



## PROGRAMMA OPERATIVO COMPLEMENTARE (P.O.C.) 2014 - 2020

ATTUAZIONE DELIBERAZIONE CIPE N. 54 / 2016  
Deliberazione Giunta Regione Campania n. 113 del 26.03.2019

### BENEFICIARIO ATTUAZIONE OPERAZIONE **CONSORZIO DI BONIFICA "VELIA"**

Località Piano della Rocca, 84060 - PRIGNANO CILENTO (SA)

Tel. 0974/837206 - Fax. 0974/837154 - Pec: consorziovelia@pec.it - www.conorziovelia.com

**Id. 261\_1 - C.U.P. E21B04000330006. Ripristino viabilità e collegamenti del bacino della diga di Piano della Rocca.  
INTERVENTO DI COMPLETAMENTO**

Fattibilità tecnico economica

Progetto definitivo

Progetto esecutivo

### R - DOCUMENTAZIONE TECNICO / ECONOMICA

Capitolato Speciale d'Appalto  
(Galleria)

Sigla progressiva	<b>R 0 0 7</b>	Scala	-	Cod. elaborato	<b>T E 0 0 D T E D T 0 7</b>
-------------------	----------------	-------	---	----------------	------------------------------

Data prima emissione del documento	Revisione	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>11/2020</b>		data	data	data	data	data
		---	---	---	---	---

Riferimento archivio digitale	N. 036.2020/Ve.Ing.
-------------------------------	---------------------

<b>RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO</b>	
<b>Ing. Marcello Nicodemo</b> Consorzio di Bonifica "Velia" Loc. Piano della Rocca - 84060 - Prignano Cilento (SA) Tel. 0974.837206 - Pec: consorziovelia@pec.it Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Salerno n. 1931 dal 16.04.1984	
<b>PROGETTAZIONE</b>	
<b>VELIA INGEGNERIA E SERVIZI SRL</b> Loc. Piano Della Rocca 84060 - Prignano Cilento (SA) Tel. 0974/837206 fax 0974/837154 - Pec: veliaingegneria@pec.it <b>Ing. Gaetano Suppa - Direttore Tecnico</b> Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Salerno n. 1854 dal 12.09.1983	
<b>GEOLOGIA</b>	
<b>RTP TRONCARELLI - VENOSINI - ROSSI</b> <b>Dott. Geol. Roberto Troncarelli</b> (mandataria) - P.IVA 01400050560 <b>Dott. Geol. Andrea Venosini</b> (mandante) Legale Rappresentante Geoven di Venosini Andrea - P.IVA 02110500697 <b>Dott. Geol. Giuseppe Rossi</b> (mandante) Legale Rappresentante Geolab di Giuseppe Rossi - P.IVA 02308670690	



**CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO  
 (Galleria)**

**Sommario**

<b>1 Premessa</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Oneri e prescrizioni generali</b> .....	<b>5</b>
<b>3 Normativa di riferimento</b> .....	<b>7</b>
<b>4 Scavi</b> .....	<b>7</b>
4.1 Scavi a cielo aperto .....	8
4.1.1 Scavo completamente a cielo aperto .....	8
4.1.2 Scavo parzialmente a cielo aperto .....	8
4.1.3 Scavo in presenza di acqua.....	8
<b>5 Interventi di presostegno e preconsolidamento</b> .....	<b>9</b>
5.1 Preconsolidamento del fronte di scavo con tubi in vetroresina .....	9
5.2 Presostegno mediante infilaggi .....	11
<b>tubi valvolati:</b> .....	<b>13</b>
<b>6 Rivestimenti di prima fase e interventi di sostegno del cavo</b> .....	<b>14</b>
6.1 Centine metalliche, reti di acciaio a maglie elettrosaldate .....	14
6.2 Rivestimento di prima fase .....	15
6.2.1 Rivestimento di prima fase in conglomerato cementizio proiettato.....	15
6.2.2 Rivestimento di prima fase in conglomerato cementizio proiettato fibrorinforzato .....	16
<b>7 Rivestimenti definitivi</b> .....	<b>16</b>
7.1 Rivestimento di seconda fase in conglomerato cementizio gettato in opera .....	16
7.2 Casseforme .....	18
7.2.1 Casseforme per il contenimento del getto di conglomerato cementizio di rivestimento delle gallerie .....	18
<b>8 Impermeabilizzazioni</b> .....	<b>18</b>
8.1 Impermeabilizzazioni con guaina in PCV .....	19
<b>9 Drenaggi</b> .....	<b>20</b>
9.1 Canalette di raccolta.....	21
9.2 Tubi drenanti microfessurati .....	21
<b>10 Monitoraggio</b> .....	<b>22</b>
10.1 Misure dall'interno del cavo .....	24
10.1.1 Misure di convergenza con mire ottiche.....	24
10.1.2 Misure di deformazione (strain gauges: estensimetri per metallo "centina") .....	24
10.1.3 Determinazione del carico agente sulla struttura" centina" (celle di carico) .....	24
10.1.4 Misure di estrusione del fronte di scavo .....	24
10.1.5 Misure di deformazione (estensimetri da calcestruzzo) .....	24
10.2 Misure dall'esterno del cavo .....	25
10.2.1 Misure assestometriche .....	25
10.2.2 Misure topografiche .....	25
10.2.3 Misure inclinometriche .....	25
10.2.4 Misure inclinometriche con sistemi automatici.....	25
10.2.5 Misure estenso - inclinometriche .....	25



10.2.6	Misure della pressione interstiziale e del livello di falda .....	26
10.2.7	Misure multiparametriche (colonna DMS) .....	26
10.3	Monitoraggio in corso d'opera .....	26
10.3.1	Misure dall'interno del cavo .....	26
10.3.2	Rivestimento provvisorio .....	27
10.3.3	Rivestimento definitivo .....	27
10.3.4	Monitoraggio del fronte di scavo .....	27
10.4	Interpretazione e verifica in corso d'opera .....	27
<b>11</b>	<b>Prove e controlli .....</b>	<b>28</b>
11.1	Disposizioni generali .....	28
11.2	Scavi a cielo aperto .....	28
11.3	Scavi a foro cieco .....	29
11.4	Centine metalliche, reti di acciaio a maglie elettrosaldate e scalette di rinforzo .....	30
11.5	Conglomerato cementizio spruzzato .....	30
11.6	Conglomerato cementizio spruzzato fibrorinforzato .....	30
11.7	Conglomerato cementizio gettato in opera .....	31
11.8	Drenaggi.....	31
11.9	Impermeabilizzazione .....	31
11.10	Preconsolidamento del fronte di scavo .....	32
11.11	Iniezioni.....	33
11.12	Infilaggi.....	35
<b>12</b>	<b>Norme per la misurazione e contabilizzazione dei lavori .....</b>	<b>35</b>
12.1	Generalità .....	35
12.2	Scavi.....	36
12.3	Calcestruzzo spruzzato .....	37
12.4	Conglomerato cementizio gettato in opera .....	38
12.5	Impermeabilizzazione .....	38
12.6	Drenaggi.....	38
12.7	Interventi di consolidamento .....	38
12.8	Iniezioni.....	39
12.9	Perforazioni.....	39
	<b>LINEE GUIDA: MONITORAGGIO GEOTECNICO .....</b>	<b>39</b>
<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>39</b>
<b>2</b>	<b>Considerazioni generali .....</b>	<b>41</b>
2.1	Il modello geologico – geomorfologico ed il modello geotecnico .....	41
<b>3</b>	<b>Criteri di progetto del monitoraggio .....</b>	<b>42</b>
3.1	Obiettivi del monitoraggio .....	43
3.2	Progetto generale di monitoraggio .....	44
3.2.1	Sezioni di misura e ubicazione della strumentazione.....	45
3.2.2	Controllo delle aree in frana .....	45
3.2.3	Controllo per tipo di opera (gallerie, paratie, fondazioni, etc.) .....	47
3.3	Piattaforma e gestione dati.....	48
3.3.1	Obiettivi e funzionalità del GIS per il monitoraggio .....	49
3.3.2	Architettura del sistema .....	49
3.3.3	Interfaccia utente e visualizzazione dei dati .....	50
3.3.4	Configurazione del software .....	51
3.4	Gestione e passaggi dell'informazione.....	51



3.4.1 Ufficio centrale di elaborazione, gestione e controllo delle attività di monitoraggio e dei dati (c.e.d.).....	52
<b>4 Frequenza indicativa delle letture .....</b>	<b>54</b>
<b>5 Monitoraggio delle opere civili .....</b>	<b>57</b>
5.1 Monitoraggio delle opere in sotterraneo .....	57
5.1.1 Monitoraggio in galleria .....	58
5.1.2 Rilievo strutturale del fronte di scavo .....	59
5.1.3 Rilievo di dettaglio .....	59
5.1.4 Rilievo speditivo .....	60
4.2 Monitoraggio opere di fondazione, di sostegno ed in terra (pozzi, paratie, rilevati) .....	60
5.3 Monitoraggio versanti.....	61
5.3.1 Finalità del sistema di monitoraggio .....	61
<b>6 Specifiche tecniche della principale strumentazione di monitoraggio e modalità di installazione .....</b>	<b>62</b>
6.1 Inclinometri.....	62
6.2 Piezometri elettrici .....	63
<b>7 Conclusioni .....</b>	<b>64</b>
7.1 Appendice .....	65
7.1.1 Approccio metodologico all'analisi del rischio geologico-idrogeologico-geotecnico .....	65



## 1 Premessa

Il presente Capitolo contiene le prescrizioni, gli oneri di carattere generale, ed i controlli da eseguire, relativi a tutte le opere in sotterraneo quali:

- Gallerie artificiali
- Gallerie naturali con scavo tradizionale

Le gallerie naturali sono quelle definite come manufatti eseguiti a "foro cieco", ovvero opere in sotterraneo che sono costruite totalmente nel sottosuolo mediante operazioni coordinate di asportazione del terreno e/o della roccia in posto e di messa in opera degli eventuali interventi, necessari alla stabilizzazione della cavità a breve termine, e del rivestimento finale, che dovrà essere individuato in relazione alla tipologia di opera da realizzare e alla funzione ad esso assegnata (comprendendo anche le gallerie esistenti in ampliamento).

Le gallerie artificiali sono definite come manufatti realizzati totalmente o parzialmente dall'esterno e successivamente ritombati.

Le tipologie di intervento comuni ad entrambe le categorie sono:

- scavi
- consolidamenti
- priverestimenti
- impermeabilizzazioni
- drenaggi
- rivestimenti

In relazione alla costante interazione terreno-struttura, le modalità esecutive vengono definite nel progetto e sono parte integrante di esso.

- Le NTC2018, al Capitolo 6.7 "Opere in sotterraneo", definiscono le procedure tecniche per il progetto e la costruzione di gallerie.

Il progetto esecutivo delle opere in sotterraneo è stato sviluppato secondo le modalità indicate all'interno delle Capitolato d'oneri per la Progettazione e nel rispetto delle norme vigenti ed in particolare secondo i principi generali esposti all'interno delle NTC 2018.

Il progetto esecutivo, ha individuato per ogni sezione di scavo, le caratteristiche geometriche e prestazionali dei consolidamenti (laddove presenti), le caratteristiche geometriche e prestazionali del priverestimento e dei sostegni definitivi del cavo. Sono state individuate le fasi e i tempi di realizzazione di ogni singola lavorazione dalla fase di consolidamento a quella di posa in opera del rivestimento definitivo. La descrizione delle Sezioni Tipo è tale da contenere tutti gli elementi necessari alla realizzazione; sono state definite le zone e le quantità di applicazione in maniera da coprire tutto lo sviluppo dell'opera da realizzare. Infine sono state definite tutte le opere al contorno con lo stesso dettaglio della sezione corrente in galleria.

Nel seguito saranno riportate solo le prescrizioni relative ai materiali, alle caratteristiche delle opere, nonché alle modalità esecutive che, indipendentemente dal metodo di scavo e di rivestimento adottato, servono a garantire la qualità nel tempo dell'opera finita. Per tutto ciò che non è indicato nel presente Capitolato occorre fare riferimento al Progetto e, se allegato al contratto, al Capitolato Speciale. Nel corso della realizzazione dell'opera si dovrà tenere conto che l'adeguamento del progetto alle reali condizioni del terreno riscontrate durante lo scavo (ove necessario) è di competenza del progettista.



## 2 Oneri e prescrizioni generali

L'impresa dovrà attenersi ai seguenti oneri generali.

- Prima di cominciare i lavori l'Impresa dovrà inviare alla DL gli elaborati di dettaglio del progetto che dovranno includere anche:
  - La dettagliata descrizione dei metodi, delle fasi e delle sequenze di scavo che verranno adottate per ciascuna sezione tipo prevista nel progetto in accordo con le prescrizioni del progetto stesso;
  - L'organizzazione dei cantieri di lavoro e le misure di sicurezza;
  - La pianificazione delle prove da effettuare in corso d'opera in accordo alle eventuali prescrizioni di progetto. L'impresa dovrà provvedere, con il procedere dei lavori, alla redazione del progetto "as built" che dovrà riportare tutti i dettagli relativi agli interventi effettivamente posti in opera e tutte le caratteristiche della galleria nella sua configurazione finale; esso si comporrà di elaborati grafici e relazioni al pari del progetto esecutivo.
- La realizzazione delle opere (scavi, consolidamenti, opere di sostegno, rivestimenti, etc...) dovrà avvenire in conformità al progetto. Ove la natura dei terreni in sito risultasse difforme da quella ipotizzata in sede di progetto, l'Impresa dovrà fornire al progettista, tramite la DL, tutti i dati necessari affinché il progetto possa essere verificato ed eventualmente modificato a cura del progettista stesso;
- L'Impresa dovrà provvedere all'esecuzione di tutte le prove ed i rilievi previsti dal progetto o dalle presenti prescrizioni ed eventualmente richiesti dalla DL. Avrà inoltre l'onere di provvedere alla registrazione e archiviazione di tutti i dati e alla segnalazione tempestiva, alla DL di tutte le anomalie riscontrate;
- Per gli interventi di miglioramento, rinforzo e stabilizzazione la DL potrà richiedere la realizzazione di adeguati campi prova per valutare la fattibilità e l'efficacia degli interventi stessi e per consentire il loro corretto dimensionamento. Le prove preliminari, ove previste, non costituiscono certificazione di qualità dei lavori, ma hanno soltanto lo scopo di provare la fattibilità e l'efficacia degli interventi previsti nel progetto. Gli oneri diretti e indiretti, connessi con la realizzazione dei campi prova sono compresi e compensati nei prezzi delle opere; solo nel caso in cui a seguito delle risultanze delle prove eseguite si ritenesse di non adottare gli interventi provati, all'Impresa saranno compensati, a misura, i solo interventi eseguiti e sottoposti a prove di verifica;
- Rientrano tra gli oneri dell'Impresa i ritardi e, in generale, i condizionamenti di qualunque natura sui cicli di lavoro e sulla produzione legati alla posa in opera dell'impermeabilizzazione sull'arco rovescio sia questa prevista dal progetto o richiesta dalla DL;
- L'Impresa dovrà provvedere alla realizzazione e manutenzione di strade di accesso alle opere in costruzione adeguate al transito dei mezzi di lavoro e dei mezzi di locomozione per il personale operativo e direttivo;
- L'Impresa dovrà adottare tutti gli accorgimenti necessari, sia definitivi che provvisori, atti ad evitare il prosciugamento di pozzi e sorgenti, nonché danni ai fabbricati, alle sedi stradali e alle opere interferenti con i lavori;



- In mancanza di diverse indicazioni di progetto, l'Impresa, con almeno trenta giorni di anticipo rispetto all'utilizzo di ogni discarica, dovrà comunicare formalmente al Direttore dei Lavori l'ubicazione della stessa. Tale comunicazione dovrà essere corredata da una planimetria dell'area interessata nonché da sezioni trasversali rilevate sul terreno almeno ogni 10 m al fine di consentire la valutazione dei volumi depositabili. Il Direttore dei Lavori comunicherà l'accettazione o meno di tali discariche senza che per l'eventuale diniego l'Impresa possa sollevare eccezioni o riserve. Di norma non sarà ammesso che siano attive più di due discariche contemporaneamente per ciascun fronte di avanzamento. I relativi oneri sono a carico dell'Impresa.
- L'Impresa dovrà garantire la presenza continua del personale necessario alla conduzione, manutenzione e guardiania degli impianti di servizio necessari per la sicurezza e operabilità dei cantieri in sotterraneo;
- Gli oneri relativi alla realizzazione di discenderie, finestre o pozzi per eventuali attacchi intermedi non previsti dal progetto che si rendessero necessari per il rispetto dei tempi di costruzione, sono a carico dell'Impresa;
- È a carico dell'Impresa l'installazione e la gestione dei cantieri necessari a realizzare l'opera per la parte di sua competenza. L'Impresa è inoltre tenuta al controllo delle aree di cantiere ed alla regolamentazione degli accessi;
- È a carico dell'Impresa, quando necessario, il trattamento delle acque provenienti dalla galleria prima del loro scarico all'esterno;
- È onere dell'Impresa mettere a disposizione della DL tutte le attrezzature ed il personale da questa richiesti per l'esecuzione di prove o controlli in opera inclusa l'adeguata illuminazione e ventilazione dei luoghi.

L'Impresa è tenuta ad adottare a propria cura e spese tutti gli accorgimenti e le cautele necessarie per garantire la sicurezza dei lavori e l'incolumità delle persone. A tal fine dovrà osservare e far osservare le prescrizioni delle leggi vigenti e, in particolare, le prescrizioni del piano di sicurezza; in particolare:

- I cantieri in sotterraneo dovranno essere adeguatamente illuminati al fine di consentire la sicurezza e il regolare svolgimento dei lavori; dovranno essere previsti adeguati sistemi di emergenza;
- L'Impresa dovrà provvedere alla installazione e all'esercizio di idonei sistemi atti a garantire la ventilazione e il ricambio d'aria all'interno delle aree di lavoro in sotterraneo. Tali sistemi dovranno essere opportunamente dimensionati e dotati di adeguati automatismi che consentano l'entrata in servizio delle riserve in caso di avaria o inefficienza del sistema;
- Il piano di transito dei mezzi dovrà essere mantenuto regolare provvedendo alle necessarie ricariche e sistemazioni con materiale arido, in modo da rendere sicura la circolazione;
- Le squadre di personale operanti in sotterraneo dovranno essere dotate di idonei sistemi di comunicazione coordinati da una postazione fissa all'esterno della galleria;
- Dovrà essere predisposto un servizio di salvataggio e pronto soccorso provvisto dei necessari mezzi di emergenza e formato da personale



adeguatamente addestrato.

- All'Impresa faranno carico i maggiori costi eventualmente derivanti dal fermo dei mezzi e del personale conseguenti a motivi di sicurezza o derivanti dalla necessità di modificare le metodologie di lavoro;
- L'Impresa, nell'eseguire i lavori conformemente al progetto, è tenuta ad utilizzare le sue capacità e la sua esperienza al fine di individuare in tempo utile situazioni potenzialmente pericolose;
- Quando al fine di garantire il sostegno degli scavi, il regolare svolgimento dei lavori e l'incolumità delle persone, siano necessarie opere provvisorie aggiuntive non previste esplicitamente nel progetto, queste dovranno essere tempestivamente definite e realizzate sotto la diretta responsabilità dell'Impresa la quale informerà la DL prima di proseguire nello scavo;
- Ogni qualvolta l'avanzamento al fronte venga sospeso, anche per un giorno, l'Impresa dovrà assicurarsi che, la posa di tutti i sostegni di prima fase sia stata completata e che quest'ultimo sia stato protetto.

### **3 Normativa di riferimento**

I lavori saranno eseguiti in accordo, ma non limitatamente alle seguenti norme.

- D.M. 17/01/2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC2018)..
- CIRCOLARE ESPLICATIVA NTC 2018: 12 Febbraio 2019 (Ultima modifica: 19 Luglio 2019)
- Raccomandazioni A.I.C.A.P. "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce", aggiornamento 2012.
- Norme UNI indicate nei singoli paragrafi, laddove non siano in contrasto con le NTC;
- Altre norme CNR, ASTM, ISRM, DIN richiamate ove pertinenti.
- Dlgs. 05/10/2006 n. 264 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea"
- Linee Guida Monitoraggio Geotecnico;

### **4 Scavi**

Con il termine "scavi" si intendono tutte le tecnologie esecutive finalizzate alla effettuazione di scavi a cielo aperto o a foro cieco in terreni, rocce o materiali di qualsiasi natura durezza e consistenza costituiti anche da materiali eterogenei e comunque sciolti. Sarà in ogni caso cura dell'Impresa provvedere, in accordo al progetto, ai lavori di consolidamento e sostegno degli scavi, allo smaltimento delle acque (qualunque ne sia l'importanza, la portata e la pressione), all'adozione di tutte le cautele necessarie ad evitare danni di qualsiasi natura.

