Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2003)

Heft: 2-3

Artikel: Analisi geotecnica : influsso sulla longevità e sui costi dell'opera

Autor: Franscini, Andrea

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-132684

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: 15.07.2025

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

Analisi geotecnica: influsso sulla longevità e sui costi dell'opera

Andrea Franscini
CSD Tre Laghi SA, ingegneri e geologi,
Lugano-Bellinzona

Introduzione

I due oggetti presentati di seguito illustrano due modi differenti di considerare l'aspetto geotecnico nella progettazione e nella realizzazione di un'opera, e le relative conseguenze sui costi dell'intervento e sulla sua longevità. Nell'analisi di questi due oggetti viene messa in evidenza l'importanza di un sistema di monitoraggio come parte integrante del metodo di costruzione, che dev'essere accompagnato da un'analisi geotecnica realizzata a tempo debito, in modo da pianificare già a livello di progettazione i provvedimenti necessari senza dover ricorrere a interventi integrativi in corso d'opera.

Il primo oggetto ha dovuto essere realizzato in tempi estremamente brevi: in fase di progettazione l'aspetto geotecnico ha di conseguenza avuto nella progettazione un ruolo relativamente marginale. Le difficoltà incontrate durante la realizzazione dell'opera, composta da diversi manufatti, sono state affrontate singolarmente con l'avanzamento dei lavori di costruzione. Il sistema di monitoraggio, attivato recentemente, mette in evidenza la necessità di considerare globalmente il problema geotecnico e quindi di coordinare le misure di risanamento oggi necessarie. La mancanza a suo tempo di questo tipo di approccio a livello di progettazione non solo ha portato in tempi relativamente brevi alla necessità di un risanamento delle strutture, ma ha comportato un'esecuzione poco efficace e costosa.

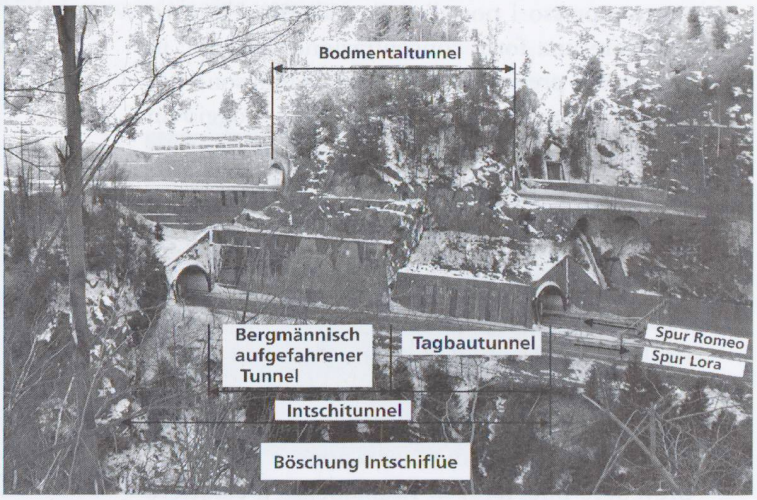
Il secondo oggetto invece evidenzia come la collaborazione, già nelle fasi progettuali, tra geotecnico e progettista abbia permesso di individuare in anticipo i possibili imprevisti; si è quindi potuto elaborare un piano d'intervento già a livello di progettazione. Ciò permette di rendere il sistema di monitoraggio sensibilmente più efficace e di ridurre i costi d'intervento.

Oggetto 1: interventi di risanamento di manufatti lungo l'autostrada A2, tratta Amsteg-Meitschligen (UR)

Committente: Divisione delle costruzioni del Canton Uri, Sezione della direzione lavori

Situazione iniziale

La tratta autostradale A2 del San Gottardo in territorio di Uri, tra Amsteg e la galleria Intschi II si snoda lungo il fianco sinistro della valle della Reuss. La tratta è caratterizzata da un susseguirsi di manufatti di diverso genere tra cui: gallerie naturali, gallerie artificiali realizzate a cielo aperto, viadotti e terrapieni. Dal punto di vista geologico questa zona è costituita da gneis fortemente metamorfizzati che appartengono al massiccio dell'Aar. Essendo l'autostrada in esercizio da ormai più di trent'anni, risultano inevitabili un certo invecchiamento e l'usura delle opere, il conseguente manifestarsi di fenomeni di degrado quali fessurazioni con venute d'acqua nelle gallerie, assestamenti dei muri di sostegno, spaccature e distacchi superficiali nelle diverse strutture in calcestruzzo. Vista la complessità delle opere e l'estensione dei fenomeni di degrado, la Divisione delle costruzioni del Canton Uri ha ritenuto necessaria una valutazione complessiva della situazione. È perciò stato costituito un gruppo di lavoro interdisciplinare con lo scopo di chiarire le cause dei danni riscontrati ed



