



REGIONE LIGURIA

autostrade // per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

PROGETTO DEFINITIVO

GALLERIE NATURALI
ELABORATI GENERALI

PROGRAMMA DI MONITORAGGIO E
GESTIONE DELLE SPECIFICHE DI PROGETTO
SECONDO IL METODO OSSERVAZIONALE

<p>IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Andrea Tanzi Ord. Ingg. Parma N.1154 RESPONSABILE UFFICIO TUN</p>	<p>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A CAPO COMMESSA</p>	<p>IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA TECNICA E PROGETTAZIONE</p>
---	--	---

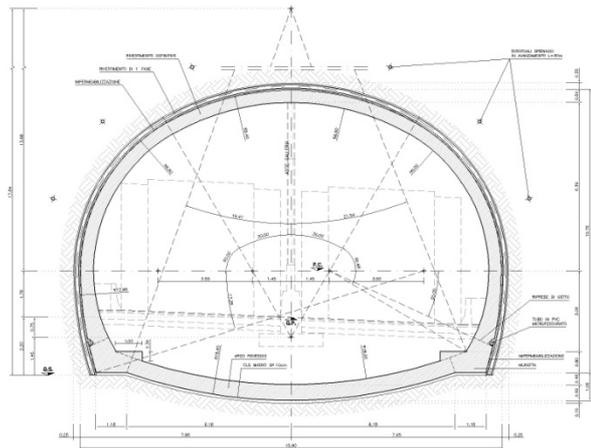
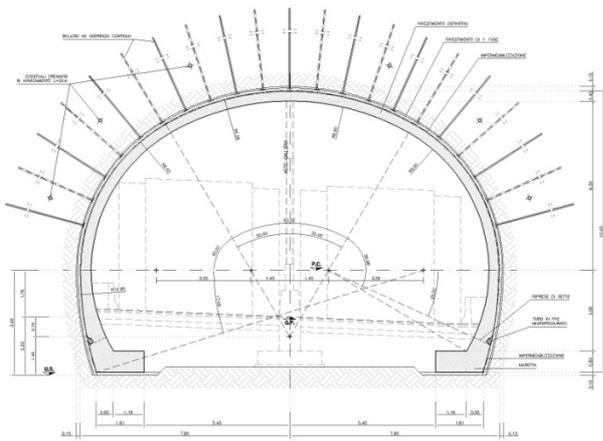
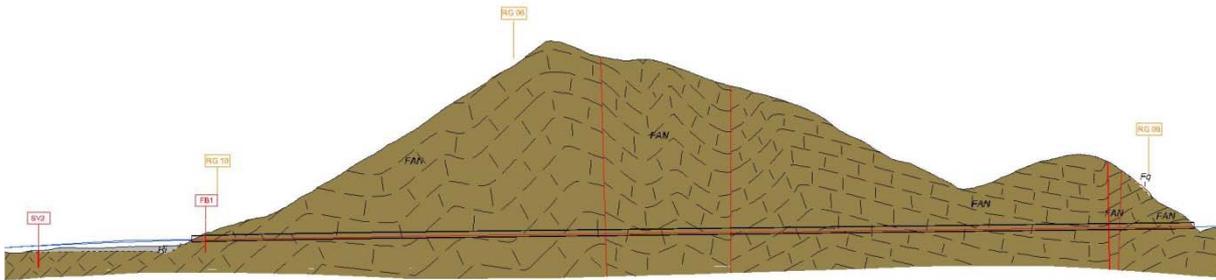
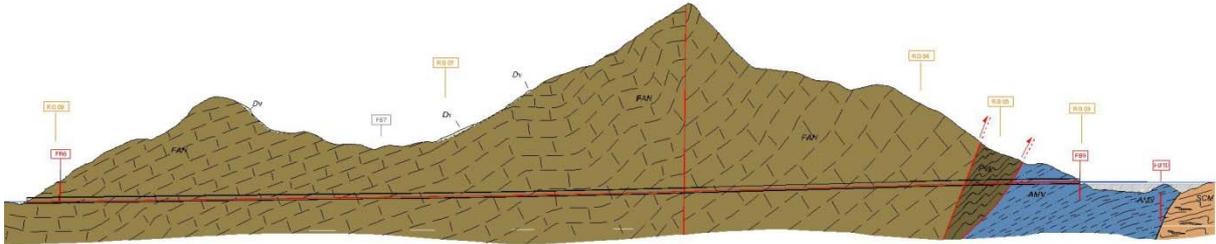
WBS	RIFERIMENTO ELABORATO							DATA: DICEMBRE 2014	REVISIONE	
	DIRETTORIO			FILE					n.	data
-	codice	commissa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.			
-	1	100	1302	STPTUN	0004	--				
	SCALA: -									

	<p>RESPONSABILE PROGETTO GENOVA Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496</p>	<p>ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI : -</p>
		<p>ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI : -</p>
<p>CONSULENZA A CURA DI :</p>	<p>IL RESPONSABILE UNITA' STP</p>	<p>Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154</p>

<p>VISTO DEL COMMITTENTE</p> <p>R.U.P. - Ing. Andrea Frediani</p>	<p>VISTO DEL CONCEDENTE</p> <p>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</p>
--	--

GALLERIE NATURALI FONTANABUONA E CARAVAGGIO

PROGRAMMA DI MONITORAGGIO E GESTIONE DELLE SPECIFICHE DI PROGETTO SECONDO IL METODO OSSERVAZIONALE



INDICE

1	INTRODUZIONE	6
1.1	Oggetto e scopo	6
1.2	Documenti di riferimento	8
1.2.1	Normativa e raccomandazioni tecniche di riferimento	8
1.2.2	Documenti di progetto	8
1.2.3	Bibliografia	9
2	CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE - METODO OSSERVAZIONALE	13
2.1	Metodo di Analisi Adottato	18
3	IL RUOLO DEL MONITORAGGIO NELLE COSTRUZIONI IN SOTTERRANEO	34
4	SISTEMA DI CONTROLLO E MONITORAGGIO	36
4.1	Monitoraggio preventivo	37
4.2	Monitoraggio opere d'imbocco	38
4.2.1	Monitoraggio in corso d'opera	38
4.3	Monitoraggio in galleria	38
4.3.1	Monitoraggio in corso d'opera	38
4.3.2	Monitoraggio in esercizio	43
5	DESCRIZIONE E SPECIFICHE RELATIVE ALLE SEZIONI STRUMENTATE	44
5.1	Target topografico e miniprismi	44
5.1.1	descrizione	44
5.1.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento	44
5.1.3	Modalità d'installazione	44
5.1.4	Sistema di lettura manuale	45
5.1.5	Sistema di lettura automatizzato	45
5.1.6	Documentazione richiesta relativa all'installazione	47
5.1.7	Restituzione dei dati	47
5.2	Tubo inclinometrico	48
5.2.1	Descrizione	48
5.2.2	Normative e specifiche di riferimento	48
5.2.3	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento	48
5.2.4	Controlli preliminari	49
5.2.5	Preparazione del foro (tubo inclinometrico installato in foro di sondaggio)	49
5.2.6	Installazione del tubo inclinometrico in foro di sondaggio	49
5.2.7	Installazione del tubo inclinometrico in pali o micropali	51
5.2.8	Pozzetto di protezione	52

5.2.9	Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica	52
5.2.10	Documentazione richiesta relativa all'installazione	53
5.2.11	Restituzione dati	53
5.3	Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo ISETH o estenso-inclinometrica tipo TRIVEC55	
5.3.1	Descrizione	55
5.3.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento	55
5.3.3	Controlli preliminari	55
5.3.4	Preparazione del foro	55
5.3.5	Modalità d'installazione	56
5.3.6	Pozzetto di protezione	57
5.3.7	Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica o estenso-inclinometrica	58
5.3.8	Documentazione richiesta relativa all'installazione	58
5.3.9	Restituzione dei dati	59
5.4	Celle di carico toroidali per tiranti	60
5.4.1	Descrizione	60
5.4.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento	60
5.4.3	Modalità d'installazione	60
5.4.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione	61
5.4.5	Restituzione dati	61
5.5	Rilievi geomeccanici del fronte di scavo	62
5.5.1	Modalità esecutive	62
5.5.2	Documentazione	63
5.6	Stazione di misura delle convergenze del cavo	65
5.6.1	descrizione	65
5.6.2	Specifiche tecniche del sistema di lettura	65
5.6.3	Modalità di installazione	65
5.6.4	Frequenza dei rilevamenti	66
5.6.5	Restituzione dati	66
5.7	Misura dell'estrusione topografica del fronte di scavo	67
5.7.1	descrizione	67
5.7.2	Specifiche tecniche del sistema di lettura	67
5.7.3	Modalità di installazione	67
5.7.4	Frequenza dei rilevamenti	67
5.7.5	Restituzione dati	67
5.8	Misura dell'estrusione del nucleo di scavo	69

5.8.1	Descrizione	69
5.8.2	Caratteristiche tecniche della strumentazione	69
5.8.3	Modalità di installazione	69
5.8.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione	70
5.8.5	Frequenza dei rilevamenti	71
5.8.6	Restituzione dati	71
5.9	Monitoraggio tensio-deformativo dei prerivestimenti (centine metalliche)	72
5.9.1	Descrizione	72
5.9.2	Caratteristiche tecniche della strumentazione	72
5.9.3	Modalità di installazione	72
5.9.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione	75
5.9.5	Frequenza dei rilevamenti	76
5.9.6	Restituzione dati	76
5.10	Registrazione dei parametri di perforazione (Dac-test)	77
5.10.1	Descrizione	77
5.10.2	Specifiche tecniche	77
5.10.3	Modalità esecutive	77
5.10.4	Documentazione richiesta relativa alla prova	78
5.11	Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (barrette estensimetriche e celle di pressione)	79
5.11.1	Descrizione	79
5.11.2	Caratteristiche tecniche della strumentazione	79
5.11.3	Modalità di installazione	80
5.11.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione	81
5.11.5	Frequenza dei rilevamenti	81
5.11.6	Restituzione dati	82
5.12	Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (mini prismi ottici)	82
5.12.1	Descrizione	82
5.12.2	Specifiche tecniche del sistema di lettura	82
5.12.3	Modalità di installazione	83
5.12.4	Frequenza dei rilevamenti	83
5.12.5	Restituzione dati	83
5.13	Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (prove di martinetto piatto)	84
5.13.1	Descrizione	84
5.13.2	Caratteristiche tecniche della strumentazione	84
5.13.3	Modalità di installazione	85
5.13.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione ed alla prova di carico	85

5.13.5	Frequenza dei rilevamenti	86
5.13.6	Restituzione dati	86
5.14	Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (prove doorstopper)	87
5.14.1	Descrizione	87
5.14.2	Modalità di installazione, ed esecuzione della prova	87
5.14.3	Restituzione dei dati	88
5.15	Monitoraggio del carico piezometrico al contorno del cavo	89
5.15.1	Descrizione	89
5.15.2	Caratteristiche della strumentazione	89
5.15.3	Preparazione del foro	90
5.15.4	Installazione	91
5.15.5	Documentazione richiesta relativa all'installazione	92
5.15.6	Frequenza dei rilevamenti	93
5.15.7	Restituzione dei dati	93
5.16	Sistema di acquisizione dati a due o più canali	94
5.16.1	Generalità'	94
5.16.2	Caratteristiche delle apparecchiature	94
5.16.2.1	Apparecchiatura a 2 canali	94
5.16.2.2	Apparecchiature pluricanali	95
5.16.3	Installazione	96
5.16.4	Documentazione	96
5.17	Collegamenti tra le strumentazioni	98
5.17.1	Descrizione	98
5.17.2	Cavi elettrici di collegamento	98
5.17.3	collegamenti via telefono cellulare o collegamento satellitare	99
5.17.4	collegamenti via radio	100
5.18	Prescrizioni generali relative alle installazioni	101
6	Il monitoraggio per la gestione delle modifiche in corso d'opera	103
6.1	LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO	103
6.2	PROCEDURE OPERATIVE PER LA GESTIONE DELLE VARIABILITÀ	106
6.2.1	Definizione delle caratteristiche geologiche–geomeccaniche dell'ammasso	106
6.2.2	Risposta deformativa del fronte e del cavo	107
6.2.3	Fasi esecutive e cadenze di avanzamento	108
6.2.4	Applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità	109

1 INTRODUZIONE

1.1 Oggetto e scopo

La presente relazione tecnica descrive le attività di monitoraggio geotecnico e topografico previste per le gallerie naturali Caravaggio e Fontanabuona facenti parte del progetto di collegamento tra la Valfontanabuona e l'autostrada A12 Genova-Roma.

La pianificazione di un programma di monitoraggio in sede di Progetto Definitivo risponde alla specifica richiesta della progettazione di opere geotecniche secondo i criteri del Metodo Osservazionale.

In linea generale infatti, nell'applicazione del Metodo Osservazionale, previsto sia dalle EC7 che dalle NTC, devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- devono essere scelte alcune grandezze rappresentative del complesso manufatto-terreno e fissati i limiti di accettabilità di tali grandezze;
- si deve dimostrare che la soluzione progettuale prescelta sia accettabile in rapporto a tali limiti;
- devono essere previste soluzioni alternative con i relativi costi;
- deve essere predisposto un sistema di monitoraggio che consenta di adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte, nel caso in cui i limiti prima definiti siano raggiunti.

Anche se con le campagne geognostiche che verranno sviluppate per il Progetto Esecutivo si acquisiranno nuove informazioni, in questa fase non si può prescindere dal predisporre un sistema di misure e controlli in corso d'opera, mediante idonea strumentazione di tipo geotecnico, il cui scopo è quello di verificare che il comportamento allo scavo sia quello previsto dalle analisi progettuali, con la possibilità di accertare nel contempo anche la correttezza dei parametri posti alla base della caratterizzazione geologica e geotecnica e delle scelte progettuali.

Dopo aver descritto compiutamente il sistema di monitoraggio previsto, nella parte finale di questo documento verranno indicate le raccomandazioni per il perfezionamento di vere e proprie Linee Guida per l'applicazione delle sezioni tipologiche assieme alle procedure operative per la gestione delle risultanze in corso d'opera.

Come anticipato, il piano di monitoraggio è finalizzato alla verifica delle assunzioni progettuali, mediante una valutazione delle caratteristiche dell'ammasso, dell'efficacia degli interventi di consolidamento e confinamento e delle modalità costruttive, in quanto basato sulla misura dell'entità e delle modalità di manifestazione dei fenomeni di deformazione e dello stato tensio-deformativo di pririvestimenti e rivestimenti definitivi. Questo implica inoltre un incremento della sicurezza in corso d'opera, poiché la strumentazione di monitoraggio permette il controllo in modo continuativo della risposta tensio-deformativa sia dell'ammasso al fronte e al contorno del cavo,

che di prerivestimenti e rivestimenti durante le diverse fasi realizzative: vengono quindi preventivamente individuate possibili condizioni anomale che possono condurre a situazioni di rischio potenziale, permettendo di impostare per tempo eventuali interventi correttivi e/o integrativi. Per raggiungere tali obiettivi, il piano di monitoraggio prevede le seguenti attività:

- esecuzione sistematica di rilievi geomeccanici del fronte;
- esecuzione sistematica di perforazioni a distruzione in avanzamento con registrazione dei parametri di perforazione (Dac-Test);
- installazione sistematica di stazioni di convergenza, per la misura delle deformazioni del cavo;
- installazione, in corrispondenza di sezioni considerate più critiche o rappresentative, di sezioni strumentate di vario tipo finalizzate all'analisi dei seguenti aspetti:
 - comportamento deformativo del contorno del cavo;
 - comportamento deformativo del nucleo di avanzamento;
 - comportamento tenso-deformativo delle centine metalliche;
 - stato tensionale dello spritz-beton al contorno;
 - stato deformativo del rivestimento definitivo (calotta e arco rovescio);
 - stato tensionale del rivestimento definitivo.

Le modalità e la frequenza delle stazioni strumentate variano lungo lo sviluppo delle singole opere, in base al previsto comportamento dell'ammasso circostante durante le fasi realizzative, e sono dettagliate nei relativi elaborati grafici di progetto.

Ogni stazione di monitoraggio che includa strumenti di tipo elettronico dovrà essere corredata di datalogger, con numero di canali opportuno, a cui dovranno essere cablati tutti gli strumenti elettronici della sezione strumentata. Il datalogger dovrà soddisfare le specifiche di cui al successivo paragrafo 5.16 e dovrà essere posizionato in modo da essere protetto da urti e/o danneggiamenti accidentali, da permettere lo scarico dati senza l'ausilio di piattaforma e da poter essere mantenuto anche in fase di esercizio.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

1.2 Documenti di riferimento

1.2.1 Normativa e raccomandazioni tecniche di riferimento

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. - D.M. 14.01.2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. - Circ. 617 del 02.02.2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- Eurocodice 7 – Geotechnical Design – ENV 1997-CEN;
- Decreto Ministeriale 11 Marzo 1988. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". G.U. n. 127 del 1° Giugno 1988.
- "Raccomandazioni ISRM per il controllo dei movimenti nell'Ammasso Roccioso tramite Inclinometri e Clinometri" – Rock Mechanics, 1977;
- "Raccomandazioni ISRM per il controllo dei movimenti della roccia mediante estensimetri in foro a base lunga" – IJRMMS, 15, 305-317, 1978;
- "Raccomandazioni ISRM per la determinazione in sito della deformabilità della roccia con prove su piastra in superficie e in foro" – IJRMMS, 16, 195-214, 1979;
- "Metodi Suggesti dall'ISRM per la determinazione della pressione mediante celle idrauliche" – IJRMMS, 17, 117-127, 1980;
- "Raccomandazioni ISRM per l'esecuzione di prove su tiranti in roccia" – IJRMMS, 22, 71-83, 1985;
- "Raccomandazioni ISRM per la determinazione dello stato di sollecitazione della roccia" – IJRMMS, 24, 53-73, 1987;
- "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche" – AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977);
- "Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers" – ASTM D 4622 – 86 (1993);
- "Standard Practice for Extensometers Used in Rock" – ASTM D 4403 - 84 (94)

1.2.2 Documenti di progetto

Per la documentazione progettuale si rimanda agli elaborati specifici come da elenco di seguito riportato:

- TUN 001 Linee guida per la progettazione delle gallerie naturali;
- TUN 002 Relazione geomeccanica;
- TUN 003 Relazione di calcolo;

- TUN 006 Galleria Caravaggio - Profilo geomeccanico e di monitoraggio;
- TUN 007 Galleria Fontanabuona - Profilo geomeccanico e di monitoraggio;
- TUN 008 Stazioni tipo di monitoraggio.

1.2.3 Bibliografia

- AFTES (2001). Recommendations on the Convergence – Confinement Method.
- AFTES (2007). Compatibilité des recommandations AFTES relatives aux revêtements des tunnels en béton avec les Eurocodes. Tunnels et Ouvrages Souterrains, 204.
- Anagnostou, G. & Serafeimidis, K. (2007). The dimensioning of tunnel face reinforcement. Proceedings of ITA World Tunnel Congress 2007 "Underground space. The 4th dimension of metropolises".
- Amberg, W.A., Lombardi, G. (1974). "Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine. 2eme partie", Proc. 3rd Cong. Int. Soc. Rock Mechanics, Vol. IIB, Denver.
- Benamar, I., Bernaud, D. & Rousset, G. (1996). "La nouvelle méthode implicite pour le dimensionnement des tunnels", AFTES, Journées d'études internationales de Chambéry, pp. 63-69.
- Bernaud, D. & Rousset, G. (1992). "La nouvelle méthode implicite pour l'étude du dimensionnement des tunnels", Revue Française de Géotechnique, n° 60, pp. 5-26.
- Bernaud D., Corbetta F. & Nguyen Minh Duc (1991). Contribution à la méthode convergence – confinement par le principe de similitude. Revue Française de Géotechnique, n. 54.
- Bernaud, D., Colina, H. & Rousset, G. (1993). "Calculs de dimensionnement du soutènement du tunnel 'Linea Alta Velocità' dans les argiles chaotiques", G.3S – Groupement pour l'Etude des Structures Souterraines de Stockage, Ecole Polytechnique, Palaiseau.
- Brady, B.H.G.; Brown, E.T. (1985), "Rock Mechanics for Underground Mining", George Allen and Unwin, Londra.
- Brown, E.T. (1986), "Research and Development for Design and Construction of Large Rock Caverns", Proceedings of the International Large Rock Cavern, Helsinki.
- Broms B.B., Bennemark H. (1967). Stability of clay at a vertical opening. ASCE, J. of Soil Mechanics and Foundation Engineering, SM1, 71-94.
- Bolton, M. D. (1979). A Guide to Soil Mechanics (eds M. D. Bolton and K. Bolton), Macmillan Press, Cambridge, 439 pp.
- Carranza-Torres, C. and Fairhurst, C. (1999). General formulation of the elasto-plastic response of openings in rock using the Hoek-Brown failure criterion. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 36 (6), 777-809.

- Chern, J.C., Shiao, F.Y. and Yu, C.W. (1998). An empirical safety criterion for tunnel construction. Proc. Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering, Taipei. 222-227.
- Chern, J.C., Yu, C.W. and Shiao, F.Y. 1998. Tunnelling in squeezing ground and support estimation. Proc. Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering, Taipei. 192-202.
- Daemen, J.J.K. e Fairhurst, C. (1970). Influence of failed rock properties on tunnel stability. Proceedings of the 12th U.S. Symposium on Rock Mechanics, University of Missouri: 875-885.
- De Buhan, P. (1986). Approche fondamentale du calcul à la rupture des ouvrages en sols renforcés. Ph. D thesis, Université Paris VI, Paris.
- Duncan Fama, M.E. (1993). Numerical modelling of yield zones in weak rocks. In Comprehensive rock engineering, (ed. J.A. Hudson) 2, 49-75. Pergamon, Oxford.
- Dunnicliff J. (1988). Geotechnical Instrumentation for monitoring field performance, A Wiley-Interscience Publication - John Wiley & Sons
- Fernandez, G e Moon J (2010). Excavation – induced hydraulic conductivity reduction around a tunnel – Part 2: Verification of proposed method using numerical modelling. Tunnelling and Underground Space Technology 25 (2010) 560-566.
- Fernandez, G e Moon J (2010). Excavation – induced hydraulic conductivity reduction around a tunnel – Part 1: Guideline for estimate of ground water inflow rate. Tunnelling and Underground Space Technology 25 (2010) 567-574.
- Hoek, E. (1999). Support for very weak rock associated with faults and shear zones. In Rock support and reinforcement practice in mining. (Villaescusa, E., Windsor, C.R. and Thompson, A.G. eds.). Rotterdam: Balkema. 19-32.
- Ikuta, Y., Maruoka, M., Aoki, M. & Sato, E. (1994). Application of the observational method to a deep basement excavation using the top down method. Geotechnique n. 44, 4.
- International Society for Rock Mechanics (1978). Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 15. pp. 319-368. Pergamon Press.
- Jassionnesse, C., Dubois, P. e Saitta, A. (1996). Tunnel face reinforcement by bolting, soil bolts homogenization strain approach. In Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Constructions in Soft Ground, Londra, 15-17 April 1996. Pubblicato da R.J. Mair e R.N. Taylor. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 373-378.
- Goodman, R. E. (1976). Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rocks. West Publishing. N. Y. 422 p.

- Leca E., Dormieux L. (1990). Upper and lower bound solutions for the face stability of shallow circular tunnels in frictional materials. *Geotechnique*, 40, 581-606.
- Lunardi, P. (2000). The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils. *Tunnels and Tunnelling International*, Special supplement, May 2000.
- Muir Wood, A. M. (1979). Ground behaviour and support for mining and tunnelling. *Proceedings of Tunnelling 1979*, IMM, London.
- Oreste P.P. (1997). Tecniche di Back Analysis per il miglioramento della conoscenza della roccia nelle costruzioni in sotterraneo. *GEAM* (Marzo – Giugno)
- Panet M. (1995). *Le Calcul Des Tunnels Par La Méthode Convergence-Confinement*, edizioni ENPC, Parigi.
- Panet M. & Guenot A. (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel. *Tunneling* 82, pp. 197-204, Brighton.
- Peck, R. B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. *Geotechnique* 19, No. 2, 171-187.
- Price, N. J. (1966). *Fault and Joint Development in Brittle and Semibrittle Rock*. Pergamon, Oxford, 176 p.
- Priest, S. D. e Hudson, J. A. (1976). Discontinuità spacing in rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 13, 135-148.
- Ribacchi, R. (1986). "Stato di sforzo e deformazione intorno ad una galleria", in *L'Ingegnere*, pp. 135-184.
- Ribacchi, R., Graziani A., Boldini D. (2002). Previsione degli afflussi d'acqua in galleria e influenza sull'ambiente. *Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle rocce MIR 2002*.
- Ribacchi, R., Riccioni, R. (1977). Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare, *Gallerie e Grandi Opere Sotterranee*, 5, 7–20.
- Ribacchi R. (1993). Recenti orientamenti nella progettazione statica delle gallerie. XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica., AGI, Rimini, 11-13 Maggio 1993.
- Sakurai, S. (1983). Displacement measurements associated with the design of underground openings. *Proc. Int. symp. field measurements in geomechanics, Zurich* 2, 1163-1178.
- Sakurai, S. (1978). Approximate time dependent analysis of tunnel support structure considering progress of tunnel face. *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, 2, 159-175.
- Sakurai S. (1993), "The assessment of Tunnel Stability on the Basis of Field Measurement", XVIII Convegno Nazionale di Geotecnica, Rimini 11-13 Maggio 1993.
- Sakurai S. (1997). Lesson learned from field measurements in tunneling. *Tunnel and Deep Space* n. 3.

- Sloan S.W., Assadi A. (1992). Stability of shallow tunnels in soft ground. Predictive Soil Mechanics, Oxford, 644-663.
- Società Italiana Gallerie, Progetto Nazionale Normativa Opere in Sottterraneo, Linee guida per la progettazione, l'appalto e la costruzione di opere in sottterraneo. Marzo 1997.
- Tanzini, M. (2002). L'indagine Geotecnica. Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Tanzini, M. (2006). Gallerie: Aspetti geotecnici nella progettazione e costruzione, Seconda Edizione, Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Tanzini, M. (2008). Scavo meccanizzato: opere sotterranee e gallerie. Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Tanzini, M. (2010). Il manuale del Geotecnico, Casa Editrice Dario Flaccovio.
- Terzaghi, K. (1965). Sources of error in joint surveys. Geotechnique. 15, 287-304.
- Terzaghi, K. e Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons. N. Y.
- Wong, H. e Doanh, T. (1997). Extrusion computer program and accompanying user manual, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Lione, Francia.
- Wong, H. e Larue, E. (1998). Modelling of bolting support in tunnels taking account of non-simultaneous yielding of bolts and round. In The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks: Proceedings of the 2nd International Symposium, Napoli, 12-14 Ottobre 1998. Pubblicato da A. Evangelista e L. Picarelli. A-A. Balkema, Rotterdam. Olanda, pp. 1027-1038.
- Wong, H., Subrin, D. e Dias, D. (2000). Extrusion movements of a tunnel head reinforced by finite length bolts – a closed – form solution using homogenization approach. International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 24(6): 533-565.
- Wong H., Trompille V., Dias D. (2004). Extrusion analysis of a bolt-reinforced tunnel face with finite ground-bolt bond strength. Canadian Geotechnical Journal 41:326-341.

2 CRITERI DI PROGETTAZIONE DELLE GALLERIE - METODO OSSERVAZIONALE

In accordo alla suddivisione delle opere in categorie geotecniche (EC7), la progettazione delle gallerie avverrà di norma nel rispetto dei criteri posti alla base della categoria geotecnica 3, nel senso che si tratta generalmente di opere impegnative, dove le previsioni circa le condizioni geologiche e geotecniche da incontrare lungo il tracciato sono comunque caratterizzate da incertezze.