Gli scavi si suddividono in:

- scavi a cielo aperto;
- scavi a foro cieco

Tali scavi potranno essere eseguiti a mano, con mezzi meccanici e ove rivelatosi necessario con l'impiego di esplosivi.





#### **4.1 Scavi a cielo aperto**

Con tale denominazione, si vogliono comprendere tutti gli scavi necessari per la costruzione di gallerie artificiali le quali possono essere realizzate mediante:

- scavi eseguiti completamente a cielo aperto;
- scavi eseguiti parzialmente a cielo aperto.

La soluzione di ricoprimento da adottare dovrà essere conforme a quanto previsto dal progetto.

Per quanto applicabili, nell'esecuzione degli scavi dovranno essere rispettate tutte le prescrizioni di cui al Capitolato Movimenti di terra.

In tutti gli scavi che verranno eseguiti con l'impiego di esplosivo, dovrà essere adottato il sistema di sparo a profilatura controllata, così da ottenere profili di scavo regolari e ridurre il disturbo dei materiali circostanti, in tal caso valgono tutte le prescrizioni descritte al par.

Per quanto riguarda il conglomerato cementizio gettato in opera valgono le prescrizioni riportate nel Capitolato "Calcestruzzi e acciai per CA e CAP"

##### 4.1.1 Scavo completamente a cielo aperto

L'impiego di tale soluzione è subordinata alla possibilità della realizzazione di uno scavo completo dal piano di campagna sino al piano di imposta della fondazione del manufatto da realizzare.

In questo caso è possibile procedere alla realizzazione del manufatto esclusivamente in conglomerato cementizio armato, con operazioni "all'aperto".

Nel caso di sezioni scatolari Per la realizzazione dell'impalcato di copertura è esclusa la possibilità di usare travi o predelle in C.A.P. quando esso risulti interrato.

##### 4.1.2 Scavo parzialmente a cielo aperto

La tecnica degli scavi eseguiti parzialmente a cielo aperto sarà adottata quando la situazione orografica e le caratteristiche geotecniche non permettono l'apertura di uno scavo totale dal piano di campagna fino al piano di imposta delle fondazioni.

Tale metodologia di scavo, si limiterà alla costruzione della soletta di copertura o alle relative spalle di sostegno, a seconda delle previsioni progettuali.

Successivamente, dopo l'esecuzione dell'impalcato di copertura potrà essere effettuato lo scavo della porzione di terreno contenuta tra le paratie laterali, l'impalcato e la platea di fondo.

Anche in questo caso, lo spessore massimo ammissibile per il terreno di copertura è di 6

m. Nel caso in cui la distanza tra l'estradosso dell'impalcato di copertura e il piano di campagna sia maggiore di 6 m si procederà alla variazione della quota del piano di campagna o alla realizzazione di solette intermedie che realizzino una galleria artificiale a doppia altezza. In entrambi i casi dovrà essere dettagliatamente motivata la scelta tipologica effettuata.

Nel presente caso dovrà essere sempre prevista la realizzazione di una controparete in c.a. a contatto con la paratia laterale, ancorata alla paratia, alla platea di fondo e all'impalcato di copertura.

##### 4.1.3 Scavo in presenza di acqua

In presenza di venute di acqua, compresi gli stillicidi, l'Impresa è tenuta a darne tempestiva segnalazione alla DL e ad eseguire prelievi ed analisi sistematiche, anche ripetute nel tempo, al fine di accertare l'eventuale aggressività delle acque stesse.

In presenza di acque aggressive e/o inquinanti, l'Impresa dovrà predisporre i



trattamenti previsti a Norma delle vigenti leggi in materia.

Le acque che si raccolgono negli scavi in galleria, anche se provenienti da lavorazioni di cantiere, e per qualsiasi volume, dovranno essere allontanate con opportuni mezzi, sicuri ed idonei, a cura e spese dell'Impresa, senza che ne derivi alcun intralcio al normale svolgimento e nessun danno alle opere in costruzione.

Si dovrà evitare la formazione di ristagni d'acqua, di qualunque provenienza, sul piano di scavo, ed in particolare nelle zone di appoggio del rivestimento provvisorio o del rivestimento definitivo, per prevenire eventuali fenomeni di rammollimento o degradazione dei materiali costituenti il suddetto piano d'appoggio e non innescare instabilità degli scavi e/o cedimenti delle strutture.

Per i sollevamenti meccanici l'Impresa dovrà predisporre adeguate riserve di attrezzature e forza motrice, in modo che, in qualsiasi eventualità, il servizio non subisca alcuna interruzione.

Le acque di infiltrazione e le sorgenti incontrate nella escavazione delle gallerie, dei cunicoli preforati e degli eventuali pozzi di aerazione, dovranno essere convogliate, attraverso appositi collettori, fino ai recapiti previsti in progetto o prescritti dalla DL.

L'Impresa, ove necessario, dovrà installare appositi impianti di depurazione delle acque provenienti dalla galleria prima dello scarico nel recettore finale.

Per le acque di infiltrazione da piedritti e calotta in galleria e dalle pareti degli eventuali pozzi di aerazione, l'Impresa, a sua cura e spesa, dovrà provvedere alla captazione ed al convogliamento a tergo delle murature di rivestimento e dell'impermeabilizzazione, fino ai collettori.

Quando la DL lo riterrà opportuno, allo scopo di agevolare la captazione e lo scolo di eventuali acque d'infiltrazione, potrà ordinare l'esecuzione del rivestimento per campioni, lasciando intervalli da rivestire in un secondo tempo.

I provvedimenti da adottare dovranno essere effettuati tenendo conto sia delle precedenti analisi sia della situazione idrogeologica della zona interessata dagli scavi, con particolare riguardo alla permeabilità "in grande" dell'ammasso e alle possibili modifiche dei flussi idrici sotterranei conseguenti alla costruzione della galleria.

## **5 Interventi di presostegno e preconsolidamento**

### **5.1 Preconsolidamento del fronte di scavo con tubi in vetroresina**

Il consolidamento del fronte di scavo verrà effettuato in gallerie, scavate in terreni coesivi, o il cui comportamento sia prettamente coesivo ed in genere di natura argillosa, o comunque soggetti ad alterazione chimico-fisiche e a fenomeni di estrusione del nucleo di scavo, tali da compromettere la stabilità dell'opera e/o la sicurezza delle lavorazioni.

Preliminarmente all'inizio delle perforazioni, l'Impresa, a sua cura e spese, provvederà ad ubicare e contrassegnare con marche od altro l'asse di ciascun punto; alla DL dovrà presentare la mappa dei fori, con la posizione dei punti contrassegnata con un numero progressivo ed inoltre un programma cronologico di perforazione ed iniezione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi della perforazione/iniezione sui consolidamenti già eseguiti.

Il consolidamento verrà eseguito mediante tubi in vetroresina forniti e posti in opera entro prefori eseguiti in avanzamento, in anticipo sugli scavi, compreso il loro inghisaggio con iniezione di miscela cementizia a bassa pressione.



La distribuzione dei tubi sul fronte di scavo, il loro orientamento e la loro lunghezza dovranno essere conformi alle previsioni di progetto ed alle prescrizioni della Direzione Lavori, tenendo presente che ciascun rango dovrà avere inizio alla stessa progressiva.

Le tolleranze ammesse sull'assetto geometrico dei tubi sono le seguenti:

- la posizione dell'asse di ciascun tubo non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 5 cm, salvo diverse prescrizioni della Direzione Lavori ;
- la deviazione dell'asse del tubo rispetto all'asse di progetto non dovrà superare l'1%;
- la lunghezza del tubo non dovrà differire di  $\pm$  15 cm da quella di progetto.

Ogni tubo che risultasse non conforme alle tolleranze di cui sopra dovrà essere idoneamente sostituito a cura e spese dell'Impresa.

L'Impresa, a sua cura e spese, dovrà preliminarmente individuare sul fronte di scavo le posizioni dei tubi da contrassegnare con marche od altro per renderle facilmente individuabili.

La perforazione dovrà essere eseguita a secco con idonea attrezzatura, impiegando preferibilmente utensili ad elica; avrà andamento orizzontale, sub-orizzontale o comunque inclinato; il diametro sarà indicato in progetto; la perforazione dovrà essere spinta a qualsiasi profondità oltre il fronte di avanzamento in galleria, compreso l'attraversamento dello strato di conglomerato cementizio spruzzato sul fronte di scavo e degli eventuali strati rocciosi; dovrà essere previsto l'allontanamento dei materiali di risulta ed il trattamento dei fanghi secondo quanto disposto dalle Leggi vigenti.

Il tubo in vetroresina dovrà essere prodotto con resina poliestere termoidurente rinforzata con fibre di vetro; il contenuto in peso della fibra di vetro non dovrà essere inferiore alle indicazioni di progetto.

Il tubo dovrà avere diametro, spessore e prestazioni conformi alle indicazioni progettuali oltre che soluzioni atte a migliorare l'aderenza con il materiale di riempimento del foro di alloggiamento. La lunghezza del tubo dovrà essere, conforme a quella di progetto, ottenuto preferibilmente con una unica barra; ove si dovessero effettuare giunzioni, resta a carico dell'Impresa la fornitura dei necessari manicotti e collanti che dovranno garantire, anche in corrispondenza del giunto, la medesima resistenza a trazione e taglio. Le caratteristiche meccaniche del tubo saranno conformi a quanto previsto dalla normativa vigente:

Ogni tubo dovrà essere corredato dei dispositivi per le iniezioni di bloccaggio ed in parti- colare: tappo di fondo, valvole per le iniezioni (laddove previste in progetto), tubo di sfo- go aria, valvola di non ritorno, cianfrinatura a bocca preforo.

Il tubo dovrà essere introdotto nel perforo mediante apposita attrezzatura; si procederà quindi al suo inghisaggio mediante una miscela cementizia (antiritiro) iniettata a bassa pressione tra tubo e pareti del foro ed all'interno del tubo stesso.

La sequenza realizzativa delle perforazioni dovrà essere tale da evitare l'esecuzione di perforazioni in adiacenza. Ciò viene prescritto al fine di evitare la mutua interazione dei fori riducendo il rischio di formazione di porzioni di ammasso instabili.

L'introduzione dell'armatura e l'esecuzione delle iniezioni devono essere effettuate in una fase immediatamente successiva a quella di perforazione;



pertanto non è ammessa l'esecuzione di più fori senza la preventiva installazione e iniezione del VTR nel foro appena precedente. Non dovrà trascorrere più di 1 ora tra le due fasi.

La miscela dovrà essere additivata con idonei acceleranti di presa e dovrà avere le caratteristiche previste dalla normativa vigente.

L'iniezione dovrà essere proseguita fino a totale riempimento e la valvola di non ritorno dovrà garantire il mantenimento della bassa pressione per il tempo di presa della miscela cementizia.

In corso d'opera, si dovranno eseguire una serie di prove a sfilamento, atte a verificare l'idoneità e la fattibilità delle modalità prescelte, nonché le ipotesi assunte in sede di progettazione. Sulla miscela cementizia impiegata, dovranno essere effettuati i medesimi accertamenti riportati al capitolato "Opere d'arte minori – opere di consolidamenti, reti e protezione".

## 5.2 Presostegno mediante infilaggi

Si definiscono infilaggi i tubi portanti iniettati, posti in opera preventivamente dal fronte di scavo sull'estradosso della sezione di avanzamento in calotta.

I tubi, valvolati o meno, verranno connessi al terreno mediante iniezione a bassa pressione nella cavità anulare tra tubo e pareti del perforo; quelli valvolati successivamente saranno iniettati in più fasi in pressione attraverso le valvole dall'interno dei tubi.

I tubi dovranno essere disposti in posizione orizzontale o sub orizzontale con geometria tronco conica e divergenza, rispetto all'asse della galleria, non superiore di norma a 6°.

Le caratteristiche dimensionali, la disposizione e le fasi di esecuzione dovranno essere conformi alle previsioni di progetto.

Prima di iniziare ciascun setto di perforazione l'Impresa dovrà, a sua cura e spese, individuare sul fronte di avanzamento le posizioni degli infilaggi da contrassegnare opportunamente, in modo da renderle facilmente individuabili; alla Direzione Lavori dovrà presentare la mappa dei fori, con la posizione dei punti contrassegnata con un numero progressivo ed inoltre un programma cronologico di perforazione ed iniezione elaborato in modo da minimizzare gli effetti negativi della perforazione/iniezione sugli infilaggi già eseguiti.

Eventualmente si potranno predisporre, delle dime di guida a tergo delle macchine per- foratrici.

Le tolleranze, rispetto alle indicazioni previste in progetto per queste lavorazioni devono essere contenute nei seguenti limiti:

- La posizione della testa non dovrà discostarsi da quella di progetto più di 5 cm; salvo diverse prescrizioni della Direzione Lavori;
- la deviazione dell'asse dell'infilaggio rispetto all'asse di progetto non dovrà essere maggiore dell'1%;
- la lunghezza non dovrà differire di  $\pm 15$  cm da quella di progetto;
- la sezione dell'armatura metallica non dovrà risultare inferiore a quella di progetto;
- il diametro dell'utensile di perforazione dovrà risultare non inferiore al diametro di perforazione di progetto.

Ogni infilaggio che risultasse non conforme alle tolleranze di cui sopra dovrà essere idoneamente sostituito a cura e spese dell'Impresa.

Le tecniche di perforazione e le modalità di iniezione dovranno essere definite in



relazione alla natura dei materiali da attraversare ed alle caratteristiche idrogeologiche locali.

La scelta delle attrezzature ed i principali dettagli esecutivi dovranno essere messi a punto mediante l'esecuzione preliminare di infilaggi di prova, ordinati dalla Direzione Lavori .

In particolare le attrezzature di perforazione dovranno rispondere ai seguenti requisiti:

- possibilità di eseguire, senza manovre d'asta, perforazioni con rivestimento provvisorio fino ad almeno 12,00 m di lunghezza, con agevole e preciso posizionamento dei fori secondo la geometria tronco-conica o cilindrica tipica dell'applicazione;
- testa di rotazione con foro passante e con ingombro verso l'esterno non eccedente 35 cm rispetto all'asse della perforazione;
- slitta di scorrimento di costruzione sufficientemente rigida, dispositivi di guida delle aste ed apparecchi di stazionamento dell'attrezzatura tali da assicurare il rispetto delle tolleranze geometriche prescritte; la slitta non dovrà comunque subire spostamenti elastici superiori a 5 mm a seguito dell'applicazione, ad una qualsiasi delle sue estremità, di una forza di 100 kg in qualunque direzione nel piano ortogonale dell'asse di perforazione.

La perforazione deve essere condotta impiegando utensili atti ad ottenere fori del diametro previsto in progetto, e comunque non inferiore a 100 mm, ed a consentire la regolarità delle successive operazioni di infilaggio dei tubi e di iniezione, in materiali di qualsiasi natura, durezza e consistenza, anche in presenza di acqua di qualunque entità e pressione, mediante l'impiego di sonde a rotazione o rotopercussione.

Qualora le caratteristiche dei terreni o la presenza di acqua lo richiedesse, il foro dovrà essere sostenuto mediante idonee tubazioni durante la perforazione e le fasi successive.

Al termine della perforazione il preforo dovrà essere accuratamente sgomberato dai detriti.

Le perforazioni dovranno essere eseguite senza impiego di acqua.

L'ordine di esecuzione degli infilaggi nell'ambito di ciascun setto, dovrà assicurare la non interferenza delle perforazioni e delle iniezioni con perfori in corso o in attesa di iniezione. Nello specifico la sequenza di esecuzione dei fori dovrà essere tale da evitare l'esecuzione di fori adiacenti e comunque prima dell'inizio di una nuova perforazione in adiacenza andrà completata la realizzazione dell'infilaggio con tubo metallico e relativa iniezione.

Le armature metalliche dovranno essere costituite da tubi in acciaio tipo S355JR con e senza saldatura longitudinale, del tipo per costruzioni meccaniche; qualora sia prevista la saldatura del tubo, quest'ultima dovrà essere certificata dal produttore nel rispetto delle normative vigenti e dovrà essere tale da garantire nella giunzione le stesse caratteristiche meccaniche del tubo non saldato. Dovranno avere estensione, diametro e spessore come previsto in progetto.

Le giunzioni tra i diversi spezzoni di tubo dovranno essere ottenute mediante manicotti filettati o saldati, dello stesso spessore del tubo e di lunghezza adeguata, da verificare alla flessione secondo i valori di progetto.

I tubi valvolati dovranno essere forati in corrispondenza di ciascuna valvola di iniezione e scovolati internamente per asportare eventuali sbavature lasciate dal



trapano.

Le valvole saranno costituite da manicotti di gomma di spessore minimo 3,5 mm, aderenti al tubo e mantenuti in posto mediante anelli in fili d'acciaio (diametro 4 mm) saldati al tubo in corrispondenza dei bordi del manicotto.

Nel caso si utilizzi il tubo valvolato come rivestimento del foro, le valvole dovranno essere adeguatamente protette.

La valvola più bassa sarà posta subito sopra il fondello che occlude la base del tubo.

Ove richiesto le armature tubolari dovranno essere dotate di distanziatori non metallici e dispositivi di centraggio per assicurare un copriferro minimo di 1,5 cm, posizionati di preferenza sui manicotti di giunzione.

Potranno essere usate, qualora si rendessero necessarie, armature in vetroresina le cui caratteristiche sono riportate al punto 5.1 del presente Capitolato.

L'introduzione dell'armatura tubolare e la esecuzione delle iniezioni devono essere iniziate in una fase immediatamente successiva alla perforazione di ciascun infilaggio.

In caso contrario la perforatrice resterà in posizione fino alla successiva ripresa del lavoro e si dovrà provvedere alla pulizia del perforo, subito prima che inizino le operazioni di posa della armatura e di iniezione.

In ogni caso non dovrà trascorrere più di un'ora tra il termine della perforazione e l'inizio della iniezione.

Si ribadisce che quando la perforazione viene eseguita con l'impiego di rivestimento provvisorio, l'infilaggio dell'armatura metallica deve precedere l'estrazione dello stesso rivestimento provvisorio ed essere seguito immediatamente dal riempimento della cavità anulare compresa tra tubo e pareti del perforo.

Le fasi della iniezione sono le seguenti, fatte salve diverse prescrizioni che la Direzione Lavori potrà impartire in sede esecutiva:

tubi valvolati:

- riempimento della cavità anulare compresa tra il tubo e le pareti del perforo, ottenuto allungando con apposito condotto di iniezione ed otturatore semplice la valvola più lontana. Trattandosi di preforni posti di norma in posizione orizzontale o inclinati verso l'alto, dovranno essere adottati opportuni accorgimenti (tubetti di sfianto, otturatore sulla bocca del perforo, ecc.) per evitare che la miscela cementizia riempia solo parzialmente la cavità o ne fuoriesca;
- lavaggio con acqua dell'interno del tubo;
- avvenuta la presa della miscela precedentemente iniettata, si inietterà in pressione valvola per valvola volumi di miscela non eccedenti il sestuplo del volume del perforo avendo cura di non superare durante l'iniezione la pressione corrispondente alla fratturazione idraulica del terreno ("claquage");
- avvenuta la presa della malta precedentemente iniettata, si ripeterà l'iniezione in pressione, previo lavaggio con acqua all'interno del tubo, limitatamente alle valvole per le quali il volume di miscela iniettata non abbia raggiunto il limite di cui al punto precedente a causa della incipiente fratturazione idraulica del terreno;
- le pressioni residue di iniezione, misurate a bocca foro al raggiungimento del limite volumetrico, non superino 0,7 MPa.



tubi non valvolati (tubi ciechi):

- riempimento della cavità anulare compresa tra il tubo e le pareti del perforo, ottenuto iniettando con apposito condotto di iniezione ed otturatore semplice dalla testa del tubo; trattandosi di preforni posti di norma in posizione orizzontale o inclinati verso l'alto, dovranno essere adottati opportuni accorgimenti (tubetti di sfiato, otturatore sulla bocca del perforo, ecc.) per evitare che la miscela cementizia riempia solo parzialmente la cavità o ne fuoriesca.

