lontani necessari all'orientamento. La stabilità delle zone dove dovevano essere posati i nuovi punti di misurazione è stata valutata con il contributo di un geologo.
A fine 2005 sono state misurate le reti altimetriche di cantiere, mediante livellazione. Esse comprendono alcuni punti fissi altimetrici della livellazione federale e nuovi punti principali assicurati in roccia nei pressi dei portali. Nella tratta Biasca – Lugano sono stati materializzati in totale 42 nuovi punti altimetrici principali. I punti altimetrici federali sono stati usati come punti di appoggio, ma la rete è stata preservata da tensioni mediante un calcolo libero. Le differenze con le quote ufficiali LF02 sono inferiori ai 3 mm.
In seguito, negli anni 2007 e 2008 sono state determinate le reti planimetriche di portale e di cantiere a Sigirino, Camorino e Vezia. Queste sono integrate nella rete di base tramite misurazioni satellitari e terrestri.

Portale di Sigirino

Da Sigirino viene tracciata gran parte della galleria e per questo la rete di portale riveste particolare importanza. La rete di base era già stata parzialmente densificata in occasione del tracciamento del cunicolo di prospezione, ma per la nuova finestra principale d'accesso sono occorse alcune modifiche importanti. Sono stati aggiunti quattro punti nuovi, fra cui il pilastrino principale, collocato su un promontorio sul prolungamento della finestra, dal quale parte la poligonale per le misurazioni in galleria. Inoltre è stata fissata una base di referenza per il giroscopio, il quale servirà in seguito per dei controlli indipendenti dell'orientamento durante i lavori in galleria. Questa base di referenza misura ca. 500 m e comprende due pilastrini a sud della zona del portale.

Portale di Camorino (Vigana)

Secondo i piani di lavoro previsti, dal portale di Camorino si scaveranno solo poche centinaia di metri di galleria. In funzione degli altri avanzamenti, è possibile un prolungamento opzionale di 2 km in direzione sud. A Camorino sono stati predisposti tre nuovi pilastrini di misurazione, situati in roccia sul fianco della montagna sopra ai portali. Questo pendio rappresenta l'unica zona circostante geologicamente stabile. I nuovi punti fissi creano una buona base per la determinazione dei necessari punti di portale sul Piano di Magadino, i quali, situati in una zona alluvionale soggetta ad assestamenti, non possono essere considerati assolutamente stabili e devono essere rideterminati ad ogni intervento.

Portale di Vezia

L'imbocco di Vezia, costituito da portale, galleria artificiale e galleria naturale, raggiunge in totale ca. 500 m di lunghezza. Il tracciamento della galleria naturale av-

Fig. 2: Tracciamento in galleria.
Abb. 2: Absteckung im Tunnel.

viene dal portale, poiché la galleria artificiale sarà costruita in un secondo tempo nella trincea scavata preliminarmente. La situazione esterna non lasciava molto margine di manovra per la collocazione di una rete di portale stabile e sicura. Un punto fisso è stato posato sull'unico affioramento roccioso esistente, lungo la ferrovia a nord dei portali. Il punto di portale è stato posato abbastanza lontano, in un prato nel prolungamento del futuro asse della galleria, oltre l'autostrada in direzione di Lugano.
La particolarità di questo cantiere è quella di sovrapporsi, spazialmente e temporalmente, a quello per la costruzione della galleria stradale Vedeggio – Cassarate. Questa situazione ha richiesto un importante sforzo di coordinazione anche da parte dei responsabili delle misurazioni.

Tracciamento dei punti principali in galleria

Il tracciamento dei punti fissi in galleria è forse il compito più delicato e nel contempo più affascinante di COGESUD (fig. 2). Infatti, tutto il lavoro delle imprese di costruzione impegnate nell'opera si basa su questi punti per orientare in modo corretto la direzione di scavo. In qualità di geometra del committente, COGESUD deve garantire che lo scavo della galleria arrivi, con precisione centimetrica, dove i progettisti l'hanno previsto: al momento dell'incontro dei fronti d'avanzamento, l'errore di sfondamento massimo consentito è di 25 cm!