1 – Situazione A2 Amsteg-Meitschligen

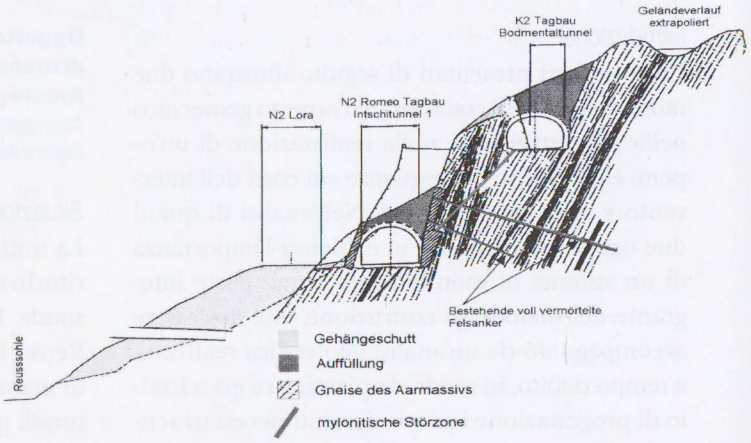
elaborare un piano d'intervento per il risanamento delle opere. In questo testo vengono illustrati i problemi di stabilità e le misure di risanamento adottate per i manufatti dell'autostrada e della strada cantonale in prossimità della galleria Bodmental (fig. 1). Già durante la costruzione dell'autostrada negli anni 1967-1968 in prossimità del portale Nord del tunnel Intschi I, corsia Romeo (direzione Gottardo), a causa della presenza nella sezione di roccia di strati labili si sono verificate notevoli deformazioni nei diversi manufatti realizzati. Si sono inoltre riscontrati danni lungo la strada cantonale, in particolar modo all'altezza della galleria Bodmental. I geologi hanno rilevato la presenza di strisce milonitiche e scistose della roccia che sono all'origine della precaria stabilità della scarpata nella zona. A suo tempo la messa in opera di ancoraggi ha permesso di ridurre le deformazioni in modo soddisfacente (fig. 2).

Valutazione dello stato attuale

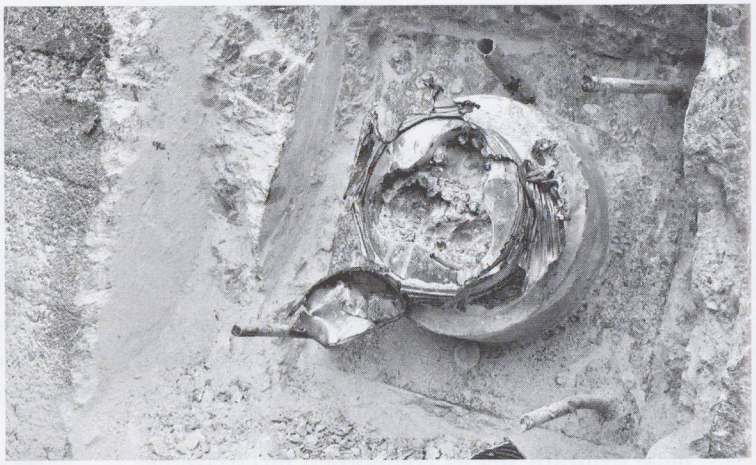
Gli ancoraggi della prima generazione sono stati concepiti come misure di sicurezza permanente. Per questo motivo si è deciso di ricorrere all'impiego di ancoraggi da roccia iniettati con miscela cementizia lungo la loro intera lunghezza. Non sono però stati equipaggiati con sistemi di monitoraggio. Di conseguenza non si è in possesso di alcuna informazione sullo stato degli ancoraggi e sulla loro attuale sicurezza strutturale. Nel frattempo sono stati riscontrati nuovi danni al portale della galleria Intschi I: diverse fessure e piccole deformazioni presso il portale della tratta a cielo aperto della corsia Romeo. Gli studi di stabilità effettuati nel 2002 hanno mostrato che gli ancoraggi, allo stato attuale, possono ancora essere considerati funzionanti (fig. 3). La rottura di un ancoraggio porterebbe però al cedimento progressivo di altri ancora, minacciando così la stabilità delle opere, inclusa la galleria Bodmental. Su tutta la tratta e presso i portali della galleria si può riscontrare una forte concentrazione di danni: in particolare presso il portale Sud i danni sono dovuti ad uno spostamento a valle dell'appoggio (in fase di costruzione). Inoltre è stato evidenziato un dimensionamento insufficiente del rivestimento definitivo della galleria (arco in calcestruzzo).