In fase di studio di fattibilità, definiti i requisiti funzionali della galleria e più in generale dell'opera sotterranea da progettare, fase in cui viene dedicata particolare attenzione alle caratteristiche prestazionali, sono stati esaminati i vincoli socio-ambientali che possono talora influenzare in modo determinante le scelte. Poiché è già in questa fase che è stato individuato il possibile tracciato della galleria, le stesse scelte sono state sviluppate in una visione globale, rispettosa di aspetti e competenze che sono state poi oggetto di approfondimenti (aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, ecc.) nelle fasi di progetto successive.

La progettazione definitiva e la successiva progettazione esecutiva di un'opera sotterranea si sviluppano secondo diversi gradi di approfondimento in accordo alle fasi indicate nello schema logico di Figura 2.1. In relazione alle risultanze della caratterizzazione geologica e geotecnica (individuazione del modello geotecnico) e ricorrendo ad idonei metodi di analisi, che saranno opportunamente validati caso per caso, si perviene alla definizione delle scelte progettuali in termini di:

- metodo di scavo
- interventi di miglioramento
- rinforzo e stabilizzazione
- rivestimenti da adottare

Tali scelte sono da riferire a tratti di galleria geotecnicamente omogenei e sono da illustrare in sezioni tipo o di progetto, per le quali si anticipano i possibili comportamenti allo scavo ed i limiti ammissibili di grandezze caratteristiche atte a definire tali comportamenti.

In tutti i casi in cui si anticipano situazioni geologiche e geotecniche estremamente complesse (le cosiddette condizioni difficili) così da lasciare elementi di incertezza anche dopo accertamenti ragionevolmente estesi ed approfonditi e tali da poter essere risolti solo in fase costruttiva, la progettazione sarà basata sul Metodo Osservazionale (Terzaghi et al., 1945 e Peck, 1969). Questo prevede di predisporre, in sede di progettazione, delle soluzioni alternative, definendo per ciascuna i limiti ammissibili delle grandezze caratteristiche che saranno oggetto di controlli e misure mediante il sistema di monitoraggio. Sarà così possibile, nel caso in cui i limiti prima definiti per la

soluzione effettivamente applicata siano raggiunti, adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte dal progetto.

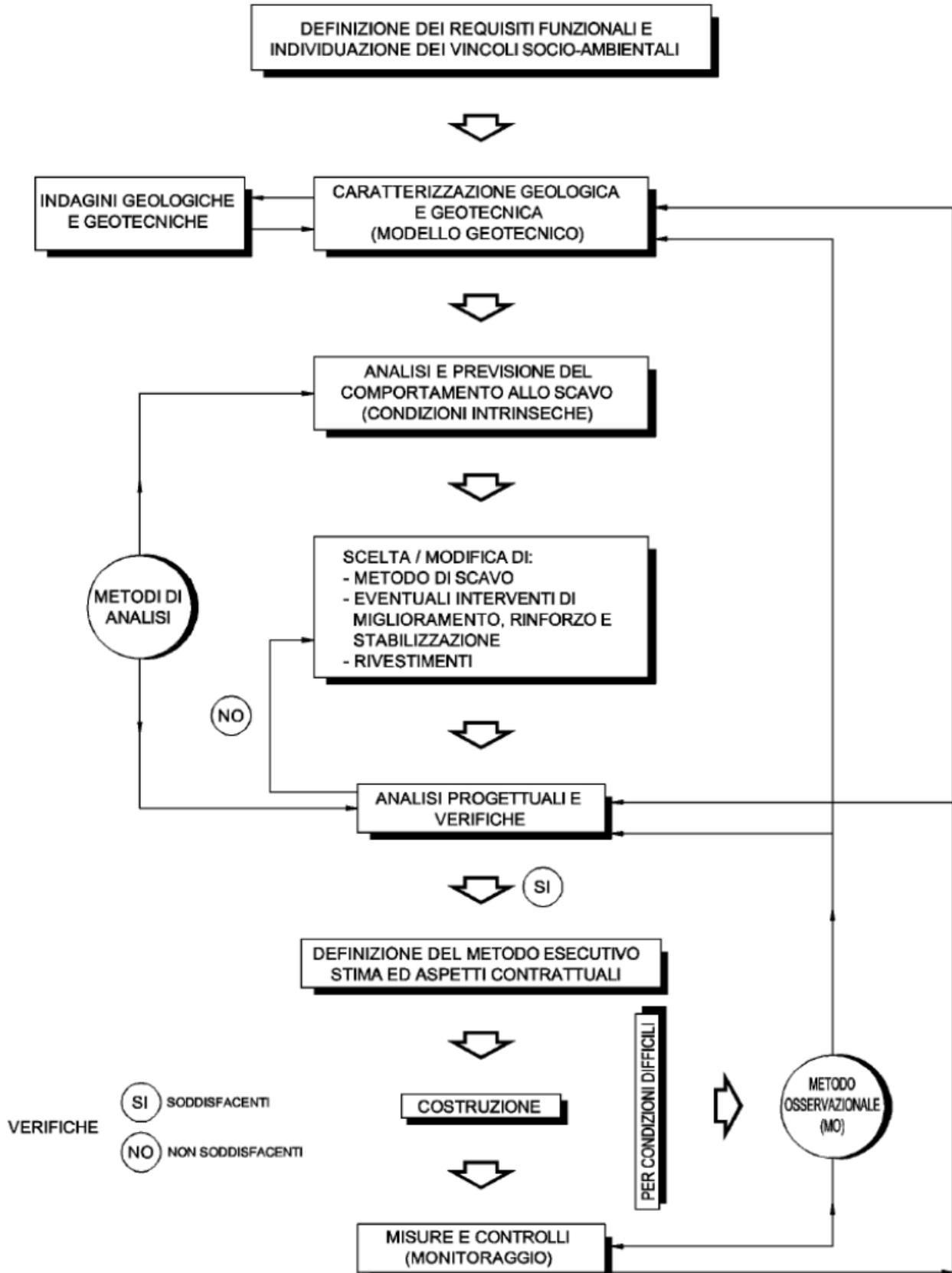


Figura 2.1 Schema logico della metodologia di progettazione delle strutture in sotterraneo (G. Barla)

Per quanto concerne nell'ingegneria geotecnica Peck (1969) ha razionalizzato il Metodo Osservazionale proposto per la prima volta da Terzaghi (1945) descrivendolo nel seguente modo:

1. Predisposizione di una campagna di indagine geotecnica iniziale sufficiente a stabilire la natura, lo schema e le proprietà dell'ammasso roccioso;
2. Valutazione delle condizioni più probabili e delle più sfavorevoli deviazioni dalle stesse: in questo caso le valutazioni di natura geologica spesso giocano il ruolo principale;
3. Redazione del progetto basato sulle ipotesi di lavoro del comportamento previsto nelle condizioni più probabili;
4. Scelta delle grandezze da osservare durante la costruzione e calcolo dei loro valori previsti sulla base delle ipotesi di lavoro;
5. Calcolo dei valori delle stesse grandezze nelle condizioni più sfavorevoli, compatibili con i dati concernenti le condizioni dell'ammasso roccioso;
6. Scelta, in anticipo, di una serie di azioni o modifiche del progetto per ogni prevedibile significativa deviazione delle grandezze misurate rispetto a quelle previste sulla base delle condizioni di lavoro;
7. Misure delle grandezze in osservazione e valutazione delle condizioni attuali;
8. Modifica del progetto per adattarsi alle condizioni attuali.

Ad espansione del diagramma rappresentato in Figura 2.1, un esempio di applicazione del Metodo Osservazionale è richiamato dal diagramma di flusso riportato in Figura 2.2, riguardante la realizzazione di uno scavo profondo suddiviso in tre fasi intermedie (Ikuta et al., 1994).

Secondo quanto indicato dall'autore, gli spostamenti del terreno e dell'opera di sostegno, le pressioni interstiziali e le tensioni nelle armature del diaframma, sono stati continuamente misurati durante le fasi dello scavo. Tali valori sono stati confrontati con i corrispondenti valori critici, definiti come: *"valori raggiunti i quali la struttura di sostegno collassa oppure si danneggiano le strutture adiacenti allo scavo"*.

Il valore di riferimento è quello previsto dal progetto iniziale allo stadio di avanzamento in atto. Le condizioni del sito e i parametri geotecnici del terreno, valutate sulla base delle indagini geotecniche, sono verificate mediante analisi a ritroso (back-analysis) dei dati forniti dal monitoraggio; questo tipo di operazione viene definita *"conferma delle assunzioni di progetto"*.

Il successivo comportamento della struttura di sostegno è valutato sulla base delle assunzioni di progetto confermate (predizione del livello successivo).

Le analisi di calcolo per la previsione o le verifiche, utilizzano metodi teorici o numerici che possono assumere legami costitutivi elastici o elasto-plastici del terreno.

La sicurezza dello scavo è rivalutata sulla base delle previsioni riviste e lo schema di costruzione è riesaminato e, se necessario, modificato immediatamente.

Il concetto del metodo è schematizzato in Figura 2.3. In particolare il metodo serve per valutare in anticipo se le condizioni si muovono verso la linea rappresentante una “soglia di allarme” per poter adottare le contromisure; inoltre, se le misure si muovono verso la soglia di razionalità, nello stadio successivo occorre revisionare lo schema in maniera di razionalizzare l'intervento e quindi ridurre i costi ed i tempi di esecuzione.

Nel lavoro di Ikuta et al., 1994, il metodo osservazionale applicato per la realizzazione di uno scavo profondo ed esteso, ha fornito utili accorgimenti per ridurre alcuni elementi provvisori di rinforzo che erano stati previsti in quanto il progetto iniziale ha assunto le più “sfavorevoli condizioni” come ipotesi di lavoro; tali condizioni sono state modificate in corso d'opera verso condizioni più “probabili” grazie al monitoraggio che ha fatto ridurre tempi e costi delle opere pur mantenendo il livello di sicurezza richiesto.

Relativamente a Terzaghi è ancora utile ricordare quanto scriveva già nel 1945 nell'introduzione al libro sulla Meccanica delle Terre, che ha segnato l'inizio dell'ingegneria geotecnica.

"Nella progettazione di opere geotecniche quali fondazioni di grandi edifici, gallerie, scarpate artificiali o dighe in terra, lo sforzo progettuale può permettere di definire solamente in maniera molto approssimata le variabili ed i parametri geotecnici che influenzano l'effettivo comportamento dell'opera geotecnica. Molte variabili, come ad esempio la continuità ed estensione di strati di terreno o le condizioni della falda presente nel sottosuolo possono non essere sufficientemente definite. Perciò i risultati dei calcoli non sono niente di più che un'ipotesi da sottoporre a conferma o a modifiche durante la costruzione.

Nel passato, solamente due metodi sono stati impiegati per tenere conto delle inevitabili incertezze; il primo è stato quello di adottare eccessivi coefficienti di sicurezza o fare delle scelte e assunzioni progettuali in accordo con l'esperienza generale acquisita.

Il primo metodo può comportare degli sprechi eccessivi mentre il secondo è pericoloso. La meccanica delle terre, come la intendiamo oggi, fornisce una terza via che potrebbe essere chiamato metodo sperimentale (da notare che il termine “metodo sperimentale”, impiegato da Terzaghi, non intende una mancanza di adeguata pianificazione e progettazione). La procedura è la seguente: definizione del progetto sulla base di tutte le informazioni che è possibile acquisire Sulla base dei risultati delle Misure, gradualmente si acquisiscono migliori conoscenze e, se necessario, si modifica la progettazione durante la costruzione.

La meccanica dei terreni è in grado di fornirci le conoscenze richieste per le pratiche applicazioni con un metodo definito “learn-as-you-go” (impara dall'esperienza)”.

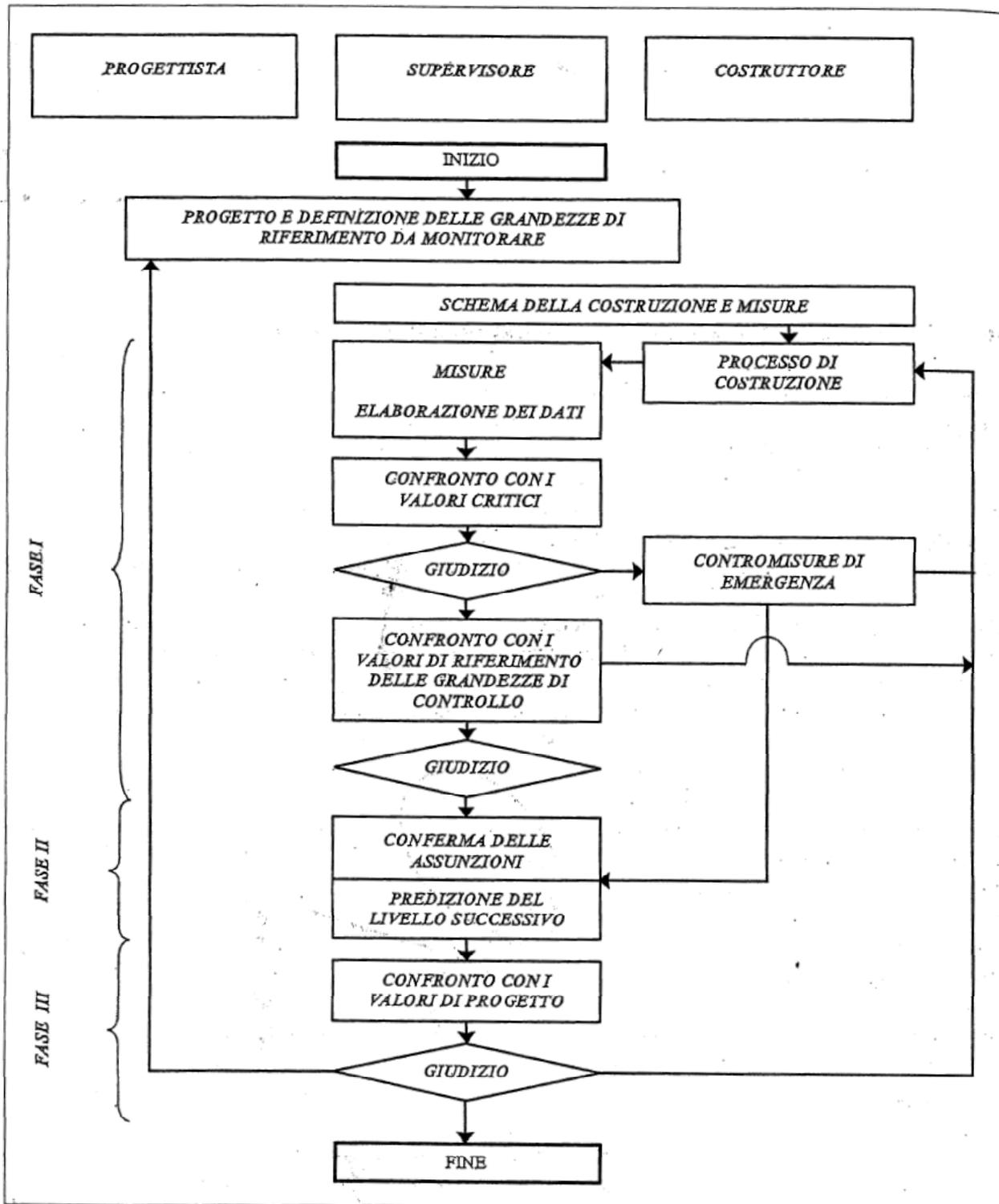


Figura 2.2 Schema di flusso del Metodo Osservazionale (Ikuta et al. 1994)

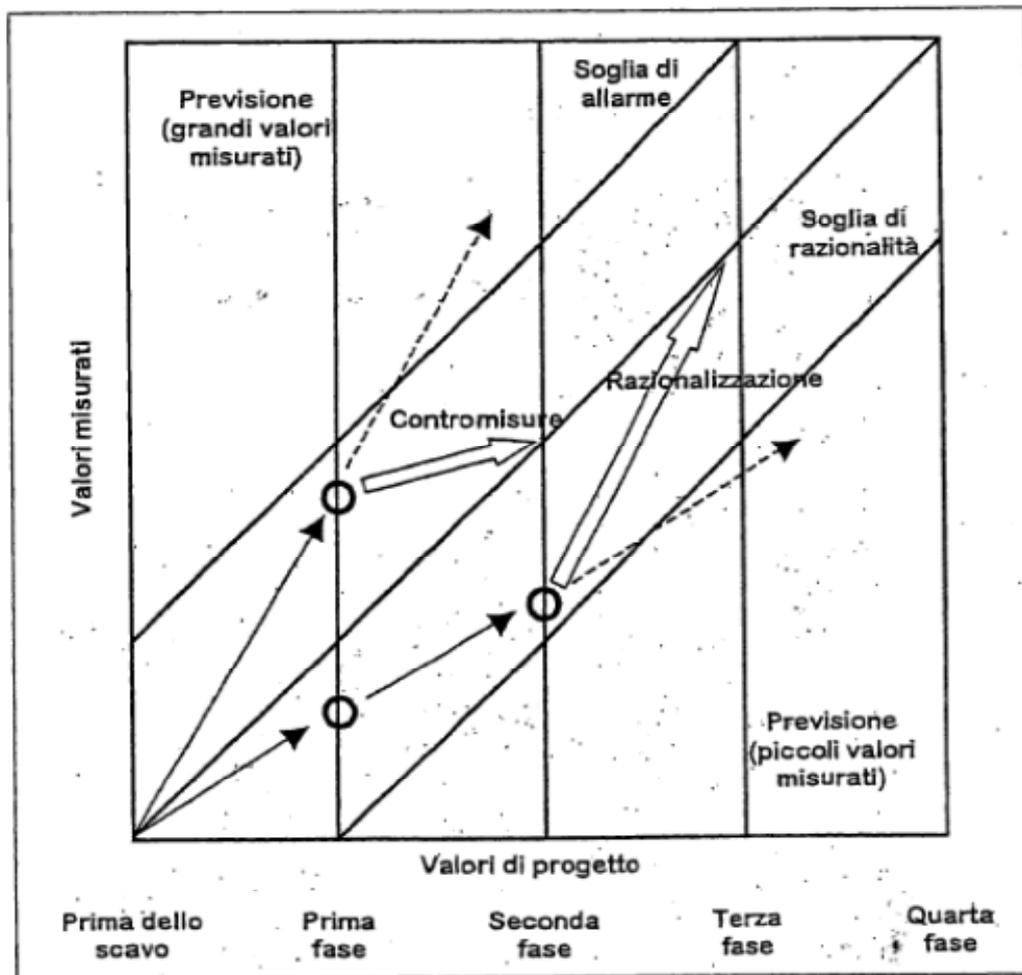


Figura 2.3 Schema dell'approccio adottato dal Metodo Osservazionale (Ikuta et al. 1994)

2.1 Metodo di Analisi Adottato

Per il progetto delle gallerie in oggetto, è stato adottato l'approccio basato sul Metodo A.De.Co. RS (Analisi delle Deformazioni Controllate nelle rocce e nei suoli - Lunardi, 2001).

Occorre innanzitutto evidenziare una peculiarità delle opere in sotterraneo, ben conosciuta dai progettisti e costruttori ma non sempre sufficientemente evidenziata, ovvero che, assai spesso, la fase in cui l'opera è maggiormente sollecitata non è quella finale della galleria terminata, sottoposta ai carichi esterni presunti all'atto del suo dimensionamento, bensì quella della fase costruttiva intermedia, assai più delicata in quanto gli effetti del disturbo causato dallo scavo non sono stati ancora completamente contenuti con le opere di rivestimento definitivo, allorché le tensioni preesistenti nell'ammasso, deviate dall'apertura del cavo, si canalizzano al suo contorno ("effetto arco") creando delle zone di sovrasollecitazione in corrispondenza alle pareti di scavo.

Questa fase di passaggio appare particolarmente delicata se si pensa che è proprio dalla corretta canalizzazione del flusso di tensioni al contorno del cavo che dipende la tenuta e la durabilità

dell'opera nel tempo. La canalizzazione, compatibilmente con l'entità degli stati tensionali in gioco, in relazione alle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del terreno, si può produrre:

1. in prossimità del profilo di scavo;
2. lontano dal profilo di scavo;
3. per niente.

Il primo caso si verifica quando il terreno al contorno del cavo ben sopporta il flusso delle tensioni deviate rispondendo elasticamente in termini di resistenza e di deformabilità.

Il secondo caso si verifica quando il terreno al contorno del cavo, non essendo in grado di sopportare il flusso di tensioni deviate, risponde anelasticamente, plasticizzandosi e deformandosi proporzionalmente al volume di terreno coinvolto dal fenomeno di plasticizzazione; quest'ultimo, che provoca peraltro aumenti di volume del terreno interessato, propagandosi radialmente, fa deviare la canalizzazione delle tensioni verso l'interno dell'ammasso, finché lo stato tensionale di tipo triassiale risulta compatibile con le caratteristiche di resistenza del terreno. In questa situazione, l'effetto arco si forma lontano dalle pareti di scavo e il terreno al contorno, ormai alterato, potrà collaborare alla statica finale del cavo solo con la propria resistenza residua e darà luogo a fenomeni deformativi di notevole entità.

Il terzo caso si verifica quando il terreno al contorno del cavo, non essendo assolutamente in grado di sopportare il flusso di tensioni deviate, risponde raggiungendo la resistenza ultima e producendo, conseguentemente, il crollo della cavità.

Questi tre casi sono mostrati nella seguente Figura 2.4.

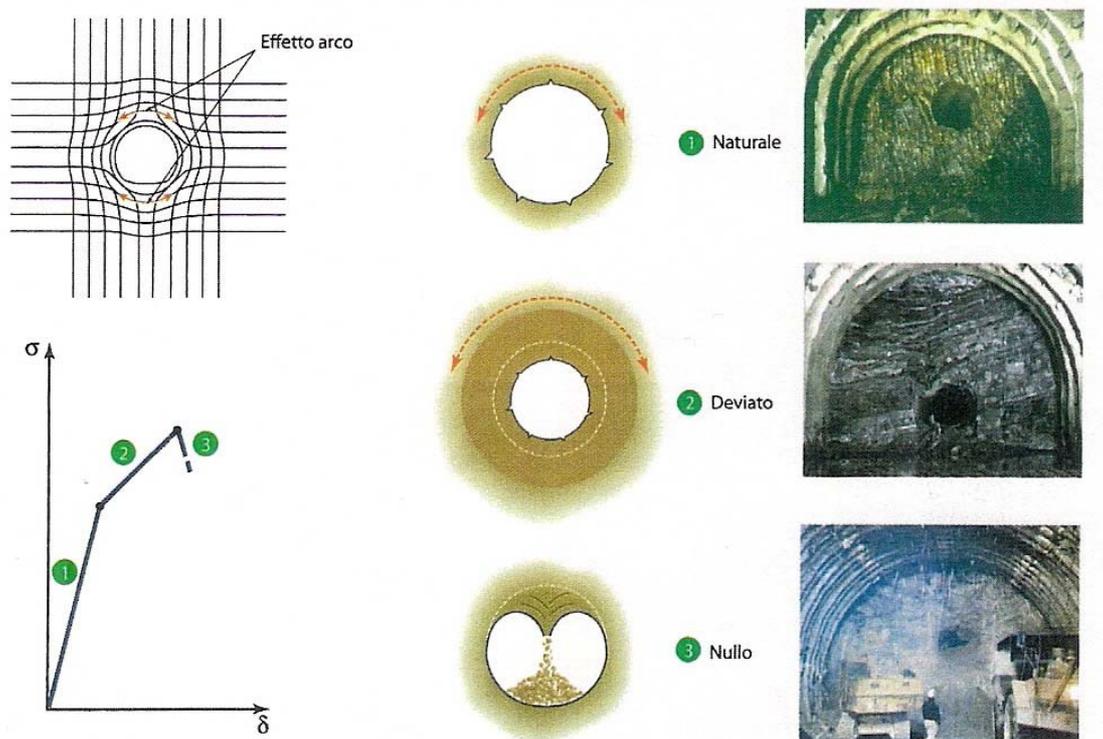


Figura 2.4 Formazione o meno dell'effetto arco per effetto dello scavo di una cavità (Lunardi, 1994).

Dall'analisi di queste tre situazioni ne consegue che:

- l'effetto arco per via naturale si produce solo nel primo caso;
- nel secondo caso, l'effetto arco per via naturale si produce solamente se il terreno viene "aiutato" con adatti interventi di stabilizzazione;
- nel terzo caso l'effetto arco, non potendosi produrre per via naturale, va prodotto per via artificiale, intervenendo adeguatamente sul terreno stesso prima di scavarlo.

Il primo e più importante compito del progettista di gallerie è pertanto quello di studiare se e come l'effetto arco potrà innescarsi all'atto dello scavo della galleria e poi garantirne la formazione calibrando appropriatamente, in funzione delle diverse situazioni tensio - deformative, le modalità di scavo e gli interventi di stabilizzazione

Per la corretta progettazione di una galleria è inoltre importante definire i seguenti termini che permettono di descrivere la complessa risposta deformativa del terreno per effetto dello scavo di una galleria (Figura 2.5):

- nucleo di avanzamento: identificato con il volume di terreno che sta a monte del fronte di scavo, di forma pressoché cilindrica e dimensione trasversale e longitudinale dell'ordine del diametro della galleria;
- estrusione: identificata con la componente primaria della risposta deformativa del mezzo all'azione dello scavo, che si sviluppa in gran parte all'interno del nucleo di avanzamento; funzione della resistenza, della deformabilità del nucleo e del campo di tensioni originario cui è soggetto, si manifesta in corrispondenza della superficie delimitata dal fronte di scavo, in senso longitudinale all'asse della galleria, con geometrie di deformazione più o meno assialsimmetriche (spanciamento del fronte) o di ribaltamento gravitativo (rotazione del fronte);
- preconvergenza della cavità: identificata con la convergenza del profilo teorico di scavo a monte del fronte, strettamente dipendente dalle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del nucleo di avanzamento in rapporto allo stato tensionale originario.

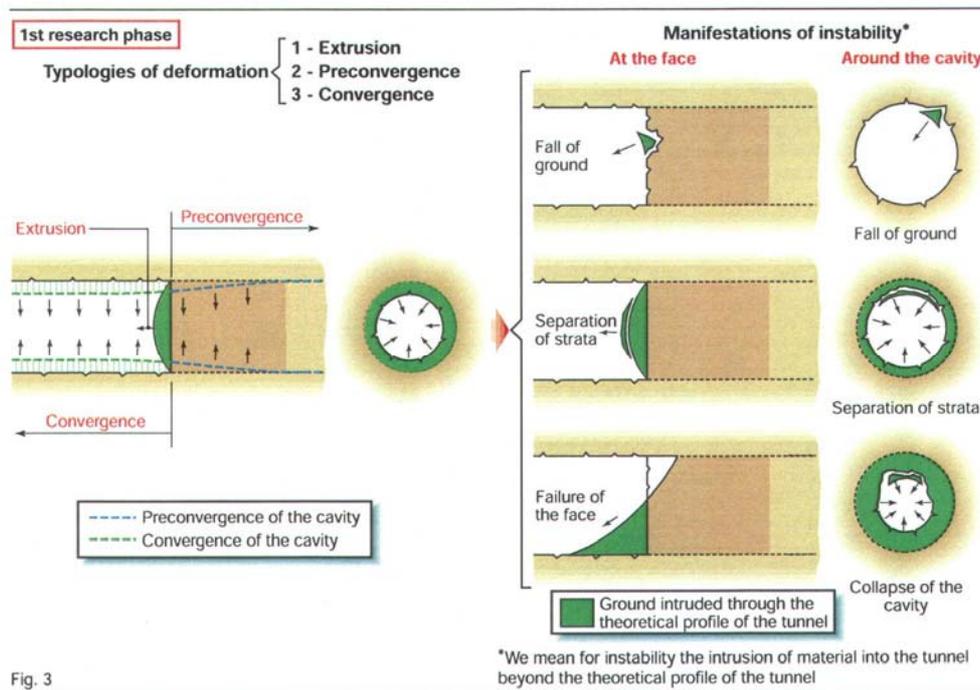


Figura 2.5 Definizione dei diversi fenomeni deformativi che si registrano per effetto dello scavo di una galleria (Lunardi, 2001).