I punti fissi all'interno della galleria sono materializzati ca. ogni 200 m con bulloni sul fondo roccioso, in appositi pozzetti protetti da chiusini. Ulteriori punti d'assicurazione, che servono a verificare la stabilità dei punti principali, sono applicati sulle pareti. Le quote dei punti principali in galleria sono determinate tramite una livellazione, allacciata ai punti fissi altimetrici della rete di portale.
Per la determinazione planimetrica, si misura una poligonale complessa (fig. 3), con stazioni a centraggio forzato. Questa poligonale parte dal punto di portale e comprende misure multiple e ripetute sul maggior numero possibile di punti, in modo da ottenere la necessaria ridondanza e minimizzare il rischio d'errore. Dal punto di portale sono necessarie delle misure da e verso i punti della rete di portale e verso i primi punti della rete sotterranea, così da ottenere un collegamento molto accurato tra esterno ed interno. Poi, all'interno della galleria non esistono più possibilità di controllo con punti esterni della Rete SUD e tutto si deve basare sulla precisione e sull'affidabilità delle misure. Le regole di sicurezza per evitare errori sono molte, spesso anche molto semplici: ad esempio si misura almeno due volte l'altezza dello strumento o si calcolano i necessari tempi di acclimatamento degli strumenti in caso di cambiamenti di temperatura. Tutti i dettagli sono importanti e devono essere annotati!
Nella fase di calcolo si valuta la precisione interna delle misurazioni eseguite tramite una compensazione libera. In casi rari, e solo sulla base di solide motivazioni, misure contraddittorie possono essere eliminate. In seguito si controlla se il modello stocastico, contenente tutti i parametri di precisione a priori (in base allo strumento utilizzato e alle condizioni di lavoro) si conferma corretto e si procede alla compensazione globale, nella quale vengono integrati anche altri parametri tecnici specifici quali la deviazione della verticale, l'ondulazione del geoide e la riduzione delle distanze dovuta alla proiezione cartografica svizzera.

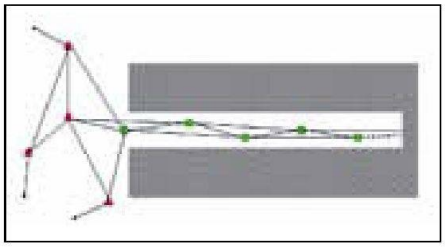

Fig. 3: Schema di poligonale complessa.
Abb. 3: Schema des übergreifenden Polygonzuges.

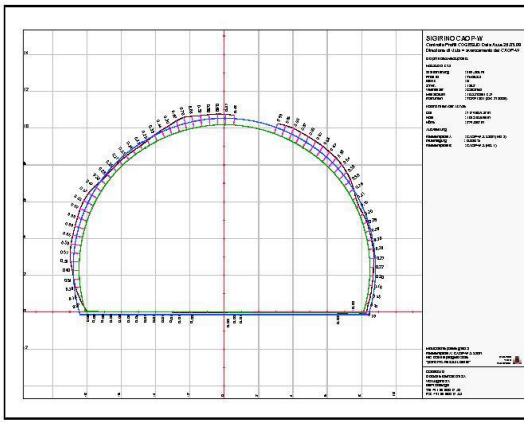

Fig. 4: Verifica dei profili di scavo.
Abb. 4: Kontrolle der Ausbruchprofile.

Verifica dei profili di scavo

Con il tracciamento dei punti principali in galleria sono spesso combinate le verifiche dei profili di scavo (parete grezza) o dei diversi rivestimenti. Partendo dalle coordinate dei punti conosciuti vengono rilevati con un sistema di misurazione laser i profili richiesti dalla direzione lavori. Questi profili vengono poi elaborati con il supporto di programmi informatici specifici (TMS) e confrontati con i profili di riferimento definiti dai progettisti (fig. 4). In questo modo è possibile valutare l'accuratezza dello scavo e quantificare i volumi di rivestimento (calcestruzzo) necessari.