Pianificazione delle misure di risanamento

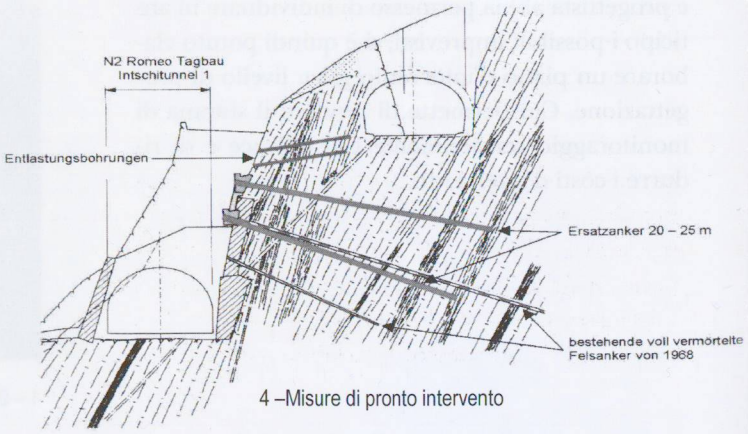
Poiché lo stato degli ancoraggi non è verificabile risulta indispensabile elaborare un piano di risanamento a corto termine. Siccome è inconcepibile lo sviluppo di un nuovo concetto viario a causa dei lunghi tempi di realizzazione, è necessario prevedere interventi di risanamento a carattere permanente. La spinatura della roccia risulta rischiosa perché in caso di rottura progressiva degli attuali ancoraggi la galleria del Bodmental subirebbe forti deformazioni e, di conseguenza, danni rilevanti. Si è quindi optato per una soluzione che prevede la sostituzione progressiva degli attuali ancoraggi combinata con il rinforzo dei muri in calcestruzzo armato e la contemporanea realizzazione di una trave in calcestruzzo armato come mezzo di sostegno della roccia.



2 – Profilo geologico (dr. Franz Keller, Büro für Technische Geologie Dr. M. Kobel&Partner AG)



3 – Ancoraggio della prima generazione



4 –Misure di pronto intervento

Oggetto 2: Costruzione dello stabile amministrativo Titanic II, Monbijoustrasse 72+74, 3001 Berna

Committente: Ufficio federale delle costruzioni e della logistica

Mandato

Negli anni Novanta, presso l'area di costruzione Emloch, nel quartiere Monbijou a Berna l'Ufficio federale delle costruzioni e della logistica ha commissionato la costruzione di un imponente edificio amministrativo di dieci piani, quattro dei quali sotterranei. Le fondamenta raggiungono una profondità di circa 7 metri sotto il livello di falda. Si tratta di una costruzione di 127 metri di lunghezza per 28 di larghezza. Nell'ambito di questo progetto la CSD ha svolto le seguenti attività:

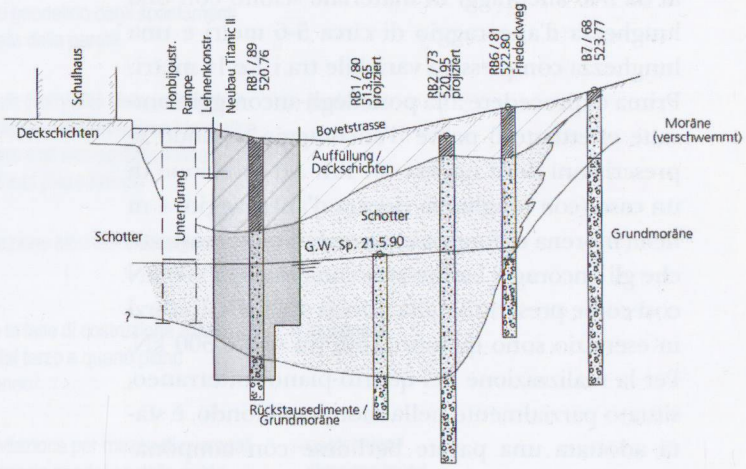
- indagini geologiche e idrogeologiche preliminari ed indagine geognostica;
- consulenza geotecnica nella scelta e nel dimensionamento del sistema di sostegno della fossa e della gestione delle acque;
- indagine idrogeologica e dimensionamento del sistema di abbassamento dell'acqua di falda con impianto di reinfiltrazione dell'acqua di raffreddamento;
- piani di controllo e sicurezza, concetto di monitoraggio del sistema di sostegno dello scavo e di gestione delle acque;
- accompagnamento geotecnico, misurazioni di controllo, come pure monitoraggio del livello di falda e delle sorgenti durante l'esecuzione dei lavori.

La situazione geologica e idrogeologica, come pure la problematica geotecnica per gli scavi in profondità in materiale sciolto sotto il livello di falda, in centri urbani, condizionano la scelta del metodo di costruzione e la programmazione dei singoli interventi. Inoltre il metodo di costruzione deve tener conto delle possibili conseguenze sugli edifici circostanti, i loro impianti ed infrastrutture.

Situazione geologica e idrogeologica

La sezione geologica trasversale (fig.6) mostra le condizioni del terreno nella sezione di valle lungo la quale una volta scorreva il riale Sulgenbach. Dai sondaggi in profondità si è potuto rilevare che lo strato alla base del sondaggio è costituito da sedimenti glaciali (morena di fondo) a carattere argilloso-limoso e limoso-sabbioso con scarsa permeabilità. Sopra di esso troviamo uno strato di ghiaia di spessore variabile tra gli 8 e i 13,5 metri a forma di canale. Lo strato superiore si compone di depositi alluvionali a carattere limoso-sabbioso e sabbioso-ghiaioso misto a materiale di ripieno per uno spessore variabile tra i 2 e i 5,8

5 – Situazione



6 – Ancoraggio della prima generazione

7 – Cantiere «Titanic II»

metri. Il livello di falda è stato misurato ad ovest a una quota di 513,2 metri, mentre ad est esso raggiunge una quota di 512,4 metri: ne risulta un flusso in direzione ovest-est con un gradiente idraulico del 7 ‰. La prova di pompaggio ha rilevato una permeabilità dello strato ghiaioso di 2 x10-3 m/s. Lo strato ghiaioso che si trova nel bacino del Sulgenbach risulta essere un corpo drenante che agisce quale sistema di scarico dell'acqua di falda proveniente dal bacino del Mattenhof.