Gli studi e le osservazioni durante lo scavo di numerose gallerie condotte da Lunardi hanno evidenziato che la risposta deformativa del cavo nasce a monte del fronte in corrispondenza del nucleo di avanzamento ed evolve a valle dello stesso lungo la cavità e che essa non è solo convergenza, ma è composta da estrusione, preconvergenza e convergenza. La convergenza è solamente l'ultimo stadio di un processo tensio – deformativo assai complesso.

In questa ottica, le tre fondamentali situazioni tensio-deformative del sistema fronte di scavo – nucleo di avanzamento individuano anche i tre possibili tipi di comportamento della cavità (Figura 2.6, Lunardi, 2001):

- Comportamento a fronte stabile (categoria di comportamento A). La categoria A è identificabile quando lo stato di coazione nel terreno al fronte ed al contorno del cavo non supera la resistenza al taglio del mezzo. I fenomeni deformativi evolvono in campo elastico, sono immediati e di ordine centimetrico. Il fronte di scavo è globalmente stabile. Si possono verificare solo instabilità locali riconducibili al distacco gravitativo di blocchi isolati da uno sfavorevole assetto strutturale dell'ammasso roccioso; in questo contesto, infatti, gioca un ruolo fondamentale l'anisotropia tensionale e deformativa del terreno. L'eventuale presenza di acqua, anche in regime idrodinamico, non influenza la stabilità della galleria, a meno che non si tratti di terreni alterabili o che gradienti idraulici troppo intensi non provochino un dilavamento tale da abbattere la resistenza al taglio lungo i

piani di discontinuità. Gli interventi di stabilizzazione sono per lo più volti ad impedire la sfioritura del terreno ed al mantenimento del profilo di scavo.

- Comportamento a fronte stabile a breve termine (categoria di comportamento B). La categoria B è identificabile quando lo stato di coazione nel terreno al fronte ed al contorno del cavo, durante l'avanzamento, è tale da superare la capacità di resistenza in campo elastico del mezzo. L'effetto arco non si realizza immediatamente al contorno del cavo, bensì ad una distanza che dipende dalla potenza della fascia dove il terreno subisce il fenomeno della plasticizzazione. I fenomeni deformativi evolvono in campo elastoplastico, sono differiti e di ordine centimetrico o anche decimetrico. Il fronte alle normali cadenze di avanzamento è stabile a breve termine e la sua stabilità migliora o peggiora aumentando o diminuendo la velocità di avanzamento. Le deformazioni del nucleo sotto forma di estrusioni non condizionano la stabilità della galleria, perché il terreno è ancora in grado di mobilitare una sufficiente resistenza residua. I fenomeni d'instabilità, sotto forma di splaccaggi diffusi sul fronte ed al contorno del cavo lasciano il tempo di operare dopo il passaggio del fronte con interventi di stabilizzazione tradizionali di contenimento radiale. In talune circostanze può essere necessario ricorrere anche ad azioni di precontenimento del cavo, bilanciando gli interventi di stabilizzazione tra il fronte ed il cavo in modo da contenere i fenomeni deformativi a limiti accettabili. La presenza di acqua, specie in regime idrodinamico, riducendo la capacità di resistenza al taglio del terreno, favorisce l'estendersi della plasticizzazione ed accresce quindi l'importanza dei fenomeni di instabilità. E' necessario perciò prevenirla soprattutto nella zona del fronte, deviando i percorsi all'esterno del nucleo.
- Comportamento a fronte instabile (categoria di comportamento C). La categoria C è identificabile quando lo stato di coazione nel terreno supera sensibilmente la capacità di resistenza dello stesso anche nella zona del fronte d'avanzamento. L'effetto arco non può formarsi né al fronte né al contorno del cavo poiché il terreno non possiede sufficiente resistenza residua. I fenomeni deformativi sono inaccettabili perché evolvono immediatamente in campo di rottura dando luogo a gravi manifestazioni d'instabilità, quali il crollo del fronte ed il collasso della cavità, senza lasciare il tempo di operare con interventi di contenimento radiale: occorrono interventi di preconsolidamento lanciati a monte del fronte di avanzamento che sviluppino un'azione di precontenimento capace di creare effetti arco artificiali. La presenza di acqua in regime idrostatico, se non tenuta in debito conto, riducendo ulteriormente la capacità di resistenza al taglio del terreno, favorisce l'estendersi della plasticizzazione ed accresce, in definitiva, l'entità dei fenomeni deformativi. La stessa, in regime idrodinamico, si traduce in fenomeni di trascinamento di

materiale e di sifonamento assolutamente inaccettabili. E' dunque necessario prevenirla, soprattutto nella zona del fronte, deviandone i percorsi all'esterno del nucleo.

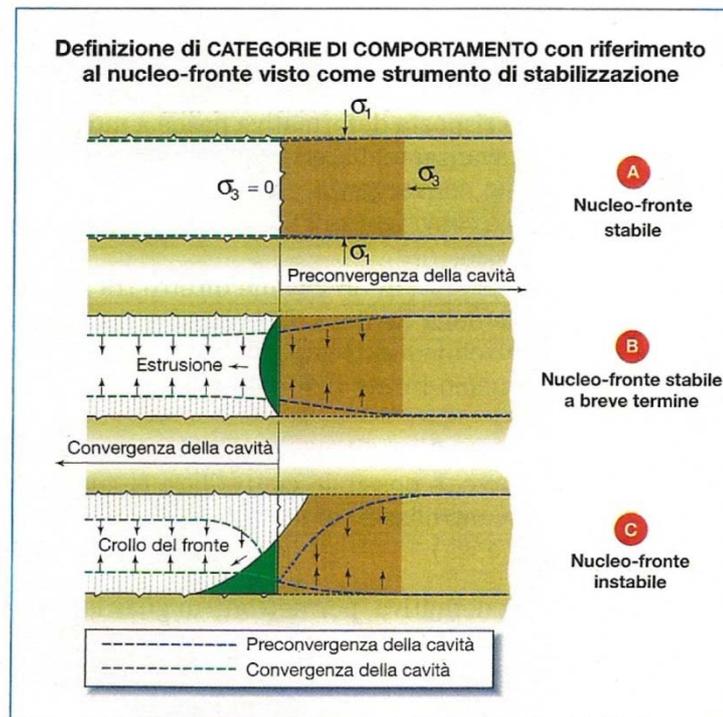


Figura 2.6 Definizione delle categorie di comportamento con riferimento al nucleo di avanzamento (Lunardi, 2001).

Sulla base di tali concetti è stato messo a punto il metodo A.DE.CO.-R.S.. L'Analisi delle **DE**formazioni **CO**ntrollate nelle **RO**ccie e nei **SU**oli (A.DE.CO.-R.S.) è un approccio progettuale e costruttivo, presentato per la prima volta da Lunardi, suo ideatore, nel 1988 la cui attendibilità si è definitivamente affermata nello scavo di gallerie in condizioni tensio - deformative particolarmente difficili, dove l'applicazione di altri metodi quali il NATM (Nuovo Metodo Austriaco) aveva dimostrato i propri limiti.

Questo nuovo tipo di approccio, partendo dalla semplice osservazione che il problema statico di una galleria in fase di avanzamento è assolutamente tridimensionale e non riconducibile ad un semplice schema piano, giunge sulla scorta dei risultati di oltre 25 anni di ricerche, alle seguenti conclusioni (Lunardi, 2006):

1. la stabilità di una galleria a breve e lungo termine dipende dalla formazione di un "effetto arco" nel terreno al contorno del cavo;
2. la formazione dell'effetto arco è segnalata dal tipo e dall'entità della risposta deformativa;
3. la risposta deformativa del terreno allo scavo si identifica nell'estrusione del nucleo di avanzamento al fronte di scavo ed evolve prima come preconvergenza e poi come

convergenza del cavo; in questo processo evolutivo quest'ultima rappresenta solo l'ultimo stadio del fenomeno;

4. la risposta deformativa è condizionata dalla rigidità del nucleo d'avanzamento;
5. la stabilizzazione di una galleria si persegue con azioni di precontenimento del cavo, oltre che di semplice contenimento.

Caratteristiche peculiari dell'approccio progettuale secondo l'Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli possono considerarsi:

- la possibilità di dare una risposta a tutte le situazioni geologico – geomeccaniche possibili indipendentemente dalla natura dei terreni, grazie ad un nuovo tipo d'inquadramento delle opere in sotterraneo (che fa riferimento a un unico parametro comune a tutti gli scavi, quale il comportamento tensio - deformativo del sistema "fronte di scavo – nucleo d'avanzamento" e all'introduzione del concetto di precontenimento del cavo e dei "sistemi conservativi");
- la distinzione netta tra il momento della progettazione e il momento della costruzione di un'opera in sotterraneo, fondamentale per pianificare costi e tempi esecutivi, in quanto conduce ad una corretta impostazione del progetto, del capitolato di costruzione e del manuale di controllo qualità.

Esso prevede che il progetto e la costruzione di un'opera in sotterraneo si sviluppino attraverso le seguenti fasi:

- una fase conoscitiva comprendente gli studi geologici, le indagini geotecniche, la loro interpretazione e la definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici per la progettazione delle opere;
- una fase di diagnosi nella quale, sulla base delle conoscenze geologiche, idrogeologiche, geotecniche e geomeccaniche raccolte nella fase conoscitiva, il progettista è chiamato a fare una previsione attendibile riguardo al comportamento tensio – deformativo dello scavo in sotterraneo, in assenza di stabilizzazione. Da questa previsione dipende la scelta degli interventi di stabilizzazione, quindi la riuscita del progetto. La previsione è effettuata, utilizzando metodi analitici e/o numerici, in termini di genesi, localizzazione, evoluzione ed entità dei probabili fenomeni deformativi che s'innescano nella fascia di terreno o ammasso roccioso attorno allo scavo, considerando con particolare attenzione il comportamento del fronte d'avanzamento. Tale comportamento può ricadere in una delle già descritte tre categorie: fronte stabile (categoria di comportamento A), fronte stabile a breve termine (categoria di comportamento B), fronte instabile (categoria di comportamento C);
- una fase di terapia, nella quale dopo avere formulato previsioni attendibili riguardo al comportamento tensio – deformativo dell'ammasso in seguito allo scavo, sono scelti gli

interventi di stabilizzazione più idonei a controllare, contenere o addirittura anticipare ed annullare le deformazioni. Nel caso della realizzazione di grandi cavità sono inoltre definiti il profilo e le diverse fasi di scavo, al fine di minimizzare le zone da consolidare al contorno;

- una fase operativa e di verifica in corso d'opera che prevede sistematici rilievi geostrukturali dei fronti di scavo e l'adozione di un sistema di monitoraggio che permetta mediante misure d'estrusione del fronte, misure di convergenza, misure estensimetriche ecc., di verificare la correttezza delle ipotesi progettuali.

Questo approccio è stato recepito nei capitolati delle maggiori amministrazioni italiane nel campo stradale e ferroviario ed è correntemente impiegato nella realizzazione delle grandi opere nazionali.

Con particolare riferimento alla fase di diagnosi il progettista, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, procede ad una suddivisione del tracciato della galleria in tratte a comportamento deformativo omogeneo, nell'ambito delle tre categorie di comportamento fondamentali A, B, C (fronte stabile, fronte stabile a breve termine, fronte instabile). Onde perseguire questo obiettivo egli fa previsioni, per via teorica, sulla risposta deformativa del mezzo all'azione dello scavo, con particolare riguardo ai fenomeni deformativi che, in assenza di interventi di stabilizzazione, si manifesterebbero al fronte d'avanzamento e, di conseguenza, nella fascia di terreno al contorno del cavo. L'analisi della risposta deformativa del fronte di scavo – nucleo d'avanzamento e del cavo viene condotta in termini di genesi, localizzazione, evoluzione ed entità, facendo ricorso a metodi sperimentali e strumenti matematici quali le curve caratteristiche, gli elementi finiti, ecc. che, in funzione dell'attendibilità dei parametri geomeccanici d'ingresso, siano in grado di orientare il progettista nella definizione dell'appartenenza delle diverse tratte di galleria alle tre categorie di comportamento A, B, C già citate. In fase di progettazione iniziale, tra i differenti metodi di calcolo disponibili, il metodo delle curve caratteristiche appare particolarmente utile e semplice da impiegare per definire la categoria di comportamento del cavo (Figura 2.7).

Per quanto concerne i metodi sperimentali, in certi tipi di terreno le prove di estrusione in cella triassiale consentono di simulare in laboratorio, su provini indisturbati di materiale prelevato in sito, l'avanzamento della galleria sotto le diverse coperture e le modifiche tensionali indotte dall'azione di scavo nel sistema fronte di scavo – nucleo d'avanzamento, evidenziandone il tipo di comportamento (Figura 2.7).

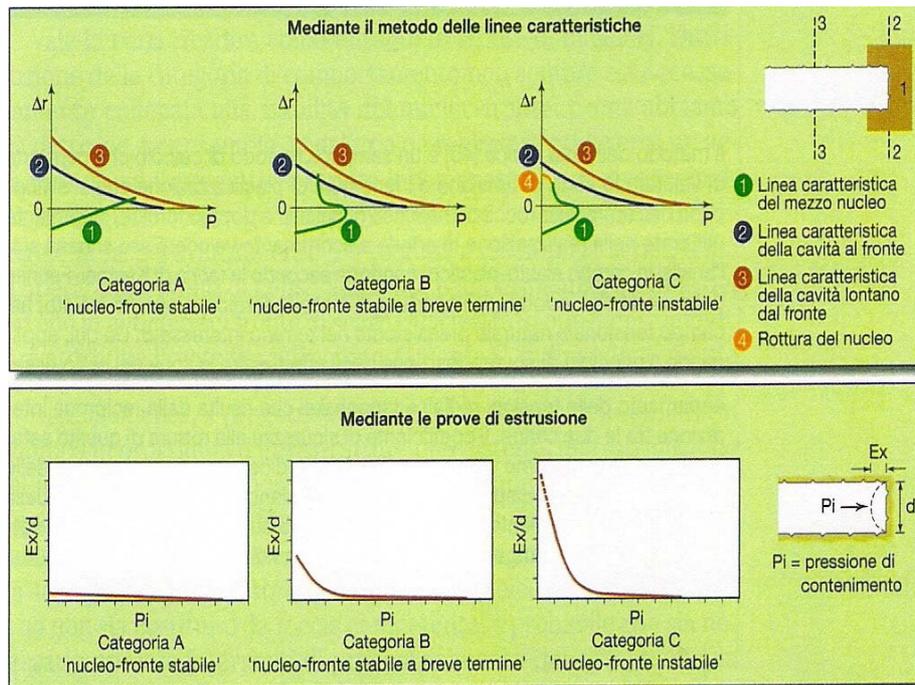


Figura 2.7 Determinazione della categoria di comportamento sulla base del metodo delle curve caratteristiche o dei risultati di prove di estrusione in cella triassiale.

Una volta definita la categoria di comportamento è quindi possibile operare la scelta del tipo di azione da esercitare (precontenimento, contenimento, o presostegno) per ottenere la completa stabilizzazione della galleria (regimazione dei fenomeni deformativi).

In linea di massima il progettista:

- potrà limitarsi ad esercitare azioni di semplice contenimento, nel caso di gallerie con comportamento deformativo a fronte stabile (categoria A);
- dovrà orientarsi a produrre energiche azioni di precontenimento – oltre, ovviamente, a quelle di contenimento – nel caso di gallerie con comportamento deformativo a fronte instabile (categoria C);
- potrà optare tra il precontenimento del cavo o il semplice contenimento dello stesso, in funzione della velocità e cadenza di avanzamento che stima di poter realizzare, nel caso di gallerie con comportamento deformativo a fronte stabile a breve termine (categoria B).

La scelta del tipo di azione da esercitare, una volta operata, dovrà essere perfezionata in termini di sistemi, cadenze, fasi di scavo e soprattutto interventi e strumenti di stabilizzazione, stabilendo per questi ultimi come e dove dovranno essere messi in opera rispetto alla posizione del fronte di avanzamento, in funzione delle tre categorie di comportamento A, B, C affinché producano l'azione desiderata.

Per ottenere nella pratica il tipo di azione prescelto, il progettista ha a disposizione una serie di strumenti con i quali può realizzare tutti i tipi di interventi di stabilizzazione necessari.

Nel ricordare che gli interventi di stabilizzazione sono di tipo:

- conservativo, quando il loro effetto primario è quello di contenere la diminuzione della tensione principale minore per evitare di raggiungere la resistenza ultima del terreno;
- migliorativo, quando agiscono principalmente incrementando le caratteristiche di resistenza al taglio del mezzo.

Tra gli strumenti a disposizione del progettista nell'ambito degli interventi che producono azioni di precontenimento del cavo (Figura 2.8), quelli che esercitano un effetto essenzialmente conservativo sono:

- tegoli di calcestruzzo proiettato fibrorinforzato realizzati mediante pretaglio meccanico lungo il profilo di scavo, con l'impiego dello stesso pretaglio come cassaforma;
- preconsolidamento del nucleo, per profondità non inferiori al diametro di scavo, mediante chiodi tubolari di vetroresina fissati al terreno con malta cementizia, con intensità da definire in funzione dell'incremento di resistenza al taglio che si intende conferire allo stesso;
- ombrelli tronco-conici, costituiti dall'accostamento di colonne sub-orizzontali di terreno consolidato mediante jet – grouting.

Esercitano invece un effetto prevalentemente migliorativo:

- ombrelli tronco-conici di terreno consolidato mediante iniezioni tradizionali o per congelamento;
- ombrelli tronco – conici di drenaggi, quando si è in presenza di falda.

Fra gli strumenti a disposizione del progettista nell'ambito degli interventi che producono azioni di contenimento del cavo, quelli che esercitano un'azione principalmente conservativa sono (Figura 2.9 e Figura 2.10):

- guscio di calcestruzzo proiettato di prima fase, capace di produrre, in funzione del proprio spessore, una pressione di contenimento al contorno del cavo;
- scavo meccanizzato a piena sezione mediante scudi a pressione, capaci di produrre una pressione di contenimento sul fronte e sul cavo (anello di rivestimento di conci prefabbricati);
- scavo meccanizzato mediante scudi aperti, che forniscono un contenimento radiale al terreno durante le operazioni di scavo;
- bullonatura radiale realizzata mediante bulloni ad ancoraggio puntuale che applica, sul paramento della galleria, una pressione di contenimento "attiva", di entità predeterminata dalla pretensione con cui vengono tesi i bulloni;
- arco rovescio, che crea una struttura di rivestimento chiusa, moltiplicando la capacità del guscio di rivestimento di prima fase di sviluppare elevate pressioni di contenimento al contorno del cavo.

Esercita invece un effetto prevalentemente migliorativo:

- anello di terreno armato al contorno della cavità, realizzato mediante bulloni ad aderenza continua capaci di incrementare la resistenza al taglio del terreno trattato.

Gli strumenti, che non ricadono in questi due ambiti poiché non producono né azioni di precontenimento né di contenimento, si dicono interventi di presostegno o di sostegno, a seconda che agiscano o non agiscano a monte del fronte di avanzamento. Essi non hanno alcuna influenza sulla formazione dell'effetto arco, non essendo in grado né di contenere in maniera apprezzabile il decadimento della tensione principale minore né di migliorare in maniera determinante la resistenza al taglio del terreno. Fanno parte degli interventi di presostegno, ad esempio, gli infilaggi, eredi dei marciavanti, che sebbene costituiti da elementi strutturali appoggiati su centine messe in opera dopo lo scavo e disposti lungo una generatrice circolare, non sono in grado di produrre effetti arco in avanzamento per carenza di reciproca collaborazione in senso trasversale.

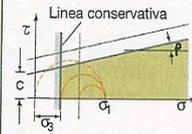
Fase di terapia		Tipo di effetto esercitato dagli strumenti di stabilizzazione utilizzati				
Azione sulla cavità	Strumenti di stabilizzazione	Interventi agenti su		Acqua in pressione		
		C, ϕ	σ_3			
Precontenimento Consolidamento del terreno a monte del fronte Azione di precontenimento	Iniezioni tradizionali (e)	•	•	•		
	Congelamento (e)	•	•	•		
	Jet-grouting sub-orizzontale (e)	•	•	•		
	Pretaglio meccanico (e)	•	•	•		
	Drenaggi (e)	•	•	•		
Contenimento Consolidam. reale Azione di contenimento	Rinforzo del terreno al contorno della cavità e del nucleo mediante elementi strutturali di vetroresina (e)	•	•	•		
	Spritz-beton (e)	•	•	•		
	Bullonatura ad aderenza continua (e)	•	•	•		
	Bullonatura ad ancoraggio punt. (e)	•	•	•		
Presost.	Arco rovescio (e)	•	•	•		
	Infilaggi	•	•	•		
					Legenda: (e) = Strumento strutturale σ_3 = Pressione di contenimento C = Coesione del terreno ϕ = Angolo d'attrito del terreno 	

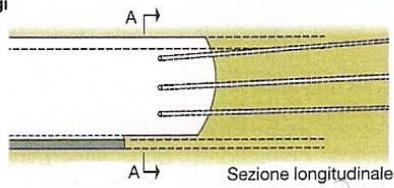
Figura 2.8 Interventi di stabilizzazione disponibili (Lunardi, 2001).

Controllo

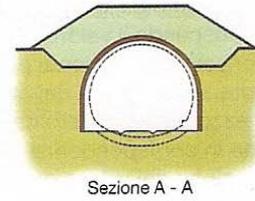
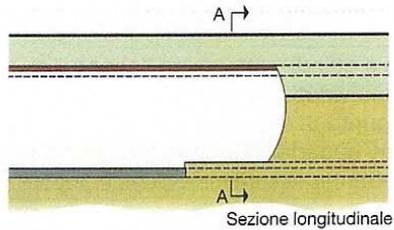
Interventi conservativi

Interventi di protezione del nucleo-fronte

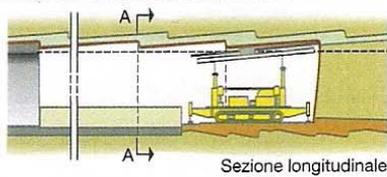
Drenaggi



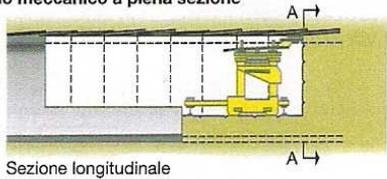
Protesi



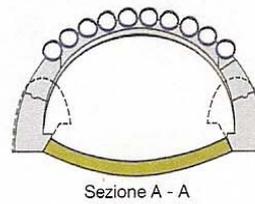
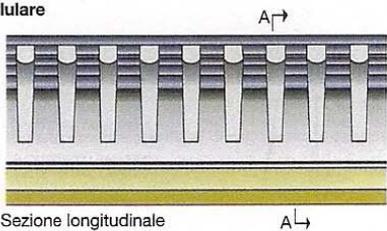
Jet-grouting sub-orizzontale a piena sezione



Pretaglio meccanico a piena sezione



Arco cellulare



Interventi di rinforzo del nucleo-fronte

Rinforzo del nucleo-fronte mediante elementi strutturali di vetroresina

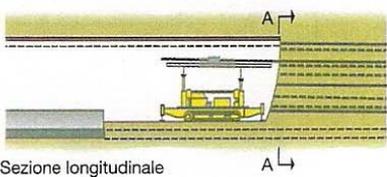


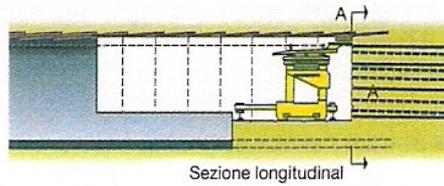
Figura 2.9 Interventi conservativi, interventi di protezione del nucleo - fronte (Lunardi, 2001).

Controllo

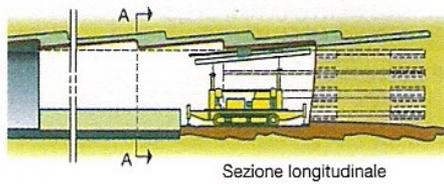
Interventi conservativi

Interventi misti

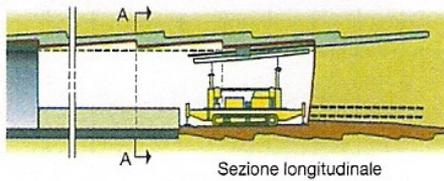
Pretaglio meccanico a piena sezione o pretunnel e rinforzo del nucleo-fronte mediante elementi strutturali di vetroresina



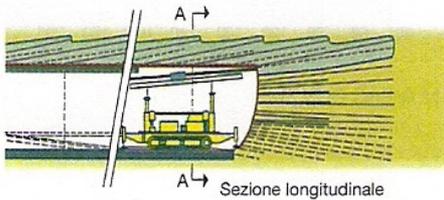
Jet-grouting sub-orizzontale al contorno della cavità e nel nucleo-fronte



Jet-grouting sub-orizzontale al contorno della cavità e rinforzo del nucleo-fronte mediante elementi strutturali di vetroresina



Rinforzo del terreno con elementi strutturali di vetroresina al contorno della cavità e nel nucleo



Iniezioni tradizionali di miscele cementizie o chimiche

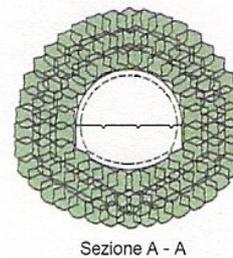
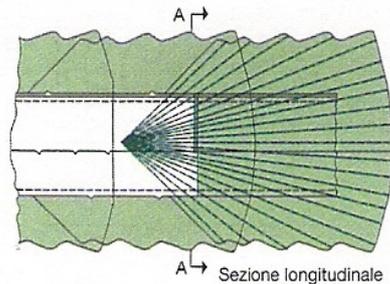


Figura 2.10 Esempi di interventi di stabilizzazione di tipo conservativo, tecniche miste di preconsolidamento del nucleo di avanzamento e del contorno del cavo (Lunardi, 2001).

Una volta che sulla base dell'indagine geologica e geotecnica e della caratterizzazione geotecnica si sono individuate delle tratte caratterizzate da un comportamento, secondo il metodo ADECO-

RS, di tipo C con nucleo e fronte instabile occorre procedere al dimensionamento del numero di tubi in vetroresina.

A questo riguardo, occorre seguire il seguente iter progettuale (Lunardi, 2006):

- Esecuzione di prove di estrusione in cella triassiale mediante le quali ottenere delle curve di estrusione che permettono una prima valutazione della pressione di contenimento minima P_i necessaria per la stabilizzazione del fronte (definita come pressione di confine fra il ramo elastico e quello elasto-plastico della curva di estrusione (Figura 2.11).
- Impiego del metodo delle linee caratteristiche, tenendo conto, in maniera semplificata, dell'effetto del preconsolidamento del nucleo nel calcolo della linea caratteristica corrispondente. Occorre evidenziare che soprattutto per delle analisi iniziali di sensitività sull'influenza dei parametri geomeccanici, un approccio di calcolo pseudo-tridimensionale in campo elasto-plastico noto come teoria delle linee caratteristiche, rimane tutt'oggi uno dei pochi metodi con cui è possibile prevedere in maniera semplice, ma per molti scopi sufficientemente approssimata, il comportamento tensio-deformativo del nucleo – fronte e del cavo. In particolare nel tracciare la curva caratteristica del nucleo si valuta l'incremento della resistenza del mezzo nucleo, per effetto di un determinato numero di elementi strutturali in vetroresina, necessario perché l'intersezione fra la linea caratteristica del nucleo e quella della galleria al fronte che individua la situazione tensio – deformativa di equilibrio avvenga con valori contenuti di deformazione e convergenza (Figura 2.11).
- Se le prove di estrusione forniscono un elemento sperimentale sul materiale interessato dagli scavi e il metodo delle curve caratteristiche permette un primo dimensionamento di massima, *l'approccio fondamentale per il progetto e la verifica degli interventi di preconsolidamento deve essere basato su analisi numeriche 3D*. Le analisi numeriche tridimensionali anche se impegnative dal punto di vista del tempo necessario per il loro sviluppo e per ottenere i risultati, sono le uniche in grado di tenere conto della complessità di ogni singolo problema per quanto concerne la stratigrafia, i relativi parametri geomeccanici e la forma della sezione di scavo.