Monitoraggio di manufatti

Un altro compito importante di COGESUD è il monitoraggio della stabilità di opere a cielo aperto che accompagnano la costruzione della galleria di base del Ceneri. Nella categoria degli oggetti da moni-

Fig. 5: Monitoraggio sui cantieri.
Abb. 5: Überwachung auf den Baustellen.

Fig. 6: La trincea di Vezia.
Abb. 6: Voreinschnitt Vezia.

torare rientrano centinaia di edifici o manufatti esistenti nelle zone sensibili del progetto, per i quali vengono allestite delle «prove a futura memoria» dove si documentano, anche con l'aiuto di precisi rilievi topografici, lo stato attuale delle cose e gli sviluppi che occorrono nel corso del tempo.

Oltre agli oggetti esistenti, devono essere monitorati in corso di costruzione numerosi oggetti nuovi come muri, viadotti o altri manufatti che fanno parte delle opere annesse alla galleria nelle zone dei portali o lungo la linea ferroviaria rinnovata (fig. 5).

Fra questi possiamo citare il monitoraggio della trincea di Vezia (figura 6). L'elaborazione di questo progetto di sorveglianza non è stata semplice poiché tutta la zona circostante è potenzialmente instabile (a causa anche dei due grandi cantieri in corso) e quindi la localizzazione di punti fissi ha posto parecchi problemi. Inoltre, lo scavo relativamente profondo (oltre 20 m), la curvatura della trincea, le infrastrutture e le attività del cantiere impedivano molte visuali. A dispetto di questa situazione, le esigenze di precisione poste dai progettisti nel riconoscere eventuali movimenti dei punti da sorvegliare erano molto alte (deviazione standard semplice per la determinazione di un punto: ± 1–2 mm). Con un adeguato infittimento della rete di cantiere ed una complessa configurazione di punti fissi ausiliari e stazioni di misura (la cui posizione era da rideterminare ad ogni intervento) si è riusciti ad allestire una rete di sorveglianza adatta allo scopo. Il ritmo di misurazione è stato quindicinale all'inizio dello scavo per poi rallentare fino agli attuali interventi trimestrali.

Un altro esempio di monitoraggio è la parete palificata ancorata, costruita, sempre nel cantiere di Vezia, ad un centinaio di metri a sud del portale della galleria. Siccome a monte della parete si trova la linea ferroviaria FFS che rimane costantemente operativa, è importante controllare la stabilità dell'opera. Con misurazioni trigonometriche appoggiate sulla rete di punti fissi di portale, COGESUD consegna attualmente ogni due settimane ai progettisti gli spostamenti di alcuni punti scelti della parete. La precisione richiesta per la determinazione delle coordinate è analoga a quella dei punti della vicina trincea.

Controllo tracciamenti e rilievi speciali

COGESUD, quale geometra del committente, ha anche il mandato da AlpTransit San Gottardo SA di verificare che tutte le opere siano realizzate al posto giusto e con la precisione richiesta dagli ingegneri progettisti, ciò significa che posizione e

Fig. 7: Visualizzazione 3D del deposito di Sigirino.
Abb. 7: 3D-Darstellung der Deponie Sigirino.

CO.GE|SUD|

Membri del consorzio
- Gisi e Bernasconi ingegneria e misurazioni SA
  Via Lugano 2a, 6924 Sorengo
- Studio Meier SA
  Via Architetto Frizzi 26, 6648 Minusio
- Studio d'ingegneria Antonio Barudoni
  Via San Gottardo 20, 6600 Muralto
- Studio d'ingegneria Antonio Bottani
  Via Stazione 7, 6987 Caslano
- Studio d'ingegneria Maderni-Capezzoli-Forrer Sagl
  Via San Salvatore 3, 6900 Massagno