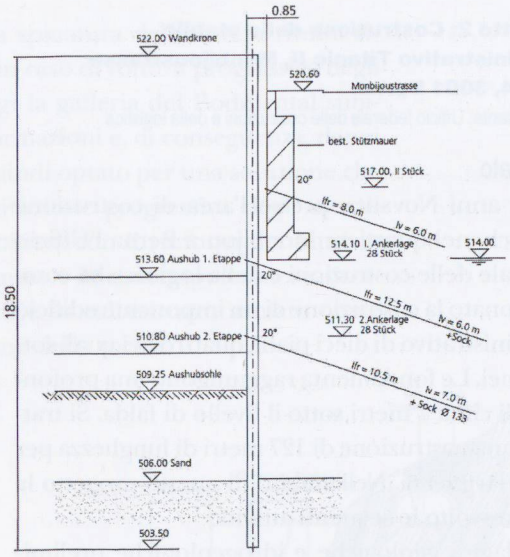
Aspetti costruttivi

Sistema di sostegno della fossa

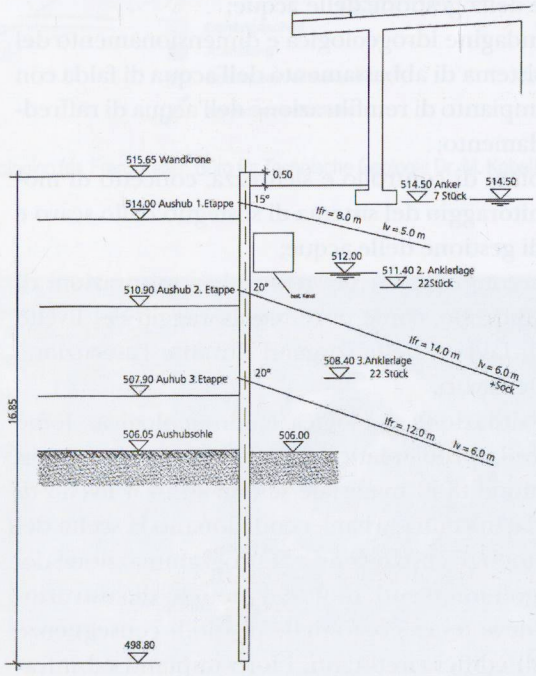
A causa delle condizioni idrogeologiche non è stato possibile realizzare un sistema di sostegno dello scavo permanente sotto la platea, eccezion fatta per un'area ridotta all'angolo nord-est davanti all'edificio numero 70 di Monbijoustrasse. È stata quindi realizzata una soluzione combinata che prevede una paratia di pali intersecati davanti all'edificio numero 70 e una parete di palancole ancorata per il resto della fossa. I pali e le palancole sono stati infissi nella morena di fondo in modo tale da rendere la fossa praticamente impermeabile. La stabilità delle pareti della fossa è garantita da 340 ancoraggi in materiale sciolto con una lunghezza d'ancoraggio di circa 5-6 metri e una lunghezza complessiva variabile tra i 7 e 14 metri. Prima di procedere alla posa degli ancoraggi, sono state effettuate 6 prove d'ancoraggio secondo le prescrizioni della norma SIA 191. Ad eccezione di un caso (con lunghezza ridotta d'ancoraggio: 4 m nella morena di fondo) le prove hanno dimostrato che gli ancoraggi hanno retto una forza di 900 kN così come prescritto dalla norma SIA 191. Gli sforzi in esercizio sono quantificabili tra 450 e 500 kN. Per la realizzazione del quarto piano sotterraneo, situato parzialmente nella morena di fondo, è stata adottata una parete berlinese con tamponamenti in calcestruzzo quale rivestimento esterno.

Abbassamento del livello di falda

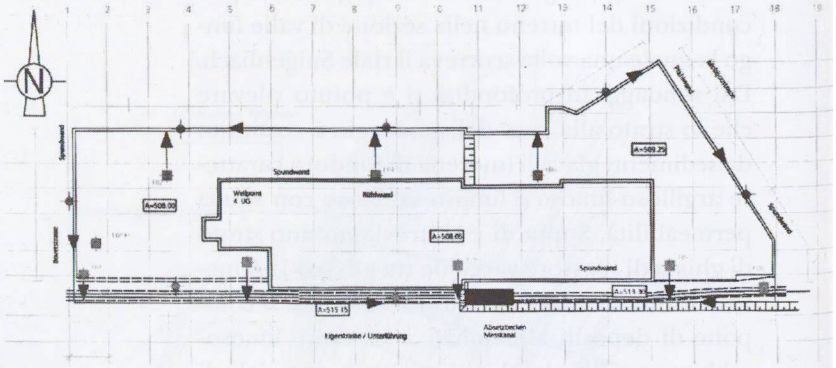
Il livello di falda nella ghiaia è stato abbassato mediante sette pozzi filtranti di grosso diametro (diametro 700 mm; filtro 400 mm). Per abbassare ulteriormente il livello di falda nella morena di fondo si è dovuto ricorrere ad un impianto *well-point*. Secondo le prescrizioni per la protezione delle acque sotterranee, la portata d'acqua pompata è stata rilevata in continuo con appositi apparecchi. La portata iniziale per il prosciugamento dell'area della fossa era di 3'100 l/min, in seguito per il mantenimento del livello di falda prestabilito è stato necessario pompare 2'100 l/min. La portata reale è stata comunque inferiore ai valori previsti.



8 – Parete di palancole (sezione 2)



9 – Parete di palancole (sezione 5)



10 – Sistema di sostegno della fossa e gestione delle acque

L'acqua pompata ha potuto essere immessa nell'Aar attraverso il canale Könizbach dopo un trattamento in un bacino di decantazione.