Qualora nel corso delle iniezioni si riscontrassero assorbimenti anomali di miscela, la Direzione Lavori ordinerà l'adozione dei provvedimenti e/o cautele che riterrà più idonei.

Al termine delle iniezioni si riempirà anche l'interno del tubo.

Le malte cementizie utilizzate per l'iniezione dovranno avere la composizione prevista progettualmente e dalla normativa vigente.

Durante la posa in opera si dovranno prelevare campioni della miscela d'iniezione; sulla miscela cementizia impiegata, dovranno essere effettuati i medesimi accertamenti riportati al capitolato "Opere d'arte minori – opere di consolidamenti, reti e protezione".

## **6 Rivestimenti di prima fase e interventi di sostegno del cavo**

Sono qui di seguito riportate le principali tecnologie esecutive da impiegare per il sostegno e priverestimento dello scavo.

### **6.1 Centine metalliche, reti di acciaio a maglie elettrosaldate**

Le centine metalliche, le reti di acciaio a maglie elettrosaldate da lasciare annegate nel conglomerato cementizio, dovranno avere caratteristiche dimensionali, sagoma ed interasse conformi alle sezioni tipo del progetto esecutivo previste per le varie tratte.

Le centine metalliche saranno sagomate e collegate nei punti di giunzione tramite piastre saldate e bullonate, nonché dotate di elementi di unione, distanziatori, piastre di base, collegamenti e quanto altro occorrente per assicurare una perfetta continuità strutturale delle centine stesse.

Particolarmente curato sarà il dimensionamento dell'eventuale piastra di appoggio al piede, l'allettamento e la stabilità della superficie di appoggio, e la messa in contatto della centina con la superficie di scavo.

Eventuali vuoti presenti a tergo delle centine dovranno essere riempiti con conglomerato cementizio spruzzato o con idonei spessori, cunei od altri accorgimenti opportuni al fine di garantire la completa aderenza con la superficie di scavo delle centine.

Tutte queste lavorazioni saranno a cura e spese dell'Impresa.

In senso longitudinale, le centine saranno collegate tra loro mediante catene, realizzate mediante fondino di acciaio opportunamente sagomato, avente caratteristiche non inferiore a quello costituente il profilato delle centine.

Le catene dovranno essere estese a tutto il contorno delle centine e ad esse collegate mediante opportuni accorgimenti o saldature, così come indicato nei disegni di progetto.

Quando le centine metalliche sottendono l'armatura tronco-conica costituita dagli interventi di consolidamento lanciati in avanzamento, quali infilaggi, jet-



grouting ed altri interventi di consolidamento analoghi, queste dovendo essere messe a contatto con essi e pertanto dovranno essere calandrate a profilo variabile, sia pure per gruppi, per assicurare una buona trasmissione dei carichi. Le centine realizzate mediante l'impiego di profilati a doppio T, dovranno risultare all'esterno dell'estradosso di progetto del rivestimento definitivo. Ove la geometria dello scavo lo consentisse, le reti elettrosaldate potranno essere presagomate ed opportunamente autoancorate alle centine. I profilati costituenti le centine metalliche dovranno essere in acciaio S275JR0 superiore, i bulloni dovranno essere di classe non inferiore alla 8.8 – UNI EN ISO 898-1:2001 e la lamiera sarà in acciaio di qualità non inferiore al tipo S235, UNI EN 10025.

## **6.2 Rivestimento di prima fase**

### 6.2.1 Rivestimento di prima fase in conglomerato cementizio proiettato

Per la classificazione, le specifiche e la normativa specifica si faccia riferimento al "Capitolato calcestruzzi e acciai per cemento armato".

Il rivestimento di prima fase delle pareti di scavo di gallerie e pozzi di aerazione sarà eseguito con conglomerato cementizio spruzzato, con idonee macchine spruzzatrici, negli spessori indicati in progetto. Si dovrà curare in particolare l'aderenza del getto alle pareti dello scavo onde evitare vuoti a tergo del getto. Per eventuali vuoti conseguenti ad irregolarità della sezione di scavo, l'Impresa dovrà procedere riempiendo, a sua cura e spese, con conglomerato cementizio spruzzato, dato anche a più strati ed armato con rete di acciaio elettrosaldato.

Nel caso invece di cavità naturali non previste negli elaborati progettuali o di cavità causate da cedimenti o franamenti non imputabili, a giudizio insindacabile della Direzione Lavori, a negligenza dell'Impresa, si potrà proporre alla Committente la contabilizzazione dei riempimenti di conglomerato o di murature di bloccaggio o di iniezione d'intasamento.

La proiezione dovrà avvenire ad umido cioè con procedimento in cui la pompa spinge la miscela composta da aggregati, cemento, acqua senza accelerante, in sospensione in un getto d'aria compressa nel condotto, ovvero per mezzo di una pompa a pistoncini, mentre l'accelerante viene introdotto e mescolato nella lancia.

Il dosaggio dell'accelerante dovrà avvenire esclusivamente a mezzo di dosatori sincronizzati con la pompa e regolati con il flusso di miscela cementizia in modo da mantenere sempre costante il dosaggio di additivo.

Il numero di passate per ottenere lo spessore previsto sarà il più basso possibile in relazione alla tecnica di proiezione prevista e dal tipo di accelerante impiegato. Tutte le venute d'acqua concentrate dovranno essere regimate e canalizzate superficialmente per evitare sottopressioni sulla superficie trattata e danneggiamenti al conglomerato proiettato.

L'interferro dovrà essere, in tutti i casi, uguale o superiore a 15 cm sia nel caso di barre che di rete elettrosaldato.

La distanza fra l'armatura e la parete da rivestire dovrà essere rigorosamente compresa fra 2 e 5 centimetri.

La superficie in vista del conglomerato cementizio, sulla quale sarà applicata l'eventuale impermeabilizzazione, dovrà presentarsi regolare, priva di asperità e di ferri sporgenti.

Eventuali irregolarità, che a giudizio insindacabile della Direzione Lavori





potrebbero danneggiare l'impermeabilizzazione, dovranno essere conguagliate a cura e spese dell'Im- presa mediante apporto di conglomerato cementizio.

I ferri eventualmente sporgenti dal rivestimento dovranno essere accuratamente ripiegati e inglobati nel conglomerato.

La composizione del conglomerato dovrà essere sottoposta dall'Impresa alla preventiva approvazione della Direzione Lavori.

Il conglomerato dovrà presentare una resistenza caratteristica conforme al progetto esecutivo.

Tali resistenze saranno determinate mediante l'uso di appositi pannelli confezionati e cassaforme, collocate su una parete inclinata di 10° - 20° tali da realizzare tasselli di pro- va, di dimensioni 60 cm \* 60 cm, e di 15 cm di spessore ottenuti proiettando ortogonalmente a questa il conglomerato.

Lo sfrido complessivo del calcestruzzo proiettato non dovrà essere superiore al 10 % del volume posto in opera. In caso contrario, l'Impresa non è tenuta a chiedere indennizzo alcuno per sfridi superiori.

Il rivestimento di prima fase in conglomerato cementizio spruzzato, in relazione alle previsioni di progetto, potrà essere armato con rete in barre di acciaio a maglie elettrosaldate.

Ove la geometria dello scavo lo consentisse, le reti elettrosaldate potranno essere opportunamente presagomate ed opportunamente ancorate alle centine.

Dovrà essere particolarmente curato il fissaggio delle armature, con almeno 2 chiodi/m<sup>2</sup>, su un primo strato di conglomerato proiettato dello spessore di almeno 2~3 centimetri, per evitare movimenti o distacchi durante la successiva proiezione.

Successivamente, verrà realizzato il completamento dello strato di conglomerato proiettato, sino al raggiungimento dello spessore previsto.

Per evitare movimenti e distacchi durante la proiezione del conglomerato, si dovrà usare in modo particolare il fissaggio delle armature.

#### 6.2.2 Rivestimento di prima fase in conglomerato cementizio proiettato fibrorinforzato

Per le prescrizioni e gli oneri di una corretta posa in opera valgono le indicazioni precedentemente riportate nel presente Capitolato, riguardante il calcestruzzo proiettato. Per la classificazione, le specifiche e ogni aspetto relativo alle fibre si faccia riferimento al "Capitolato calcestruzzi e acciai per cemento armato".

La quantità di fibre di acciaio da impiegare per l'armatura del conglomerato cementizio spruzzato dovrà essere definita negli elaborati di progetto.

In corso d'opera la Direzione Lavori procederà al controllo della quantità di fibra immessa mediante prelievo alla bocca della betoniera di tre campioni di conglomerato di volume predeterminato da cui estrarre le fibre riportandone il peso effettivo a quello teorico. Lo strato superficiale del conglomerato cementizio spruzzato, per uno spessore 3 cm, dovrà essere steso senza impiego di fibre d'acciaio, nel caso di presenza di manto di impermeabilizzazione, allo scopo di evitare possibili danni alla guaina stessa.

## **7 Rivestimenti definitivi**

### **7.1 Rivestimento di seconda fase in conglomerato cementizio gettato in opera**

Per la classificazione, le specifiche e ogni aspetto relativo al calcestruzzo si faccia riferimento al "Capitolato calcestruzzi e acciai per cemento armato".



Il rivestimento di seconda fase dovrà essere eseguito alla distanza dal fronte di scavo indicata in progetto.

Nessuna variazione potrà essere ammessa senza la preventiva autorizzazione della Direzione Lavori.

Tale rivestimento consiste in un getto di dato spessore di conglomerato cementizio semplice o armato, contro le pareti della galleria, mediante apposita cassaforma.

Il conglomerato cementizio impiegato per il rivestimento di seconda fase dovrà essere conforme al progetto esecutivo, lo spessore del rivestimento dovrà essere conforme alle previsioni di progetto, restando a carico dell'Impresa i maggiori spessori realizzati.

Nel caso di sottospessori localizzati o estesi sarà onere dell'impresa la demolizione del prerivestimento e del rivestimento definitivo non conforme oltre che la ribattitura del profilo di scavo e il ripristino del rivestimento secondo le indicazioni di progetto esecutivo.

In dettaglio, prima della posa in opera dei teli dell'impermeabilizzazione e del getto dei rivestimenti definitivi, la DL verificherà che il profilo di intradosso coincida con il profilo previsto in progetto attraverso l'esecuzione di rilievi laser scanner 3D. Il getto del rivestimento definitivo verrà autorizzato dalla DL solo dopo che il rilievo con laser scanner abbia dato riscontro positivo.

Analogamente, una volta gettato il rivestimento definitivo, la DL predisporrà prospezioni georadar allo scopo di esaminare lo spessore dei rivestimenti definitivi gettati e individuare eventuali discontinuità e anomalie negli stessi. Qualora i rilievi evidenziassero anomalie, l'impresa dovrà provvedere a sue spese al riempimento dei vuoti o delle cavità.

Per i rivestimenti in calcestruzzo non armato, le analisi tenso-deformative a breve e a lungo termine, dovranno far risultare delle tensioni che rispettino i valori riportati all'interno del paragrafo 4.1.11 del D.M. 17 Gennaio 2018. Nel caso di rivestimenti di calcestruzzo armato, si dovranno seguire le indicazioni fornite dalla normativa vigente.

Dovrà essere particolarmente curata la ripresa con i getti precedenti e la preparazione e pulitura delle superfici con le quali i getti stessi dovranno venire a contatto.

La superficie in vista dei getti di rivestimento dovrà risultare perfettamente regolare e profilata secondo i disegni di progetto, curata in modo particolare nei tratti in curva.

Il getto dell'arco rovescio deve essere eseguito su rocce in posto e non su materiale smosso; ove le particolari condizioni idrogeologiche lo richiedessero, previo apposito studio, si prevederà l'eventuale posa di un telo di geotessile, con impregnazione eseguita con legante bituminoso tipo 180 - 200 spruzzato a caldo in ragione di almeno 2 kg/m<sup>2</sup>. Dovrà essere posto in opera sovrapponendo i teli longitudinalmente e trasversalmente per almeno 30cm.

Il getto dell'arco rovescio dovrà essere eseguito per campioni alla distanza dal fronte indicata in progetto.

In presenza di particolari fenomeni deformativi la lunghezza dei campioni dovrà essere opportunamente ridotta, secondo le prescrizioni della Direzione Lavori e in accordo con il progettista.

Il getto dell'arco rovescio, può essere preceduto dal getto delle murette, che avranno le interfacce con i futuri getti di calotta e dell'arco rovescio stesso



sagomate a raggio.

Se l'arco rovescio viene gettato per primo, sarà subito seguito da quello delle murette per fornire il necessario contrasto al rivestimento di prima fase.

Eventuali sovrascavi dovranno essere riempiti e risagomati con conglomerato cementizio magro a cura e spese dell'Impresa.

## 7.2 Casseforme

Premesse le responsabilità dell'Impresa, per quanto attiene alla conformità delle attrezzature da impiegare per la realizzazione del progetto nonché per l'uso di tutti i prodotti idonei alle corrette operazioni di disarmo, si prescrive quanto segue:

### 7.2.1 Casseforme per il contenimento del getto di conglomerato cementizio di rivestimento delle gallerie

Dovranno essere impiegate casseforme metalliche montate su carro portaforme, munite di sistema di movimentazione idraulico; la struttura dovrà essere opportunamente irrigidita e controventata, dimensionata per non subire deformazioni sotto carico, con la superficie a contatto del conglomerato liscia e conforme alla generatrice di progetto, tale da assicurare ai getti una rifinitura perfettamente regolare;

### 7.2.2 Casseforme per il contenimento del getto di conglomerato cementizio di rivestimento dei pozzi di areazione

Dovranno essere impiegate casseforme metalliche, rampanti, munite di sistema di sollevamento idraulico.

La struttura dovrà essere opportunamente irrigidita e controventata, dimensionata per non subire deformazioni durante le varie fasi di lavorazione e per non alterare la geometria di progetto dei getti che dovranno risultare perfettamente lisci e privi di irregolarità nelle generatrici superficiali. Compreso inoltre gli occorrenti ponteggi ed impalcature.

Per ogni altro aspetto relativo alle casseforme si faccia riferimento al "Capitolato calcestruzzi e acciai per cemento armato".

## 8 Impermeabilizzazioni

Si definiscono impermeabilizzazioni tutte le attività ed interventi atti a proteggere i rivestimenti delle gallerie dalle venute di acqua dalle pareti dello scavo.

Si dovranno impermeabilizzare le pareti della galleria ogni qualvolta si presentano o sono ipotizzabili venute di acqua dalle pareti della galleria.

L'impermeabilizzazione delle pareti delle gallerie e dei pozzi di areazione viene interposta tra i rivestimenti di prima fase e seconda fase.

La DL ha facoltà di ordinare, per determinati tratti o superfici di galleria, la impermeabilizzazione in conformità alle prescrizioni di seguito riportate.

Si dovranno adottare particolari accorgimenti e cautele quando le acque risultassero aggressive.

Prima della posa in opera dell'impermeabilizzazione l'Impresa dovrà procedere alla preparazione delle pareti comprendente:

- captazione di eventuali forti venute d'acqua tali da intralciare la regolare stesa dell'impermeabilizzazione, mediante impiego di tubi e/o canalette in materiale termoplastico, protetti da uno strato in geotessile e fissati con malta di cemento additivata con accelerante;
- eventuali tubi e/o canalette saranno protetti con uno strato di



conglomerato cementizio e saranno raccordati al drenaggio posto al piede dell'impermeabilizzazione;

- regolazione della superficie del rivestimento di prima fase con malta fina per raccordare eventuali asperità e per ricoprire eventuali parti metalliche sporgenti.

Le impermeabilizzazioni sopra descritte dovranno essere applicate su supporto costituito da conglomerato cementizio, dello spessore non inferiore a cm 10, lanciato a pressione sulle pareti di scavo, nel caso in cui non sia previsto dal progetto un prerinvestimento in conglomerato cementizio lanciato a pressione.

### **8.1 Impermeabilizzazioni con guaina in PCV**

Tale impermeabilizzazione dovrà essere posta in opera su uno strato di compensazione di geotessile con caratteristiche analoghe a quelle riportate nel Capitolato "Movimenti di Terra".

La guaina dovrà essere in PVC trasparente dello spessore minimo di 2 mm.

Sul rivestimento di prima fase, preparato come al punto precedente, dovrà essere steso uno strato di geotessile, come strato di compensazione con funzione antipunzonamento.

Il geotessile verrà steso procedendo in senso trasversale all'asse della galleria o del pozzo di aerazione, sovrapponendo i bordi di 20 cm e fissandolo con bottoni e/o listoni in PVC semirigido, a loro volta ancorati al supporto con chiodi a sparo muniti di rondella o con tasselli ad espansione.

I bottoni in PVC, aventi speciale sagomatura per impedire il contatto dei chiodi di fissaggio con la guaina in PVC trasparente che ad essi sarà sovrapposta e saldata, saranno forniti e posti in opera in ragione di almeno quattro bottoni per metro quadrato di superficie da impermeabilizzare, oppure un listone/ml.

In corrispondenza dei giunti della sovrastante guaina in PVC ed alla base della stessa, in corrispondenza dei piedritti nella impermeabilizzazione delle gallerie, saranno forniti e posti in opera listoni in PVC semirigido fissati con chiodi a sparo muniti di rondella.

Sullo strato di geotessile verrà fornita e posta in opera una guaina in PVC trasparente dello spessore di 2 mm.

La trasparenza della guaina, oltre ad essere una garanzia di purezza formulativa e pertanto di maggiore stabilità del polimero nel tempo, consente di controllare visivamente la lavorazione ed in particolare la eventuale presenza, in corrispondenza delle saldature, di un eccesso di residui carboniosi e di bolle d'aria che sono sintomi di cattiva esecuzione, e che potrebbero far cedere la saldatura in un secondo tempo. Il controllo delle saldature dovrà essere sistematico.

Il materiale dovrà essere qualificato prima dell'impiego.

Le prove dovranno essere effettuate presso laboratori qualificati a cura dell'Impresa, sotto il controllo della Direzione Lavori, preliminarmente su materiali approvvigionati in cantiere, prima del loro impiego; successivamente, su materiali prelevati durante il corso dei lavori, ogni volta che la Direzione Lavori lo riterrà opportuno.

La campionatura del materiale dovrà essere fatta secondo la Norma UNI vigente. Dalle prove dovranno risultare soddisfatti i requisiti previsti dalle norme UNI vigenti.

Qualora anche da una sola delle prove di cui sopra risultassero requisiti inferiori a quelli stabiliti, la partita verrà rifiutata e l'impresa dovrà allontanarla



immediatamente dal cantiere.

Nel caso di materiali già posti in opera, l'impresa dovrà sospendere la lavorazione e procedere, a sua cura e spese, alla loro rimozione ed alla sostituzione con materiali idonei.

La guaina in PVC verrà stesa in opera in senso trasversale all'asse della galleria o del pozzo di aerazione con i lembi dei giunti sovrapposti per 10 cm e dovrà essere fissata ai bottoni ed ai listoni in PVC mediante termosaldatura.

La guaina dovrà presentarsi ben distesa, senza pieghe e parti in tensione.

Si procederà quindi alla saldatura dei giunti per termofusione con apposite saldatrici a controllo automatico di velocità, temperatura e pressione, predisposte per effettuare una doppia saldatura senza soluzione di continuità da un estremo all'altro del giunto, in modo da permettere la prova di tenuta del giunto ad aria compressa.

La tenuta dei giunti dovrà essere verificata con aria alla pressione di 0,4 bar; la eventuale perdita di pressione dopo 15 - 20 min non dovrà superare 0,1 bar.

Nel caso che qualche prova dia esito negativo, l'Impresa dovrà provvedere a sua cura e spese, al rifacimento delle saldature difettose, eventualmente anche con sostituzione delle guaine compromesse, mentre la Direzione Lavori potrà ordinare che vengano sottoposti a prove tutti i giunti senza che per questo l'impresa stessa possa reclamare alcun compenso.