Nel caso di gallerie che interessano formazioni strutturalmente complesse, costituite da argilliti con proprietà geomeccaniche particolarmente scadenti (categoria di comportamento C), per le quali non è possibile prelevare campioni indisturbati per prove di estrusione in cella triassiale, a causa della complessa struttura del materiale (scaglie, giunti ed elevato grado di tettonizzazione), l'analisi tensio - deformativa della galleria viene condotta direttamente con analisi numeriche 3D, con il programma alle differenze finite FLAC3D, evitando di ricorrere a metodi approssimati quali il metodo delle curve caratteristiche.

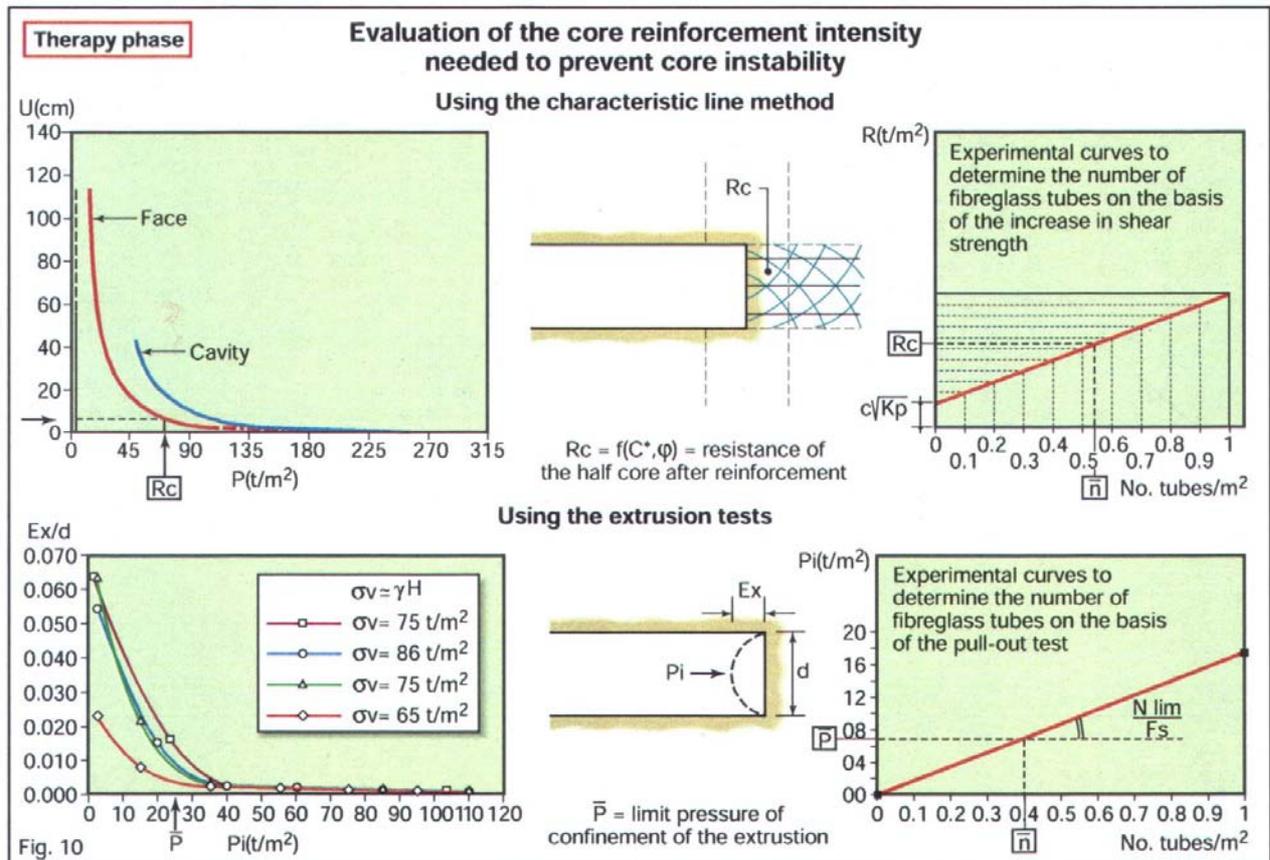


Figura 2.11 Metodo A.DE.CO.-R.S., alcuni degli approcci (curve caratteristiche e prove di estrusione in cella triassiale) per il dimensionamento dell'intervento di preconsolidamento (Lunardi, 2001).

Sulla base pertanto della definizione della categoria di comportamento (A, B o C), il progettista è in grado di stabilire le sezioni tipo longitudinali e trasversali da adottare. La tabella di Figura 2.12 indica schematicamente il campo di applicabilità dei singoli strumenti di stabilizzazione a disposizione del progettista, dal cui assemblaggio scaturiscono le sezioni tipo idonee a garantire la fattibilità dello scavo e la stabilità a breve e a lungo termine della galleria.

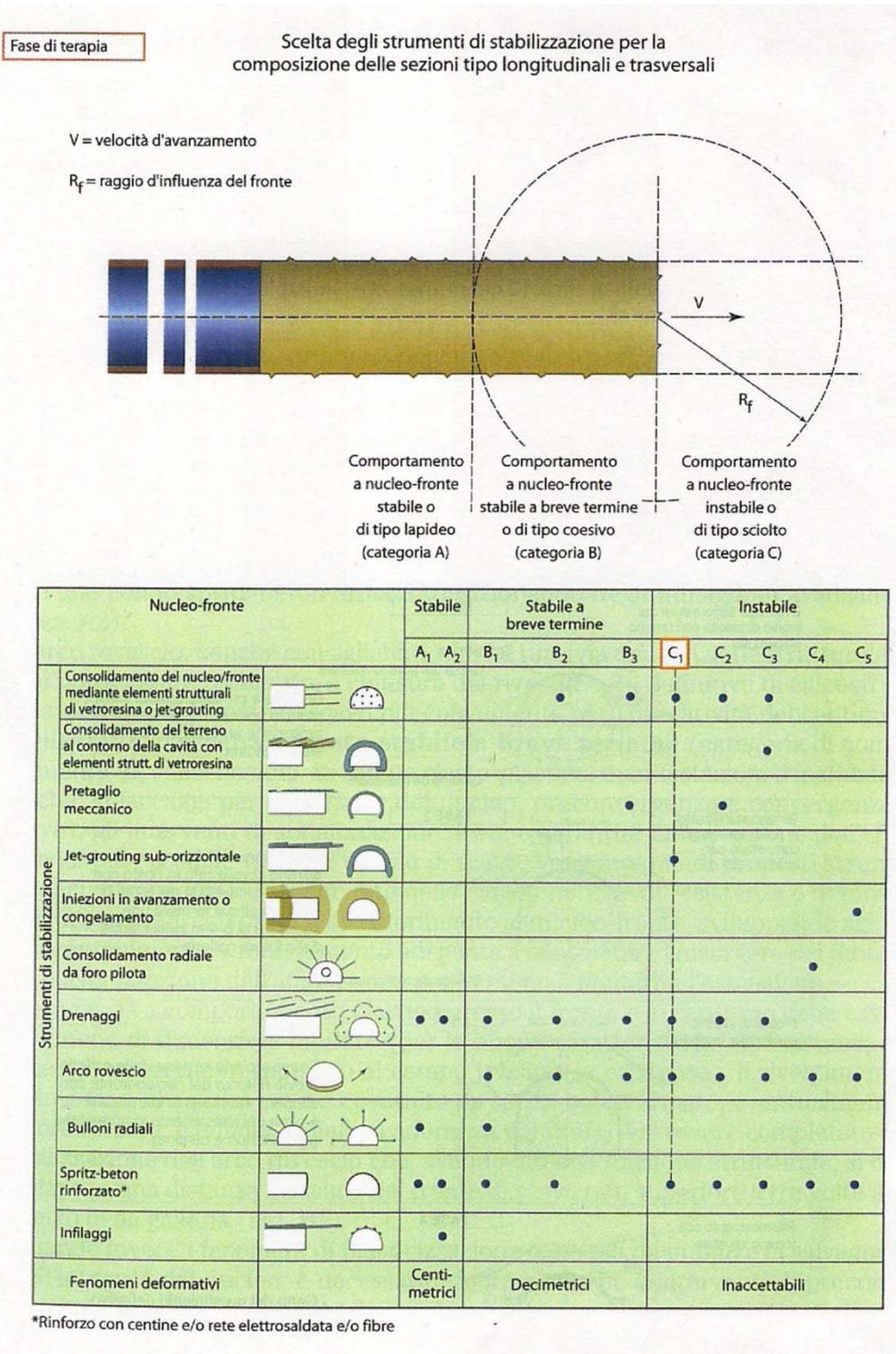


Figura 2.12 Interventi di stabilizzazione disponibili per la composizione delle sezioni tipo di scavo e avanzamento in galleria (Lunardi, 2001).

La seguente Figura 2.13 mostra un esempio di come, per ogni galleria analizzata, verranno riepilogati i dati salienti relativamente: (1) alle sezioni tipo adottate, (2) ai criteri di applicazione, (3) ai criteri di variabilità degli interventi di preconsolidamento, di sostegno di prima fase e di

rivestimento definitivo, in funzione delle effettive condizioni geologiche e geomeccaniche riscontrate e dell'entità della risposta deformativa ottenuta dal monitoraggio (estrusioni e convergenze).

GEOLOGIA	GEOMECCANICA	COPERTURE (m)	CATEGORIE DI COMPORTAMENTO PREVALENTE	SEZIONI TIPO PREVALENTE				RISPOSTA DEFORMATIVA PREVISTA	VARIABILITA'				NOTE	
				INTERVENI		RISPOSTA			INTERVENI		APPLICAZIONI			
				TIPO	h base	h base	h base		h base	h base	h base	h base		
MARNOSO ARENACEA	1	p= 20/28 c= 20/25 s= 10/12	0 300	A	Ab	*15 buloni p=1,50m SS sp=15m	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	*12-20 buloni p=1,50-2,00m SS sp=10-20cm	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	= la disposizione delle roggere seguire l'andamento della stratificazione
					Ac	bolina 20x180 p=1,50m SS sp=15m	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	bolina mediana 20x180 p=1,50-1,85m SS sp=15cm	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	= poggia centrale in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso
	2	p= 20/28 c= 20/25 s= 5/11	0 200	A	Ab	*18 buloni p=1,50m SS sp=15m	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	*12-20 buloni p=1,50-2,00m SS sp=10-20cm	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	= la disposizione delle roggere seguire l'andamento della stratificazione
					Ac	bolina 20x180 p=1,50m SS sp=15m	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	bolina mediana 20x180 p=1,50-1,85m SS sp=15cm	CL5 sp=60cm AR sp=50cm	Trascurabile	Trascurabile	= poggia centrale (0,50-1,50) in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso roccioso
	3	p= 20/28 c= 20/25 s= 5/11	200 300	B	B1	*18 buloni p=1,50m SS sp=15m	CL5 sp=60cm AR sp=100cm	Trascurabile	400-15cm	*12-20 buloni p=1,50-2,00m SS sp=10-20cm	CL5 sp=60cm AR sp=100cm	Trascurabile	Trascurabile	= drinaggi in funzione delle principali perforazioni litiche
B2					*18 buloni p=1,50m SS sp=15m	CL5 sp=60cm AR sp=100cm	Trascurabile	400-15cm	*12-20 buloni p=1,50-2,00m SS sp=10-20cm	CL5 sp=60cm AR sp=100cm	Trascurabile	Trascurabile	= drinaggi in funzione delle principali perforazioni litiche	
4	p= 20/24 c= 20/25 s= 5/11	200 350	C	C4	VR in fronte A=50 *12 buloni p=1,20m bolina 20x180 p=1,20m SS sp=20cm	CL5 sp=60cm AR sp=100cm	< 15cm	1 - 15cm	VR in fronte A=40-50 *12 buloni p=1,20m bolina 20x180 p=1,20m SS sp=20cm	CL5 sp=60cm AR sp=100cm	< 15cm	1 - 15cm	= VR consentiti in funzione delle caratteristiche dell'ammasso	
				C2	Consolidamento di cantiere VR in fronte A=40-50 *12 buloni p=1,20m bolina 20x180 p=1,20m SS sp=20cm	CL5 sp=70cm AR sp=100cm	< 10 cm	1 - 10cm	VR in fronte A=40-50 *12 buloni p=1,20m bolina 20x180 p=1,20m SS sp=20cm	CL5 sp=70cm AR sp=100cm	< 10 cm	1 - 10cm	= drinaggi in funzione delle principali perforazioni litiche	
5	p= 18/22 c= 5/10 s= 5/11	100 300	C	C2	Consolidamento di cantiere VR in fronte A=40-50 *12 buloni p=1,20m bolina 20x180 p=1,20m SS sp=20cm	CL5 sp=70cm AR sp=100cm	< 10 cm	1 - 10cm	VR in fronte A=40-50 *12 buloni p=1,20m bolina 20x180 p=1,20m SS sp=20cm	CL5 sp=70cm AR sp=100cm	< 10 cm	1 - 10cm	= drinaggi in funzione delle principali perforazioni litiche	

Figura 2.13 Esempio di sintesi delle sezioni tipo di scavo e avanzamento previste per una galleria, adottando l'approccio ADECO-R.S.

3 IL RUOLO DEL MONITORAGGIO NELLE COSTRUZIONI IN SOTTERRANEO

Secondo quanto esplicitato nella Figura 2.1, in sede di progettazione è stato predisposto un sistema di monitoraggio che prevede, in ogni dettaglio necessario, una serie di accertamenti da condurre in fase costruttiva, tra cui in particolare le misure e i controlli in corso d'opera, mediante idonea strumentazione di tipo geotecnico.

Il monitoraggio geotecnico in corso d'opera consente una verifica delle ipotesi progettuali di base e un controllo continuo dell'evoluzione temporale delle condizioni dell'ammasso roccioso e dell'interazione con la struttura di sostegno. Nonostante, infatti, sia oggi possibile mediante indagini sperimentali e strumenti analitici raggiungere una buona previsione del comportamento fisico - meccanico dell'ammasso roccioso interessato dall'opera, per le gallerie la previsione raggiunge un livello ottimale soltanto durante lo scavo.

La realizzazione di un'opera in sotterraneo è sempre accompagnata da molte incertezze legate alle solo parzialmente note condizioni geologiche e geotecniche che si incontrano durante lo scavo. Questa considerazione mette in luce l'importanza del monitoraggio geotecnico nell'ambito della progettazione e della realizzazione delle gallerie e di qualsiasi altra opera in sotterraneo.

Grazie al monitoraggio, la stessa documentazione progettuale s'incrementa e affina progressivamente. Nel corso della costruzione dell'opera, sono, infatti, necessarie relazioni illustrative sulle condizioni dei terreni e delle rocce incontrate durante lo scavo, sui risultati del monitoraggio e sull'interpretazione delle misure effettuate, per la verifica della bontà della previsione in precedenza formulata.

Con riferimento pertanto alla metodologia di progetto attualmente adottata nell'ingegneria geotecnica (Brady e Brown, 1985; Brown, 1986), ovvero l'applicazione alle opere in sotterraneo del ben noto "Metodo Osservazionale" di Terzaghi, le misurazioni in corso d'opera assumono un ruolo fondamentale, rappresentando l'ultima fase del percorso progettuale (Figura 2.1).

Esse permettono di conoscere l'effettiva risposta dell'ammasso roccioso in sito e di verificare la corrispondenza con la previsione progettuale. In condizioni particolari si può dare inoltre luogo a un processo progettuale iterativo che conduce all'ottimizzazione dell'esecuzione, anche, al limite, attraverso la riprogettazione in corso d'opera.

Il monitoraggio della costruzione di un'opera in sotterraneo consiste sia nel controllo di qualità (aderenza tra procedure seguite e materiali utilizzati e specifiche tecniche) e osservazioni sull'ammasso roccioso (con riferimento alla caratterizzazione geomeccanica), sia nella misurazione degli effetti statici e idraulici indotti dallo scavo.

Le misurazioni sono volte al controllo dello stato tensio-deformativo, sia nell'ammasso direttamente interessato dallo scavo sia negli elementi di rinforzo/stabilizzazione.

Per conseguire questo scopo è necessario progettare opportunamente un sistema di misura tenendo presente la situazione geologica e geomeccanica del sito.

Deve quindi essere previsto il tipo e la localizzazione degli strumenti allo scopo di controllare il comportamento deformativo degli scavi in corso d'opera. Tale strumentazione ha il duplice scopo di:

- fornire al progettista gli elementi di conferma della validità della progettazione eseguita o, al limite, le indicazioni per definire eventuali modifiche al progetto;
- fornire costantemente alla Direzione Lavori indicazioni sulla sicurezza degli scavi.

Inoltre durante l'esercizio, il monitoraggio permette di controllare lo stato di salute dell'opera a lungo termine in funzione anche del comportamento reologico dell'ammasso roccioso.

4 SISTEMA DI CONTROLLO E MONITORAGGIO

Per l'applicazione delle diverse sezioni tipo di scavo e avanzamento è stato messo a punto, per entrambe le gallerie, un apposito piano di monitoraggio. Tale piano di monitoraggio è riportato, per ogni galleria, sui profili longitudinali geomeccanici e di monitoraggio (TUN 006 e TUN 007).

Nel presente capitolo viene illustrato sia il monitoraggio previsto "in corso d'opera" sia il monitoraggio "in fase d'esercizio dell'opera".

Il monitoraggio in corso d'opera è stato finalizzato a valutare gli andamenti dei vari parametri considerati significativi, in relazione alle fasi costruttive, ai materiali scelti ed alle geometrie in gioco, con particolare riguardo alla sicurezza.

In corrispondenza degli imbocchi delle gallerie è stato inoltre predisposto un particolare piano di monitoraggio indicato, nei profili geomeccanici e di monitoraggio, come monitoraggio preventivo per valutare le condizioni del versante prima della realizzazione dell'imbocco e dell'inizio degli scavi della galleria naturale, in modo da acquisire dati ancora prima della realizzazione dell'opera, al fine di intervenire preventivamente e/o valutare al meglio gli eventuali effetti indotti (per le posizioni plano-altimetriche si rimanda agli elaborati progettuali delle opere di imbocco).

Il monitoraggio in fase di esercizio (descritto nel successivo paragrafo 4.3.2) ha, invece, come obiettivo principale di registrare le eventuali variazioni a lungo termine dei parametri e quindi di permettere la valutazione delle cause, strutturali o esterne di qualsiasi natura, che abbiano determinato tali variazioni.

La strumentazione geotecnica prevista per il monitoraggio in corso d'opera sarà tale da consentire l'acquisizione dei dati relativi ai parametri significativi sia per la verifica delle corrispondenze tra comportamento reale e comportamento ipotizzato, sia per l'eventuale attivazione di procedure di gestione del progetto (fasi esecutive, modalità di avanzamento, ecc.) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

Il monitoraggio in fase di esercizio si baserà su analoga strumentazione geotecnica, ma necessariamente su sistemi centralizzati di acquisizione dati, postazioni remote, quadri sinottici riepilogativi dell'intero sistema e/o di sue parti, piuttosto che su centraline di misura portatili e/o autonome.

Una differenza tra monitoraggio in corso d'opera ed in esercizio è la cadenza di esecuzione delle misure, in generale più fitta in corrispondenza delle fasi costruttive, e con obiettivi più a lungo termine per quanto riguarda il monitoraggio in fase di esercizio.

In entrambi i casi, per l'acquisizione di tutti i dati, dovranno essere previsti in generale sistemi centralizzati e postazioni remote, che consentiranno di registrare in tempo reale, ed in maniera automatica, i parametri richiesti, in modo particolare, in tutte quelle aree a maggiore rischio (in corrispondenza di opere civili, basse coperture, imbocchi gallerie, aree geologicamente instabili, ecc.). Tale rete sarà comunque limitata allo stretto necessario all'intorno delle aree interessate

dalle opere in corso di realizzazione e al lasso temporale minimo relativo, ritornando ad una acquisizione standard al termine della loro realizzazione o qualora vengano raggiunti valori stabili dei parametri controllati.

Dove sarà necessario effettuare manualmente le misure verranno predisposte squadre di operatori che copriranno l'intero arco della giornata e l'intera durata del cantiere.

Le principali problematiche che si possono riscontrare durante lo scavo di una galleria rispecchiano le tre categorie di comportamento del cavo definite dall'approccio ADECO-RS e riguardano:

- verifica delle convergenze del cavo, sia sul priverivestimento, sia sul rivestimento definitivo della galleria;
- verifica dello stato tensio-deformativo della struttura e delle sue interazioni con l'ammasso roccioso circostante;
- controllo della subsidenza che può essere indotta in superficie in concomitanza con le fasi di avanzamento dello scavo;
- verifica e controllo delle variazioni della superficie piezometrica e dei livelli idrici presenti nei terreni oggetto di scavo.

I parametri quindi da misurare riguardano le convergenze sul priverivestimento e sul rivestimento definitivo (o nei conci), le deformazioni dell'ammasso all'intorno del cavo, lo stato tensionale dei rivestimenti della galleria, l'eventuale subsidenza ed infine le variazioni di livello della superficie piezometrica.

Con riferimento ai profili geomeccanici e di monitoraggio delle gallerie, tutta la strumentazione è stata organizzata secondo delle sezioni trasversali all'asse dello scavo.

E' stato previsto tutto il monitoraggio ritenuto necessario per la corretta interpretazione del comportamento tensio-deformativo del terreno durante gli scavi e per salvaguardare le preesistenze. Relativamente al piano di monitoraggio previsto occorre differenziare fra:

- (1) il monitoraggio dedicato al controllo sistematico del comportamento tensio - deformativo del fronte, del cavo, del rivestimento di 1° fase (provvisorio) e di quello definitivo;
- (2) il monitoraggio previsto per le tratte di galleria particolari, in modo particolare per quanto concerne la parte iniziale di scavo delle gallerie naturali dagli imbocchi, le tratte a basse coperture, le interferenze con aree instabili, le interferenze con infrastrutture, ecc.

4.1 Monitoraggio preventivo

Con riferimento ai profili geomeccanici e di monitoraggio, il monitoraggio preventivo comprende le seguenti tipologie di strumenti:

- Sezioni trasversali con misure topografiche comprendenti un numero adeguato di capisaldi sul piano campagna, disposti lungo un allineamento ortogonale alla galleria;

- Sezioni trasversali comprendenti assestimetri o estensimetri incrementali e inclinometri ubicati in prossimità degli imbocchi secondo quanto indicato negli elaborati progettuali;
- piezometri (se possibile ubicati nel medesimo allineamento degli assestimetri e degli inclinometri).

4.2 Monitoraggio opere d'imbocco

4.2.1 Monitoraggio in corso d'opera

Per il monitoraggio delle opere di imbocco si rimanda agli elaborati progettuali specifici.

In generale il monitoraggio è finalizzato primariamente a:

- valutare, durante le diverse fasi esecutive, lo stato tensio-deformativo dell'opera provvisoria, lo stato tensionale dei tiranti, l'ampiezza del cuneo di spinta mobilitato a tergo dell'opera provvisoria durante le fasi di scavo, eventuali movimenti indotti in testa allo sbancamento previsto a tergo dell'opera provvisoria;
- valutare il comportamento tensio-deformativo dei pali e/o dei micropali;
- valutare le variazioni del livello di falda a tergo dell'opera;
- verificare la rispondenza di tutte queste grandezze alle assunzioni progettuali e di segnalare eventuali anomalie e situazioni di rischio potenziale.

A tali scopi, è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- target topografici installati sulle travi di testata e di ripartizione delle palificate/berlinesi e in corrispondenza delle celle di carico toroidali sulle teste dei tiranti; in relazione all'altezza delle paratie saranno posizionate più mire ottiche poste verticalmente a diverse quote;
- celle di carico toroidali sulle teste dei tiranti;
- eventuali tubi inclinometrici installati in alcuni pali/micropali, dotati di tutti quei dispositivi atti al mantenimento dell'integrità durante le diverse fasi di getto. Dovranno essere parzialmente inglobati nel getto della trave di collegamento e canaletta di testa e, quindi, protetti mediante idoneo pozzetto dotato di coperchio e lucchetto;
- prevedere l'installazione di sistemi di acquisizione automatica dei dati e l'installazione di pannelli di centralizzazione a cui cablare tutti gli strumenti elettrici dell'opera al fine di facilitarne la lettura;

4.3 Monitoraggio in galleria

4.3.1 Monitoraggio in corso d'opera

Il monitoraggio in galleria comprende le seguenti attività e stazioni di monitoraggio:

- Rilievo sistematico del fronte di scavo con indicazione delle formazioni interferenti con il fronte di scavo ed in generale di tutte le informazioni sull'ammasso visivamente rilevabili in galleria (da effettuarsi ogni 10 m d'avanzamento per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 20 m per tipo B e ogni 40 m per il tipo A);
- Rilievo sistematico delle fasi lavorative in galleria (da effettuarsi ogni 10 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 20 m per tipo B e ogni 40 m per il tipo A);
- N° 5 mire ottiche ubicate sul privervestimento da installare in prossimità del fronte di scavo, per le misure di convergenza; (da prevedersi ogni 10 m per comportamento allo scavo di tipo C, ogni 20 m per tipo B e ogni 40 m per tipo A);
- N° 9 mire ottiche per il fronte di scavo, nel caso di fermo lavori;
- N° 5 coppie di barrette estensimetriche sulle centine, applicate a coppie sulle ali della centina, una verso l'intradosso, l'altra verso l'estradosso, ubicate in calotta, sui reni e sui piedritti (per le progressive di applicazione si rimanda ai rispettivi profili geomeccanici e di monitoraggio);
- N° 8 barrette estensimetriche ubicate nel rivestimento definitivo (per le progressive di applicazione si rimanda ai rispettivi profili geomeccanici e di monitoraggio);
- N° 2 celle di carico alla base delle centine (per le progressive di applicazione si rimanda ai rispettivi profili geomeccanici e di monitoraggio);
- Misure di estrusione mediante estrusometro sul fronte di scavo (per le progressive di applicazione si rimanda ai rispettivi profili geomeccanici e di monitoraggio).