Misure contro la sottospinta idrostatica

Ad opera conclusa, il peso dell'edificio garantisce la sicurezza necessaria per contrastare la sottospinta idrostatica. Per motivi idrogeologici ed in seguito a considerazioni di ordine economico, già durante la fase di progettazione si è cercato di rendere il periodo di pompaggio il più breve possibile: si è quindi deciso di allagare il quarto ed in parte il terzo piano sotterraneo durante la costruzione stessa dell'edificio, in modo tale da garantire un contrappeso sufficiente alla sottospinta idrostatica.

Grazie a questa soluzione si è ridotto di un anno il periodo di pompaggio e sono stati effettuati grossi risparmi nei costi per la gestione delle acque. La chiusura dei pozzi di captazione, preparata minuziosamente e realizzata in modo spettacolare, è avvenuta grazie all'impiego dei sommozzatori della polizia di Berna, che hanno colto l'occasione per effettuare un'esercitazione.

Concetto di monitoraggio della fossa

In base ai possibili scenari di pericolo, sono stati stabiliti un piano di sicurezza e un piano di controllo in cui sono chiaramente definite le responsabilità, come pure le misure di monitoraggio. Esse sono riassunte nella tabella seguente:

situazioni di rischio	**criteri**	**misura d'intervento**	**responsabile**
– assestamenti dell'edificio	– assestamenti ammissibili – stima degli assestamenti	– fondazione realizzata con una massiccia platea in cemento armato	– geotecnico
– stabilità della fossa	– dimensionamento – deformazioni delle pareti della fossa	– ancoraggio – test di tenuta in trazione dell'ancoraggio – monitoraggio dell'ancoraggio – monitoraggio delle deformazioni delle pareti (posa di 6 inclinometri) – controllo geodetico degli spostamenti della testa della parete	– ingegnere / geotecnico
– sifonamento	– pressione idrostatica e idrodinamica	– sufficiente profondità della palancolata – monitoraggio della pressione idrostatica all'esterno e all'interno della fossa (posa di tubi piezometrici)	– geotecnico
– gestione delle acque	– garanzia della continuità dell'esercizio di pompaggio	– alimentazione elettrica d'emergenza	– impresario costruttore
– sicurezza contro la sottospinta idrostatica	– livello di falda per il dimensionamento: quota 514.00-514.50	– durante la fase di costruzione allagemento del terzo e quarto piano sotterraneo	– ingegnere
– assestamenti degli oggetti circostanti	– assestamenti ammissibili – stima degli assestamenti	– sottofondazione per mezzo di micropali – monitoraggio geodetico delle quote – controlli visivi	– geotecnico / direzione lavori
– vibrazioni	– valori limite secondo la norma SNV 640 312a per gli edifici – valori di tolleranza per le apparecchiature elettroniche	– test penetrometri – misurazione delle vibrazioni – posa di pannelli antivibrazioni	– geotecnico / ingegnere
– rumore	– ordinanza per le immissioni foniche – condizioni quadro del progetto	– rispetto delle prescrizioni sulle immissioni foniche – misure contro l'immissione fonica per le apparecchiature – misurazione delle immissioni foniche	– impresario costruttore
– effetti dell'abbassamento della falda sugli oggetti circostanti	– rischio di assestamenti – danneggiamento della sorgente del Sulgenrain	– controllo geodetico delle quote – monitoraggio del livello di falda	– geotecnico

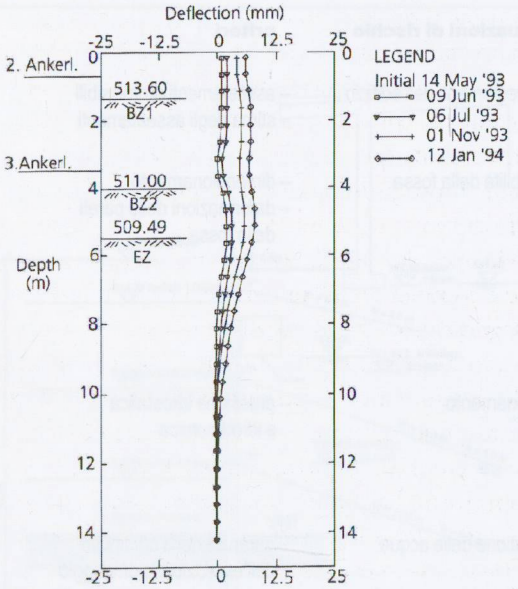
tab.1 – Concetto di monitoraggio della fossa