In galleria la guaina in PVC dovrà essere risvoltata alla base dei piedritti per almeno 40 cm; i lembi estremi dovranno essere fissati alla parete mediante listelli metallici, previa applicazione di idoneo mastice sigillante; all'interno dei due risvolti dovranno essere forniti e posti in opera tubi in PP del diametro nominale di 150 mm, aventi pareti forate e suola di base liscia e stagna; i tubi dovranno essere collegati ai pozzetti di raccolta mediante pezzi speciali a T e relative tubazioni di raccordo in PP ed i fori praticati nelle guaine per il passaggio di queste ultime dovranno essere sigillati mediante appositi elementi in PP termosaldati alla guaina ed ai tubi di raccordo.

## **9 Drenaggi**

Con il termine "drenaggi" si intendono tutte le tecnologie esecutive atte alla captazione, emungimento, raccolta e allontanamento delle acque circolanti immediatamente a tergo dei rivestimenti ovvero nei terreni circostanti la galleria.

Si distinguono le seguenti tipologie principali di drenaggio:

- canalette al piede dell'impermeabilizzazione collegate mediante raccordi alle cunette centrali di raccolta della galleria;
- tubi drenanti microfessurati.

Le prescrizioni di cui ai successivi punti sono riferite alle gallerie naturali, ma sono comunque applicabili, con le precisazioni di cui in appresso, anche alle gallerie artificiali.

Nel caso di gallerie artificiali eseguite con scavo dall'alto si disporrà una tubazione in PP in corrispondenza della platea di fondo ed all'esterno della galleria. In tal modo le acque percolanti attraverso il materiale drenante, utilizzato per il riempimento, saranno convogliate nel tubo in PP e trasportate all'esterno.

Nel caso di gallerie artificiali eseguite con paratie, se necessario, si procederà al drenaggio delle acque mediante l'adozione di dreni con tubazioni in PP fessurate



rivestite da tessuto non tessuto.

Le acque drenate saranno convogliate nelle canalette laterali al piede della galleria e smaltite, con idonea pendenza, all'esterno.

### **9.1 Canalette di raccolta**

Al piede dell'impermeabilizzazione sarà realizzata, mediante canaletta in PVC microfessurata, collegata alle cunette centrali della galleria mediante condotte, disposte ad intervalli regolari in galleria, dotate di pozzetti per l'ispezione e la manutenzione.

Particolare cura andrà posta in fase esecutiva per assicurare il corretto andamento plano-altimetrico dei tubi di drenaggio e la loro funzionalità.

Le canalette e i tubi per il drenaggio per l'allontanamento sulle acque saranno in PVC ed avranno diametro esterno non inferiore a 125 mm e spessore non inferiore a 3 mm.

La Direzione Lavori potrà richiedere di far sottoporre a prove, presso laboratori qualificati e riconosciuti, dei campioni di tubo per accertare o meno la loro rispondenza alle norme vigenti.

La miscela cementizia da impiegare per l'allettamento e fissaggio delle tubazioni sarà costituita da sabbia e cemento normale tipo 3,25, ed arricchita di idrofugo nelle proporzioni necessarie in relazione al grado di umidità della superficie da impermeabilizzare.

### **9.2 Tubi drenanti microfessurati**

Le perforazioni per i drenaggi, comunque inclinate ed in materiali di qualsiasi natura, durezza e consistenza, anche in presenza d'acqua di qualsiasi entità e pressione, saranno eseguite a distruzione di nucleo con sonde a rotazione o rotopercussione.

Qualora le caratteristiche dei terreni o la presenza dell'acqua lo richiedessero, il foro potrà essere sostenuto mediante idonee tubazioni durante la perforazione e nelle fasi successive.

Si deve assicurare, in fase di perforazione, la perfetta tenuta a boccaforo, predisponendo eventualmente, sul fronte di avanzamento, in corrispondenza all'asse di ciascuna perforazione, un raccordo tubolare munito di un premistoppa interno, al quale si accoppia, a tenuta, il tubo di perforazione e di una bocca di deflusso esterna, onde consentire il refluo controllato del materiale di spurgo in fase di perforazione.

I raccordi tubolari dovranno essere rigidamente fissati al tampone in calcestruzzo proiettato preventivamente realizzato sul fronte.

Tali attrezzature devono avere caratteristiche tali da impedire che, nella fase di scavo e nelle successive fasi di posa in opera del tubo drenante all'interno dell'eventuale rivestimento e di estrazione di quest'ultimo dal terreno, possano verificarsi refluenti incontrollati di acqua e/o particelle di terreno all'interno dell'eventuale tubo di rivestimento.

Prima di procedere alla posa in opera, l'Impresa dovrà eseguire una accurata pulizia del foro con getto d'aria a pressione e il lavaggio con getto d'acqua a pressione.

Le perforazioni avranno diametro adeguato alla lunghezza e tale da consentire l'infilaggio dei tubi microfessurati, e comunque non inferiore a 91 mm.

Successivamente alla pulizia del foro, nello stesso verrà inserito un tubo



microfessurato in PVC rivestito esternamente con una calza di geotessile.

Il tubo microfessurato sarà in PVC rigido con unioni a manicotti, ed avrà diametro interno non inferiore a 50 mm e spessore non inferiore a 4.5 mm.

La loro lunghezza dovrà essere almeno pari al diametro dello scavo, con sovrapposizione longitudinale di 7.5 m.

Nel caso in cui le pressioni dell'acqua fossero elevate dovranno essere utilizzati dei dispositivi che impediscano la fuoriuscita di acqua prima dell'inserimento del tubo drenante.

In questa situazione si opera posando prima un tubo di attesa di diametro superiore, su cui si collegherà un "preventer" atto a controllare il fluido di spurgo della perforazione in modo da evitare l'innescò di fenomeni di sifonamento e tale da permettere la chiusura rapida del foro.

In tal caso la perforazione sarà fatta con rivestimento, per impedire la chiusura del foro e con punta a perdere.

Finita la perforazione, si inserirà all'interno del rivestimento un tubo drenante microfessurato.

Successivamente, si recupererà il tubo di rivestimento del foro, per una lunghezza pari a quella del tratto attivo di dreno, più la lunghezza del sacco otturatore, in modo che questo risulti direttamente a contatto con le pareti del foro.

Tale sacco verrà quindi gonfiato, tramite iniezione a pressione controllata dalla relativa valvola, tramite doppio otturatore inserito da bocca foro all'interno del tubo drenante.

Raggiunta la pressione di alcuni bar, questa dovrà essere mantenuta per un congruo intervallo di tempo, per verificare l'avvenuto gonfiaggio del sacco.

Nel caso di calo di pressione, si procederà con successive iniezioni, fino al raggiungimento della pressione prestabilita.

Non appena la malta avrà fatto presa nel sacco otturatore, si procederà all'estrazione del tubo di rivestimento per la rimanente lunghezza, pari a quella del tratto cieco, e all'immediata esecuzione, sempre mediante doppio otturatore, dell'iniezione di intasamento di tale tratto a partire dalla valvola superiore.

L'avvenuto abbattimento delle pressioni neutre dovrà essere verificato con piezometri installati in posizione opportuna e periodicamente misurati, il tutto a spese e cura dell'Impresa.

L'intervento di drenaggio potrà rimanere attivo anche a lungo termine in fase di esercizio, per cui si dovrà provvedere a raccogliere mediante un apposito collettore le venute di acqua captate dai dreni, onde evitare che queste possano disperdersi in galleria, causando nocive infiltrazioni che potrebbero ammalorare le opere di rivestimento definitivo.

## **10 Monitoraggio**

La raccolta, l'analisi e l'interpretazione dei dati derivanti dalle misure in corso d'opera e durante l'esercizio ha lo scopo di:

- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico tra le stesse previsioni e le prestazioni/comportamento del terreno nell'intorno della galleria e delle strutture di rivestimento con particolare riferimento alle categorie di comportamento del fronte di scavo descritte nei capitoli precedenti;



- assicurare che l'opera espliciti le sue funzioni, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o manutenzioni non previste;
- Verificare che lo stato di sollecitazione del rivestimento rimanga entro i limiti fissati dal progetto.

Il Piano di monitoraggio così come previsto in progetto, sarà messo in opera a cura dell'Impresa e verificato dalla DL.

Si dovrà adottare un sistema di elaborazione, gestione e distribuzione dei dati che permetta a tutti i soggetti impegnati nella buona riuscita dell'Opera (Impresa, Committente, Direzione Lavori, Progettista, Responsabile della Sicurezza, ecc...) di accedere ai dati in tempo reale e da qualsiasi postazione informatica, con modalità di password dedicata e personalizzata.

Tutto il sistema di monitoraggio durante la costruzione e sino alla data di emissione del certificato di collaudo finale, questa compresa, sarà eseguito a cura ed oneri dell'Impresa.

Le misure sono tra l'altro volte a determinare:

- le deformazioni indotte nel terreno (naturale o consolidato) o nell'ammasso roccioso, durante le operazioni di scavo;
- i valori e le variazioni delle pressioni neutre nel terreno o nell'ammasso roccioso;
- le deformazioni e le tensioni indotte nelle strutture di rivestimento (di prima fase e definitivo) e negli elementi di rinforzo e stabilizzazione;
- i carichi agenti sulle strutture.

Gli strumenti di misura e le sezioni strumentate da adottare dipendono dalla complessità della situazione geologico-geotecnica, con particolare riguardo alle specifiche condizioni geostrukturali, morfologiche ed idrogeologiche, nonché al previsto comportamento tenso-deformativo del terreno e delle strutture.

Il piano di monitoraggio deve tenere conto dell'affidabilità degli strumenti da utilizzare, della loro semplicità nell'installazione e nella relativa misura, della robustezza e, non ultimo, dei possibili disagi che l'allestimento delle sezioni strumentate comporta all'intera organizzazione di cantiere.

La strumentazione posta in opera dovrà inoltre avere alcuni requisiti funzionali che andranno verificati, certificati e documentati anche quando l'evoluzione tecnologica metterà a disposizione materiali più sofisticati e dispositivi più perfezionati:

- campo di misura o fondo scala ("range");
- massimo campo di misura sopportato dello strumento ("over range");
- ripetitività delle misure;
- precisione;
- sensibilità;
- durabilità e/o affidabilità.

I sistemi di monitoraggio dovranno essere concepiti in modo da realizzare il massimo di modularità e interfacciabilità possibile al fine di poter effettuare la centralizzazione dei dati in punti diversi della galleria o all'esterno.

Per ciascuno strumento, l'impresa procederà ad eseguire la lettura di zero, e cioè alla definizione della configurazione di riferimento rispetto alla quale confrontare tutti i valori che andranno determinati, in base a quanto riportato nelle relazioni di monitoraggio di progetto.

La lettura degli strumenti e l'interpretazione delle misure saranno eseguite il più





rapidamente possibile da personale qualificato.

Di seguito si riporta la descrizione sintetica delle principali tipologie di misurazione previste in progetto per il monitoraggio in galleria.

## **10.1 Misure dall'interno del cavo**

### 10.1.1 Misure di convergenza con mire ottiche

Consistono nel determinare la variazione in valore assoluto della distanza di uno o più punti di misura posizionati sulle pareti (opposte) del cavo oppure sul fronte di avanzamento (misure di estrusione).

I punti di misura sono costituiti da mire ottiche reticolate traggurate mediante un teodolite o distanziometro.

La misura si effettua come una normale triangolazione di precisione.

L'elaborazione dei dati consente di risalire alla deformata del profilo di scavo ed agli spostamenti del fronte, nonché di valutarne l'evoluzione nel tempo

### 10.1.2 Misure di deformazione (strain gauges: estensimetri per metallo "centina")

Consistono nella misura delle deformazioni che avvengono nelle centine e della loro evoluzione nel tempo.

Gli estensimetri sono del tipo a corda vibrante e vengono collegati ad una centralina di misura.

L'installazione va effettuata in più punti all'interno del rivestimento.

Gli estensimetri devono essere saldati a coppie, nell'anima della centina, in direzione tangenziale alla superficie della galleria immediatamente prima del montaggio della centina e devono essere protetti dal getto dello spritz beton.

### 10.1.3 Determinazione del carico agente sulla struttura "centina" (celle di carico)

Le celle di carico servono per registrare i carichi, si compongono di un corpo cilindrico in acciaio e di una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico. Vengono utilizzate per garantire la sicurezza di opere di sostegno sia provvisorie che permanenti e servono per registrare i carichi a cui sono sottoposte. Si prevede l'impiego di celle di carico per centine installate al piede della centina. A queste è collegato un trasduttore elettrico a cui si collega una centralina per la registrazione del dato. Misura la variazione di carico che la struttura sopporta nei punti di misura

### 10.1.4 Misure di estrusione del fronte di scavo

Consentono di rilevare in continuo gli spostamenti assiali relativi di una serie di basi di misura.

Le misure vengono effettuate in un tubo in ABS o PVC munito di appositi punti di riscontro posti a distanza di 1 m l'uno dall'altro, che vengono resi solidali con il terreno circostante tramite un'iniezione di malta espansiva.

Le misure delle variazioni di distanza tra le coppie di punti adiacenti vengono effettuate mediante una sonda removibile, durante l'inserimento nel foro. La differenza tra la lettura di zero e le successive permette di ricavare per differenza gli spostamenti.

### 10.1.5 Misure di deformazione (estensimetri da calcestruzzo)

Consistono nella misura delle deformazioni che avvengono nei rivestimenti definitivi e della loro evoluzione nel tempo. Gli estensimetri sono del tipo a corda vibrante e vengono collegati ad una centralina di misura. L'installazione va effettuata in più punti all'interno del rivestimento. Gli estensimetri devono essere montati a coppie in direzione tangenziale alla superficie della galleria prima del getto del rivestimento definitivo.



## 10.2 Misure dall'esterno del cavo

### 10.2.1 Misure assestometriche

Consistono nel determinare le deformazioni indotte nei terreni di copertura della galleria a seguito dello scavo. L'assestometro è costituito da una serie di barre a diversa lunghezza installate e rese solidali con il terreno in un foro di sondaggio realizzato dal piano campagna. Le misure di spostamento sono effettuate per mezzo di un comparatore meccanico. La precisione è 0.25% del fondo scala.

### 10.2.2 Misure topografiche

Consistono nel determinare in concomitanza con lo scavo delle gallerie le variazioni di quota di punti ubicati sul piano campagna.

I capisaldi dovranno presentare, ben visibile sulla parte superiore, una borchia metallica con l'indicazione del numero del vertice o caposaldo ed una testa emisferica per la battuta topografica.

La borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettro-saldatura ad una barra di ferro ad aderenza migliorata di idonea lunghezza, in modo da renderla solidale al terreno (infissione-cementazione). Le misure sono effettuate attraverso una livellazione topografica e triangolazione di precisione. La precisione è 0,1 mm.

### 10.2.3 Misure inclinometriche

Consistono nel determinare il decorso, nel tempo, degli spostamento del terreno nell'intorno della galleria in seguito allo scavo.

Le misure sono effettuate mediante una sonda inclinometrica fatta scorrere in un tubo scanalato reso solidale con il terreno all'interno di un foro di sondaggio. La precisione è 0.1 mm/m.

### 10.2.4 Misure inclinometriche con sistemi automatici

Consistono nel determinare il decorso, nel tempo, degli spostamento del terreno nell'intorno della galleria in seguito allo scavo o per interferenze con aree in frana.

Le misure sono effettuate mediante l'installazione di catene inclinometriche attrezzate con sensori accelerometrici, progettate per monitorare movimenti nel terreno e/o le deformazioni di strutture. Le misure sono effettuate automaticamente con un temporizzazione definita dall'utente. Ogni misura è inviata da remoto al database centrale per l'elaborazione e la restituzione dei dati. Ogni catena inclinometrica può essere personalizzata con sensori di diverso tipo per raccogliere dati di differente natura. Possono essere installati sensori di spostamento ad alta risoluzione per le strutture civili, insieme a: sensori di temperatura, sensori per monitorare la pressione atmosferica e sensori piezometrici per monitorare il livello di falda nel sottosuolo. Lo strumento è costituito da una catena con nodi diversi, che contengono i sensori richiesti.

La sensibilità può essere o di 0.1mm/m o di 0.01mm/m e accuratezza rispettivamente di 0.2mm/m o di 0.02mm/m.

### 10.2.5 Misure estenso - inclinometriche

Consistono nel determinare, nel tempo, gli spostamento del terreno, secondo tre direzioni tra di loro ortogonali, nell'intorno della galleria in seguito allo scavo.

Le misure sono effettuate mediante una sonda estenso-inclinometrica fatta scorrere in un apposito tubo minuto di ancoraggi posti a distanza di 1 m l'uno dall'altro. Il tubo è reso solidale con il terreno all'interno di un foro di sondaggio che non deve scostarsi più di 3° dalla verticale. La precisione della funzione



estensimetrica è pari a 0.003 mm/m. La precisione della funzione inclinometrica è di 0.05 mm/m.

#### 10.2.6 Misure della pressione interstiziale e del livello di falda

Consistono nella determinazione della pressione interstiziale nel terreno.

Le misure sono effettuate mediante piezometri installati in foro: a tubo aperto, del tipo Casagrande, o muniti di celle (elettriche, a corda vibrante, pneumatiche).

La precisione è 0.2 - 0.5% del fondo scala.

La scelta del tipo di piezometro è strettamente vincolata alla natura del terreno.

#### 10.2.7 Misure multiparametriche (colonna DMS)

La colonna multiparametrica permette la rilevazione differenziale delle principali grandezze fisico/meccaniche del terreno e delle strutture in 2/3 dimensioni, in grado di operare rilevazioni continue e contestuali dell'inclinometria, piezometria, temperatura, assestimetria, accelerazione all'interno dello stesso foro, consentendo oltre alla migliore correlabilità dei parametri geotecnici, anche una sensibile riduzione dei costi strumentali e di perforazione di sondaggio. La colonna DMS è una sorta di "spina dorsale" del mezzo in esame, che viene introdotta nel terreno mediante foro di sondaggio, composta da un insieme di moduli rigidi sensorizzati collegati da speciali giunti aventi 2-3 gradi di libertà, tali da copiare qualsiasi deformazione conservando la direzione azimutale. E' dotata di sensoristica gestita in digitale che trasferisce il dato all'unità di controllo, posta in superficie, la quale provvede in tempo reale alla trasmissione dei dati all'utente finale e alla sala di monitoraggio.

### **10.3 Monitoraggio in corso d'opera**

#### 10.3.1 Misure dall'interno del cavo

Nel Piano di monitoraggio dovranno essere individuate delle sezioni strumentate/stazioni di misura che, nelle varie tratte da analizzare, forniranno i dati necessari per le decisioni operative da assumere durante l'esecuzione dei lavori.

A tale scopo l'analisi strumentale, corredata dalle osservazioni e dai controlli che saranno condotti contestualmente nei riguardi delle condizioni geotecniche dovrà consentire di valutare i seguenti parametri:

- luce libera di scavo;
- convergenza totale del cavo;
- gradiente di deformazione;
- stabilità dei fronti di scavo.

In linea generale le stazioni di misura per il rivestimento provvisorio sono:

- Stazioni fondamentali;
- Stazioni principali;
- Stazioni secondarie;

In linea generale le stazioni di misura per il rivestimento definitivo sono:

- Stazioni principali;
- Stazioni secondarie;

Resta sottinteso che ogni Progetto di Monitoraggio dovrà essere verificato ed approvato dalla D.L. I sistemi di lettura sono di tipo manuale e automatico in funzione della strumentazione. La distribuzione dei dati dovrà avvenire in formato digitale, all'occorrenza anche in formato cartaceo.

Tutti i preposti alla realizzazione dell'Opera (Impresa, Progettista, D.L., Committente, ecc...) dovranno avere la possibilità di accedere alla idonea e dedicata piattaforma di dati da qualsiasi postazione informatica con password



dedicata e tutela delle informazioni.

#### 10.3.2 Rivestimento provvisorio

##### – Stazioni fondamentali

La stazione fondamentale dovrà permettere di valutare, analizzare e controllare il comportamento del terreno nell'intorno del cavo, durante tutte le fasi di lavoro, prima, durante e dopo il passaggio del fronte di scavo sulla stessa stazione di misura, fino al completamento della galleria.

La messa in opera degli strumenti all'interno del cavo verrà eseguita immediatamente dopo il passaggio del fronte di scavo con lettura immediata di zero». La stazione sarà composta nel seguente modo:

- n. 7 mire ottiche;
- n. 2 celle di carico idrauliche installate al di sotto del piede delle centine;
- n. 7 deformometri (coppia di barrette estensimetriche);
- n. 1 catena di convergenza.