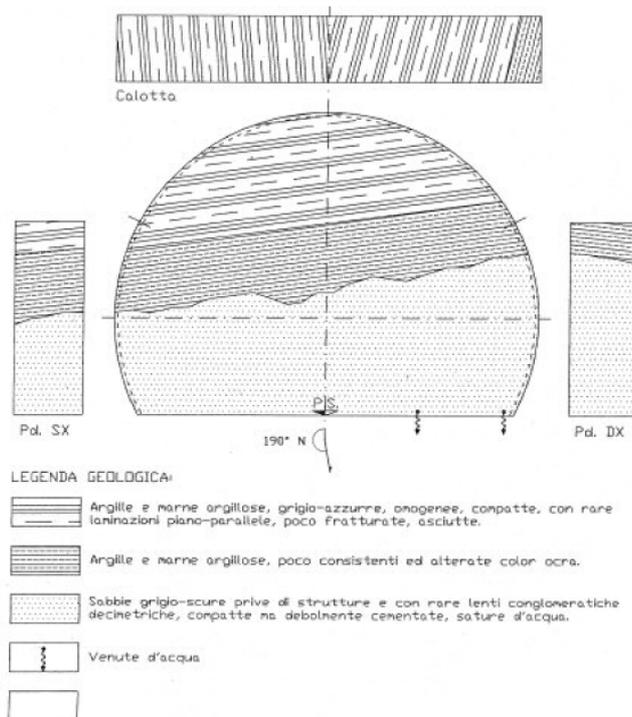
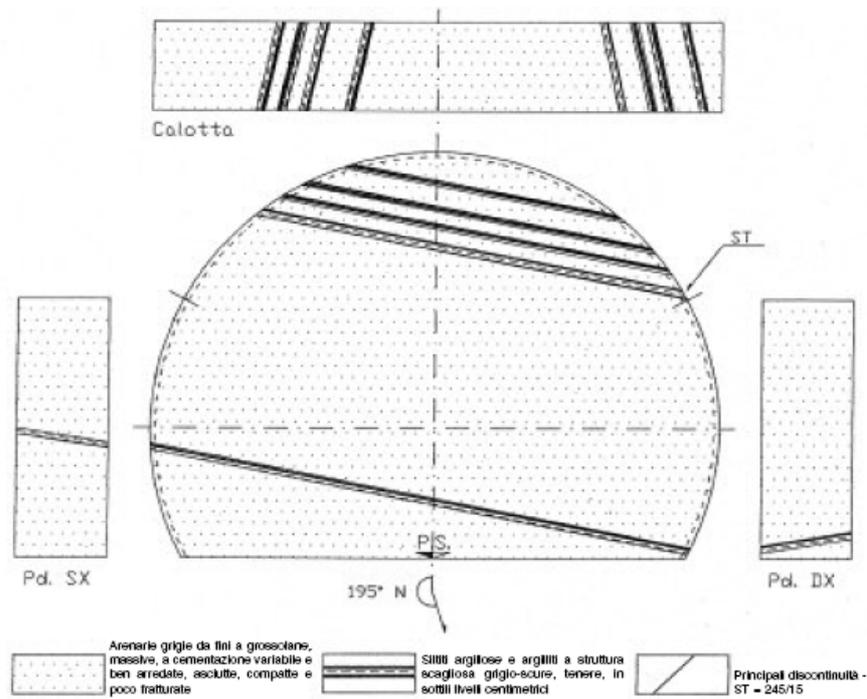


Figura 4.1 – Esempi di rilievi geologico – strutturali del fronte di scavo.

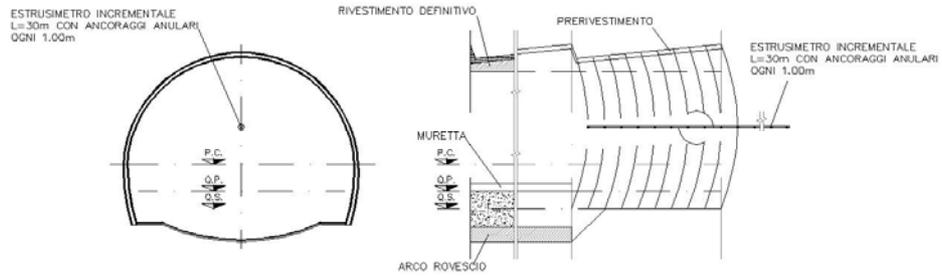


Figura 4.4 – Stazioni di controllo topografico del cavo (stazioni di convergenza).

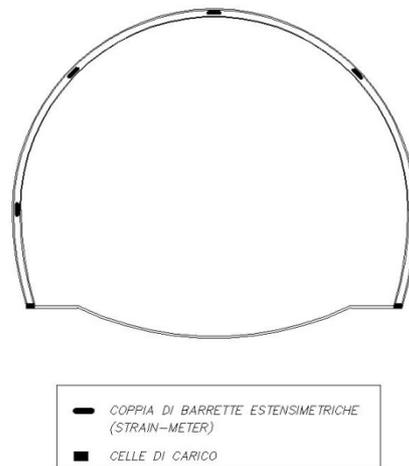


Figura 4.5 – Stazione di misura dello stato tensionale del prrinvestimento.

4.3.2 Monitoraggio in esercizio

Per quanto concerne il monitoraggio in esercizio sono previste delle stazioni di misura dello stato tensionale del rivestimento definitivo e, in alcuni casi, delle stazioni attrezzate con due piezometri per la misura dei livelli di falda a tergo del rivestimento definitivo, come mostrato sui relativi elaborati grafici.

La figura 6.6 riporta la stazione per la misura dello stato tensionale nel rivestimento definitivo che comprende n. 9 barrette estensimetriche ubicate nel rivestimento definitivo (per le progressive di applicazione si rimanda ai rispettivi profili geomeccanici e di monitoraggio).

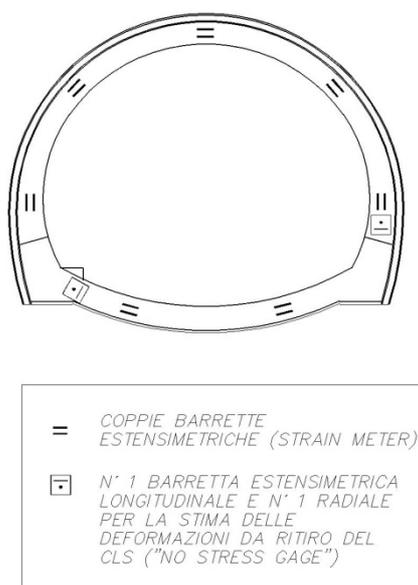


Figura 4.6 – Stazioni di misura dello stato tensionale del rivestimento definitivo delle gallerie naturali.

5 DESCRIZIONE E SPECIFICHE RELATIVE ALLE SEZIONI STRUMENTATE

5.1 Target topografico e miniprismi

5.1.1 descrizione

L'installazione di mire ottiche e miniprismi sulle opere di sostegno (travi di testata in calcestruzzo armato, travi di contrasto dei tiranti) e su idonei pilastri in calcestruzzo a piano campagna permette, attraverso l'esecuzione di rilievi topografici periodici, sia di valutare le condizioni del versante prima della realizzazione dell'imbocco e dell'inizio degli scavi della galleria naturale, in modo da acquisire dati ancora prima della realizzazione dell'opera, al fine di intervenire preventivamente e/o valutare al meglio gli eventuali effetti indotti che il controllo degli spostamenti dell'opera, del versante durante le diverse lavorazioni.

I riscontri topografici possono essere rilevati con sistema manuale tradizionale o con sistema automatico robotizzato, come meglio descritto ai punti seguenti.

L'utilizzo di miniprismi in luogo dei targets permette una maggiore precisione di letture ed è obbligatorio nel caso si preveda un sistema di rilevamento automatizzato.

5.1.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

Mira ottica (target topografico)

Tipologia	Target adesivo riflettente con croce di mira
Dimensione	$\geq 40 \times 40$ mm
Campo di temperatura	$-30^{\circ} - 80^{\circ}C$

Miniprisma

Caratteristiche	Dotato di protezione metallica del miniprisma dagli agenti atmosferici e dai raggi del sole
Materiale prisma	quarzo
Dimensione del quarzo	≥ 32 mm
Materiale supporto	alluminio

5.1.3 Modalità d'installazione

L'installazione dei target e dei miniprismi dovrà essere realizzata secondo la seguente procedura:

- tracciamento topografico delle posizioni di installazione;
- fissaggio della staffa di supporto all'opera mediante tassellatura (nel caso di struttura in calcestruzzo) o saldatura (se struttura metallica);

- installazione del miniprisma o del target adesivo sulla staffa di supporto.

Al termine delle operazioni di posa potrà essere realizzata il primo rilievo topografico di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero).

5.1.4 Sistema di lettura manuale

I riferimenti così installati dovranno fornire gli spostamenti assoluti dell'opera, in testa e sulle sezioni ad altezza intermedia, nelle tre componenti: abbassamenti, spostamenti radiali e tangenziali della paratia, o in alternativa, abbassamenti, spostamenti N e spostamenti E.

I caposaldi di riferimento dovranno essere ubicata all'esterno dell'area oggetto di movimento e controllabili topograficamente con altri riferimenti certi.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da un teodolite accoppiato a un distanziometro elettronico di precisione. È richiesta la precisione seguente:

- teodolite: lettura angolare non superiore a 2 secondi centesimali;
- distanziometro elettronico: $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

5.1.5 Sistema di lettura automatizzato

I rilievi topografici con sistema automatico dovranno essere svolti attraverso l'uso di stazioni totali robotiche con caratteristiche tecniche almeno equivalenti alla Stazione Totale LEICA TM30. La stazione dovrà essere dotata di sistema di remotizzazione del dato ad un computer dotato di appositi programmi di calcolo ed elaborazione dati attraverso sistema WLAN e/o tramite router GPRS.

La stazione robotica di monitoraggio automatico dovrà essere montata su postazione fissa composta da pilastrino in cls armato con inghisata piastra di stazionamento in acciaio (piastra con bullone filettato di ancoraggio per la basetta della stazione robotica).

A corredo di tale stazione dovrà essere fornito ed installato un armadietto tecnologico con:

- Batteria Tampone, a secco 12V/24Ah, con trasformatore di Rete 220V e protezioni del segnale e connettori speciali.
- Speciale SWITCH BOX Power Control per il controllo da remoto dell'alimentazione accendi/spegni della Stazione Automatica.
- Modulo per la gestione della Stazione Robotica da postazione remota.
- Connettori vari.

Poiché è possibile che la stazione di monitoraggio topografico venga ubicata all'interno dell'area potenzialmente soggetta a movimenti piano altimetrici, la posizione in est,nord e quota della stazione topografica dovrà essere determinata ogni volta che si effettua il monitoraggio attraverso un calcolo di stazione libera (intersezione inversa) eseguito in automatico da apposito software: in

pratica la stazione topografica rileverà i punti di riferimento che avranno coordinate note ed attraverso il software di calcolo (che calcola l'intersezione inversa) stabilisce di volta in volta le coordinate della stessa orientandola nel sistema di coordinate adottato.

Per ogni stazione topografica dovranno essere stati installati almeno quattro punti di riferimento (possibilmente a non meno di 30° azimutali tra uno e l'altro) di cui saranno ricavate coordinate e quote mediando diversi cicli di letture: questi saranno posti esterni all'area monitorata in zone non interessate da un eventuale movimento planoaltimetrico dovuto alle lavorazioni in corso.

I punti di riferimento verranno installati su fabbricati, muri, manufatti in c.a. o pilastri in c.a. costruiti appositamente.

Ogni volta che verranno calcolate le coordinate di stazione (est, nord e quota), il programma dovrà calcolare "l'errore" (deviazione standard in est, nord e quota) con cui sarà stata determinata la stazione. Questo errore dovrà essere calcolato dal software confrontando la posizione dei riferimenti rilevati durante il ciclo di monitoraggio con la posizione degli stessi inseriti nel programma di calcolo alla lettura di zero come capisaldi topografici fissi in posizione e quota. Se l'errore derivante dal calcolo delle coordinate di stazione (deviazione standard) verrà contenuto entro un certo range (di norma ± 5 mm. in est, ± 5 mm. in nord, ± 5 mm. in quota) il monitoraggio verrà validato e quindi verranno elaborati i dati dei punti monitorati e redatti i vari report il tutto in automatico utilizzando appositi programmi per la gestione del monitoraggio.

A supporto del controllo sopra descritto dovrà essere installata sullo stesso pilastro una antenna gps a doppia frequenza che dovrà memorizzare in streaming file rineex (24 ore su 24) e calcolare la posizione della stessa almeno una volta al giorno. Lo spostamento rilevato con l'antenna GPS dovrà corrispondere, a meno di qualche millimetro, allo spostamento calcolato con le intersezioni inverse della stazione totale robotica. Su almeno una stazione robotica si richiede un sensore meteo in grado di misurare temperatura e pressione atmosferica con aggiornamento dati in automatico plurigiornalieri.

I punti monitorati costituiti da prismi o miniprismi dovranno essere collimati in automatico dalle stazioni topografiche robotiche e rilevati almeno due volte (una in diritto e una in capovolto).

Il dato rilevato dovrà essere inviato ad un computer attraverso sistema WLAN o tramite router GPRS in modo da essere archiviato in un database.

Successivamente i dati strumentali archiviati saranno elaborati da softwares dedicati in grado di calcolare automaticamente i dati registrati e restituirli in forma grafica e tabellare. Si richiede che gli appositi programmi siano in grado di svolgere almeno le seguenti funzioni:

- Validazione della stazione se rientrante nel range della deviazione standard stabilita sul calcolo dell'intersezione inversa (± 5 mm. in est, ± 5 mm. in nord, ± 5 mm. in quota) con la stampa del report del risultato.

- Possibilità di indicare quale caposaldo utilizzare per il calcolo planimetrico della stazione e/o quale utilizzare per il calcolo della quota.
- Possibilità di inserire dei filtri per eliminare punti rilevati con anomalie (validare o meno un singolo punto) od interi cicli di misura anomali.
- Redazione automatica dei grafici contenenti gli spostamenti in EST,NORD e QUOTA di ogni singolo punto monitorato.
- Controllo automatico del superamento delle soglie di Attenzione, Allerta ed Allarme con avviso tramite sms e/o mail ai tecnici preposti (in questo caso il tecnico preposto dovrà verificare se l'allarme sia veritiero o meno attraverso un altro ciclo di misura, un sopralluogo ecc.)
- Impostazione e gestione da remoto delle stazioni robotiche e del numero di cicli di misura giornalieri di monitoraggio.

5.1.6 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche di ogni target topografico o miniprisma;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione della strumentazione installata (se installati su recettori sensibili prospetto e/o ripresa fotografica con individuata l'esatta collocazione);
- caratteristiche del target topografico (schema grafico) e/o del miniprisma (scheda tecnica);
- lettura topografica di riferimento.

5.1.7 Restituzione dei dati

I dati numerici strumentali elaborati mediante l'utilizzo dei software dedicati dovranno essere editabili ed avere preferibilmente un'estensione .xls,.csv o .txt mentre quelli grafici dovranno avere un'estensione .dxf , dwg. Le restituzioni dei monitoraggi dovranno essere caricate giornalmente su apposito sito ftp in modo da rendere fruibili i dati in qualsiasi momento. I file di restituzione da caricare sul sito ftp dovranno essere in formato pdf. png o jpg.

5.2 Tubo inclinometrico

5.2.1 Descrizione

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio o installato in palo o micropalo, consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno o della struttura lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

5.2.2 Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4622 - 86 (1993) - Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinerometers.

5.2.3 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int}} \text{ tubo} = 76 \text{ mm}$;
- $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} = 82 \text{ mm}$;
- $\varnothing_{\text{est}} \text{ guide} = 86 \text{ mm}$;

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spirality dei tubi inferiore a 0.5°/m;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°.

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito: $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide manicotto} < \varnothing_{\text{est}} \text{ guide tubo inclinometrico} + \text{circa } 1 \text{ mm}$.

Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a 1°/giunto.

In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

5.2.4 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere in generale controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura.

Solo per l'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio, si provvederà ai seguenti ulteriori controlli:

- il tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati, infine, il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

5.2.5 Preparazione del foro (tubo inclinometrico installato in foro di sondaggio)

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro non inferiore a 101 mm e non superiore a 127 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%.

La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione non inclusi nel range indicato dovranno essere approvati dalla DL.

Installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiratura del tubo stesso. Per facilitare le operazioni d'estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

5.2.6 Installazione del tubo inclinometrico in foro di sondaggio

La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- a) lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;

- b) preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
- c) inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
- d) realizzazione dei fori per i rivetti (> 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
- e) con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
- f) rimozione del manicotto;
- g) applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
- h) inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
- i) attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- j) montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela questa ultima operazione non sarà necessaria;
- k) inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- l) bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- m) inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- n) allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- o) bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- p) prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- q) cementazione del tubo inclinometrico da fondo foro, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni

successivi;

- r) accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
- s) installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- t) controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico sarà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- u) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate piano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

5.2.7 Installazione del tubo inclinometrico in pali o micropali

La posa in opera dei tubi inclinometrici in pali o micropali dovrà avvenire con le medesime modalità indicate al punto precedente (5.2.6) eccetto le operazioni di cui alle lettere a), k), q), r), u) ed integrate con le seguenti procedure:

- legatura del tubo inclinometrico, precedentemente assemblato, alla gabbia di armatura verticale per l'intera lunghezza (qualora l'installazione avvenga nei pali), o inserimento del tubo inclinometrico nell'armatura tubolare del micropalo, con l'accortezza di garantirne l'integrità durante il successivo getto. Il tubo dovrà essere parzialmente inglobato nel getto della trave di collegamento e/o canaletta;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori.

5.2.8 Pozzetto di protezione

La sistemazione e protezione dell'estremità dei cavi in superficie è fondamentale per garantire la durata nel tempo dell'installazione. E' indispensabile quindi prevedere adeguati pozzetti da definire in base alla situazione locale:

- in ogni caso tubo esterno di protezione in acciaio con tappo di chiusura provvisto di lucchetto in modo da impedire la manomissione.
- qualora sia previsto il possibile passaggio di mezzi, si dovrà prevedere un pozzetto di protezione carrabile in calcestruzzo a raso all'interno del quale ubicare il tubo di protezione con tappo provvisto di lucchetto anti manomissione; il pozzetto dovrà avere profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione;

Il pozzetto carrabile sarà costituito da:

- manufatto in cemento prefabbricato di tipo robusto, avente dimensioni 50 x 50 x 50 cm;
- copertura del tombino in ghisa, con dimensioni 50 x 50 cm, del tipo a chiusura stagna.

Il tubo di protezione metallico potrà essere a sezione quadra o circolare, provvisto di tappo con cerniera e dotato di lucchetto inossidabile. Il tappo dovrà includere un riscontro per la battitura topografica della testa. Sull'esterno del pozzetto deve essere riportato, con vernice rossa indelebile, l'indicativo del sondaggio.

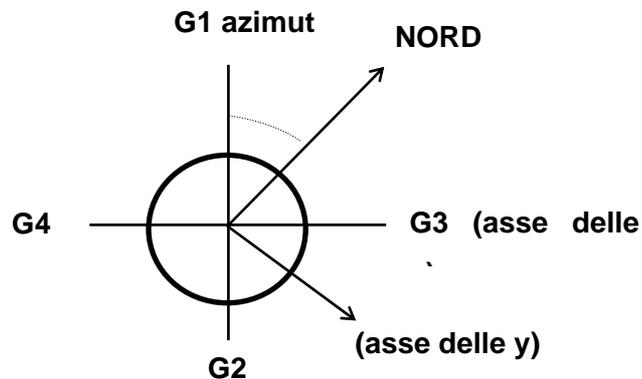
Se possibile il pozzetto deve avere un foro di drenaggio e deve essere posto in modo da non essere perennemente pieno d'acqua.

5.2.9 Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica

Al termine delle operazioni d'installazione si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spirallatura della tubazione alle specifiche di accettazione.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo sarà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico sarà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



In seguito dovranno essere verificate anche la verticalità e la spiralsatura del tubo, che sarà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spiralsatura totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

Le suddette operazioni dovranno essere ripetute anche successivamente al completamento del getto del palo/diaframma.

5.2.10 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- schema di installazione nel palo/diaframma del tubo inclinometrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- azimut della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spiralsatura.

La documentazione richiesta deve essere fornita sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo o excel.

5.2.11 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- grafico differenziale locale dello spostamento;
- grafico differenziale locale della direzione di spostamento (AZIMUT);

- grafico differenziale integrale dello spostamento;
- grafico differenziale integrale della direzione di spostamento (AZIMUT).

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

5.3 Tubazione per misura estensimetrica incrementale tipo ISETH o estenso-inclinometrica tipo TRIVEC

5.3.1 Descrizione

Il principio di funzionamento dell'estensimetro incrementale tipo ISETH, sviluppato e messo a punto presso l'ETH di Zurigo, si basa su un preciso accoppiamento cono-sfera tra una sonda removibile dotata di un trasduttore lineare di spostamento tipo LVDT e una serie di riscontri di misura alloggiati in una tubazione in PVC e cementati alle pareti di un foro di sondaggio.

La sonda estensimetrica tipo ISETH può essere dotata di sensori inclinometrici a servoaccelerometri (sonda tipo TRIVEC) consentendo così la misura anche delle deformazioni orizzontali.

5.3.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

La tubazione di misura è costituita da tubi in PVC aventi diametro esterno di 75 mm e lunghezza di 1 m che sono accoppiati tra loro mediante manicotti metallici dotati di appositi riscontri di misura.

I riscontri di misura, sagomati a cono, sono dotati di 4 scanalature che consentono lo scorrimento della sonda ed il suo bloccaggio in posizione di misura.

Nel caso la tubazione in oggetto sia finalizzata a letture estenso-inclinometriche (TRIVEC), i riscontri conici dovranno essere provvisti di un aggancio aggiuntivo finalizzato a permettere il bloccaggio della sonda con un possibile orientamento, al fine di definire univocamente gli assi di riferimento per la misura inclinometrica.

5.3.3 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti di accoppiamento non devono avere lesioni o schiacciature dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti di accoppiamento non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna estensimetrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

5.3.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro non inferiore a 101 mm e dovrà avere l'orientazione indicata dal progetto delle indagini o

dalla Direzione Lavori; nel caso di misure con sonda estenso-inclinometrica tipo TRIVEC i fori dovranno essere verticali.

Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

5.3.5 Modalità d'installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici o estenso-inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- a) lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- b) preassemblaggio dei tubi;
- c) montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela tale operazione non sarà necessaria;
- d) inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- e) bloccaggio del tubo mediante apposita morsa;
- f) inserimento dello spezzone di tubo successivo;
- g) allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- h) bloccaggio del tubo con la morsa;
- i) prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- j) cementazione del tubo estensimetrico, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo estensimetrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;

- k) accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- l) installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo estensimetrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- m) controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. La tubazione verrà dichiarata idonea, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- n) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate piano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

5.3.6 Pozzetto di protezione

La sistemazione e protezione dell'estremità dei cavi in superficie è fondamentale per garantire la durata nel tempo dell'installazione. E' indispensabile quindi prevedere adeguati pozzetti da definire in base alla situazione locale:

- in ogni caso tubo esterno di protezione in acciaio con tappo di chiusura provvisto di lucchetto in modo da impedire la manomissione.
- qualora sia previsto il possibile passaggio di mezzi, si dovrà prevedere un pozzetto di protezione carrabile in calcestruzzo a raso all'interno del quale ubicare il tubo di protezione con tappo provvisto di lucchetto anti manomissione; il pozzetto dovrà avere profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione;

Il pozzetto carrabile sarà costituito da:

- manufatto in cemento prefabbricato di tipo robusto, avente dimensioni 50 x 50 x 50 cm;
- copertura del tombino in ghisa, con dimensioni 50 x 50 cm, del tipo a chiusura stagna.

Il tubo di protezione metallico potrà essere a sezione quadra o circolare, provvisto di tappo con cerniera e dotato di lucchetto inossidabile. Il tappo dovrà includere un riscontro per la battitura

topografica della testa. Sull'esterno del pozzetto deve essere riportato, con vernice rossa indelebile, l'indicativo del sondaggio.

Se possibile il pozzetto deve avere un foro di drenaggio e deve essere posto in modo da non essere perennemente pieno d'acqua.

5.3.7 Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica o estenso-inclinometrica

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento dei riscontri di misura.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone e facendola scorrere nel tubo fino a fondo foro. Il tubo estensimetrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.

In seguito si dovrà effettuare la determinazione della lettura iniziale di riferimento mediante apposita sonda estensimetrica incrementale, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di 1 m.

La determinazione dello zero di riferimento dovrà avvenire eseguendo almeno quattro letture intervallate di 90° sulla medesima tubazione con calcolo del valore medio. La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di ± 5.0 mm rispetto alla distanza nominale di 1 m. Nel caso di utilizzo della tubazione come estenso-inclinometro inoltre la deviazione dalla verticale dovrà risultare inferiore al 2%.

5.3.8 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;

- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- risultati della lettura iniziale di riferimento;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento.

5.3.9 Restituzione dei dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti relativi dei riscontri di misura rispetto alla distanza nominale di 1 m, in funzione della profondità.

La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

5.4 Celle di carico toroidali per tiranti

5.4.1 Descrizione

Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'interno della cella. Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri che variando il loro valore di resistenza generano un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

5.4.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

Le principali specifiche tecniche richieste sono riassunte nella tabella seguente:

Materiale	acciaio inossidabile 17-4PH
Fondo scala	750 kN per tiranti a 3 o 4 trefoli 1200 KN per tiranti a 5 o 6 trefoli
Carico ammissibile	150% FS
Sensibilità	0,001 mV
Accuratezza	<0,5%FS
Temperatura operativa	-10 °C +55°C

5.4.3 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di cemento a presa rapida per garantire la planarità della superficie, qualora ce ne fosse la necessità;
- appoggiare la cella di carico sulla superficie predisposta ed installare la piastra di distribuzione;
- collegare la cella ad una centralina portatile e procedere alla fase di tesatura del tirante fino al valore di progetto, ricordandosi che successivamente alla tesatura si verifica un assestamento di tutto il sistema e quindi una diminuzione del valore di carico di circa un 10-15%; dovrà essere registrato il valore letto nel momento della tesatura (raggiunto il valore di progetto) e subito dopo aver scollegato il martinetto di tesatura, al fine di quantificare la perdita di carico;
- fissare i cavi delle celle di carico lungo il paramento della galleria o della paratia con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

5.4.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, n. tirante strumentato, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- prospetto di Progetto dell'opera con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o datalogger (ove previsto)
- risultati della tesatura iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate (lettura di controllo prima della tesatura, lettura in fase di tesatura, lettura immediatamente dopo la tesatura);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della cella di carico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

5.4.5 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- carico rilevato in funzione del tempo;

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

5.5 Rilievi geomeccanici del fronte di scavo

L'attività in oggetto permetterà di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice roccia e dai piani di discontinuità, principalmente per uso di classificazione mediante indice RMR.

In base ai risultati dei rilievi del fronte di scavo verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento.

L'attività dovrà essere materialmente eseguita da uno o più geologi o ingegneri geomeccanici con specifica esperienza.

Per l'esecuzione dei rilievi sono richieste le seguenti attrezzature:

- bussola geologica per misure della orientazione di piani nello spazio;
- nastri misuratori e bindelle metrate;
- Schmidt Hammer (sclerometro);
- profilatore di rugosità a pettine (Pettine di Barton);
- disco (diametro 30 cm) per l'appoggio della bussola;
- point load strength tester.

5.5.1 Modalità esecutive

Le modalità esecutive saranno conformi alle prescrizioni «Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses-International Society for Rock Mechanics», alle quali si rimanda direttamente per quanto non espressamente precisato nel seguito.

Il rilievo si eseguirà materializzando sul fronte da rilevare una linea, della maggior lunghezza possibile, effettuando le misure in corrispondenza dei punti di intersezione dei piani con la traccia dello stendimento, annotandone la progressiva dall'origine dello stendimento, ma considerando anche tutti gli elementi non direttamente intersecanti la linea ma vicini ed idealmente prolungabili fino all'intersezione. Si dovranno eseguire stendimenti di misura fra loro tendenzialmente ortogonali, in modo da descrivere compiutamente l'ammasso in senso realisticamente tridimensionale.

Per ciascuna stazione di misura, il numero di stendimenti da eseguire sarà quello necessario per la perfetta caratterizzazione dell'ammasso; la quantità degli stendimenti programmati sarà comunicata alla Direzione Lavori.