Caratteristiche del consorzio
- Personale specializzato e sperimentato
  12 ingegneri / 40 collaboratori tecnici / 8 collaboratori amministrativi
- Gamma completa di prestazioni nell'ambito della misurazione
  misurazioni geodetiche classiche / fotogrammetria / laser scanning terrestre
- Prontezza d'intervento e flessibilità
  ca. 150 interventi (5000 ore) / anno

Compiti contrattuali
- Mettere a disposizione i dati di base geodetici e topografici necessari per la progettazione e la costruzione del tunnel e delle opere annesse.
- Verificare che tutti gli impianti previsti siano realizzati al posto giusto e con la precisione richiesta.
- Riconoscere e sorvegliare eventuali deformazioni riguardanti il territorio e altri oggetti interessati, prima, durante e dopo l'esecuzione dei lavori.

Attività principali
- Determinazione di reti di punti fissi
  Rete di base / Reti di portale / Reti di cantiere
- Tracciamento dei punti principali e controllo dei profili in galleria
- Controllo dei tracciamenti delle imprese di costruzione per le opere a cielo aperto e per gli impianti di tecnica ferroviaria
- Prove a futura memoria e monitoraggio di manufatti ed opere annesse
  livellazioni / rilievi trigonometrici / rilievi fotografici
- Picchettazione delle superfici da espropriare e modinatura dei progetti a cielo aperto per le procedure di pubblicazione
- Rilievi speciali per i progettisti
  modelli topografici / scansioni laser / restituzioni fotogrammetriche / ortofoto

quota di tutto ciò che viene costruito nei cantieri deve essere controllato regolarmente. Questi interventi sono coordinati dalle direzioni lavori locali, che svolgono un prezioso ed efficace ruolo di intermediario fra imprese di costruzione, progettisti e COGESUD.

Nel corso del tempo, gli specialisti della misurazione sono stati anche incaricati di eseguire rilievi particolari: ad esempio, la produzione di un modello 3D del deposito principale di materiale di Sigirino, del quale si voleva realizzare un filmato virtuale su come apparirebbe alla fine dei lavori (fig. 7).

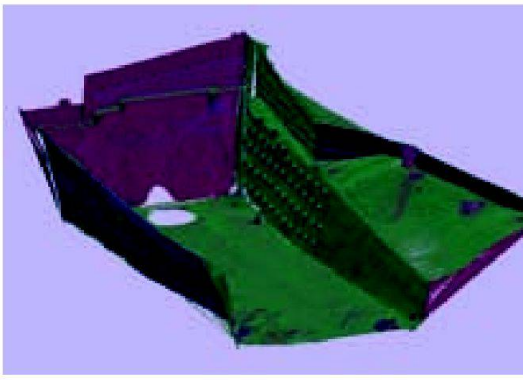

Fig. 8: Scansione laser della trincea di Vezia.
Abb. 8: Laserscan des Voreinschnittes Vezia.

Un'altra tecnica di misurazione particolare è quella della scansione laser terrestre, applicata nell'ambito delle prove a futura memoria per documentare ad esempio lo stato di rivestimento e geometria delle strade, oppure, nel caso della trincea di Vezia, per una precisa determinazione dei volumi e dei profili scavati (fig. 8).

Infine, non si possono dimenticare i lavori legati al controllo di tracciamento degli impianti di tecnica ferroviaria (binari) in galleria, cronologicamente ancora lontani, ma che dal punto di vista della misurazione costituiscono un'ultima sfida importante. Infatti, i cosiddetti punti di assicurazione dei binari dovranno essere determinati con precisione sub-millimetrica e serviranno poi anche negli anni successivi alle Ferrovie Federali Svizzere per i lavori di manutenzione della linea, sulla quale dovranno sfrecciare i treni, in tutta sicurezza, ad oltre 200 km orari!

Cristiano Bernasconi
ing. dipl. ETH
Capo progetto
Consorzio COGESUD
Via Lugano 2a
CH-6924 Sorengo
info@aggeo.ch