Effetti provocati sugli edifici circostanti dal sistema di sostegno della fossa e dall'abbassamento del livello di falda

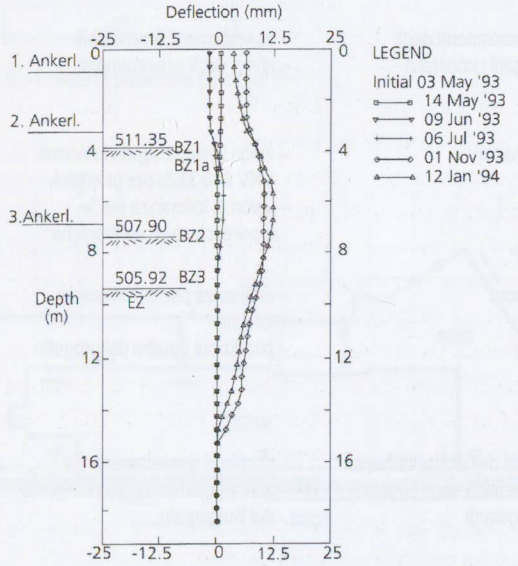
I sei inclinometri posati hanno registrato, come previsto, la deformazione maggiore della parete di sostegno (12 mm) presso il punto di misurazione numero sei (lungo la parete sud della fossa) prima della messa in posa del secondo ancoraggio. Questo dato evidenzia l'importanza della pressione idrostatica. Nel punto di misurazione numero cinque, situato nel muro di sostegno della Monbijoustrasse, le deformazioni della parete hanno raggiunto gli 8 mm. Su undici ancoraggi si è proceduto alla misura del calo di tensione: ne sono risultate delle diminuzioni che variano tra lo 0% el il 6% rispetto alla forza di pretensionamento. Tra il 23 novembre 1992 ed il 2 novembre 1994 sono stati effettuati ulteriori controlli geodetici nelle vicinanze del cantiere: si sono potuti registrare cedimenti tra gli 0-4 mm presso le strutture di sostegno della rampa d'accesso e di 0-3 mm presso gli edifici situati in Bovetstrasse e in Eigerstrasse. I cedimenti maggiori (53 mm) sono stati registrati in prossimità del parco veicoli, subito dietro la parete di palancole. Questi cedimenti erano comunque previsti e si era già provveduto ad un adattamento della rampa e ad un risanamento. Il monitoraggio effettuato durante l'abbassamento del livello di falda (della durata di un anno) non ha evidenziato effetti significativi sulle strutture circostanti. Come previsto i tubi piezometrici hanno registrato un abbassamento tra 0.7 e 0.85 m; bisogna osservare che i valori misurati tengono conto delle oscillazioni del livello di falda dovuto alle condizioni metereologiche. Impressionante è stato il repentino innalzamento del livello di falda dopo la chiusura del sistema di pompaggio; comunque i provvedimenti stabiliti preventivamente (messa in posa e in esercizio di una pompa) presso il pozzo di raccolta si sono rivelati necessari e adatti al loro scopo. Le vibrazioni hanno causato problemi alle apparecchiature elettroniche degli edifici circostanti. Si è potuto trovare una soluzione accettabile ed economicamente vantaggiosa grazie alla collaborazione di una ditta specializzata che ha provveduto alla messa in posa di pannelli antivibrazioni.

Osservazioni finali

L'esperienza fatta durante la costruzione dell'edificio amministrativo Titanic II ha mostrato che una pianificazione prudente, un'accurata esecuzione dei lavori e un monitoraggio della costruzione rende possibile lo scavo di una fossa in profondità anche in un centro urbano senza recare danni alle strutture circostanti. Bisogna prendere atto che lo scavo di fosse profonde non può essere realizzato evitando deformazioni del terreno e cedimenti nelle aree circostanti. In questo caso la buona collaborazione tra committente, ingegnere e geotecnico si è rivelata decisiva per l'ottimizzazione del processo di costruzione e per la minimizzazione dei citati inconvenienti.



11 – Inclinometro Nr. 5



12 – Inclinometro Nr. 6