Il fronte rilevato dovrà essere accuratamente descritto, con il corredo di fotografie (dove saranno visibili tracce degli stendimenti) e schizzi, precisando dettagliate informazioni sulla litologia, sulle facies, sugli elementi strutturali visibili alla scala dell'affioramento, sulla presenza di acqua e su quanti altri elementi possano concorrere alla comprensione delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche d'insieme dell'ammasso roccioso entro il quale sono state realizzate le misure. Il rilievo lungo ciascuna linea deve definire quanto segue:

- caratteristiche litologiche: Genesi del litotipo, litologia e caratteristiche petrografiche macroscopiche, grado e tipo di cementazione o compattezza, grado di alterazione, colore, assetto generale dell'ammasso come individuabile a scala del fronte.
- caratteristiche geostrutturali: inclinazione dei piani di discontinuità sull'orizzontale, immersione o azimuth della linea di massima pendenza giacente sul piano di discontinuità.
- caratteristiche geomeccaniche: classificazione dei diversi tipi di piani di discontinuità, suddividendoli in piani di strato, di scistosità, di faglia, di frattura. Si definiranno inoltre le caratteristiche dei piani precisando frequenza, spaziatura, lunghezza, persistenza percentuale rispetto all'affioramento, apertura, continuità di apertura in percentuale rispetto alla lunghezza, tipo di terminazione, distanza della terminazione della traccia, scabrezza (Joint Roughness Coefficient JCR), ondulazione, resistenza della parete del giunto (Joint Compressive Wall Strength JCS), tipo, granulometria, origine, grado di saturazione e di consistenza del materiale di riempimento, che può anche essere campionato per prove di laboratorio. La scabrezza (JRC) sarà valutata numericamente con pettine di Barton. La resistenza della parete del giunto (JCS) sarà stimata con Schmidt Hammer e point load strength tester.
- Osservazioni: ritenzione idrica e venute d'acqua valutate sugli ultimi 8÷10m di scavo, distacchi gravitativi (ubicazione e geometria dei volumi), interventi di consolidamento e contenimento presenti.

5.5.2 Documentazione

La documentazione comprenderà:

- fotografia del fronte;
- progressiva del fronte su cui è stato eseguito il rilievo, con rappresentazione grafica ed indicazione degli stendimenti di misura;
- tabelle con i dati di campagna;
- relazione geologica descrittiva del sito di rilievo, inclusiva di tutti gli elementi necessari ad inquadrare e comprendere i risultati del rilievo stesso, delle note esplicative e descrittive del rilevatore, degli stereogrammi polari con la raffigurazione dei singoli poli dei piani rilevati e delle aree a diversa densità di concentrazione polare, degli schizzi illustrativi, della documentazione fotografica dell'ammasso roccioso e degli stendimenti di misura.

In ogni caso oltre a quanto sopra richiesto dovranno essere compilati, in ogni parte apposite schede di rilievo. In particolare si dovrà procedere al calcolo del parametro RMR sulla base del rilievo dei sei parametri:

- resistenza a compressione monoassiale C0
- RQD
- spaziatura delle discontinuità

- condizioni delle discontinuità
- condizioni idrauliche
- orientamento delle discontinuità

Tali parametri sono raggruppati in cinque intervalli di valori la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in altrettante cinque classi di qualità.

5.6 Stazione di misura delle convergenze del cavo

5.6.1 descrizione

Le misure in oggetto consentono di stimare le deformazioni del cavo della galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di 5 punti di misura (o più, qualora indicato in progetto) disposti lungo il perimetro del cavo stesso (una in calotta, due alle reni e due sui piedritti). Ciò permette una verifica delle ipotesi di progetto e della risposta dell'ammasso allo scavo, consentendo una taratura ed una ottimizzazione degli interventi e delle modalità esecutive da applicare nell'ambito di ogni sezione tipo.

L'esecuzione e la restituzione delle misure di convergenza richiede l'impegno continuativo di un topografo esperto e di un coadiutore.

Le mire ottiche saranno installate alla minima distanza possibile dal fronte di scavo.

5.6.2 Specifiche tecniche del sistema di lettura

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione totale topografica dotata di distanziometro elettronico che misura la posizione assoluta dei 5 punti (target tape) della stazione rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi siti in galleria.

Stazione totale motorizzata

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	≤ 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1"
Precisione misura della distanza	1 mm

5.6.3 Modalità di installazione

I punti di mira verranno realizzati con mire ottiche (riflettori) montate su angolari metallici a loro volta solidarizzati con la centina posta in corrispondenza della medesima progressiva di avanzamento. Le mire ottiche dovranno essere installate in modo da sporgere per circa 10 cm dallo spritz-beton del rivestimento di 1° fase.

Appena terminata la proiezione dello spritz-beton sulla centina si procede al posizionamento delle mire ottiche (target tape) e si effettua la lettura di riferimento (lettura di zero).

Indicativamente, ciascuna stazione di misura sarà installata in occasione della posa in opera dell'ultima centina del campo di avanzamento o, in alternativa, dopo la posa in opera della prima centina del campo.

5.6.4 Frequenza dei rilevamenti

La frequenza dei rilevamenti, passibile di modifiche in corso d'opera, sarà di massima la seguente:

- n. 1 lettura al giorno durante le fasi di scavo dei due campi successivi rispetto alla posizione della stazione;
- n. 1 lettura integrativa a fronte fermo successivamente all'esecuzione di lavorazioni quali scavo e getto dell'arco rovescio e/o esecuzione di consolidamenti del nucleo;
- n. 2 letture settimanali per il periodo immediatamente successivo;
- eventuali misure di controllo a cadenze da definirsi in corso d'opera e comunque una misura prima del getto del rivestimento definitivo.

La lettura di zero dovrà essere effettuata il prima possibile e, in ogni caso, prima dell'inizio del campione di scavo successivo.

5.6.5 Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- Convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali (rispetto all'asse della galleria);
- velocità di convergenza (mm/giorno).

Ad ogni grafico di spostamento dovrà essere associato un grafico che riporti la successioni delle diverse fasi esecutive e lo stato d'avanzamento di ciascuna di esse (avanzamento dello scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta)

La restituzione deve avvenire sia in formato cartaceo che su apposito supporto informatico in formato excel.

5.7 Misura dell'estrusione topografica del fronte di scavo

5.7.1 descrizione

Le misure in oggetto consentono di stimare le deformazioni del fronte di scavo della galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di 9 punti di misura disposti sul fronte di scavo secondo una maglia 3m x 5m . Ciò permette una verifica dell'estrusione del fronte di scavo in caso di fermi prolungati (>48h).

L'esecuzione e la restituzione delle misure di convergenza richiede l'impegno continuativo di un topografo esperto e di un coadiutore.

5.7.2 Specifiche tecniche del sistema di lettura

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione totale topografica dotata di distanziometro elettronico che misura la posizione assoluta dei 5 punti (target tape) della stazione rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi siti in galleria.

Stazione totale motorizzata

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	<= 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1"
Precisione misura della distanza	1 mm

5.7.3 Modalità di installazione

I punti di controllo verranno realizzati con mire ottiche (riflettori) montati in corrispondenza del tampone di fondo scavo.

Appena terminata la proiezione dello spritz-beton si procede al posizionamento delle mire ottiche (target tape) e si effettua la lettura di riferimento (lettura di zero).

5.7.4 Frequenza dei rilevamenti

La frequenza dei rilevamenti, passibile di modifiche in corso d'opera, sarà di massima la seguente:

- n. 1 lettura al giorno fino alla ripresa delle attività di scavo;
- eventuali misure di controllo a cadenze da definirsi in corso d'opera.

La lettura di zero dovrà essere effettuata il prima possibile.

5.7.5 Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- Convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali;
- velocità di spostamento (mm/giorno).

La restituzione deve avvenire sia in formato cartaceo che su apposito supporto informatico in formato excel.

5.8 Misura dell'estrusione del nucleo di scavo

5.8.1 Descrizione

La determinazione della distanza di influenza entro la quale si manifestano gli effetti dello scavo, nel volume di ammasso situato dietro al fronte, è l'obiettivo principale di questo tipo di monitoraggio.

Queste misure di spostamento dell'ammasso roccioso a seguito dell'avanzamento del fronte di scavo, congiuntamente alle misure di convergenza, consentiranno di valutare il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso nella zona più prossima al fronte di scavo (estrusioni e preconvergenze).

Il tubo di misura è costituito da una serie di tubi in PVC di lunghezza pari a un metro e di diametro interno pari a circa 51 mm, opportunamente assemblati per raggiungere la lunghezza desiderata. Gli spezzoni di tubo sono forniti di manicotti in ABS che fungono sia da collegamento che da base per la battuta della sonda. L'installazione del tubo si completa con la cementazione dello strumento all'interno del foro. Le misure all'interno del tubo saranno effettuate per mezzo di sonda manuale in grado di rilevare sia gli spostamenti planimetrici per tutta la lunghezza del tubo con passo di 1 metro.

5.8.2 Caratteristiche tecniche della strumentazione

Materiale tubo	HPVC Φ 51/63 mm esterno
Manicotti-anelli di misura	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm
Campo di Misura (f.s.)	+/- 50 mm
Precisione del sistema (sonda + UAD)	+/-0.03 mm/m
Campo di Temperatura	0° / +40° C

5.8.3 Modalità di installazione

La colonna estensimetrica deve essere installata in un foro con diametro minimo di 100 mm.

Precedentemente e/o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio si devono assemblare i vari spezzoni di tubo estensoinclinometrico secondo la seguente procedura :

- collegare due tubi estensoinclinometrici tramite l'apposito manicotto. Il collegamento viene eseguito grazie agli appositi quattro fori circolari i quali devono coincidere con le rispettive sedi presenti nel tubo che viene infilato nel manicotto;
- Sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di silicone;
- inserire le viti a brugola nei quattro fori del manicotto ed avvitarle fino a portarle a filo del manicotto stesso, senza forzarle nelle loro sedi;
- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine di impedire l'entrata di boiaccia all'interno della colonna estensimetrica;
- prendere un terzo tubo e collegarlo agli altri due seguendo le istruzioni suddette;
- ripetere le operazioni sopra descritte per gli altri spezzoni fino a raggiungere la lunghezza necessaria ma senza assemblare insieme più di tre tubi alla volta;
- collegare la cannetta di sfiato (costituita da materiale in PEAD PN6-10 DN 16-20) al tubo di fondo foro tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici. La cannetta di iniezione sarà posizionata nel tratto di tubo posto in prossimità della bocca foro;
- calare nel foro i primi tre spezzoni di tubi, tra loro precedentemente assemblati, insieme alla cannetta di sfiato già ad essi collegata;
- calare nel foro altri tre metri di tubo, collegandoli direttamente a quelli già presenti nel foro attraverso il manicotto e seguendo le istruzioni precedentemente descritte;
- contemporaneamente calare nel foro anche la cannetta di iniezione e collegarla alla tubazione tramite nastro adesivo o fascette tenditrici;
- ripetere le ultime tre operazioni precedentemente descritte fino a raggiungere la bocca foro avendo collegare negli ultimi 3 metri di la cannetta corta di iniezione ;
- prima di procedere all'iniezione della boiaccia cementizia si deve realizzare un tappo a bocca foro utilizzando cemento a presa rapida;
- iniettare a partire dalla cannetta corta la boiaccia cementizia con le seguenti caratteristiche 80 Kg di acqua, 55 Kg di cemento, 5,5 Kg di bentonite attivata;
- a livello di riempimento raggiunto e stabilizzazione avvenuta, si deve procedere al lavaggio dell'interno del tubo strumentato al fine di eliminare eventuale sporcizia.

5.8.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio)

- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione dello strumento sul fronte;

5.8.5 Frequenza dei rilevamenti

Attesa la maturazione dell'iniezione si procede alla lettura di riferimento prima della ripresa dell'avanzamento.

Per i primi 2 campioni di avanzamento le letture vanno così cadenzate:

- lettura a metà campo di avanzamento;
- lettura a fine campo di avanzamento;
- lettura prima dell'inizio del campione di scavo successivo .

Nel caso avvengano fermi delle lavorazioni superiori a 24 h, si dovrà eseguire una lettura subito dopo il fermo e subito prima della ripresa delle attività.

Le suddette frequenze e l'eventuale prosecuzione delle misure potranno essere modificate in corso d'opera.

5.8.6 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti relativi di ciascuna coppia di ancoraggi adiacenti in funzione della profondità (grafico degli spostamenti differenziali);
- sommatoria degli spostamenti differenziali (spostamenti integrali), rispetto alla base più profonda che viene ipotizzata fissa.

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

5.9 Monitoraggio tensio-deformativo dei prerivestimenti (centine metalliche)

5.9.1 Descrizione

Per la determinazione delle deformazioni e dei carichi nelle centine del rivestimento di prima fase e nello spritz beton è prevista l'installazione di stazioni strumentate così composte:

- n. 5 coppie di strain meters a corda vibrante posizionate tangenzialmente in intradosso e estradosso sull'anima della centina a ridosso delle ali: 1 coppia posizionata 1,5 m sopra il piede della centina destro e sinistro, 1 coppia in prossimità della piastra di giunzione della centina posta al rene sinistro e destro, 1 coppia in calotta;
- n. 4 celle di carico da inserire tra le piastre di giunzione fra i diversi spezzoni di cui si compone la centina.

5.9.2 Caratteristiche tecniche della strumentazione

Strain meters

Lunghezza	150 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 μ s
range di temperatura	-20, +60 °C
Precisione	< 2% F.S.
Stabilità	0,1% FS/yr
Coefficiente di espansione termica	12,0 μ s /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

Celle di carico

Materiale	acciaio inossidabile 17- 4PH
Segnale in uscita	mV/V o 4-20 mA
campo di misura	da 3.000 a 3.700 KN
range di temperatura	-10, +55 °C
Precisione	1% F.S.
Carico ammissibile	150% F.S.

5.9.3 Modalità di installazione

Strain meters

Gli strain meters a corda vibrante sono costituiti da un cavo di acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'anima delle centine, mediante saldatura o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo di acciaio, è funzione delle deformazioni della centina nella sezione considerata.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sull'anima della centina metallica a ridosso delle ali, utilizzando una apposita dima distanziatrice;
- inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio prestando molta attenzione a che le viti di serraggio entrino perfettamente nell'alloggiamento preposto all'interno dei suddetti blocchetti;
- serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con l'apposita vite a frugola;
- tendere manualmente l'estensimetro fino a raggiungere la posizione di zero, ovvero a metà del campo di misura dello strumento, avendo pertanto cura di non oltrepassare il limite inferiore o superiore del campo di misura strumentale. Per effettuare questa operazione è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale che fornisca in tempo reale i valori di frequenza di vibrazione del filo d'acciaio;
- proteggere lo strumento da eventuali urti accidentali con un lamierino metallico sottile sagomato ad arte, fissato alla pannellatura con punti di saldatura ad arco, o con apposita protezione in polistirolo;
- svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati fissandoli mediante legature di ferro al paramento della galleria.

Celle di carico

La cella di carico tipo è costituita da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche (strain-gauges) applicate alla superficie interna del corpo stesso ed isolate. Una piastra di acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella. La deformazione indotta dal carico alla cella viene rilevata dagli strain-gauges e trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- effettuare (in officina meccanica) la modifica ad hoc dei piedritti in modo che l'inserimento della cella di carico non determini una variazione di geometrie e ingombri; sulle piastre di giunzione dovranno essere predisposti appositi riscontri di centratura, ovvero piccoli pioli in acciaio saldati sulla superficie della piastra in modo da garantire il corretto posizionamento della cella di carico (vedi Figura 5.1 e Figura 5.2);

- inserire e fissare la cella di carico nel mezzo delle piastre di giunzione: la superficie di contatto tra la cella e le piastre di giunzione dei vari spezzoni della centina devono essere perfettamente piane per garantire il trasferimento ottimale dei carichi assiali dal profilato alla cella; pertanto, qualora le centine fossero provviste di cerniere per il preassemblaggio degli spezzoni di centina, tali cerniere dovranno essere smontate e gli spezzoni dovranno essere assemblati a piè d'opera;
- fissare i cavi della cella di carico all'interno dell'anima della centina con semplice filo di legatura. Cavi che verranno sciolti e cablati ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

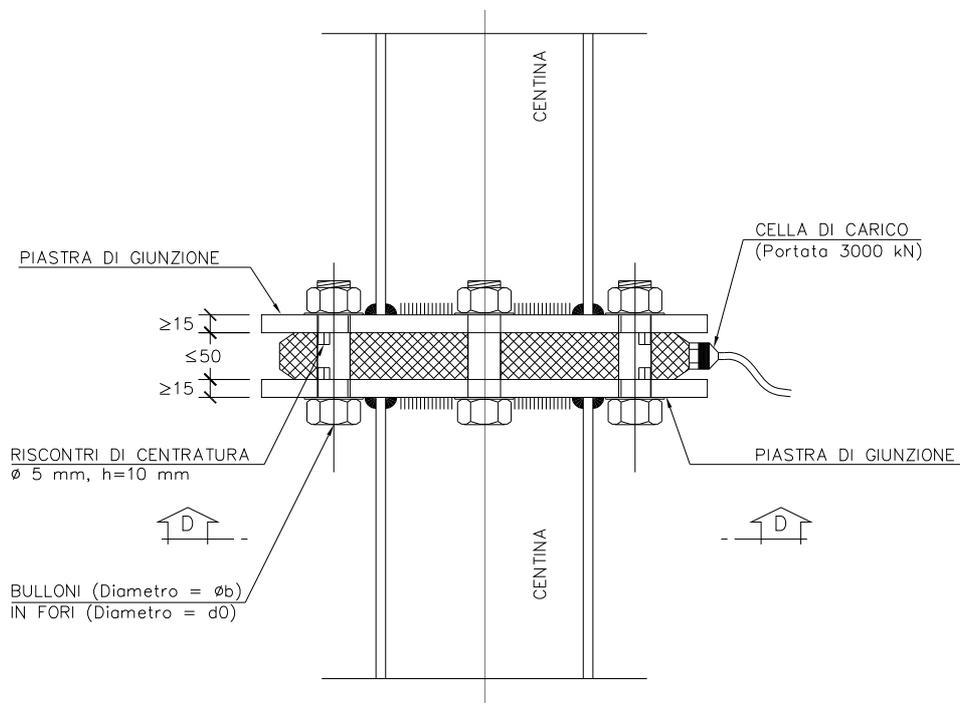


Figura 5.1: Dettaglio cella di carico fra piastre di giunzione della centina - prospetto

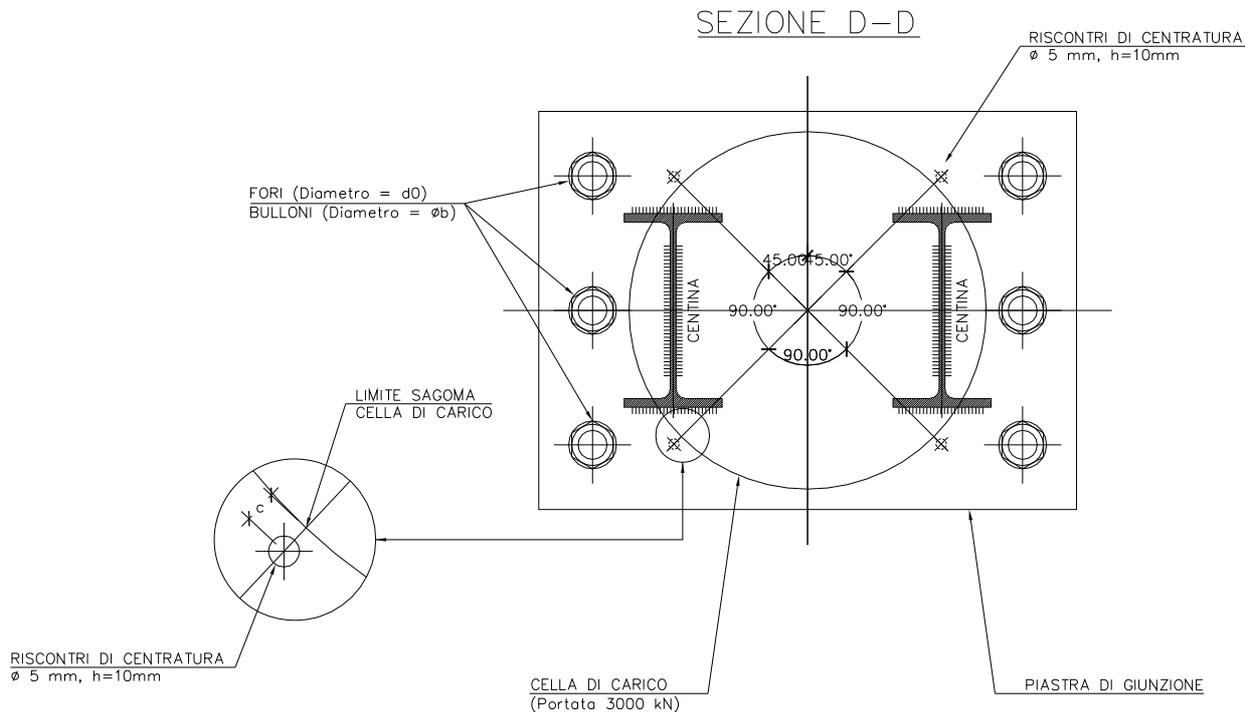


Figura 5.2: Dettaglio cella di carico fra piastre di giunzione della centina - sezione

5.9.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di carico sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della tesatura iniziale (frequenza di zero) delle barrette estensimetriche e della lettura di controllo delle celle di carico, da eseguirsi prima del posizionamento della cella sulla centina;
- risultati della lettura di controllo del buon funzionamento degli strumenti (barrette estensimetriche e celle di carico), da eseguirsi subito dopo la posa in opera della centina strumentata;
- documentazione di eventuali misure di controllo effettuate;

- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto)

5.9.5 Frequenza dei rilevamenti

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento, per ogni barretta estensimetrica e cella di carico è il seguente:

- letture ogni 1-2 ore (con centralina di acquisizione automatica) per i primi 3 campioni di scavo successivi all'installazione; in questa fase lo scarico dei dati deve essere effettuato alla fine di ogni campione di scavo.
- letture ogni 24 ore (con centralina di acquisizione automatica o manuale) per i successivi campioni di scavo fino a stabilizzazione dei valori e, in ogni caso, fino al getto del rivestimento definitivo; in questa fase lo scarico dei dati dovrà essere effettuato settimanalmente.

Le suddette frequenze e l'eventuale prosecuzione delle misure a getto del rivestimento avvenuto potranno essere modificate in corso d'opera.

5.9.6 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- carichi tra le piastre di giunzione della centina in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo (per le celle di carico);
- tensioni in funzione del tempo ed in funzione della distanza dal fronte di scavo (per gli estensimetri a corda vibrante);

Ad ognuno dei grafici funzione del tempo dovrà essere associato un grafico che riporti il graduale avanzamento nel tempo delle diverse fasi esecutive (avanzamento del fronte di scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta). La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

5.10 Registrazione dei parametri di perforazione (Dac-test)

5.10.1 Descrizione

Il dac-test consiste nella registrazione in forma continua dei principali parametri di una perforazione, eseguita di norma a distruzione di nucleo, con lo scopo di riconoscere le caratteristiche fondamentali del terreno, preferibilmente a partire da situazioni rese note dall'esecuzione di sondaggi di taratura a carotaggio continuo. I dac-test saranno solitamente eseguiti in perforazioni suborizzontali in avanzamento; nel caso sia previsto il consolidamento del fronte di scavo mediante elementi strutturali in VTR, si eseguirà la registrazione dei parametri di alcune delle perforazioni necessarie per la messa in opere dei VTR.

5.10.2 Specifiche tecniche

L'attrezzatura necessaria dovrà consistere in:

- sonda a rotazione o a rotopercolazione;
- sensori e centralina elettronica per la misura, la amplificazione e la registrazione su supporto magnetico almeno dei seguenti parametri di perforazione:
 - spinta applicata all'utensile di perforazione [MPa];
 - velocità di avanzamento [m/h];
 - coppia di rotazione assorbita [MPa];
 - velocità di rotazione [rpm]
 - pressione del fluido di circolazione [MPa].

La registrazione dei parametri dovrà avvenire preferibilmente con la frequenza di un'operazione di memorizzazione per 1 cm di avanzamento dell'utensile oppure con la frequenza di una registrazione al minuto, nel caso di avanzamenti inferiori a 1 cm/minuto. In ogni caso la frequenza di registrazione non dovrà mai essere superiore a 5 cm di avanzamento.

La centralina dovrà permettere la visualizzazione dei parametri misurati e la stampa su carta dei grafici; dovrà essere misurata, registrata e visualizzata su visore, in ogni caso, la profondità raggiunta dalla prova.

5.10.3 Modalità esecutive

La perforazione dovrà essere eseguita avendo cura, dopo qualche tentativo, di operare con la massima omogeneità.

In particolare, la spinta applicata all'utensile dovrà, se possibile, essere mantenuta costante per l'intera verticale di prova e dovrà essere tale da assicurare il superamento dei livelli più resistenti senza eccessiva perdita di leggibilità dei risultati negli strati più resistenti.

E' necessario che il detrito di perforazione fuoriuscente a bocca foro sia descritto con la migliore precisione possibile.

5.10.4 Documentazione richiesta relativa alla prova

La documentazione di prova dovrà comprendere quanto sotto elencato:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico (o fotografia) del fronte con indicazione della posizione della perforazione;
- caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione (in particolare diametri interno del pistone), modalità esecutive del foro, diametro e orientazione del foro;
- grafico di cantiere con i parametri misurati e registrati;
- grafico, derivato dai parametri registrati, delle seguenti quantità in funzione della profondità: velocità di avanzamento [m/h], velocità di rotazione [rpm], forza applicata all'utensile [kN], coppia di rotazione assorbita [kNm], energia specifica di perforazione [kJ/m³]; in calce, dovranno essere riportate le formulazioni utilizzate per ricavare le grandezze derivate dai parametri registrati;
- note ed osservazioni di cantiere.

5.11 Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (barrette estensimetriche e celle di pressione)

5.11.1 Descrizione

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni nel rivestimento definitivo e nell'arco rovescio è prevista l'installazione di stazioni strumentate così composte:

- n. 5 coppie di strain meters per calcestruzzo annegate tangenzialmente nel cls della calotta: 1 coppia posizionata 1 m sopra la muretta destra e sinistra, 1 coppia posizionata in prossimità del rene destro e sinistro, 1 coppia in chiave.
- n. 2 strain meters per cls per la stima delle componenti deformative del calcestruzzo imputabili al ritiro, e/o alle variazioni di temperatura nel tempo: 1 strain meters ubicato longitudinalmente 1 m sopra la muretta destra, 1 strain meters ubicato longitudinalmente in chiave;
- n. 3 coppie di strain meters annegate tangenzialmente nel cls dell'arco rovescio in intradosso e estradosso posizionate: 1 coppia installata in prossimità del passaggio muretta-arco rovescio destro e sinistro e una coppia posta al centro dell'arco rovescio.
- n.2 celle di pressione installate in corrispondenza del piano dei centri, una nel piedritto di monte e una nel piedritto di valle.

5.11.2 Caratteristiche tecniche della strumentazione

strain meters per cls

Lunghezza	250 mm
Segnale in uscita	Hertz
Accuratezza	<2,0% FS
campo di misura	3000 μ s
range di temperatura	-20, +80 °C
Sensibilità	0,5 microstrain
Coefficiente di espansione termica	12,0 μ s /°C

Celle di pressione

Materiale	acciaio inossidabile 17- 4PH
Segnale in uscita	mV/V o 4-20 mA
campo di misura	Fino a 20 MPa
range di temperatura	-10, +55 °C
Precisione	<1% F.S.
Carico ammissibile	<50% F.S.