##### – Stazioni principali

La stazione sarà di norma così composta:

- n. 7 mire ottiche;
- n. 2 celle di carico idrauliche -installate al di sotto del piede delle centine;
- n. 7 deformometri (coppia di barrette estensimetriche).

##### – Stazioni secondarie

La stazione sarà di norma così composta:

- n. 7 mire ottiche.

#### 10.3.3 Rivestimento definitivo

##### – Stazioni principali

La stazione sarà di norma così composta:

- n. 5 mire ottiche;
- n. 10 deformometri (coppia di barrette estensimetriche).

#### 10.3.4 Monitoraggio del fronte di scavo

La stazione dovrà essere, di norma, così composta:

- n. 1 estensimetro per le misure di estrusione del fronte di scavo, di lunghezza 28 m, con punti di misura ogni metro, inserito in posizione orizzontale al fronte, in mezzera della sezione, a 7 m di distanza dal fondo dello scavo, immediatamente dopo l'eventuale intervento di stabilizzazione, in direzione parallela all'asse della galleria;
- n. 1 perforazione a distruzione di nucleo con DAC TEST, di lunghezza 28 m; all'interno del foro sarà alloggiato l'estensimetro di cui sopra.

### **10.4 Interpretazione e verifica in corso d'opera**

In corso d'opera dovrà essere sistematicamente analizzata e documentata, sulla base dei rilievi tenso-deformativi, della valutazione della situazione geologica e geotecnica (geo- meccanica), nonché in funzione delle lavorazioni condotte secondo le fasi e le cadenze stabilite in progetto, la corrispondenza con le ipotesi progettuali (c.d. Metodo Osservazionale, NTC2018).

L'elaborazione dei dati e la loro interpretazione dovrà condurre ad una verifica delle condizioni previste in progetto e ad una taratura degli interventi attribuiti



alle singole sezioni di scavo. A tal fine i monitoraggi dovranno consentire di:

- determinare l'appartenenza o meno di una particolare condizione del terreno ad una categoria di comportamento del fronte di scavo;
- verificare che i livelli di deformazione, di luce libera di scavo, di gradiente di deformazione e di stabilità del fronte siano corrispondenti a quelli definiti in progetto per le classi stesse;
- decidere, in tempi cantieristicamente accettabili, gli eventuali provvedimenti operativi da assumere in seguito alle misurazioni.

Gli obiettivi, la frequenza del posizionamento delle sezioni, la frequenza delle letture e la durata di installazione e lettura delle singole stazioni sono indicate con dettaglio negli elaborati di progetto.

## **11 Prove e controlli**

### **11.1 Disposizioni generali**

La seguente specifica si applica ai vari tipi di lavorazione connessa con la costruzione di gallerie. La documentazione di riferimento comprende tutta quella contrattuale e, più specificatamente, quella di progetto quali disegni, specifiche tecniche, ecc.; sono altresì comprese tutte le norme tecniche vigenti in materia. La procedura delle prove di seguito specificata, deve ritenersi come minima e dovrà essere incrementata in ragione della difficoltà e importanza dell'opera.

L'Impresa è obbligata comunque ad organizzare per proprio conto, con personale qualificato ed attrezzature adeguate, approvate dalla DL, un laboratorio di cantiere in cui si procederà ad effettuare tutti gli ulteriori accertamenti di routine ritenuti necessari dalla DL, per la caratterizzazione dei materiali incontrati negli scavi.

### **11.2 Scavi a cielo aperto**

Nel corso dei lavori, al fine di verificare la rispondenza della effettiva situazione geotecnica-geomeccanica con le ipotesi progettuali, la DL, in contraddittorio con l'Impresa, dovrà effettuare la determinazione delle caratteristiche del terreno o roccia sul fronte di scavo.

#### a) Prove di laboratorio

Le caratteristiche dei materiali saranno accertate mediante le seguenti prove di laboratorio:

#### Terre:

- analisi granulometrica;
- determinazione del contenuto naturale di acqua;
- determinazione del limite liquido e dell'indice di plasticità, nell'eventuale porzione di passante al setaccio 0,4 UNI 2332;
- eventuale determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio.

#### Rocce:

- resistenza a compressione monoassiale;

In presenza di terreni dal comportamento intermedio tra quello di una roccia e quello di una terra, le suddette prove potranno essere integrate al fine di definire con maggior dettaglio la reale situazione geotecnica.

La frequenza delle prove dovrà essere effettuata come segue:

- ogni 500 mc di materiale scavato e ogni 5 m di profondità avanzamento dello scavo;



- in occasione di ogni cambiamento manifesto delle caratteristiche litologiche e/o geomeccaniche;
  - ogni qualvolta richiesto dalla DL.
- b) Prove in sito Terre

Si dovrà rilevare l'effettivo sviluppo della stratificazione presente, mediante opportuno rilievo geologico-geotecnico che consenta di identificare le tipologie dei terreni interessati, con le opportune prove di identificazione.

#### Rocce

Si dovrà procedere al rilevamento geologico-geomeccanico, al fine di identificare la litologia presente e la classe geomeccanica corrispondente mediante l'impiego di opportune classificazioni, nonché l'individuazione della orientazione e delle caratteristiche delle discontinuità presenti.

Per tali rilievi, si ritengono valide le indicazioni riportate negli elaborati di progetto. Si dovranno effettuare tutte le prove necessarie allo scopo.

Si dovrà in ogni caso verificare la rispondenza delle pendenze e delle quote di progetto, con la frequenza necessaria al caso in esame. Le risultanze di tali determinazioni dovranno essere supportate da apposito verbale e mediante l'ausilio di un opportuno rilievo lito-stratigrafico.

### **11.3 Scavi a foro cieco**

Nel corso dei lavori, al fine di verificare la rispondenza della effettiva situazione geotecnica-geomeccanica con le ipotesi progettuali, la DL, in contraddittorio con l'Impresa, dovrà effettuare la determinazione delle caratteristiche del terreno o roccia sul fronte di scavo.

Le caratteristiche dei materiali saranno accertate mediante le seguenti prove di laboratorio:

#### Terre:

- analisi granulometrica;
- determinazione del contenuto naturale di acqua;
- determinazione del limite liquido e dell'indice di plasticità, nell'eventuale porzione di passante al setaccio 0,4 UNI 2332;
- eventuale determinazione delle caratteristiche di resistenza al taglio.

#### Rocce:

- resistenza a compressione monoassiale;
- resistenza indiretta a trazione con prove di tipo brasiliana.

In presenza di terreni dal comportamento intermedio tra quello di una roccia e quello di una terra, le suddette prove potranno essere integrate al fine di definire con maggior dettaglio la reale situazione geotecnica.

In sito nel caso di terreni si dovrà procedere al rilievo dell'effettivo sviluppo della stratificazione presente, mediante opportuno rilievo geologico-geotecnico che consenta di identificare le tipologie dei terreni interessati, con le opportune prove di identificazione.

Nel caso di ammassi rocciosi si dovrà procedere al rilevamento geologico-geomeccanico del fronte, al fine di identificare la litologia presente e le reali situazioni incontrate mediante l'impiego di opportune classificazioni tecniche, là dove applicabili.

Per tali rilievi, si ritengono valide le indicazioni riportate nella sezione "sondaggi e prove in sito" del presente Capitolato e negli elaborati di progetto.

Nel caso di ammassi a comportamento intermedio tra quello di una roccia e



quello di un terreno, le suddette metodologie dovranno essere integrate.

Le risultanze di tali determinazioni dovranno essere supportate da apposito verbale e mediante l'ausilio di un opportuno rilievo stratigrafico.

La frequenza delle prove e dei rilievi dovrà essere indicata in sede di apposito piano di monitoraggio in galleria.

Le prove dovranno comunque essere effettuate:

- all'inizio dei lavori da ciascun imbocco;
- in occasione di ogni cambiamento manifesto delle caratteristiche litologiche e/o geomeccaniche;
- ogni campo di scavo e comunque ogni 8 m di avanzamento;
- ogni qualvolta richiesto dalla DL.

#### **11.4 Centine metalliche, reti di acciaio a maglie elettrosaldate e scalette di rinforzo**

Ogni lotto di materiale impiegato dovrà essere accompagnato dai relativi certificati attestanti la conformità alla normativa vigente. I materiali sprovvisti dei suddetti certificati non potranno essere posti in opera. In corso d'opera si dovrà verificare il corretto posizionamento dell'armatura e la sua corrispondenza con i disegni di progetto, nonché la corretta esecuzione delle giunzioni. La DL potrà effettuare saggi e prove a sua discrezione sui materiali impiegati. Tali prove saranno a cura dell'Impresa.

#### **11.5 Conglomerato cementizio spruzzato**

Per quanto concerne le prove e controlli sui conglomerati spruzzati si faccia riferimento al Capitolato "Calcestruzzi e acciai per cemento armato".

Il conglomerato cementizio, dovrà comunque presentare una  $R_{ck} \geq 30$  MPa dopo 28 giorni, con una resistenza media a compressione monoassiale, dopo 48 ore dalla posa in opera, determinata su quattro campioni, che dovrà risultare non inferiore ai 14 MPa.

#### **11.6 Conglomerato cementizio spruzzato fibrorinforzato**

In corso d'opera si procederà al controllo della quantità di fibra immessa mediante prelievo alla bocca della betoniera di tre campioni di conglomerato di volume predeterminato da cui estrarre le fibre riportandone il peso effettivo a quello teorico. Si dovrà verificare che le fibre soddisfino alle prescrizioni riportate nel punto 6.2.2 del presente Capitolato e che per ogni lotto di fibre, questo sia dotato dei corrispondenti certificati richiesti per il materiale costituente le fibre.

In caso contrario il materiale non potrà essere posto in opera.

Il contenuto di fibre nella miscela dovrà essere determinato dalla media dei valori ricavati sui tre campioni, mediante separazione per lavaggio.

Nel caso si verifichi uno scostamento medio rispetto al quantitativo teorico in meno, non superiore al 10%, verrà applicata una penale; qualora lo scostamento fosse superiore al 10% il conglomerato sarà considerato non rinforzato.

Si dovrà verificare che lo strato superficiale del conglomerato cementizio spruzzato, per uno spessore di 3 cm, dovrà essere steso senza impiego di fibre d'acciaio, nel caso di presenza di manto di impermeabilizzazione, allo scopo di evitare possibili danni alla guaina stessa.

Le caratteristiche del conglomerato cementizio proiettato fibrorinforzato, dovranno essere verificate attraverso le seguenti prove:

- resistenza a compressione monoassiale;



- prova di assorbimento di energia.

Il conglomerato cementizio spruzzato fibrorinforzato, dovrà presentare una Rck  $\geq$  30 MPa dopo 28 giorni, con una resistenza media a compressione monoassiale, dopo 48 ore dalla posa in opera, determinata su quattro campioni, che dovrà risultare non inferiore ai 14 MPa.

### **11.7 Conglomerato cementizio gettato in opera**

Il conglomerato cementizio gettato in opera dovrà soddisfare le prescrizioni ed i controlli previsti dalla normativa vigente per le opere di conglomerato cementizio e quanto riportate al punto 7.1 del presente Capitolato e nello specifico Capitolato "calcestruzzi e acciai per CA".

Prima della posa in opera dei teli dell'impermeabilizzazione e del getto dei rivestimenti definitivi, la DL verificherà che il profilo di intradosso coincida con il profilo previsto in progetto attraverso l'esecuzione di rilievi laser scanner 3D. Il getto del rivestimento definitivo verrà autorizzato dalla DL solo dopo che il rilievo con laser scanner abbia dato riscontro positivo.

Analogamente, una volta gettato il rivestimento definitivo, la DL predisporrà prospezioni georadar allo scopo di esaminare lo spessore dei rivestimenti definitivi gettati e individuare eventuali discontinuità e anomalie negli stessi. Qualora i rilievi evidenziassero anomalie, l'impresa dovrà provvedere a sue spese al riempimento dei vuoti o delle cavità.

La DL potrà richiedere l'esecuzione di eventuali prove aggiuntive per verificare le caratteristiche del calcestruzzo posto in opera, tali prove sono a cura dell'Impresa.

### **11.8 Drenaggi**

Si dovrà verificare che i materiali impiegati siano dotati dei certificati richiesti dal presente Capitolato, e che questi soddisfino le prescrizioni richieste.

Nel caso in cui i materiali non soddisfacessero i predetti requisiti, questi dovranno essere allontanati dal cantiere e sostituiti con altri aventi i predetti requisiti.

Nel caso in cui questi siano già stati posti in opera, dovranno essere rimossi e sostituiti con altri idonei.

In corso d'opera si dovrà verificare il corretto posizionamento plano-altimetrico dei tubi costituenti le canalette di raccolta, con frequenza giornaliera, o ogni lotto di lavoro se di durata inferiore.

Si dovrà verificare che le dimensioni del diametro delle perforazioni dei tubi drenanti, sia quella prevista in progetto, così come la lunghezza della perforazione.

Si dovrà verificare che il foro sia perfettamente pulito, prima della posa in opera del tubo drenante.

Tali controlli dovranno essere effettuati ogni 50 tubi posti in opera.

La DL potrà in ogni caso ordinare che vengano sottoposti ad ulteriori prove di controllo i suddetti materiali, per accertarne le loro caratteristiche e la validità della posa in opera.

Tali controlli sono a cura dell'Impresa.

### **11.9 Impermeabilizzazione**

Per quanto riguarda i materiali questi dovranno soddisfare i requisiti che sono riportati al punto 8.1 del presente Capitolato, per ogni lotto di fornitura.





Nel caso che i materiali non soddisfacessero i predetti requisiti, questi dovranno essere allontanati dal cantiere e sostituiti con altri aventi i predetti requisiti.

Nel caso in cui questi siano già stati posti in opera, dovranno essere rimossi e sostituiti con altri idonei.

Il tutto a cura e spese dell'Impresa.

Per quanto riguarda i geotessili, si dovranno effettuare i controlli riportati nella Capitolato "Movimenti di Terra".

Si dovrà inoltre verificare che questi siano posti in opera correttamente secondo le prescrizioni riportate nel punto 8.1 del presente Capitolato.

Si dovrà verificare che le venute d'acqua più consistenti siano opportunamente convogliate.

Si dovrà verificare che le parti metalliche sporgenti, siano opportunamente ricoperte con betoncino proiettato.

Si dovrà inoltre verificare che le guaine in PVC siano poste in opera correttamente e con le volute sovrapposizioni secondo le prescrizioni riportate nel punto 8.1 del presente Capitolato.

I giunti di saldatura, realizzati mediante termosaldatura, dovranno essere verificati in ragione di almeno una prova ogni 10 giunti, o frazione di 10 e ciascuna prova dovrà essere verbalizzata.

Nel caso in cui la prova dia esito negativo, l'Impresa dovrà provvedere, a sua cura e spese, al rifacimento delle saldature difettose, eventualmente anche con sostituzione delle guaine compromesse.

Tuttavia, la DL potrà sottoporre a prove tutti i giunti, senza che per questo l'Impresa stessa possa reclamare alcun compenso.

La DL potrà in ogni caso ordinare che vengano sottoposti ad ulteriori prove di controllo i suddetti materiali, per accertarne le loro caratteristiche e la validità della posa in opera.

### **11.10 Preconsolidamento del fronte di scavo**

Per quanto riguarda il materiale questi dovranno soddisfare i requisiti che sono riportati nel punto 5.1 del presente Capitolato, che dovranno essere documentati da idonea certificazione del produttore per ogni lotto di materiale posto in opera.

Qualora i materiali non soddisfacessero i predetti requisiti, questi dovranno essere allontanati dal cantiere e sostituiti con altri aventi i predetti requisiti.

Il tutto a cura e spese dell'Impresa.

L'esecuzione di ogni trattamento di preconsolidamento con elementi di rinforzo in vetro- resina, sarà documentato mediante compilazione da parte dell'Impresa, in contraddittorio con la DL, di una apposita scheda contenente le seguenti registrazioni:

- identificazione di ciascun tubo, con riferimento alla sezione tipo di progetto;
- data di esecuzione delle perforazioni e delle relative iniezioni;
- lunghezza di ciascun tubo;
- assorbimento di miscela nell'iniezione di ciascun tubo;
- eventuale additivo impiegato.

Durante il rilevamento si dovrà verificare che la posa in opera del trattamento sia tale da soddisfare le tolleranze prescritte da questo Capitolato, e la richiesta sovrapposizione prevista in progetto.



Nel corso delle operazioni di iniezione, si dovranno prelevare campioni della miscela di iniezione, almeno ogni 50 tubi posti in opera, e comunque con frequenza giornaliera, per eseguire le prove definite nello studio preliminare di qualificazione della stessa miscela. Per consentire l'effettuazione delle prove previste in tempi congruenti con le esigenze di avanzamento dei lavori, l'Impresa dovrà disporre di uno o più laboratori attrezzati, in cantiere e/o all'impianto di confezionamento.

Sulle armature poste in opera, dovranno essere effettuate delle prove di strappo, per verificare la validità delle prescrizioni progettuali e della bontà della posa in opera.

Tali prove, dovranno essere effettuate in numero minimo di una prova ogni 300 chiodi posti in opera, e comunque ogni 50 m di avanzamento dello scavo.

La DL potrà in ogni caso ordinare che vengano sottoposti ad ulteriori prove di controllo i materiali costituenti l'elemento di rinforzo, il tutto a cura dell'Impresa.

### **11.11 Iniezioni**

In sede di prequalifica, le miscele confezionate in cantiere dovranno essere sottoposte alle seguenti prove, ricavando 10 provini da tre impasti di prova consecutivi:

- composizione e rapporto acqua/cemento;
- peso specifico;
- viscosità Marsh;
- viscosità apparente (Rheometer);
- pressofiltrazione;
- tempo di presa;
- decantazione;
- dati per la identificazione dei campioni prelevati per le successive prove di laboratorio (resistenza a compressione monoassiale, permeabilità).

I materiali dovranno soddisfare le indicazioni previste dal presente Capitolato, nonché essere compatibili con la situazione ambientale.

L'esecuzione dei trattamenti sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Impresa, in contraddittorio con la DL, di una apposita scheda sulla quale si registreranno i seguenti dati:

- progressiva del trattamento misurata dall'imbocco della galleria;
- individuazione di ciascun punto di iniezione;
- per ogni punto di iniezione:
- data di inizio e termine della perforazione, nonché le sue modalità;
- profondità di perforazione, lunghezza e lunghezza del tubo di iniezione e sue caratteristiche;
- numero delle valvole di iniezione;
- per ogni valvola di iniezione, i seguenti parametri di iniezione assegnati in sede progettuale:
  - volume massimo  $V_{max}$  (litri);
  - portata (litri/min);
  - eventuale pressione massima  $p_{max}$ .

In relazione ai diversi tipi di comportamento del terreno:

- pressione iniziale di rottura della valvola  $p_0$  (bar);
- pressione al termine dell'iniezione  $p_{fim}$ ,  $p_{creack}$ ,  $p_{rif}$  (bar);
- assorbimento di miscela  $V_{in}$  (litri);



- tempo di iniezione (t);
- portata (litri/min) dell'eventuale iniezione di IIa fase;
- pressione iniziale e finale dell'eventuale iniezione di IIa fase;
- tipi e quantità degli additivi acceleranti ed antiritiro impiegati;
- caratteristiche della miscela utilizzata:
  - composizione;
  - peso specifico;
  - viscosità Marsh;
  - decantazione;
  - dati per la identificazione dei campioni prelevati per le successive prove di laboratorio (resistenza a compressione monoassiale).

Per ogni lotto di materiale impiegato (tubi a valvola e guaine), si dovranno verificare i certificati corrispondenti alle specifiche richieste nel presente Capitolato.

In caso contrario il materiale non potrà essere posto in opera, e dovrà essere sostituito con materiale idoneo.

La DL potrà in ogni caso ordinare che vengano sottoposti ad ulteriori prove di controllo i materiali impiegati, il tutto a cura dell'Impresa.

Si dovrà verificare che la posizione planimetrica delle perforazioni soddisfi le tolleranze richieste, nonché la avvenuta pulizia del foro da detriti.

In sede esecutiva, i controlli, a cura e spese dell'Impresa, eseguiti in contraddittorio con la Direzione Lavori e con la frequenza di seguito indicata, dovranno essere finalizzati a verificare le congruenze dei risultati conseguiti con le tolleranze ammesse e le soglie minime di resistenza.

Lo spessore dello strato di terreno consolidato, la sua resistenza a compressione e l'R.Q.D., dovranno essere accertati mediante carotaggi a rotazione continua con batteria di aste e doppio carotiere tipo T2 e/o T6S con corone diamantate di diametro nominale 100 mm, con la frequenza di almeno tre carotaggi per ogni 10 m di galleria preconsolidata.

I carotaggi dovranno essere eseguiti dopo l'applicazione del rivestimento di prima fase in conglomerato cementizio spruzzato, posizionandoli nei punti scelti dalla Direzione Lavori con andamento radiale rispetto all'asse della galleria e dovranno essere spinti per l'intero spessore dello strato di terreno consolidato fino a penetrare nel terreno naturale.

Le carote estratte devono essere custodite con cura in apposite cassette catalogatrici.

In questa fase dovrà essere determinato l'indice R.Q.D. (Indice di Recupero Modificato) espresso come percentuale di recupero del carotaggio tenendo conto dei soli spezzoni di carota di lunghezza 100 mm.

Da ogni carota verranno selezionati alcuni spezzoni da sottoporre a prove di resistenza a compressione semplice con rilievo della curva sforzi-deformazioni nei diversi tempi di maturazione, ed in particolare per i tempi di maturazione corrispondenti a quelli dell'effettivo utilizzo del lavoro.

La resistenza a compressione monoassiale, verrà determinata come la media dei risultati ottenuti su quattro provini.

In alternativa alla realizzazione di perforazioni a carotaggio per il recupero del materiale, ai fini delle determinazioni di cui sopra potranno essere utilizzati metodi basati su controlli indiretti mediante prove Cross-Hole o carotaggi sonici da effettuarsi prima e dopo il trattamento colonnare al fine di verificare il



raggiungimento delle caratteristiche di progetto.

La DL potrà in ogni caso ordinare che si proceda ad ulteriori prove di controllo, il tutto a cura e spese dell'Impresa.

### 11.12 Infilaggi

I materiali costituenti il singolo infilaggio dovranno essere certificati dal produttore, in modo da soddisfare le indicazioni riportate nel presente Capitolato.

Nel caso in cui non siano dotati delle suddette certificazioni, il materiale non potrà essere posto in opera.

Per quanto riguarda la miscela di iniezione si ritengono valide le indicazioni riportate nel Capitolato "Opere d'arte minori - Opere di consolidamenti, reti e Protezione".

L'esecuzione di ogni singolo infilaggio sarà documentata mediante la compilazione da parte dell'Impresa in contraddittorio con la Direzione Lavori di una apposita scheda sulla quale si registreranno i dati seguenti:

- identificazione dell'infilaggio;
- data di inizio perforazione e termine iniezione, nonché sue modalità;
- profondità della perforazione, con inizio e fine tratto armato;
- assorbimento totale effettivo di miscela di iniezione e sue caratteristiche.

Si dovrà verificare che ogni singolo elemento posto in opera soddisfi le tolleranze richieste.

La DL potrà in ogni caso ordinare che vengano sottoposti ad ulteriori prove di controllo, per accertarne le loro caratteristiche e la validità della posa in opera.

## 12 Norme per la misurazione e contabilizzazione dei lavori

### 12.1 Generalità

La Direzione dei Lavori potrà procedere in qualunque momento all'accertamento ed alla misurazione delle opere compiute: l'Impresa metterà a disposizione tutto il personale, i materiali e le attrezzature necessarie per le operazioni di tracciamento e misura dei lavori, né potrà senza autorizzazione scritta della Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza, distruggere o rimuovere capisaldi o eliminare le tracce delle operazioni effettuate, anche se terminate.

Ove l'Impresa non si prestasse a eseguire in contraddittorio tali operazioni, gli sarà assegnato un termine perentorio, scaduto il quale, i maggiori oneri che si dovranno per con sequenza sostenere gli verranno addebitati; in tal caso, inoltre, l'Impresa non potrà avanzare alcuna richiesta per eventuali ritardi nella contabilizzazione o nell'emissione dei certificati di pagamento.

Resta stabilito, che sia per i lavori compensati a corpo che per quelli compensati a misura, l'Impresa ha l'onere contrattuale di predisporre in dettaglio tutti i disegni contabili delle opere realizzate e delle lavorazioni eseguite con l'indicazione (quote, prospetti e quant'altro necessario) delle quantità, parziali e totali, nonché con l'indicazione delle relative operazioni aritmetiche e degli sviluppi algebrici necessari alla individuazione delle quantità medesime, di ogni singola categoria di lavoro attinente l'opera o la lavorazione interessata.

Detti disegni contabili, da predisporre su supporto informatico e da tradurre, in almeno duplice copia su idoneo supporto cartaceo, saranno obbligatoriamente



consegnati tempestivamente alla Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza per il necessario preventivo controllo e verifica da effettuare sulla base delle misurazioni, eseguite in contraddittorio con l'Impresa, durante l'esecuzione dei lavori.

Tale documentazione contabile è indispensabile per la predisposizione degli Stati di Avanzamento Lavori e per l'emissione delle relative rate d'acconto, secondo quanto stabilito in merito per i pagamenti.

La suddetta documentazione contabile resterà di proprietà dell'Amministrazione committente.

Si precisa che:

- i lavori compensati a "misura" saranno liquidati secondo le misure geometriche, o a numero, o a peso, così come rilevato dalla Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza in contraddittorio con l'Impresa durante l'esecuzione dei lavori.
- I lavori da compensare "a corpo" saranno controllati in corso d'opera, a discrezione della Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza attraverso le misure geometriche, a peso, a numero, e confrontate con le quantità rilevabili dagli elaborati grafici facenti parte integrante ed allegati al Contratto d'Appalto, le determinazioni sopra riportate saranno messe in relazione con le aliquote riportate nella tabella di percentualizzazione delle opere a corpo, al fine di determinare l'aliquota di avanzamento.

Per la predisposizione degli Stati d'Avanzamento Lavori e per l'emissione delle relative rate d'acconto, il corrispettivo da accreditare nei S.A.L. è la parte percentuale del totale del prezzo a corpo risultante da tale preventivo controllo, oltre le prescritte trattenute di Legge e le relative risultanze negative (detrazioni) scaturite a seguito del Collaudo in corso d'opera.

A completamento avvenuto di tutte le opere a corpo, risultante da apposito Verbale di constatazione redatto in contraddittorio con l'Impresa, la Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza provvederà, con le modalità stabilite, al pagamento del residuo, deducendo le prescritte trattenute di Legge e le eventuali risultanze negative scaturite dalle operazioni e dalle verifiche effettuate dalla Commissione di Collaudo in corso d'opera.

## 12.2 Scavi

Nel compenso dello scavo in galleria, da eseguirsi in base al tipo di sezione stabilito, tratto per tratto nei disegni esecutivi, sono compresi eventuali maggiori volumi dovuti ad irregolarità delle pareti di scavo, ovvero a cavità di qualunque specie, esistenti o formatesi durante la esecuzione dei lavori. In ogni caso la misurazione e la contabilizzazione dei volumi di scavo, sarà effettuata determinando le relative quantità teoriche desumibili dalle sezioni tipo di progetto, non saranno in nessun caso riconosciuti sopra scavi o fuori sagoma che dovessero eccedere il volume teorico della sezione tipo.

Lo sgombrò di materiale eventualmente franato verrà compensato a parte solo eccezionalmente, nel caso di franamenti o cedimenti non imputabili a deficienza di armature, e comunque non dovuti a negligenza od inesperienza dell'Impresa.

Il prezzo dello scavo in galleria comprende, oltre agli oneri relativi agli scavi in genere, anche quelli inerenti allo specifico tipo di lavoro; tra questi, a titolo



esemplificativo, si intendono compresi gli oneri per armature provvisorie di qualsiasi tipo recuperate o perse, per i provvedimenti conseguenti a venute di gas, per gli aggettamenti necessari, per la raccolta dietro le murature di rivestimento della calotta e dei piedritti delle acque di infiltrazione e di sorgenti incontrate nell'escavazione delle gallerie ed il loro convogliamento in apposite cunette, per eventuali trovanti rinvenuti in terreni sciolti, intendendo tale dizione generica comprensiva di tutto quanto necessario per rendere possibile la regolare esecuzione degli scavi in galleria anche in presenza di forti portate di acqua di filtrazione o provenienti dallo svuotamento di sacche. Con il prezzo dello scavo sono altresì compensati gli oneri connessi alla necessità di dover cambiare, durante la costruzione della galleria, i vari sistemi di scavo e l'impiego di specifiche attrezzature in rapporto al mutare delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni attraversati e del loro comportamento in relazione alla decompressione dell'ammasso, nonché l'onere relativo alla esecuzione dello scavo ed alla presenza dell'arco rovescio, (compensato con altro prezzo).

Le centine metalliche, i relativi distanziatori e la rete di acciaio a maglie elettrosaldate saranno compensate con i relativi articoli di Elenco Prezzi ed il loro peso sarà determinato con le norme di cui all'articolo di riferimento ovvero determinando analiticamente il peso dei vari elementi prendendo a riferimento il peso specifico dell'acciaio pari a 7850 kg/mc, nel caso in cui il peso registrato nei verbali di pesatura eccedesse il peso teorico determinato analiticamente, sarà riconosciuta esclusivamente una maggiorazione per tolleranze di trafila, fino ad un massimo del 3%. I tiranti in roccia realizzati con barre d'acciaio o con aste in fibra sintetica in conformità alle prescrizioni del progetto ed agli ordini impartiti dalla DL saranno compensati con i relativi articoli di Elenco Prezzi. Come pure saranno compensate a parte con i relativi prezzi di elenco tutte le categorie di lavoro da adottare per conseguire il precontenimento del cavo ed il preconsolidamento del fronte di scavo.

Si precisa che, nel caso di rescissione del contratto di appalto, tutte le armature in opera degli scavi rimarranno di proprietà dell'Ente e non potranno in alcun modo essere asportate.

L'Impresa non potrà pretendere per tali armature alcun compenso, oltre il pagamento dei materiali in base ai prezzi di Elenco a piè d'opera.

L'eventuale prezzo dello scavo in cunicolo con fresa integrale a testa rotante comprende e compensa l'onere della esecuzione, in avanzamento di 30-40 m rispetto alla testa della fresa, di un foro esplorativo del diametro non inferiore a cm 10. Detto prezzo comprende infine tutti gli oneri e soggezioni derivanti da presenza o venuta d'acqua per una portata fino a 5 litri/sec. per le tratte in salita e 4 litri/sec. per quelle in discesa.

Per portate superiori, e per tratte in cui queste effettivamente si verificano, qualora l'onere corrispondente determinato sia superiore al 5% del compenso fissato per lo scavo della galleria verrà riconosciuto, a favore dell'Impresa, un equo compenso, nelle forme e nei modi stabiliti dal Codice Civile.

### **12.3 Calcestruzzo spruzzato**

La misurazione e contabilizzazione dei volumi di calcestruzzo spruzzato sia al contorno che sul fronte di scavo, sarà effettuata secondo gli spessori teorici indicati negli elaborati di progetto, o ordinati di volta in volta dalla Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza.



Nei prezzi di Elenco relativi, si intendono compresi e compensati gli eventuali maggiori oneri derivanti dal riempimento di irregolarità delle pareti di scavo oltre lo spessore teorico, intendendosi che tale riempimento andrà eseguito con lo stesso materiale e la stessa modalità prevista per il rivestimento di calcestruzzo spruzzato. Si specifica che, in ogni caso, non saranno tollerate riduzioni di spessore, dovute a irregolarità delle pareti di scavo, di oltre un terzo dello spessore teorico, e solamente in corrispondenza di singole punte di parete maggiormente sporgente. Nel solo caso di caverne o cavità causate da cedimenti o franamenti non imputabili a deficienza di armatura o, in generale, a negligenza dell'Impresa, sarà eseguito a tergo o al disotto dello spessore ordinato di calcestruzzo spruzzato, un riempimento con calcestruzzo normale che verrà compensato a parte.

Si intendono compresi e compensati con il prezzo d'Elenco tutti gli oneri e sfridi di qualsiasi entità conseguenti al sistema di lavoro.

Si precisa che i prezzi di elenco, relativi alle varie categorie di lavoro in galleria, vanno applicati qualunque sia la lunghezza della galleria e qualunque sia la distanza del fronte di scavo dall'imbocco o dagli imbocchi della galleria stessa.

#### **12.4 Conglomerato cementizio gettato in opera**

Per quanto concerne la contabilizzazione del conglomerato gettato in opera si faccia riferimento al Capitolato "calcestruzzi e acciai per CA".

#### **12.5 Impermeabilizzazione**

L'impermeabilizzazione in sotterraneo con guaine in PVC verrà compensata per i tratti e le superfici ordinate dalla Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza, col corrispondente prezzo di Elenco.

La superficie da contabilizzare sarà ottenuta moltiplicando la lunghezza del tratto rivestito per lo sviluppo del rivestimento stesso, lungo la superficie di separazione fra il priverivestimento di calcestruzzo spruzzato e il rivestimento definitivo; il computo sarà effettuato secondo le dimensioni teoriche stabilite dal progetto esecutivo.

Tutti gli oneri connessi alla strumentazione e controllo tensodeformativo nelle varie fasi realizzative della galleria, sono a totale carico dell'impresa esecutrice sulla base delle previsioni del progetto esecutivo e delle determinazioni della DL sia in fase preventiva che in corso d'opera.

#### **12.6 Drenaggi**

Le profondità che daranno luogo all'applicazione dei prezzi, si misurerà dalla quota inferiore del foro fino alla quota di testa dreno.

#### **12.7 Interventi di consolidamento**

Al fine di determinare gli assorbimenti di malta iniettata, i dispositivi di stoccaggio e iniezione dovranno essere dotati di apposito contalitri. Tali dispositivi dovranno essere dotati di specifico certificato di taratura in corso di validità.

La lettura delle misurazioni avverrà a cura dell'impresa con verifica da parte della Direzione dei Lavori e/o Alta Sorveglianza.

Le misure dovranno avvenire all'inizio e alla fine di ogni turno di lavoro e dovranno essere riportate su specifica scheda con riportato il nominativo e la firma dell'addetto che ha rilevato il dato.

In base ai risultati di tali letture, fermo restando il positivo esito delle verifiche sulla



qualità del prodotto sopra indicate, in sede di contabilità verranno accreditate le relative quantità di miscele con le relative voci di elenco prezzi.

In ogni caso le stesse quantità dovranno essere comprovate dai documenti di trasporto delle singole partite di materiale pervenute in cantiere (cemento, malta espansiva, additivo).

In caso di eventuali incoerenze tra le quantità risultanti dai diversi controlli, verranno accreditate le quantità minori. In nessun modo potranno essere accreditate quantità in assenza dei sopraindicati dati.

### **12.8 Iniezioni**

La misurazione che darà luogo al compenso per gli interventi di iniezione o di impregnazione prenderà a riferimento i quintali di cemento normale iniettato e misurato a secco, in accordo con quanto stabilito nel Capitolato "Opere d'arte minori - Opere di consolidamenti, reti e Protezione".

### **12.9 Perforazioni**

La misurazione corrisponderà alla effettiva lunghezza delle perforazioni effettuate.

## **LINEE GUIDA: MONITORAGGIO GEOTECNICO**

### **1 Premessa**

Le presenti linee guida hanno il fine di orientare il progettista del monitoraggio geotecnico nella stesura della documentazione tecnica da redigere nel rispetto delle norme vigenti e delle condizioni di sicurezza previste dalla stessa.

Per monitoraggio si intende l'esecuzione di misure di grandezze di interesse per





l'ingegneria geotecnica, ripetute nel tempo con strumenti adeguati.

Il monitoraggio, dunque, è a supporto dell'ingegneria geotecnica con la finalità di ridurre il rischio associato al raggiungimento delle condizioni di collasso o alle limitazioni d'uso dell'opera.

La normativa italiana vigente sulle costruzioni (NTC 2018 – par. 6.2.5) impone l'adozione di un piano di controllo e monitoraggio dell'opera in progetto e dà indicazioni generali sugli scopi che il monitoraggio stesso deve avere: pertanto, essa impone che venga istituito un adeguato sistema di monitoraggio del complesso opera-terreno prima, durante e dopo la costruzione del manufatto con i relativi piani di controllo. Sotto quest'ottica, il monitoraggio dell'opera-terreno e/o degli interventi consiste nella misura di grandezze fisiche significative quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali, prima, durante e dopo la costruzione del manufatto attraverso l'installazione di un'appropriata strumentazione e la lettura e l'interpretazione dei dati da essa ricavati.

Il monitoraggio geotecnico così condotto consente di:

- verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali ed i comportamenti del complesso opera-terreno osservati;
- confermare la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, di individuare la più idonea tra altre possibili soluzioni;
- controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo. In sintesi, dunque, il monitoraggio assicura:

- *Supporto alla fase di progettazione mediante la caratterizzazione di un sito.* I parametri più comuni da misurare sono ad esempio i livelli della falda freatica, la permeabilità dei terreni, la resistenza meccanica di ammassi rocciosi e terreni, le deformazioni e gli spostamenti.

- *Sviluppo di analisi di rischio.* La strumentazione può essere usata per sviluppare analisi di rischio e, una volta definiti gli scenari più pericolosi, può dare inizio al processo di messa in sicurezza di un'area (frane, esondazioni, terremoti...etc);

- *Supporto alla costruzione mediante la verifica delle ipotesi progettuali.* Si constata se il comportamento reale è quello previsto e, qualora si sia adottato il metodo osservazionale, si adotta la soluzione più idonea tra quelle progettualmente previste.

- *Miglioramento della qualità del lavoro.* La strumentazione geotecnica può sia migliorare la qualità del lavoro svolto, sia documentare che il lavoro è stato eseguito correttamente.

- *Disponibilità di strumenti aggiuntivi per la protezione legale.* Il monitoraggio può essere usato come strumento di difesa giuridica durante la realizzazione di un'opera da eventuali terze parti che si dichiarano essere danneggiate dalla stessa.

- *Supporto alla gestione delle opere da realizzare con l'obiettivo di ridurre il rischio associato al raggiungimento della condizione di collasso (SLU) o alle limitazioni d'uso dell'opera (SLE):* controllare in fase di esercizio la strumentazione installata può dare indicazioni precise sul comportamento di un'opera durante il corso della sua vita.

Inoltre, come prima citato, il monitoraggio geotecnico entra come elemento fondamentale di progetto nel par. 6.2.4 delle NTC, dove si parla di "METODO OSSERVAZIONALE". La norma prevede l'applicazione del metodo "nei casi dove la particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza".



Attraverso tale metodo la norma dà la possibilità al progettista di affrontare tutti quei casi in cui la situazione geotecnica non permetta di definire in maniera univoca la soluzione progettuale.

*In definitiva, è possibile enunciare una regola di base: "La scelta della tipologia e della posizione di ciascun strumento dovrebbe essere fatta in maniera tale da rispondere ad una domanda specifica. Questa semplice regola è la premessa per la corretta impostazione di un programma di monitoraggio" (P. Monaco – Appunti del Corso di Monitoraggio Geotecnico 2009-10, Facoltà di Ingegneria – Univ. L'Aquila).*

## **2 Considerazioni generali**

Per definire la tipologia di monitoraggio è indispensabile conoscere, oltre che l'opera sottoposta a controllo e l'ambiente in cui si opera (a titolo di esempio, urbano o extraurbano), i modelli di riferimento:

- Il modello di riferimento geologico-geomorfologico;
- Il modello di riferimento geotecnico.

Il sistema di controllo può essere definito secondo due macro-aree: Monitoraggio Geologico- Geomorfologico e Monitoraggio Geotecnico. All'interno delle due macro-aree si potranno prevedere le diverse attività e quindi i diversi tipi di attrezzatura (personale, strumenti, ecc.), nonché le modalità di gestione e di individuazione delle soglie di allerta ed allarme.

La struttura del sistema di monitoraggio deve essere progettata per dare tutto il supporto qualificato e piena competenza della materia, con personale adeguato per mezzi e numero, con impiego di software predisposti per la piena e completa gestione dei dati anche a distanza di tempo (in modo da non perdere la memoria di quanto eseguito), prevedendo controlli fatti sul campo per verificare l'operato di Terzi. Nel quadro economico di un progetto deve essere definita una voce specifica dedicata al costo del monitoraggio, stimato sulla base della tipologia di strumenti, sul numero di punti o aree d'installazione degli strumenti e sulla frequenza di acquisizione delle letture.