5.11.3 Modalità di installazione

Gli estensimetri a corda vibrante per cls sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, tensionato tra due estremità a due supporti ancorati alla struttura da monitorare. Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei due blocchetti e una conseguente variazione di tensione della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- preparare in cantiere un telaio metallico appositamente realizzato con tondini di ferro;
- fissare la struttura metallica così preparata nell'orientazione desiderata in maniera tale da renderla stabile durante il getto di calcestruzzo;
- fissare sul telaio l'estensimetro con del filo di ferro non troppo tesato. Ad una distanza simmetrica di 3-4 cm dall'elettromagnete fare 2 spirali di filo di ferro sui braccetti dello strumento e fissarle ai tondini della struttura metallica;
- fissare i cavi di segnale dell'estensimetro lungo il paramento della galleria con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.
- qualora si debba effettuare l'installazione in cemento armato le procedure sono simili a quelle precedenti se non che l'estensimetro verrà fissato ai ferri dell'armatura preesistenti.
- per installare gli estensimetri in un cubo di calcestruzzo le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:
- preparare un cassero di legno o una struttura a pannelli metallici di 1 m³ ove effettuare il getto di calcestruzzo;
- preparare un telaio metallico appositamente realizzato in officina meccanica con tondini di ferro al fine di poter fissare con legature metalliche i 3 estensimetri con orientazione ortogonali gli uni agli altri;
- fissare sul telaio gli estensimetri con del filo di ferro non troppo tesato. Ad una distanza simmetrica di 3-4 cm dall'elettromagnete di ogni strumento fare 2 spirali di filo di ferro sui braccetti e fissarle ai tondini della struttura metallica;
- fissare i cavi di segnale degli estensimetri con fascette di plastica alla struttura metallica posta all'interno del cassero;
- fare uscire i cavi di segnale dalla sommità del cassero e collegarli ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

Celle di pressione

La cella di pressione è costituita da due lamine in acciaio saldate tutto il perimetro e separate internamente da una sottile cavità che viene saturata sotto vuoto con olio disareato.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- posizionare la cella di pressione nella posizione individuata negli elaborati grafici collegando all'armatura presente e posizionando opportuni carter per la protezione in fase di getto del rivestimento definitivo;
- collegare il piatto cella al trasduttore utilizzando un tubo idraulico ad alta resistenza in nylon Rilsan H11 saturato in fabbrica con olio disareato;
- i cavi che verranno dovranno essere cablati ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati;
- nel caso in cui il piatto sensore non risulti più in contatto diretto con il calcestruzzo a seguito dei processi di maturazione del calcestruzzo e la conseguente creazione di cavità d'aria "effetto arco" si dovrà provvedere alla ripressurizzazione mediante apposita pompa collegata alla valvola consentendo di espandere il piatto sensore e ripristinare il contatto con il calcestruzzo.

5.11.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione degli strain meters e delle celle di pressione all'interno del rivestimento definitivo con indicazione dell'orientazione e della posizione;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura dei singoli strumenti, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati della taratura iniziale (frequenza di zero) delle barrette estensimetriche
- documentazione delle misure di controllo effettuate (almeno n.3 dopo l'esecuzione del getto in cls);
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto)

5.11.5 Frequenza dei rilevamenti

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento, per ogni barretta estensimetrica e cella di pressione è il seguente:

- letture ogni 4 ore (con centralina di acquisizione automatica), a partire dal momento in cui viene scasserato il concio di cls, per i primi 28 giorni. Tali letture permetteranno di valutare le deformazione all'interno della struttura in concomitanza con i fenomeni di ritiro ed escursione termica tipici del calcestruzzo in fase di maturazione.
- a partire dal 28° giorno saranno effettuate letture manuali a cadenza settimanale per i primi 2 mesi e mensile per quelli successivi.

5.11.6 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- deformazioni in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo (per gli estensimetri a corda vibrante);
- pressioni in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo (per le celle di pressione);

Ad ognuno dei grafici funzione del tempo dovrà essere associato un grafico che riporti il graduale avanzamento nel tempo delle diverse fasi esecutive (avanzamento del fronte di scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta).

La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

5.12 Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (mini prismi ottici)

5.12.1 Descrizione

Le misure in oggetto consentono di stimare le deformazioni del rivestimento definitivo della galleria attraverso il sistematico rilievo ad alta precisione delle coordinate di 4 punti di misura (o più, qualora indicato in progetto) disposti lungo il perimetro del cavo stesso (due alle reni e due sui piedritti).

L'esecuzione e la restituzione delle misure di convergenza richiede l'impegno continuativo di un topografo esperto e di un coadiutore.

Le mire ottiche saranno installate alla minima distanza possibile dal fronte di scavo.

5.12.2 Specifiche tecniche del sistema di lettura

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione totale topografica dotata di distanziometro elettronico che misura la posizione assoluta dei 4 punti (mini prismi ottici) della stazione rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da capisaldi siti in galleria.

Stazione totale motorizzata

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	≤ 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1"
Precisione misura della distanza	1 mm

5.12.3 Modalità di installazione

I punti di mira verranno realizzati con mini prismi ottici montate su angolari metallici a loro volta solidarizzati con la centina posta in corrispondenza della medesima progressiva di avanzamento. Le mire ottiche dovranno essere installate in modo da sporgere per circa 10 cm dall'intradosso del rivestimento definitivo.

5.12.4 Frequenza dei rilevamenti

La frequenza dei rilevamenti, passibile di modifiche in corso d'opera, sarà di massima la seguente:

- n. 2 letture mensili fino al completamento del piano di progetto;
- eventuali misure di controllo a cadenze da definirsi in corso d'opera.

La lettura di zero dovrà essere effettuata il prima.

5.12.5 Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- Convergenze, spostamenti orizzontali, spostamenti verticali, spostamenti longitudinali (rispetto all'asse della galleria);
- velocità di convergenza (mm/giorno).

La restituzione deve avvenire sia in formato cartaceo che su apposito supporto informatico in formato excel.

5.13 Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (prove di martinetto piatto)

5.13.1 Descrizione

Per la determinazione della tensioni assiali che agiscono sul rivestimento definitivo è prevista la realizzazione di n. 4 prove di martinetto piatto all'altezza dei piedritti e dei reni, di entrambi i paramenti della galleria.

Successivamente i martinetti piatti utilizzati per la prova saranno lasciati in posizione e strumentati con trasduttori di pressione elettrici collegati a una centralina di acquisizione automatica per registrare eventuali variazioni dello stato tensionale nel tempo.

La prova prevede l'esecuzione, mediante una sega circolare diamantata si esegue un taglio dello spessore di 4 mm. Il rilascio delle tensioni determina una parziale chiusura dell'intaglio che è rilevata mediante misura con estensimetro meccanico rimovibile. Si inserisce quindi un martinetto piatto avente la stessa sagoma dell'intaglio e spessore di 4 mm. Il martinetto è pressurizzato fino ad ottenere l'annullamento della deformazione verificatasi in fase di realizzazione dell'intaglio.

Lo stato di sollecitazione in direzione normale al piano di prova è ottenuto dalla pressione esistente nel martinetto quando si verifica l'annullamento della deformazione (pressione di ripristino), moltiplicata per una costante sperimentale < 1 dipendente dalla geometria del martinetto, dalla sua rigidità, etc.. La costante sperimentale è determinata attraverso calibrazione dei martinetti in laboratorio con una pressa da 5000 kN.

5.13.2 Caratteristiche tecniche e strumentazione

Specifiche tecniche Martinetto piatto

Forma martinetto	Semi-ogivale
Dimensioni	350 x 260 x 3,5 mm

Specifiche tecniche trasduttore di pressione

Fondo scala	10 MPa
Carico ammissibile	100% FS
Risoluzione	0,025% FS
Accuratezza	<0,5% FS
Segnale di uscita	Frequenza
Temperatura operativa	-20°C +100°C
Materiale	Acciaio inossidabile

5.13.3 Modalità di installazione

Le modalità esecutive della prova saranno le seguenti:

- rilievo dei caratteri geomeccanici della parete da sottoporre a prova, al fine di individuare eventuali anisotropie dell'ammasso roccioso e di permettere la scelta della direzione più opportuna per l'esecuzione del taglio.
- installazione sulla parete di almeno 6 basi di misura, disposte simmetricamente (3 per ogni lato) rispetto alla linea sulla quale si eseguirà il taglio;
- misura delle distanze reciproche tra le basi installate, in corrispondenza delle diverse sezioni;
- scavo di un taglio piano, normale alla parete, equidistante dalle basi di misura, di dimensioni tali da alloggiare il martinetto piatto; il taglio dovrà essere eseguito utilizzando una sega dotata di disco diamantato munita di un apposito telaio di guida, parallelo alla direzione di taglio;
- misura della distanza tra le basi e registrazione dello spostamento delle stesse dopo l'esecuzione del taglio e del conseguente rilascio tensionale; la misura dovrà poi essere ripetuta ad intervalli regolari fino al raggiungimento della massima deformazione (creep);
- inserimento del martinetto nel taglio praticato e sua dilatazione, con gradini di carico di 0.5 MPa, fino ad annullare per intero lo spostamento delle basi dovuto al taglio, annotando i diversi gradini di carico applicati ed i relativi spostamenti delle basi, fino a raggiungere il carico a cui corrisponde il ripristino della distanza tra le basi di misura che esisteva prima dell'esecuzione del taglio; il carico massimo andrà mantenuto per 15 minuti in modo da misurare la deformazione di creep, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti; il carico deve quindi essere riportato a zero seguendo gli stessi gradini utilizzati precedentemente (decrementi di 0.5 MPa) e leggendo le deformazioni delle basi corrispondenti; alla fine del ciclo, una pressione nulla andrà mantenuta per 15 minuti, leggendo le deformazioni delle basi ogni 5 minuti.
- esecuzione di almeno altri 2 cicli di prova a pressione crescente impiegando almeno 10 incrementi tensionali uguali per ciascun ciclo fino alla massima pressione raggiungibile, che è determinata in funzione del tipo di martinetto impiegato, delle caratteristiche di resistenza della roccia e della pressione di cancellazione registrata nel primo ciclo.
- Al termine della prova, applicazione del trasduttore di pressione al martinetto piatto, verificando che il trasduttore registri un valore di pressione simile al livello tensionale rilevato durante la prova; a tal fine, è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale al fine di eseguire almeno n.3 letture di controllo.

5.13.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione ed alla prova di carico

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);

- Codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico di installazione dei martinetti nel priverestimento con indicazione dell'orientazione e della dimensione dell'intaglio;
- documentazione tecnica relativa ai singoli martinetti installati rilasciata dal produttore, con indicazione delle dimensioni dello strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- report interpretativo della prova di carico iniziale, che conterrà per ogni prova:
 - dati identificativi della prova;
 - valori delle deformazioni dovuti all'intaglio;
 - andamento cronologico della pressione applicata al martinetto;
 - curve pressione deformazione;
 - valore della pressione di ripristino, della costante del martinetto, e della tensione misurata.
- Certificato della prova di calibrazione del martinetto piatto, con indicazione della costante sperimentale
- certificato di taratura dei trasduttori di pressione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.
- risultati delle n.3 letture di controllo eseguite sul trasduttore di pressione, immediatamente dopo l'installazione;
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (ove previsto)

5.13.5 Frequenza dei rilevamenti

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la prova di carico iniziale per ogni martinetto piatto è il seguente:

- n.4 letture nei primi 2 giorni, al fine di valutare la stabilizzazione del dato dopo la prova iniziale.
- successivamente saranno effettuate letture manuali a cadenza settimanale per i primi 2 mesi e mensile per quelli successivi.

5.13.6 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- Pressione rilevata dal martinetto piatto in funzione del tempo e in funzione della distanza dal fronte di scavo;

Ad ognuno dei grafici funzione del tempo dovrà essere associato un grafico che riporti il graduale avanzamento nel tempo delle diverse fasi esecutive (avanzamento del fronte di scavo, scavo dell'arco rovescio, getto dell'arco rovescio, getto delle murette, getto della calotta). La restituzione

dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

5.14 Monitoraggio tensio-deformativo del rivestimento definitivo (prove doorstopper)

5.14.1 Descrizione

La prova consente di determinare lo stato tensionale nella struttura in calcestruzzo attraverso la misura con cella (rosetta) estensimetrica delle deformazioni della porzione centrale di un foro di sondaggio comunque inclinato a seguito della liberazione delle tensioni ottenuta mediante sovracarotaggio. In particolare la prova doorstopper, utilizzando una sola cella estensimetrica, permette il rilievo delle tensioni solo su di un piano, corrispondente alla sezione diametrale di un foro di sondaggio ad una determinata profondità.

5.14.2 Modalità di installazione, ed esecuzione della prova

L'attrezzatura, che dovrà essere conforme a quanto previsto dal C.S.I.R., dovrà essere composta da:

- – cella o rosetta estensimetrica tipo C.S.I.R. per la misura delle deformazioni, costituita da almeno 4 estensimetri elettrici applicati su di un supporto circolare a disco dello spessore di 0.625 mm, disposti a 45° l'uno dall'altro;
- – strumento per la posa orientata della cella nel foro;
- – centralina di misura degli spostamenti collegabile alla cella estensimetrica.
- La prova dovrà essere eseguita secondo la metodologia seguente:
- esecuzione di un foro a carotaggio integrale del diametro di 76 mm;
- regolarizzazione del fondo foro con apposita fresa a disco diamantata;
- preparazione del fondo foro con appositi solventi ed essiccazione con flusso d'aria compressa;
- montaggio della cella estensimetrica di misura in testa allo strumento di inserzione, con spalmatura del collante sulla superficie della cella che andrà a contatto con il fondo foro;
- inserimento nel foro della cella, applicandola sulla parete di fondo foro con una certa pressione da mantenere fino ad incollaggio avvenuto;
- esecuzione della lettura di zero degli estensimetri;
- approfondimento del foro mediante sovracarotaggio con carotiere a parete sottile e recupero a giorno della cella estensimetrica con la parte di roccia su cui è incollata;
- collegamento della cella alla centralina di misura per la misura degli spostamenti indotti dal rilascio tensionale conseguente al sovracarotaggio, da effettuare in condizioni di equilibrio termico.

Le costanti elastiche della roccia, necessarie per il calcolo delle tensioni, potranno essere ricavate da una prova di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali, da eseguirsi in laboratorio su un campione della stessa roccia sottoposta alla prova doorstopper, oppure sottoponendo a prova con apposita pressa radiale la porzione di roccia con la cella estensimetrica.

5.14.3 Restituzione dei dati

La documentazione della prova dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- ubicazione e direzione del carotaggio;
- metodo e diametro di perforazione;
- profondità della prova;
- tabelle delle deformazioni degli estensimetri;
- descrizione della formulazione matematica interpretativa per il calcolo delle tensioni;
- tabelle con i valori di modulo di elasticità e di rapporto di Poisson utilizzati per i calcoli e modalità di prova con cui sono stati misurati;
- tabella dei valori dei tensori di sforzo calcolati e relativi intervalli di confidenza;
- tabella dei valori delle tensioni principali calcolate e relative orientazioni;
- documentazione fotografica del sito di prova, dell'attrezzatura di prova e delle fasi salienti della prova;
- relazione descrittiva delle attrezzature e delle modalità di prova.

5.15 Monitoraggio del carico piezometrico al contorno del cavo

5.15.1 Descrizione

Per il controllo del carico idraulico al contorno del cavo nel medio lungo termine, è prevista l'installazione di sezioni strumentate composte da n. 4 celle Casagrande, installate ognuna in apposita perforazione eseguita radialmente all'altezza dei piedritti destro e sinistro. Le perforazioni saranno inclinate verso il basso (circa 10°) ed avranno lunghezza pari a 5 e 10 m. Le celle saranno successivamente strumentate con trasduttore di pressione assoluto e i tubi di lettura cementati in modo da isolare la cella dall'ambiente esterno (ovvero dalla galleria) e quindi misurare nel tempo la pressione idrostatica al contorno del cavo. Durante il getto del rivestimento definitivo, dovrà essere previsto un risparmio attraverso cui far passare i cavi dei trasduttori di pressione da cablare successivamente a datalogger per consentire la misura in automatico.

5.15.2 Caratteristiche della strumentazione

La cella tipo Casagrande è costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con il paramento della galleria è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno); il tubicino in andata dovrà avere diametro non inferiore a 1.5" (gas) per permettere il successivo inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione mentre, il tubicino in ritorno dovrà avere un diametro interno non inferiore a 15 mm e uno spessore non inferiore a 3 mm; i singoli spezzoni di tubo, di lunghezza generalmente variabile tra 1.5 e 3 m, dovranno essere collegati tra loro da appositi manicotti di giunzione. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.

Le caratteristiche generali della cella piezometrica dovranno essere le seguenti:

Filtro	Diametro esterno 55 mm circa e lunghezza tra 100 e 500 mm
Materiale	Agglomerato di polietilene o equivalente
Porosità	Tra 20 e 60 micron

L'utilizzo di celle o tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Direzione Lavori.

Il trasduttore di pressione con cui strumentare successivamente la cella Casagrande dovrà essere del tipo assoluto per piezometri Casagrande chiusi e soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire (su indicazione del progettista/ DL)
Massimo sovraccarico	30 % del F.S.
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
precisione	0.3% F.S.
sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

Il cavo elettrico di collegamento tra il piezometro e la testa della perforazione con terminale di misura alloggiato in cassetta di protezione o cablato fino a centralina di acquisizione dati, avendo la massima cura, durante le successive lavorazioni in cantiere, a non danneggiare i cavi di segnali. L'utilizzo di piezometri elettrici con caratteristiche tecniche differenti da quanto sopra riportato dovrà essere preventivamente autorizzato dalla Direzione Lavori.

5.15.3 Preparazione del foro

Se la cella Casagrande non deve essere posata a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

Se il piezometro non deve essere posato a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avutasi la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

Al fine di evitare perdite di saturazione del piezometro durante le fasi di installazione il foro dovrà essere mantenuto costantemente pieno d'acqua. Inoltre prima dell'inserimento nel foro il

piezometro, contenuto in un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua, dovrà essere inserito in un secondo sacchetto impermeabile pieno d'acqua da rompere una volta immerso in acqua all'interno del foro di sondaggio. L'inserimento del piezometro nel sacchetto di geotessile e nel sacchetto impermeabile dovrà essere eseguito all'interno di un contenitore pieno d'acqua.

5.15.4 Installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi, avendo cura, per ogni singolo step, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\varnothing = 1 \div 4$ mm);
- discesa a quota della cella Casagrande, precedentemente assemblata con i due tubicini rigidi in PVC; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati;
- posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito ($\varnothing = 1 \div 4$ mm) attorno alla cella Casagrande e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e tubicini non risalgano assieme al rivestimento;
- posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ($\varnothing = 1 \div 2$ cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di $2 \div 3$ cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- sistemazione e protezione della estremità del piezometro con apposito coperchio removibile al fine di evitare il rischio di caduta di materiale all'interno dei tubi;
- esecuzione della prima lettura significativa.

Installazione del trasduttore di pressione

Successivamente all'installazione della cella Casagrande, una volta definitivo il FS più adatto sulla base delle letture manuali eseguite, il piezometro dovrà essere strumentato mediante installazione di trasduttore di pressione assoluto nel tubo con diametro maggiorato, inserito all'interno di una custodia appositamente sagomata con anello di tenuta che sigilli il tubo a diametro maggiorato ($1 \frac{1}{2}$ "), e di un tappo a tenuta nel secondo tubo, tale da garantire la possibilità di realizzare la "chiusura" del secondo tubo (di diametro $\frac{1}{2}$ ") e quindi della cella. Per l'installazione, si devono eseguire le seguenti operazioni:

- Lavaggio del piezometro prima dell'installazione del trasduttore;
- Controllo dell'integrità del filtro e del suo corretto montaggio sul corpo della cella;
- Saturazione della cella porosa in acqua disarmata;

- Esecuzione di lettura di controllo in aria (determinazione dello 0);
- inserimento del traduttore con la punta conica e il contrappeso (es. tubo in acciaio inox appoggiato allo strumento) entro il tubo in PVC da 1 ½" reggendolo per il cavo elettrico, fino a che vada ad inserirsi nella sede sulla cella porosa; per accertarsi che la quota raggiunta coincida con la quota di posa del filtro, controllare la lunghezza del cavo introdotto;
- durante la posa del trasduttore, devono essere eseguite letture di controllo per verificare il corretto funzionamento del trasduttore in relazione al carico piezometrico nel foro.
- collegamento del sensore alla centralina di misura ed inserimento del sensore nel tubo di misura, fino a raggiungere la sede di esercizio, ponendo particolare cura per evitare sovrappressioni dannose per il trasduttore, e lettura del livello di falda mediante misuratore di livello nel tubo da 1/2";
- esecuzione di una misura mediante centralina;
- inserimento nel tubo da 1/2" dell'elemento di chiusura dopo il ripristino delle condizioni iniziali (livello di falda stabilizzato);
- esecuzione di una misura dopo alcune ore dall'ultimazione dell'installazione della strumentazione ripetute nei giorni successivi.

Successivamente all'installazione i cavi dei piezometri dovranno essere cablati tutti ad un unico punto in modo da permettere il successivo cablaggio a datalogger.

5.15.5 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, opera, progressiva della sezione strumentata, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- diametro e stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- Schema grafico con indicazione dell'ubicazione e orientazione della perforazione relativamente alla sezione d'installazione;
- caratteristiche del piezometro e schema di installazione nel foro, con indicazione della profondità del piezometro nel foro;
- documentazione tecnica relativa agli strumenti installati rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- Quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;

- tabella con la lettura eseguita in aria, le letture di controllo e le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.
- schema grafico del cablaggio alla centralina di lettura o al datalogger (opve previsto).

5.15.6 Frequenza dei rilevamenti

Il numero minimo dei rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento, per ogni piezometro elettrico è il seguente:

- letture ogni 1-2 ore (con centralina di acquisizione automatica) per i primi 3 campioni di scavo successivi all'installazione; in questa fase lo scarico dei dati deve essere effettuato alla fine di ogni campione di scavo.
- letture ogni 24 ore (con centralina di acquisizione automatica o manuale) per i successivi campioni di scavo fino a stabilizzazione dei valori e, in ogni caso, fino al getto del rivestimento definitivo; in questa fase lo scarico dei dati dovrà essere effettuato settimanalmente.

Le suddette frequenze e l'eventuale prosecuzione delle misure a getto del rivestimento avvenuto potranno essere modificate in corso d'opera.

5.15.7 Restituzione dei dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- Digit in funzione del tempo;
- Pressione idrostatica in funzione del tempo;

La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

5.16 Sistema di acquisizione dati a due o più canali

5.16.1 Generalità'

Le unità di acquisizione dati consentono l'acquisizione automatica, secondo cadenze prefissate e modificabili in qualsiasi momento, dei segnali provenienti dai trasduttori elettrici (di qualsiasi natura), fornendo loro nel contempo l'opportuna alimentazione. Le unità sono completamente autonome sia dal punto di vista dell'alimentazione elettrica che della memorizzazione dei dati: devono poter essere abbandonate in campo anche nelle più disagiati condizioni climatiche e/o ambientali. Il loro uso consente di ottenere un gran numero di dati senza la necessità di recarsi sul posto per la misura manuale.

Unitamente all'acquisitore dovrà essere fornito il software di gestione dello stesso. Il file di output delle misure acquisite dovrà essere, in ogni caso, compatibile con il programma excel (es. formati .xls, .csv, .txt).

5.16.2 Caratteristiche delle apparecchiature

5.16.2.1 Apparecchiatura a 2 canali

Queste apparecchiature, alloggiare in "case" di adeguate dimensioni e geometria ed alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, possono essere utilizzate anche all'interno di fori di sondaggio per la misura di uno o due segnali (esempio la misura del livello e la temperatura) e sono costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- connettori tipo MIL per il collegamento rapido dei trasduttori;
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione ± 20000 punti;
- ingresso digitale (contatore a 4 cifre);
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun canale di ingresso (opzionali);
- armadio di contenimento IP67 per le versioni all'aperto e IP68 per le versioni da inserire in fori di sondaggio.

Le apparecchiature installate devono in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 4 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;

- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
 - range di scansione;
 - range di acquisizione;
 - alimentazione dei sensori;
 - fondo scala elettrico;
 - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche.
- temperatura di funzionamento da -20° a $+70^{\circ}$;
- Acquisitore Multisensor: possibilità di misurare sensori in corrente ($4 \div 20$ mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

5.16.2.2 Apparecchiature pluricanali

In questo caso le apparecchiature, alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, dovranno essere espandibili con schede di espansione da 16 canali analogici ciascuno fino ad un massimo di 96 canali analogici e saranno costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- doppia porta seriale RS232 optoisolata con possibilità di collegamento in cascata di più unità di acquisizione dati, riconoscibili mediante indirizzo, fino ad un massimo di 64 unità;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione ± 20000 punti;
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun ingresso analogico (opzionali);
- display alfanumerico a cristalli liquidi e tastiera per la programmazione di tutti i parametri operativi anche senza la disponibilità di un PC;
- relè generale di massimo e minimo attivabile automaticamente in caso di superamento delle soglie di allerta;
- armadio di contenimento IP67 in lamiera verniciata o poliestere rinforzato, con pressacavi a tenuta per gli ingressi dei cavi provenienti dai sensori.

Le apparecchiature installate dovranno in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 2 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;

- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
 - range di scansione;
 - range di acquisizione;
 - alimentazione dei sensori;
 - fondo scala elettrico;
 - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
 - soglie di valore di misura minimo e di massimo per eventuali segnali di allerta.
- possibilità di leggere sul display i dati memorizzati dalla RAM-CARD;
- temperatura di funzionamento da -20° a $+70^{\circ}$ C;
- Acquisitore Multisensor: possibilità di misurare sensori in corrente ($4 \div 20$ mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

5.16.3 Installazione

Le unità di acquisizione dati dovranno essere installate in luoghi adeguatamente protetti sia contro atti di vandalismo sia da condizioni climatiche particolarmente avverse. In questo ultimo caso dovranno essere ubicate all'interno di armadi in vetroresina tipo stradale.

Nel caso sia previsto un monitoraggio in automatico anche a lungo termine, e cioè dopo la fine della realizzazione dell'opera, è necessario che l'acquisitore sia ubicato in modo definitivo in zone protette, facilmente raggiungibili e non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione delle opere e con le fasi di esercizio della stesse.

Le connessioni e gli ammaraggi dei cavi dei sensori dovranno essere fatte a regola d'arte garantendo una buona connessione elettrica con le morsettiere o connettori di ingresso. Anche in questo caso si dovrà provvedere a cablaggi non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione dell'opera e con le fasi di esercizio della stessa.

Al termine dell'installazione le unità andranno adeguatamente testate in tutte le loro funzioni (scansioni, memorizzazione, trasmissione dati, ecc.).

5.16.4 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- schemi di cablaggio (ingressi, eventuale linea di alimentazione e collegamenti seriali);
- manuale d'uso;
- Software di gestione e programmazione dell'acquisitore;
- ubicazione plano-altimetrica dell'unità di acquisizione;

- misure di zero di tutta la sensoristica installata;
- tabella con indicazione dei sensori in ingresso, con i parametri operativi impostati canale per canale (alimentazione, scala, gain, zero, soglie di allerta, ecc.);
- eventuali schede aggiuntive (convertitori di seriale, convertitori per fibra ottica, ecc.);
- eventuali note e osservazioni.

5.17 Collegamenti tra le strumentazioni

5.17.1 Descrizione

Aspetto particolarmente importante da valutare nella scelta dei collegamenti è connesso all'affidabilità, intesa come capacità di garantire la trasmissione dei segnali anche in condizioni critiche. Spesso è proprio in talune condizioni che nasce l'esigenza di disporre delle misure strumentali.

Pertanto si verificheranno le varie soluzioni possibili in relazione agli scopi del sistema ed alle condizioni operative.

Nella scelta e nella progettazione dell'architettura dei sistemi di collegamento, non bisogna sottovalutare il fatto che i collegamenti via cavo (tra i singoli strumenti e le unità di acquisizione) rappresentano un punto di particolare fragilità del sistema, in quanto possono essere danneggiati, strappati, tagliati:

- nel caso di movimenti rilevanti dei versanti;
- nel caso di eventuali cadute di massi;
- durante le singole fasi lavorative (interferenza con i mezzi operativi);
- per negligenza, incuria, disattenzione del personale di cantiere;
- per atti vandalici.

5.17.2 Cavi elettrici di collegamento

Per realizzare i collegamenti si dovrà valutare la difficoltà connessa alla posa e protezione dei cavi ed all'affidabilità di tali collegamenti.

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame. La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

I cavi potranno essere:

- cavi a 6 conduttori di diametro non superiore a 9 mm e sezione pari a 0.22 mm²;
- cavi multipolari di diametro non superiore a 15 mm e costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a 0.22 mm².

Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;

- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poliolefina reticolata per i conduttori;
- schermo in treccia di rame; è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato;
- isolamento guaina esterna;
- tensione di prova: 300 V;
- tensione di esercizio: 300 Vrms;
- resistenza di isolamento > 200 M Ω /Km;
- isolamento guaina di separazione conduttori;
- tensione di prova: 300 V;
- tensione di esercizio: 300 Vrms;
- resistenza di isolamento > 200 M Ω /Km;
- percentuale calza:
 - > 90% per cavi con schermo a calza;
 - > 60% per cavi con schermo a calza e schermo elettrostatico in nastro di alluminio e poliestere;
 - caratteristiche ignifughe: non propagante l'incendio (secondo la norma UL 94 VO).

Si ricorda a riguardo l'esistenza di indici di protezione IP (Index Protection) che rappresentano il grado di protezione di un dispositivo da agenti esterni secondo la Norma CEI 70-1 (corrispondente EN 60529). Esso è formato da due cifre dopo il prefisso IP: la prima cifra indica il grado di protezione contro il contatto di corpi solidi esterni e contro l'accesso a parti pericolose, in una scala da 0 (non protetto) a 6 (totalmente protetto contro la polvere, protetto contro l'accesso con un filo), la seconda cifra indica la protezione contro la penetrazione dei liquidi, in una scala da 0 (non protetto) a 8 (protetto contro gli effetti della sommersione). La norma CEI 70-3 (corrispondente alla EN 50102) prevede la verifica dell'integrità dell'involucro a seguito dell'applicazione di urti per mezzo di martello a pendolo, martello a molla o martello verticale, l'eventuale terza cifra indica il grado di resistenza meccanica dell'involucro, in una scala da 0 (non protetto) a 10 (protetto contro l'energia d'urto 20J).

5.17.3 collegamenti via telefono cellulare o collegamento satellitare

Per i collegamenti via telefono cellulare o collegamento satellitare si dovranno verificare la copertura e l'intensità del campo, che può variare nel tempo. Per quanto riguarda la distanza tra i punti da collegare si dovrà valutare la massima tratta in funzione del tipo di segnale trasmesso (mA, V, Hz, mV/V), delle sezioni dei cavi disponibili, dei disturbi elettromagnetici e delle fulminazioni. E' inoltre da considerare l'aspetto relativo all'ottenimento dei permessi e delle autorizzazioni necessarie così come i canoni di gestione.

5.17.4 collegamenti via radio

Per i collegamenti via radio si dovranno verificare le tratte e la necessità di installare eventuali ripetitori, anche in funzione della potenza disponibile con le apparecchiature utilizzate ed autorizzate. E' inoltre da considerare l'aspetto relativo all'ottenimento dei permessi e delle autorizzazioni necessarie così come i canoni di gestione.

5.18 Prescrizioni generali relative alle installazioni

In generale

- Tutte le installazioni devono essere coerenti allo schema di progetto e identificate topograficamente rispetto ad un unico sistema di coordinate progetto. La reale posizione degli strumenti installati dovrà essere comunicata alla Direzione Lavori con opportuni disegni.
- Tutte le operazioni di verifica della fornitura e tutte le operazioni di installazione devono essere eseguite avendo come scopo finale l'affidabilità e la durata degli impianti di monitoraggio.
- E' necessario provvedere a quanto necessario ad evitare manomissioni della rete di strumenti. Nel caso in cui, per esigenze di lavoro o in conseguenza di avvenimenti di qualsiasi natura, gli strumenti risultassero manomessi, si dovrà provvedere ai necessari ripristini.
- La correttezza delle installazione rimane responsabilità dell'Appaltatore che deve, comunque, dimostrarne la correttezza su richiesta della Direzione Lavori.
- Al fine di garantire l'affidabilità della strumentazione, è richiesto che gli strumenti da approvvigionare siano prodotti da ditte con comprovata esperienza pluriennale nel settore e per i quali esistano applicazioni documentate attraverso pubblicazioni nella letteratura tecnica e/o certificati/documentazione in cui si attesti il buon funzionamento dello strumento in applicazioni analoghe. Nel caso la strumentazione proposta non soddisfi tali requisiti, la DL sarà autorizzata a richiederne la sostituzione.
- La fornitura della strumentazione è soggetta all'approvazione della DL. A questo proposito, dovrà essere fornita alla DL, mediante comunicazione scritta non meno di 15 giorni lavorativi prima dell'installazione, documentazione tecnica dettagliata degli strumenti rilasciata dal produttore. Tale documentazione dovrà contenere una descrizione dello strumento e le relative specifiche tecniche, dimostrando il soddisfacimento dei requisiti indicati nel presente documento. Su richiesta della DL dovrà essere inoltre fornita documentazione che attesti l'applicazione ed il buon funzionamento di tali strumenti in altri casi pratici, a prova dell'affidabilità dello strumento e indicazioni riguardanti specializzazione ed esperienza degli operatori che l'appaltatore intende utilizzare per l'installazione.
- All'arrivo in cantiere, ogni strumento dovrà essere munito di certificato di origine e, se necessario, di certificato di taratura presso un laboratorio ufficiale.
- L'installazione della strumentazione deve avvenire in contraddittorio con la DL, salvo diversa indicazione di quest'ultima. A questo fine, una volta ottenuta l'approvazione da parte della DL relativamente al tipo di strumento approvvigionato, l'appaltatore dovrà far pervenire il programma d'installazione alla DL mediante comunicazione scritta almeno 72 ore prima dell'inizio dell'installazione.

- La restituzione dei dati relativi a letture eseguite sugli strumenti, deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico editabile (tipo formato excel e formato testo).

6 IL MONITORAGGIO PER LA GESTIONE DELLE MODIFICHE IN CORSO D'OPERA

Sulla base delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso e in rapporto agli stati tensionali indotti all'atto dello scavo, sono state definite definite le sezioni tipo di scavo e consolidamento che comprendono:

- tipologia ed intensità degli interventi di prima fase;
- fasi esecutive e cadenze d'avanzamento, fornendo in particolare le distanze massime dal fronte d'avanzamento entro cui porre in opera gli interventi di contenimento di prima e seconda fase (rivestimento di prima fase, arco rovescio e rivestimento definitivo).

In fase di Progetto Esecutivo, approfondite le conoscenze geologiche-geotecniche-geomeccaniche, le sezioni tipo verranno applicate considerando la possibilità di variazione degli interventi stessi, per quanto riguarda ad esempio l'interasse delle centine, l'intensità della chiodatura, ecc.

Per tale motivo, nell'ottica di ricorso alla progettazione secondo il Metodo Osservazionale, saranno emesse apposite Linee Guida per l'Applicazione delle sezioni tipologiche che in corso d'opera, mediante il controllo delle risultanze di monitoraggio ed il confronto con i valori attesi, consentiranno la definizione della sezione di scavo adeguata al contesto incontrato confermando o meno le previsioni progettuali ed i limiti ammissibili anticipati, consentendo inoltre la conferma o l'affinamento dei parametri posti alla base della caratterizzazione geologica e geotecnica e delle scelte progettuali.

Di seguito, si riporta la schematizzazione generale delle Linee Guida che verranno predisposte per la costruzione della galleria, scavata con mezzi tradizionali.

6.1 LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

In sede di Progetto Definitivo, considerati i dati di base a disposizione e il successivo necessario affinamento del Progetto Esecutivo, non si sono previste variabilità intrinseche delle sezioni tipologiche, ma all'interno di ciascuna tratta geomeccanicamente omogenea si è inserita una variabilità percentuale delle singole sezioni tipologiche, in funzione delle caratteristiche geologiche dell'ammasso in esame e del grado di instabilità del fronte di avanzamento.

Nella successiva fase progettuale, in funzione dell'approfondimento geologico, geotecnico e geomeccanico verranno definite tratte omogenee in termini di categoria di comportamento allo scavo, nelle quali verranno previste una o più sezioni tipologiche probabili e relative variabilità.

In corso d'opera dovrà essere verificata l'adeguatezza delle sezioni previste in sede di Progetto Esecutivo sulla base dei rilievi geostrutturali e del comportamento deformativo del fronte

(estrusioni) e del cavo (convergenze), in rapporto alle lavorazioni condotte secondo le fasi e cadenze prestabilite nel progetto stesso.

Gli elementi raccolti in fase di scavo permetteranno infatti di:

- confermare la sezione tipo prevista in una determinata tratta e riportata sull'elaborato "Profilo geomeccanico e progettuale di previsione" (con riferimento alla media degli interventi previsti);
- variare gli interventi di consolidamento e preconsolidamento che, senza modificare strutturalmente le caratteristiche finali dell'opera, devono adeguarsi alle reali condizioni geomeccaniche riscontrate al fronte di avanzamento, nonché al comportamento estrusivo del fronte stesso e deformativo del cavo (questi ultimi come noto sono dipendenti sia dalla natura dell'ammasso in termini geologici, geomeccanici ed idrogeologici, sia dagli stati tensionali preesistenti che da quelli conseguenti alle operazioni di scavo): i campi di variabilità verranno già individuati in sede di progetto;
- individuare una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto (i.e. variazione percentuale della sezione nella tratta o sezione prevista in altra tratta), qualora le condizioni realmente riscontrate risultino difformi da quelle ipotizzate per la tratta in esame.

I criteri di valutazione nell'ambito dell'applicazione delle sezioni tipo e delle loro caratteristiche di pre-rivestimento e consolidamento sono essenzialmente legati a due procedure.

La prima procedura, a carattere quantitativo si propone di valutare le convergenze medie della cavità e, ove ritenuto necessario, le estrusioni del fronte di scavo.

La seconda procedura, di tipo qualitativo e osservativo, è costituita dai rilievi del fronte e dalla continua descrizione e analisi di materiali attraversati.

Le grandezze che saranno regolate in corso d'opera, nell'ambito delle variabilità, saranno principalmente:

- passo della centina
- presenza del puntone metallico in arco rovescio
- numero degli elementi VTR al fronte e lunghezza di sovrapposizione
- lunghezza del campo di avanzamento
- distanza di getto dal fronte dei rivestimenti (arco rovescio e calotta).

Per la gestione degli avanzamenti nelle formazioni in cui la variabilità è principalmente relativa al confinamento del fronte di scavo mediante tubi in vetroresina (numero e lunghezza di sovrapposizione) ed al confinamento del cavo mediante centine e spritz-beton (passo, tipo di profilato e spessori) appare fondamentale l'analisi del comportamento deformativo.

Accanto all'analisi del comportamento deformativo, un ruolo fondamentale è rappresentato dalla raccolta dei dati geomeccanici dei fronti, tramite il rilievo sistematico e la raccolta delle condizioni

dell'ammasso a tergo dei rivestimenti esistenti (i.e. risultanze estensimetriche del cavo e/o analisi delle perforazioni per l'esecuzione dei consolidamenti radiali).

La previsione del comportamento deformativo del fronte e del cavo permetterà, nel corso degli avanzamenti, l'applicazione delle linee guida con riferimento generalmente a 5 casi:

- se i valori di estrusione e di convergenza misurati risultano coerenti con quanto previsto si procede con la sezione tipo prevista, con riferimento alla situazione media degli interventi previsti;
- se i valori di estrusione e di convergenza risultano minori di quelli attesi si procede nell'ambito delle variabilità previste per la sezione stessa (portandosi verso il minimo degli interventi previsti) sino a raggiungere i valori di riferimento;
- se i valori di estrusione e di convergenza risultano maggiori di quelli attesi si procede nell'ambito delle variabilità previste per la sezione stessa (portandosi verso il massimo degli interventi previsti) nell'intento di riportarsi ai valori di riferimento;
- se l'incremento degli interventi non risulta sufficiente a normalizzare la situazione delle convergenze e delle estrusioni si procede all'applicazione di una sezione diversa, tra quelle già previste per la tratta di galleria in oggetto;
- se i successivi cambiamenti di sezione giungono ai limiti superiori previsti sarà necessaria una nuova valutazione delle condizioni geomeccaniche e di avanzamento.

L'approccio proposto permette dunque di definire la strategia di variazione delle caratteristiche strutturali delle sezioni di avanzamento in funzione di quanto osservato durante le lavorazioni.

Il cambiamento di sezione tipo o la variazione, per una medesima sezione tipo, degli interventi di consolidamento e confinamento, dovrà considerare la tendenza di comportamento della cavità. Generalmente l'analisi dovrà essere condotta per due campi di avanzamento per condurre a variazioni nel terzo campo. L'approccio progettuale identifica questo processo come:

- campo 1: situazione di allerta/raccolta dati
- campo 2: verifica di quanto evidenziato nel campo 1
- campo 3: situazione di intervento.

La convergenza all'interno della cavità sarà valutata come media di cinque misurazioni. Tali misurazioni si riferiscono a cinque corde che collegano cinque punti situati in prossimità sull'asse equatoriale della sezione di scavo, in prossimità delle reni e in chiave di calotta.

Il confronto andrà effettuato dunque con le convergenze diametrali assunte come riferimento.

Le misurazioni dell'estrusione saranno effettuate mediante l'estrusometro per alcune tratte ritenute significative, come indicato nel Profilo Geomeccanico.

6.2 PROCEDURE OPERATIVE PER LA GESTIONE DELLE VARIABILITÀ

Allo scopo di consentire la gestione in corso d'opera delle specifiche di progetto, con particolare riferimento alla variabilità degli interventi e delle fasi esecutive, nel seguito si descrive una proposta di procedura che potrà essere adottata per la gestione delle Linee Guida per l'applicazione delle sezioni tipo.

6.2.1 *Definizione delle caratteristiche geologiche–geomeccaniche dell'ammasso*

Gli ammassi rocciosi e i terreni incontrati lungo il tracciato vengono descritti sulla base delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche individuate in progetto.

Per comodità di rappresentazione, gli ammassi rocciosi incontrati lungo il tracciato sono raggruppati in "gruppi geomeccanici".

In sede di progetto, a ciascuna formazione sono attribuiti campi di variazione dei principali parametri geomeccanici (c , ϕ , E), corrispondenti alle diverse configurazioni che una formazione può presentare nell'ambito dello stesso gruppo.

Tali campi di variazione individuano così una "fascia intrinseca", compresa tra la curva di resistenza inferiore e la curva di resistenza superiore, che definisce univocamente ciascuna porzione d'ammasso da un punto di vista geomeccanico.

Nel corso dei lavori, gli ammassi rocciosi e i terreni vengono descritti sulla base delle caratteristiche litologiche, geostrutturali, geomeccaniche e idrogeologiche che si evidenziano al fronte della galleria, attraverso rilievi analitici (con prove in sito e/o di laboratorio) e rilievi speditivi.

In particolare, per la parametrizzazione dell'ammasso al fronte e cioè per la definizione della sua curva intrinseca, non si fa ricorso a nessun tipo di classificazione, ma a valutazioni dirette attraverso determinazioni sperimentali (prove in sito e/o laboratorio) durante i rilievi analitici.

Tali rilievi verranno condotti secondo le frequenze previste nei capitoli precedenti, impiegando apposite schede su cui riportare i dati rilevati e gli indici valutati secondo le prescrizioni ISRM, (International Society of Rock Mechanics). In particolare per gli ammassi rocciosi vengono indicati i rapporti stratigrafici tra litologie diverse e il loro assetto giaciturale. Per i terreni vengono distinte le caratteristiche granulometriche, il grado d'alterazione, il tipo di cementazione e la consistenza, rilevabili macroscopicamente in sito.

Si distinguono due tipi di rilievi. I rilievi analitici che prevedono la compilazione completa di un'apposita scheda e l'eventuale esecuzione di prove e determinazioni in sito e/o di laboratorio.

Tali rilievi sono previsti in particolare agli imbocchi, ai punti d'innesto delle finestre, in concomitanza dei passaggi stratigrafici e tettonici significativi e in ogni caso secondo le frequenze indicate in capitolato. I rilievi speditivi, che prevedono in particolare il rilievo pittorico del fronte di scavo. Si tratta di un rilievo di tipo qualitativo e di confronto con quello analitico dell'ammasso in esame, che consente comunque al progettista di valutare le caratteristiche principali.

I rilievi che vengono svolti in corso d'opera consentono di evidenziare qualitativamente le diverse situazioni in cui una formazione può presentarsi nell'ambito di uno stesso gruppo, definito dalla propria fascia intrinseca, come descritto, a titolo esemplificativo, nei seguenti punti:

1. un ammasso che si presenta allentato, con giunti aperti e riempiti e/o fratturato, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici del relativo gruppo prossimi alla curva intrinseca inferiore;
2. un ammasso che al contrario si presenta serrato, poco fratturato e con giunti privi di riempimento, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici prossimi alla curva intrinseca superiore;
3. la presenza d'acqua, anche sotto forma di stillicidi, soprattutto in presenza di litologie ricche di minerali argillosi, comportano valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
4. nei terreni eterogenei, il rapporto tra i litotipi più granulari e più fini determina il valore dell'angolo d'attrito e coesione, e quindi i diversi andamenti della curva intrinseca;
5. in un ammasso stratificato sollecitato in campo elastico, una sfavorevole anisotropia strutturale gioca un ruolo determinante, comportando valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
6. al contrario in un ammasso roccioso stratificato con stati tensionali più elevati che lo sollecitano in campo elasto-plastico, l'effetto di una sfavorevole anisotropia strutturale è inferiore e il comportamento può essere meglio rapportato ad un mezzo omogeneo.

6.2.2 Risposta deformativa del fronte e del cavo

La risposta deformativa del fronte e del cavo rilevabile in corso d'opera, unitamente ai rilievi anzidetti, ha lo scopo di verificare la validità delle sezioni tipo adottate e previste in progetto in termini di:

1. tipologia ed intensità degli interventi di prima fase;
2. fasi esecutive e cadenze d'avanzamento.

Essa dipende dalle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso in rapporto agli stati tensionali indotti all'atto dello scavo. Il progetto esecutivo dovrà fornire indicazioni sul campo dei valori di convergenza diametrale e d'estrusione attesi per ogni sezione tipo.

Con riferimento alle curve caratteristiche integrate da analisi numeriche più sofisticate, il progetto esecutivo dovrà indicare sia i valori attesi in prossimità del fronte d'avanzamento sia quelli ad una distanza di 1-1.5 volte il diametro di scavo, che presumibilmente possono essere ritenuti i valori massimi.

La frequenza con cui procedere al rilievo della risposta deformativa del fronte e del cavo durante gli avanzamenti dovrà essere indicata nel progetto esecutivo, in funzione della categoria di comportamento prevista per la tratta in esame.

Nel corso dei lavori il rilievo della risposta deformativa del fronte e del cavo viene condotto utilizzando apposite schede unite alle indicazioni contenute nell'apposito piano di monitoraggio.

Le risultanze di questi rilievi forniscono la reale risposta deformativa del fronte e del cavo. Tale risposta consente di valutare come quei fattori, difficilmente schematizzabili e prevedibili a priori, sempre presenti in natura, agiscono sul comportamento del cavo.

Tali rilievi consentiranno di verificare qualitativamente lo stato tensionale agente sul cavo mediante la ricostruzione della deformata:

- valori delle deformazioni radiali omogenei nei punti rilevati evidenziano uno stato tensionale di tipo isotropo (K_0 pari a circa 1);
- valori delle deformazioni radiali diversi nei punti rilevati evidenziano stati tensionali diversi da quello isotropo (K_0 diverso da 1), che si verificano in corrispondenza di:
 - a) zone fortemente tettonizzate ed in presenza di lineamenti tettonici regionali, per cui gli stati tensionali possono subire forti alterazioni, con orientazioni comuni alle azioni tettoniche principali;
 - b) in corrispondenza di zone corticali e/o parietali, per cui gli stati tensionali sono funzione della morfologia dell'area;
 - c) all'interno d'ammassi a struttura caotica, per cui gli stati tensionali possono subire repentine e continue modificazioni in intensità e orientazione.

6.2.3 Fasi esecutive e cadenze di avanzamento

Il progetto esecutivo dovrà definire per ogni sezione tipo le fasi esecutive e le cadenze di avanzamento, fornendo in particolare le distanze massime dal fronte di avanzamento entro cui porre in opera gli interventi di contenimento di prima e seconda fase (rivestimenti di prima fase, arco rovescio e rivestimento definitivo).

Nel corso dei lavori il rilievo delle fasi esecutive e delle cadenze di avanzamento verrà condotto secondo apposite schede.

Le risultanze di tali rilievi hanno lo scopo di fornire gli elementi necessari per valutare l'influenza delle fasi e delle cadenze di avanzamento sulla risposta deformativa del fronte e del cavo descritta precedentemente (ad esempio una più efficace regimazione dei fenomeni deformativi può essere ottenuta rinforzando gli interventi di preconsolidamento al fronte, come avvicinando gli interventi di contenimento quali murette e arco rovescio al fronte).

6.2.4 Applicazione delle sezioni tipo e delle relative variabilità

Il progetto esecutivo, attraverso la caratterizzazione degli ammassi presenti lungo il tracciato e la successiva fase di previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo in assenza di interventi, definirà le tratte a comportamento omogeneo.

All'interno di ciascuna tratta, nel profilo geomeccanico verranno individuate le sezioni tipo e le relative percentuali di applicazione, in funzione delle caratteristiche geologiche dell'ammasso in esame e del grado di instabilità del fronte di avanzamento.

Quindi in corso d'opera dovrà essere seguito lo schema operativo riportato in Figura 6.1.

Una volta verificata la rispondenza con le ipotesi di progetto, riguardo la situazione geologico-geomeccanica e gli stati tensionali con i criteri descritti precedentemente, si procederà alla scelta e all'applicazione della sezione tipo prevista per la tratta in esame.

Durante gli avanzamenti verranno raccolti i dati, secondo i criteri indicati nei precedenti punti, riguardo le condizioni geologiche e geomeccaniche al fronte di avanzamento, la risposta deformativa del fronte e del cavo, le fasi e le cadenze di avanzamento. La loro elaborazione consentirà di confrontare la situazione così riscontrata con quella di progetto e procedere di conseguenza alla gestione del progetto secondo i punti di seguito indicati.

1. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa si mantengono all'interno dei valori previsti che descrivono tutte le formazioni rocciose previste lungo il tracciato, si proseguirà con l'applicazione della sezione in corso di esecuzione.
2. Se la risposta deformativa manifesta la tendenza al raggiungimento del limite inferiore o superiore del campo ipotizzato, confermata dall'evidenza dei precedenti rilievi geologici/geotecnici/geomeccanici, il progettista valuterà se procedere alla modifica della distanza dal fronte entro cui eseguire il getto dell'arco rovescio, delle murette, del rivestimento definitivo (fermo restando le massime convergenze previste in progetto e in capitolato per ogni sezione) e/o alla modifica dell'intensità degli interventi, nell'ambito dei campi di variabilità previsti per la sezione adottata.
3. Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevate al fronte di avanzamento manifesteranno un miglioramento ovvero un peggioramento rispetto al rilievo precedente (pur rimanendo nell'ambito dei parametri caratterizzanti la tratta) il progettista valuterà la possibilità di procedere alla modifica dell'intensità degli interventi nell'ambito dei campi di variabilità previsti per quella sezione.

Nell'ambito di una stessa tratta a comportamento omogeneo potranno essere presenti diverse sezioni tipo, oltre a quella prevalente la cui percentuale di applicazione è definita in progetto in funzione di:

- caratteristiche geologiche e geostrutturali dell'ammasso;
- caratteristiche geomeccaniche e idrogeologiche dell'ammasso;

- stato tensionale agente;
- possibili disturbi di natura tettonica.

Quando le situazioni geomeccaniche e il comportamento allo scavo osservati risulteranno sensibilmente differenti da quelli ipotizzati e/o le deformazioni sono al di fuori dei campi previsti, si procederà al passaggio ad una diversa sezione tipo, tra quelle previste in progetto per quella tratta. Qualora la situazione riscontrata non corrisponda a nessuna di quelle ipotizzate nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle sezioni tipo previste potrà essere adottata, ma tuttavia tale situazione è analoga ad altre ipotizzate lungo il tracciato, si procederà all'adozione di una diversa sezione tipo, non prevista in quella tratta, ma prevista in progetto in altre tratte in contesti analoghi.

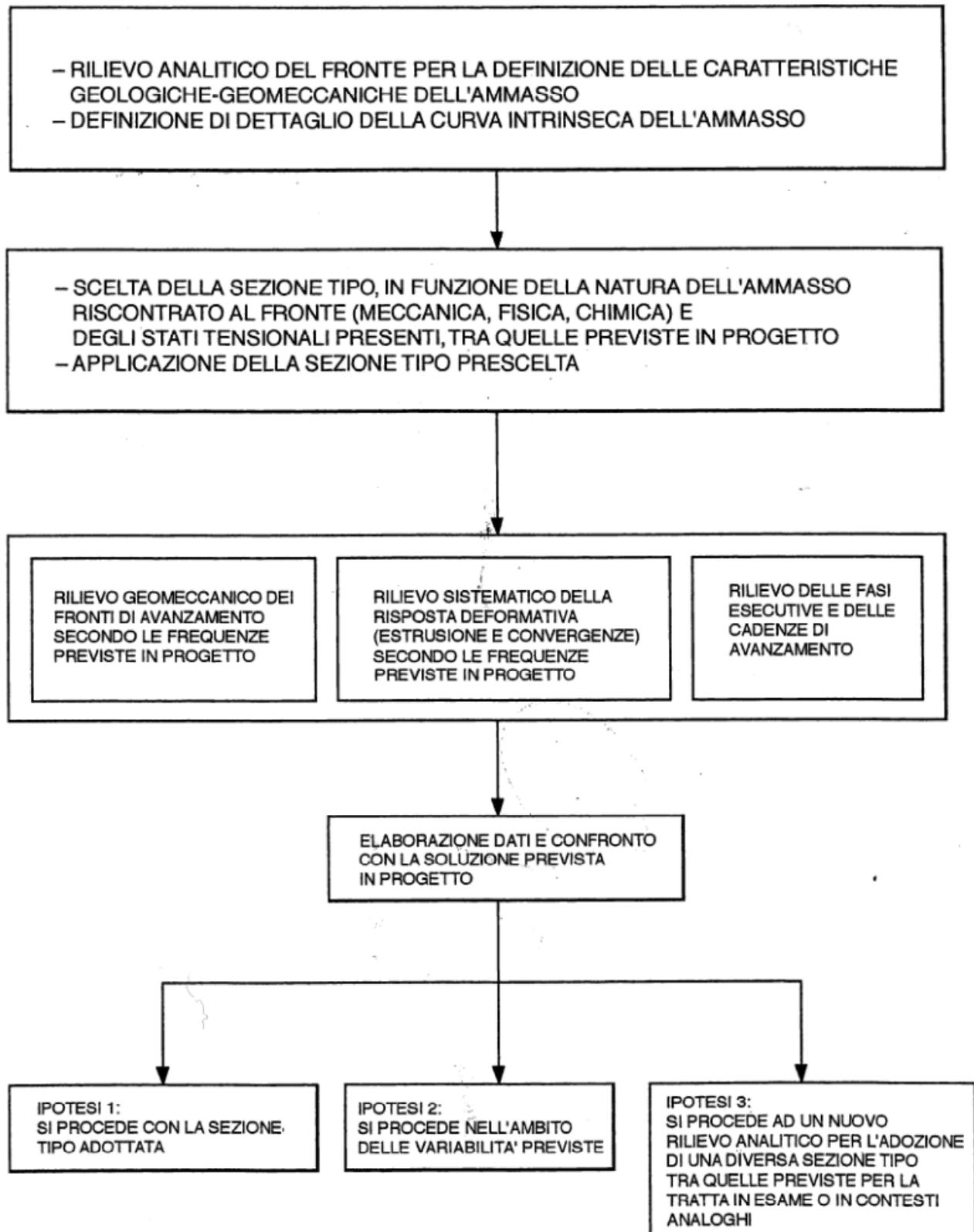


Figura 6.1 Fase operativa e di verifica in corso d'opera.