In funzione delle esigenze e delle problematiche esistenti, il programma di monitoraggio deve essere articolato secondo una struttura che prevede preveda il coinvolgimento di diverse specializzazioni professionalità specifiche (Ingegneri, geologi, Informatici, esperti del settore) e, eventualmente, la collaborazione con Enti di ricerca scientifica per tecnologie innovative e per la fornitura di dati essenziali alla conoscenza del territorio.

In sintesi, il compito del Monitoraggio, oltre a permettere il controllo del sistema in osservazione, deve consentire la gestione del rischio rispetto agli scenari da cui si intende prendere le distanze.

### **2.1 Il modello geologico – geomorfologico ed il modello geotecnico**

La modellazione geologica del sito è, insieme alle caratteristiche geotecniche dei terreni, la base di partenza per un corretto progetto di monitoraggio. La modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio (e non del sito di intervento - cfr. § 6.2.1 NTC 18). Quindi, una completa o esaustiva definizione del modello geologico, tende ad analizzare tutti gli aspetti utili alla caratterizzazione del sito, che, per forza di



cosa, deve prevedere oltre alla geologia, la geomorfologia e l'idrogeologia di aree di territorio, nell'intorno dell'opera tali da permettere la definizione degli scenari di pericolosità geologica.

La normativa vigente, infatti, precisa (vedi circolare § 6.2.1 N.T.C. 2018) che lo studio geologico deve essere esteso ad una zona significativamente ampia, in relazione al tipo di opera ed al contesto geologico in cui questa si colloca.

Il progettista, dunque, deve conoscere il contesto geologico in cui ricade l'opera considerando anche, in funzione delle problematiche, tutti quei fattori esterni che possono in qualche modo condizionare la realizzazione e la vita dell'opera stessa. Lo studio permette la realizzazione di adeguate carte tematiche (geologico-geomorfologico-idrogeologico; pericolosità, ecc.) e relativi profili e sezioni che costituiscono i dati di ingresso per il successivo modello geotecnico, al quale concorrono anche i dati utili per la caratterizzazione meccanica dei terreni

La conoscenza geologica e geotecnica è la base per dare al progettista le giuste indicazioni sulle scelte progettuali non solo per le strutture (gallerie, viadotti, paratie, fondazioni, ecc.) ma anche per la progettazione dei relativi sistemi di controllo. Nella carta geomorfologica, ad esempio, sono stati riportati tutti gli elementi geomorfologici riscontrati in fase di studio, suddividendoli per grado di attività:

- frana attiva: frana attualmente in movimento o riattivatasi nell'ultimo ciclo stagionale;
- frana quiescente: frana attualmente non attiva della quale si ritiene possibile una sua riattivazione.

Il Piano di Monitoraggio, pertanto, dovrà essere finalizzato al controllo della nuova opera e, per le aree d'interferenza, esteso alle aree assoggettate ai possibili movimenti di versante legati alle influenze che l'opera può provocare.

### **3 Criteri di progetto del monitoraggio**

Nel presente capitolo verranno illustrati dei criteri generali da seguire per la progettazione di un sistema di monitoraggio, la relativa strumentazione e le procedure previste per assicurare il corretto svolgimento delle operazioni di monitoraggio per la verifica ed il controllo del territorio a contorno dell'opera.

Gli elaborati che costituiscono il progetto di monitoraggio dovranno riportare indicativamente l'ubicazione planimetrica e le caratteristiche geometriche della strumentazione prevista nonché le modalità di acquisizione dei dati (frequenze di lettura, etc.). Tali indicazioni andranno verificate ed adattate alle situazioni effettivamente riscontrate sul posto (accessibilità dell'aree, ecc.), durante le varie fasi di progettazione (preliminare, definitiva, esecutiva).

Le caratteristiche tecnologiche della strumentazione e le modalità di installazione indicate nei successivi capitoli possono essere migliorate in funzione di quanto disponibile commercialmente e di eventuali accorgimenti operativi.

In tutti i casi, le variazioni dovranno comunque garantire la funzionalità e l'efficacia di quanto installato e la significatività delle misure acquisite, nei riguardi dei criteri e delle necessità progettuali.

In particolare, per la strumentazione per il controllo delle opere esistenti vengono fornite indicazioni generali, valide per tutte le tipologie. Tale strumentazione potrà essere integrata opportunamente sulla base della documentazione relativa alla



singola struttura e dei primi risultati ottenuti dal monitoraggio, modulando i controlli alle reali necessità riscontrate in sito.

Il sistema di monitoraggio deve essere pensato in modo da poter fornire gli elementi necessari ad una corretta valutazione della situazione in corso d'opera; ciò al fine di poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali, in termini di effetti sulle interferenze con le preesistenze (movimenti franosi, infrastrutture, fabbricati, ecc.) e del comportamento delle nuove strutture in corso di realizzazione.

### 3.1 Obiettivi del monitoraggio

Il piano di monitoraggio, come detto, deve essere messo a punto con l'obiettivo di garantire condizioni di sicurezza sia durante la realizzazione dell'opera e sia durante l'esercizio. Il progetto di monitoraggio prevede, oltre al controllo diretto delle strutture (gallerie, ponti, opere minori), il controllo dei versanti e delle infrastrutture interferenti con la nuova o vecchia opera. Le diverse problematiche individuate durante le fasi progettuali sono oggetto di specifici elaborati al fine di permettere la verifica durante la realizzazione dell'opera ed eventualmente l'intervento con delle azioni correttive. A questo scopo, il sistema progettato deve permettere di:

- Controllare il comportamento delle preesistenze coinvolte utilizzando misurazioni dirette ottenute con strumentazione differente:
  - livellazione topografica operata direttamente sulle strutture e nel terreno (ad es. staffe, capisaldi, mire ottiche) avente il fine di determinare i cedimenti/distorsione e quindi le deformazioni indotte sull'opera sottoposta a controllo;
  - misura degli spostamenti con laser scanner; confronto dei dati nel tempo, direttamente correlabili con la tipologia di movimento ed eventuale influenza sulle strutture. Valutazione dei movimenti e della tipologia;
  - misure dirette delle inclinazioni delle strutture;
  - misure dirette del quadro fessurativo delle strutture;
  - misure dirette nel terreno (inclinometri, piezometri,...).
- Determinare il comportamento deformativo dei versanti in prossimità delle nuove e vecchie opere; In alcuni punti del tracciato, individuati dallo studio geologico-geomorfologico a corredo del Progetto, vengono posti in opera strumenti atti a determinare spostamenti orizzontali e verticali in superficie:
  - interferometria satellitare;
  - Interferometria terrestre;
  - Rilievi topografici.

In tal modo è possibile ricostruire complessivamente lo stato deformativo del/i versante/i in tutta la zona d'interesse. Tale aspetto del monitoraggio riveste particolare importanza in prossimità delle opere (vecchie e nuove) in condizioni geomorfologiche considerate critiche.

- Determinare lo stato "deformativo" del terreno lungo una verticale;

I movimenti superficiali dovranno essere confrontati, nel corso dei lavori, con i dati provenienti dalle misure inclinometriche per valutare i movimenti in profondità e le possibili influenze sulle opere (es.: lungo l'asse della galleria con sezioni dedicate costituite da capisaldi, sistemi inclinometrici e/o assestometrici, piezometri); lungo la linea di massima pendenza dei versanti per il



controllo delle aree instabili, individuate dallo studio geologico-geomorfologico, prevedendo, in alcuni casi, l'installazione di catene inclinometriche, dotate di un numero variabile di sensori inclinometrici, con acquisizione e trasmissione in automatico dei dati, al fine di valutare e contrastare l'insorgere di problematiche che potrebbero diventare dannose alla realizzazione e alla vita stessa delle Opere.

- Determinare lo stato del "regime idraulico"

Dovranno essere ipotizzate installazioni di piezometri (tubo aperto, Cella di Casagrande, piezometri elettrici, sistemi automatici, ecc.) al fine di valutare eventuali variazioni del regime delle pressioni interstiziali in funzione dei regimi idraulici e della risposta dell'ammasso alle opere. Confronto e correlazioni con i dati provenienti da previste stazioni pluviometriche dedicate.

- Determinare il comportamento delle nuove opere

Installazione di strumenti nei rivestimenti provvisori e definitivi delle Opere (galleria, viadotto, paratie, ecc...), quali ad esempio capisaldi, mire ottiche, inclinometri, barrette estensimetriche, cella di carico, celle piezometriche, etc.

### **3.2 Progetto generale di monitoraggio**

Il monitoraggio permette, come detto, il controllo dell'area durante la costruzione dell'opera e, se necessario, anche dopo per quelle aree o strutture i cui risultati delle misure lasciano ancora dei dubbi sulla completa stabilizzazione. Per le aree considerate critiche (tracciato interferente con corpi di frana, ecc.) deve essere previsto un programma di controllo automatizzato. Lo scopo di quest'ultimo è quello di evidenziare in continuo:

- movimenti orizzontali del terreno in profondità con l'identificazione di potenziali piani di scivolamenti;
- movimenti del terreno o fenomeni di subsidenza, cedimenti;
- livelli di falda, pressioni interstiziali nei terreni e variazioni nel tempo.

Si deve prevedere, in funzione dell'importanza dell'opera, l'utilizzo di un sito web, collegato ad una piattaforma informatica in cui sono caricati tutti i dati provenienti dalle registrazioni strumentali di tutti i dispositivi di controllo. Per la gestione, andranno definite i vari responsabili, definendo le figure professionali impegnate, esperti nel campo del Monitoraggio che andranno a formare il Centro di Elaborazione Dati, ognuno con una propria mansione e responsabilità. Nel sito web, dovrà essere possibile visualizzare le letture dell'intera rete strumentale, con la gestione delle soglie di attenzione e di allarme predefinite. Il sistema, in caso di superamento delle soglie, dovrà essere concepito per inviare in tempo reale SMS, e-mail o altro in modo da attivare direttamente la procedura per l'unità di crisi (Responsabile scientifico, Impresa, Progettista delle opere, D.L.).

Nello specifico, all'interno dei vari elaborati di progetto, dovranno essere definiti i vari sistemi di controllo distinti per tipo di opera, struttura e problematiche geomorfologiche.

Il Monitoraggio potrà essere suddiviso in esterno ed interno all'opera in corso di realizzazione; nello specifico dovrà comprendere il controllo delle:

- Strutture: paratie, edifici, rivestimento provvisorio e definitivo della galleria, ponti, viadotti, assi viari, fabbricati, ecc.;
- Terreno: piano campagna, corpi di frana, lungo le scarpate in profondità e dei fronti di scavo. In generale, si dovrà prevedere



l'installazione dei seguenti strumenti:

- Inclinometri tradizionali;
- Inclinometri automatici;
- capisaldi topografici;
- staffe livellometriche;
- accelerometri;
- piezometri tipo a tubo aperto e/o celle di casagrande;
- celle di carico toroidali per tiranti;
- barrette estensimetriche (strain gauges);
- celle di carico al piede centina;
- mire ottiche;

Per le aree in frana, oltre agli strumenti classici (inclinometri, piezometri, capisaldi, mire), si potrà prevedere l'utilizzo di:

- stazione pluviometrica;
- stazione topografica robotizzata;
- interferometro terrestre;
- interferometria satellitare;
- laser scanner;
- sistema inclinometrico automatico, per il controllo modulare in profondità. Gli strumenti di monitoraggio dovranno essere installati:
- all'esterno, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori in modo da poter acquisire un numero di dati significativi ai fini della valutazione della situazione "ante-opera";
- all'interno delle parti componenti l'opera (paratia, rivestimento provvisorio, rivestimento definitivo, ecc.), durante le fasi realizzative.

L'ubicazione della strumentazione riportata negli elaborati grafici, andrà comunque verificata in corso d'opera, ed eventualmente adattata, in funzione dei riscontri ottenuti.

### 3.2.1 Sezioni di misura e ubicazione della strumentazione

Il piano di monitoraggio dovrà prevedere l'installazione di strumenti topografici e geotecnici da posizionare, sia nel terreno e sia nelle opere, nelle posizioni ritenute più significative, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori.

Considerando il contesto, il monitoraggio potrà essere suddiviso in:

- controllo delle aree in frana interferenti con la nuova infrastruttura;
- controllo per tipo di opera (paratie, gallerie, fondazioni, fabbricati, ecc.)

Il progettista dovrà indicare, in funzione dell'entità e delle problematiche emerse, non solo l'attività di monitoraggio, ma come garantire la qualità dei risultati, la struttura per le installazioni, misure e controllo dei dati per tutta la durata dei lavori. Controllo che, se necessario, dovrà essere pensato e computato indicando il numero di mesi in cui si dovrà estendere anche dopo la fine dei lavori al fine di verificare la corretta riuscita dell'intervento. Al termine, il sistema dovrà essere pensato per restare a disposizione della Committenza per possibili futuri controlli.

### 3.2.2 Controllo delle aree in frana

Nelle aree in frana il sistema di controllo dovrà fornire dati riconducibili a due macro aree definite come:

- monitoraggio Geomorfologico
- monitoraggio Geotecnico

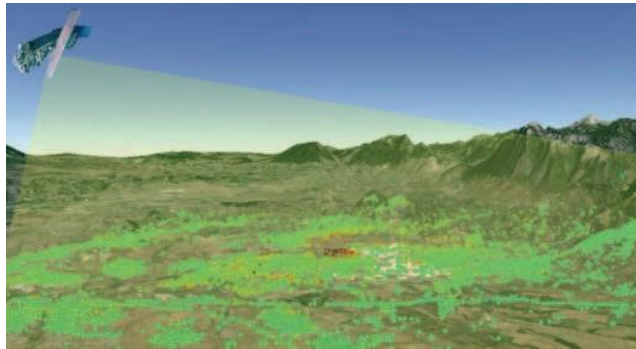


Di seguito verranno brevemente riportate delle indicazioni utili per il monitoraggio di aree in frana in cui si riportano delle indicazioni che ogni progettista deve prendere in considerazione per sviluppare al meglio il proprio compito all'interno di un progetto.

– Monitoraggio geomorfologico

Il monitoraggio geomorfologico è costituito dal controllo effettuato tramite interferometria satellitare, terrestre e topografico.

- Interferometria satellitare, permette la scansione periodica (al passaggio dei satelliti) di vaste aree. Combinata con il controllo a terra (interferometro terrestre e topografia) consente di migliorare e



confermare l'interpretazione e la tipologia dei movimenti;

- Interferometria terrestre, permette la scansione in continuo (acquisizione ogni 5 minuti) da punti fissi di vaste aree (nuvola di punti) consentendo di valutare la minima e puntuale deformazione. Installazione di corner reflector, opportunamente predisposti per aumentare la qualità del controllo;



- Topografico, permette il controllo cadenzato o in automatico da uno, due o più postazioni mobili e fisse definite in funzione delle necessità. In generale, si dovrà prevedere l'uso di strumenti robotizzati e mini prismi e/o mire ottiche da collocare, oltre che sulle strutture (fabbricati, strade, via-dotti, paratie) sulla strumentazione geotecnica (inclinometri, assestimetri, ecc.), ed in punti predefiniti, (installazione di una rete di capisaldi) per ulteriore controllo. La distribuzione spaziale e la frequenza sarà determinata dal progettista dalle diverse condizioni esistenti.

– Monitoraggio geotecnico

Il monitoraggio geotecnico permette il controllo in profondità, verificata stabilità dei versanti attraverso la progettazione e la pianificazione dell'installazione di strumenti geotecnici (tubi inclinometrici tradizionali, inclinometri automatici, celle piezometriche, stazione pluviometrica ecc.). Questi vengono installati attraverso



una realizzazione di allineamenti di strumentazione di monitoraggio (inclinometri e piezometri) nelle aree in frana interferenti con le strutture (redazione di elaborati specifici) lungo la linea di massima pendenza dei versanti. Ogni zona di controllo può prevedere una o più postazioni di sondaggio (monte, centro e valle), in cui installare un piezometro e un inclinometro, al cui interno, dopo una prima fase di verifica con strumenti di lettura manuale, potranno essere installate strumentazioni con letture automatiche e/o direttamente strumenti automatici nel foro di perforazione. Nell'area deve essere associata sempre una stazione pluviometrica con acquisizione e trasmissione automatica dei dati.

Il programma di controllo ha lo scopo di evidenziare:

- movimenti orizzontali del terreno in profondità con l'identificazione di potenziali piani di scivolamenti;
- movimenti del terreno o fenomeni di subsidenza, cedimenti;
- livello di falda, pressioni interstiziali nei terreni e variazioni nel tempo.

### 3.2.3 Controllo per tipo di opera (gallerie, paratie, fondazioni, etc.)

Considerando le diverse tipologie di opere (paratia, galleria naturale, viadotti, ponti, rilevati, muri di sostegno, ecc..) e le interferenze con strutture esistenti (fabbricati, strade, ponti, ecc.), il progettista, in funzione delle valutazioni del rischio, dovrà prevedere la realizzazione di sezioni strumentate in corrispondenza delle quali predisporre sia la strumentazione di monitoraggio "esterna" sia quella "interna" all'opera che andrà a realizzare, in maniera tale da poter acquisire sullo stesso allineamento dati correlabili relativi al comportamento del terreno al contorno dell'opera e a quello delle strutture in corso di realizzazione.

Il progettista dovrà prevedere:

- fondazioni di viadotti: un controllo con barrette estensimetriche, tubi inclinometrici tradizionali e/o catene automatiche, piezometri, ecc..;
- strutture tipo pile o impalcacati: clinometri, tazze livellometriche, terna di fessurimetri, ecc..;
- paratie con celle di carico toroidali sui tiranti e mire topografiche, nonché il controllo del piano campagna con capisaldi ed in profondità con tubi inclinometrici;
- per i fabbricati un controllo topografico con capisaldi e staffe livellometriche e un controllo delle vibrazioni con accelerometri. Nel terreno limitrofo, inoltre, si installeranno catene inclinometriche manuali e/o automatiche, piezometri;
- per le gallerie un monitoraggio: "Esterno o Superficiale" e uno "Interno o in Galleria".

– Monitoraggio Esterno o superficiale

Il monitoraggio superficiale può essere effettuato con:

- capisaldi topografici: disposti su allineamenti lungo la galleria e paralleli tra loro per monitorare eventuali cedimenti che si dovessero manifestare a piano campagna per effetto dello scavo
- Inclinometri: a cavallo asse galleria e variamente predisposti a tergo delle paratie e delle infrastrutture esistenti quali strade e fabbricati al fine di registrare eventuali effetti prodotti dalla realizzazione delle opere;
- Inclinometri automatici: a cavallo asse galleria in corrispondenza di eventuali agglomerati urbani (redazione di tavola monitoraggio fabbricati) e/o in pali di fondazione). Lo strumento si presenta come





una catena di nodi aventi al loro interno sensori accelerometrici triassiali, centralina di misura e trasmissione dati.

- Piezometri: a cavallo delle gallerie variamente predisposti a tergo delle paratie e delle infrastrutture esistenti quali strade e fabbricati al fine di registrare eventuali effetti prodotti dalla realizzazione delle opere.
- Staffe livellometriche: posizionate sulle pareti degli edifici, con redazioni di elaborati grafici di riferimento, in modo da registrare eventuali effetti indotti dalle lavorazioni per la realizzazione dell'opera.
- Accelerometri: installati sugli edifici per la verifica delle eventuali vibrazioni indotte dalle fasi di scavo.

– Monitoraggio interno o in galleria

Per il monitoraggio interno in galleria, il progettista può prevedere:

- Mire ottiche: disposte sulle centine per la misura della convergenza e sui fronti di scavo per la misura della deformazione nel caso di arresto delle lavorazioni.
- Barrette estensimetriche: disposte a coppia sulle centine e nel calcestruzzo del rivestimento definitivo per monitorare le deformazioni delle strutture.
- Celle di carico ai piedi della centina Catena con sensori accelerometrici disposta al contorno dello scavo in galleria tra due centine consecutive per monitorare in continuo le deformate del contorno di scavo (convergenze).
- Rilievi dei fronti di scavo: si dovrà disporre di un modello per il rilievo sistematico del fronte di scavo secondo due tipologie di dettaglio e speditivo.

Dovrà esserci corrispondenza tra le sezioni installate in galleria e le sezioni geotecniche previste da piano campagna redigendo un elaborato grafico che riporti tutte le indicazioni del caso.

### 3.3 Piattaforma e gestione dati

La necessità di un sistema di monitoraggio in grado di tenere sotto controllo gli effetti dell'avanzamento dei lavori in un intorno significativo dell'opera comporta la realizzazione di un sistema complesso, proporzionale alla complessità dell'opera da realizzare e si traduce in grandi moli di dati da archiviare, valutare ed interpretare. In quest'ottica, un valido supporto alle decisioni è rappresentato dai Sistemi Informativi, ovvero sistemi in grado di gestire ed elaborare grandi quantità di dati e da essi produrre informazione che possa essere utilizzata a scopo di pianificazione. Nello specifico, risultano particolarmente indicati i Sistemi Informativi Geografici (abbreviati in GIS), che sono speciali sistemi informativi adatti alla manipolazione e visualizzazione di dati spazialmente distribuiti riferiti ad elementi (territoriali), attività, eventi o valori. L'insieme di questi dati viene tradizionalmente riferito alla superficie terrestre e quindi ad uno spazio bidimensionale caratterizzato da una coppia di coordinate. Nel caso del monitoraggio di un'opera, che si svolge sia in sotterraneo, sia in superficie, ma anche nel tempo, lo spazio che viene coinvolto intorno ad essa è a quattro dimensioni, poiché, oltre alle tre dello spazio cartesiano, risulta necessario considerare anche la dimensione tempo.



Il progettista, pertanto, in funzione dell'importanza dell'opera in progetto dovrà indicare, configurare e quotare il sistema di gestione dei dati.

### 3.3.1 Obiettivi e funzionalità del GIS per il monitoraggio

Il Sistema Informativo Geografico per il Monitoraggio ha lo scopo di archiviare, rendere consultabili ed elaborabili i dati derivanti dal monitoraggio durante le diverse fasi realizzative dell'opera, confrontarli fra di loro e con tutti gli altri dati derivanti da ulteriori indagini inclusi i dati relativi al territorio e alle opere dell'uomo che in un intorno significativo dall'opera in oggetto possono essere da quest'ultima influenzati, fornendo così un supporto alle decisioni in tempo reale.

Un sistema informativo, per definizione, deve fornire le informazioni richieste in maniera rapida e diffusa e deve allo stesso tempo salvaguardare l'integrità dei dati in esso contenuti. In generale, il sistema informativo di supporto al monitoraggio di opere di ingegneria civile proposto dovrà essere consultabile:

- al momento desiderato e con la frequenza desiderata;
- da tipologie di utenti diversi con modalità diverse;
- da luoghi diversi;

Inoltre, data la differenziazione notevole di utenti che possono accedere al sistema, l'interfaccia GIS- Utente dovrà essere realizzata affinché possa essere il più possibile amichevole.

La piattaforma per la gestione dei dati di monitoraggio comunemente usata è del tipo web-based o equivalente. Dovrà prevedere un sistema di archiviazione dati su database SQL o equivalente, garantendo la totale sicurezza dei dati.

- La piattaforma web di gestione dovrà avere le seguenti funzionalità:

Consentire l'accesso alle informazioni solamente agli utenti autorizzati

- Archiviare e visualizzare tutti i documenti
- Archiviare e visualizzare le tavole di progetto
- Visualizzare gli elaborati relativi al monitoraggio
- Raggruppare gli elaborati secondo una struttura logica
- Consentire il download degli elaborati
- Visualizzare le informazioni all'interno di una planimetria (GIS)

Il sistema di gestione dati dovrà garantire la riservatezza delle informazioni attraverso un accesso protetto da password fornito esclusivamente agli utenti autorizzati. Inoltre dovrà consentire la corretta archiviazione di tutti i documenti, dalle tavole di progetto alle relazioni tecniche con possibilità di visualizzazione online.

Infine, si potrà avere la possibilità d'interagire con la planimetria dell'area, visualizzando i diversi "layers" (isolinee e stradale), la planimetria dell'intervento e la posizione degli strumenti di monitoraggio.

All'occorrenza, dovrà essere pensato per gestire in tempo reale su sito Web i dati generati con macchine di scavo meccanizzate.

### 3.3.2 Architettura del sistema

Il Sistema, basato su Web Server GIS, dovrà presentare almeno le seguenti peculiarità:

- la banca dati risiederà fisicamente su un unico computer ma sarà consultabile a chiunque abbia una connessione internet, secondo diversi livelli di accesso e conseguentemente di disponibilità delle informazioni.
- qualsiasi utente avrà accesso al sistema senza la necessità di avere i software dedicati installati sul suo computer ma utilizzando i



programmi residenti sul server si dovrà prevedere almeno la realizzazione di due postazioni, una ubicata in area locale e una presso l'entità che gestisce il server Web.

Quella locale (cantiere) sarà dotata di Personal Computer su cui saranno installati tutti i software applicativi e dedicati alla strumentazione installata oltre che i software idonei all'interrogazione automatica dei datalogger e lo scarico dei dati (Multilogger). Il Server remoto, installato presso gli uffici del gestore del sito Web, sarà invece dotato dei programmi e degli strumenti per la gestione del Data Base sul Web. Il flusso delle informazioni sarà il seguente:

- Esecuzione delle misure in automatico mediante interrogazione degli strumenti installati da parte dei Data Logger.
- Esecuzione delle misure manuali (p.es con strumentazione portatile) o automatiche con scarico manuale (mediante collegamento locale ai sensori con centralina portatile o personal computer portatile).
- Nell'ufficio di cantiere/locale: creazione nel Data Base dei nuovi eventuali strumenti/famiglie di strumenti.
- Nell'ufficio di cantiere/locale: scarico automatico dei dati acquisiti in automatico mediante trasmissione con GSM o dispositivo analogo e caricamento o scarico manuale da centralina/pc computer portatile dei dati acquisiti/trasferiti manualmente; trasferimento e caricamento manuale dei dati tramite opportuni file excel/csv direttamente nel database o tramite maschere di inserimento; creazione di archivio locale dei dati grezzi di cantiere (backup locale) in modo da avere sempre disponibili i dati sperimentali di cantiere.
- trasferimento da ufficio di cantiere/locale a ufficio remoto di gestione Web via rete dei dati grezzi e loro caricamento sul Data Base Web.
- interrogazione da ufficio di cantiere/locale (PCSR) del Web per validazione dei dati prima della pubblicazione definitiva sul Web. La validazione dei dati, intesa come valutazione critica dell'accettabilità del dato grezzo e le motivazioni relative saranno comunque disponibili agli utenti autorizzati per la verifica del processo;
- da ufficio remoto: pubblicazione dei dati su Web resi disponibili ai vari utenti con diversi livelli di abilitazione.
- da ufficio di cantiere/locale: verifica degli eventuali superamenti delle soglie preimpostate, comunicate dai "Responsabili". Tali soglie, definite come "di attenzione" e "di allarme" porteranno all'attivazione di contromisure. Nel caso di superamento della soglia di attenzione potranno essere aumentati il numero degli strumenti o la frequenza delle misure allo scopo di meglio individuare e definire la problematica in atto e valutare le possibili ricadute sull'avanzamento dei lavori. Nel caso di superamento della soglia di allarme, dovranno intervenire il Progettista e la Direzione Lavori per l'individuazione delle opportune contromisure.

### 3.3.3 Interfaccia utente e visualizzazione dei dati

Un'apposita interfaccia consentirà di realizzare i grafici e/o le tabelle del periodo desiderato (dalla data xxx alla data yyy) o degli ultimi nn ore/giorni/mesi e consentirà di impostare manualmente e/o automaticamente la scala delle ascisse.



Sarà possibile realizzare report personalizzati consultabili a schermo o stampabili in PDF, eventualmente sarà anche possibile mandare automaticamente via mail questi report agli indirizzi desiderati.

I dati potranno essere esportati in formato ASCII/csv per l'importazione ed elaborazione ulteriore con excel.

L'individuazione della strumentazione potrà essere effettuata tramite mappa georeferenziata (GIS). Gli hot-spot consentiranno di visualizzare grafici, schede tecniche (monografie, certificati, ecc.) e fotografie relative agli strumenti.

#### 3.3.4 Configurazione del software

Saranno possibili diversi livelli di accesso al DataBase:

- AMMINISTRATORE: per l'amministrazione degli utenti e le impostazioni generali del progetto;
- POWER USER: per la validazione dei dati e loro pubblicazione sul Web
- EDITOR: per l'inserimento, lettura e cancellazione dei dati, nonché impostazioni generali del progetto;
- USER: per l'inserimento e lettura dei dati;
- READER: per la lettura dei dati.

Tali livelli andranno definiti in funzione delle varie competenze, con possibilità di accesso diversificate per i singoli attori coinvolti nelle attività del monitoraggio (Direttore di Cantiere, Responsabili dei monitoraggi, Progettisti, Direzione Lavori, ecc...).

### **3.4 Gestione e passaggi dell'informazione**

Il progettista, in funzione dell'importanza dell'Opera e delle difficoltà, dovrà prevedere all'interno della struttura organizzativa una figura professionale tipo "Responsabile Scientifico" esperto in materia di Monitoraggio geotecnico applicato alle Opere e alla stabilità dei versanti che possa garantire una corretta valutazione di tutti i dati, dei risultati e che determini, insieme alle altre figure professionali coinvolte nei lavori i valori di soglia di attenzione e di allarme.

Il progettista dovrà computare il numero delle figure professionali coinvolte nel monitoraggio per tutto il periodo dei lavori. Il team sarà composto da personale tecnico laureato e specializzato nel campo del monitoraggio geotecnico.

Il personale tecnico laureato eseguirà per tutta la durata dei lavori misure in manuale e/o automatico, acquisizione, restituzione dati e manutenzione di tutto il sistema di monitoraggio geotecnico.

Il progettista dovrà prevedere i vari oneri, compresi attrezzature di misure, mezzi, ecc... di cui il fornitore del Monitoraggio dovrà farsi carico (esempio: sonde, cavi, centraline, acquisitori automatici, ecc...).

Tutto per rendere ogni servizio e strumento efficiente in relazione alle attività lavorative e alle risposte dell'ammasso alle varie fasi di scavo, consolidamento, realizzazione di opere varie.

I dati acquisiti saranno elaborati con software commerciali ed algoritmi e consentiranno di rilevare eventuali spostamenti assoluti o differenziali sull'intera estensione dello scenario monitorato e di comunicare alla Committenza eventuali criticità.

Le attività di monitoraggio, in generale, dovranno essere definite secondo la



seguinte modalità:

- progettazione del monitoraggio di dettaglio (verifica delle posizioni di progetto, verifica della funzionalità degli strumenti installati durante le precedenti fasi progettuali, del PD e PE; prese in carico ed attivazione degli strumenti già in posto; redazione dei diagrammi di flusso; ecc..)
- identificazione dei vari responsabili operativi;
- attivazione delle procedure;
- Redazione ed attivazione della Piattaforma informatica per elaborazione, distribuzione e stampa dei dati di monitoraggio;
- redazione di una relazione di installazione o Norme;
- acquisizione dati in manuale;
- acquisizione dati in automatico;
- verifica del corretto funzionamento del sistema di misura ed eventualmente elaborazione dati giornaliera con notifica di superamento soglie di allerta;
- elaborazione dati periodica secondo le cadenze prefissate, variabile in funzione dei risultati e/o secondo le richieste della D.L., con trasmissione del report di monitoraggio mensile.

#### 3.4.1 Ufficio centrale di elaborazione, gestione e controllo delle attività di monitoraggio e dei dati (c.e.d.)

Per l'esecuzione dei lavori in sicurezza assume particolare importanza nell'ambito del monitoraggio in corso d'opera l'esecuzione di controlli al fine di verificare tempestivamente la sicurezza sia dell'opera e del personale addetto alla sua realizzazione, sia dei fabbricati prossimi alle aree interessate dagli scavi.

Il sistema di monitoraggio dovrà essere progettato in modo da fornire all'Ufficio Centrale di Gestione Dati, nel modo più completo e rapido, tutti gli elementi atti e necessari ad una corretta valutazione della effettiva situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione.

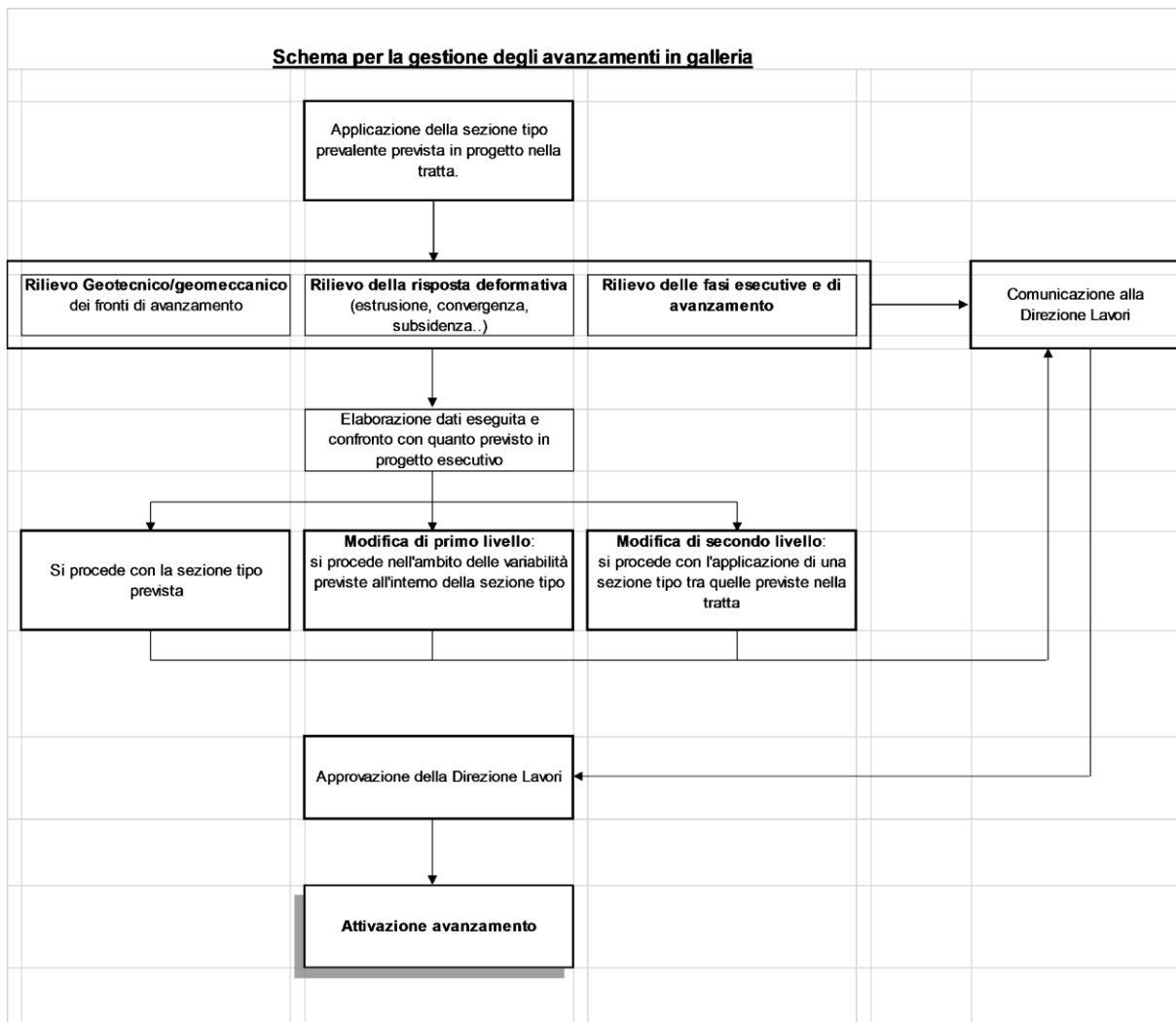
L'Ufficio di gestione del monitoraggio avrà i seguenti compiti:

- raccolta di tutti i dati utili esistenti (bibliografia, progetto...);
- raccolta dei dati provenienti dalle indagini e dai rilevamenti puntuali;
- coordinamento dell'attività di raccolta dei dati del monitoraggio;
- verifica e controllo in tempo reale dei dati rilevati prima dell'inserimento nel database, valutazione e validazione dei dati;
- elaborazione dei dati e successiva restituzione in forma grafica e numerica;
- organizzazione del database da inserire nel GIS di riferimento;

Il progettista, insieme alla DL, dovrà definire il "flusso" delle informazioni e le "Procedure generali."



**Esempio di schema di flusso delle informazioni per la gestione degli avanzamenti in**



**galleria**

- L'Ufficio di gestione del monitoraggio, inseriti i dati, eseguirà le seguenti operazioni:
- verranno vagliati e filtrati (Ufficio di monitoraggio, Direzione di progetto) i dati ricevuti in maniera che tutte le variazioni misurate siano riconducibili univocamente a reali comportamenti del terreno e delle strutture, quindi, qualora non vengano raggiunti valori di soglia, si attiverà la procedura di modulistica standard. I dati relativi saranno consultabili tramite GIS dagli attori dell'ufficio di gestione del monitoraggio (Appaltatore - Direzione di progetto, Direzione di cantiere, Ufficio del monitoraggio, Responsabile Scientifico – ufficio tecnico, progettisti, Direzione Lavori);
  - una volta evidenziato il superamento della soglia di “attenzione”, oltre alla pubblicazione automatica tramite GIS agli stessi soggetti del punto precedente, si provvederà ad un incremento della frequenza delle misure ed ad un approfondimento dei dati da parte della



Direzione di Progetto e della D.L..

- A questo punto, la procedura da seguire dipende da quanto registrato:
- il fenomeno evidenziato risulta puntuale o abituale (valori già sperimentati in corso di costruzione dell'opera senza problemi di rilievo): Si predispongono eventuali controlli e quindi si prosegue con l'attivazione della procedura di reportistica standard.
- il fenomeno evidenziato evolve ulteriormente senza però raggiungere i valori di relativi alla soglia d'allarme: la soglia di "attenzione", quindi, resta fino al raggiungimento dei valori asintotici e si mantengono in atto le procedure di allerta precedentemente descritte;
- il fenomeno evidenziato può aggravarsi, i dati sono prossimi alla soglia di "allarme": Oltre alla pubblicazione tramite GIS dell'allarme ai soggetti indicati, si provvederà ad attivare la procedura di allarme e alla convocazione "dell'unità di crisi" composta da D.L. - Appaltatore - Direzione di progetto (eventualmente i progettisti, Direzione di cantiere, ufficio del monitoraggio – ufficio tecnico )

Tale struttura sarà attivata direttamente dal direttore dell'Ufficio di gestione del monitoraggio, sentite la Direzione di Progetto o la Direzione di Cantiere e/o la Direzione dei Lavori.

#### **4 Frequenza indicativa delle letture**

Al fine di effettuare un corretto monitoraggio le frequenze delle letture dovranno essere adeguate alle risultanze in corso d'opera ed alle tempistiche di esecuzione; inoltre le frequenze dovranno essere valutate considerando una realizzazione delle opere senza interruzioni dei lavori. Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera

Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite dal Progettista e/o dalla D.L..

Il programma di acquisizione dati del monitoraggio in corso d'opera è riportato indicativamente nelle tabelle.

#### **ESEMPIO DI MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA AREE IN FRANA**

Programma delle letture per il monitoraggio

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati almeno TRE MESI prima dell'inizio lavori di scavo)



STRUMENTI	ANTE OPERA (3 MESI)	CORSO D'OPERA (X MESI)	POST OPERA (12 MESI)
	Lecture	Lecture	Lecture
Piezometri	1 volta al mese	1 volta ogni 15 gg	1 volta ogni 2 mesi
Inclinometri tradizionali	1 volta al mese	1 volta ogni 15 gg	1 volta ogni 2 mesi
Inclinometri automatici	3 volte al giorno	6 o più volte al giorno	2 o più volte al giorno
St. Topografica	2 volte a settimana	1 volta al giorno	2 volte a settimana
St. Pluviometrica	2 volte a settimana	1 volta al giorno	2 volte a settimana
Interferometro satellitare	2 volte	1 volta ogni 3 mesi	1 volta ogni 4 mesi
Interferometro terrestre	Attivazione 1 mese	Attivato in continuo	1 settimana ogni 4 mesi
Laser Scanner	2 volte in 3 mesi	1 volta al mese	1 volta ogni 4 mesi

#### **ESEMPIO DI MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA PARATIA**

Programma delle letture per il monitoraggio

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati almeno un mese prima dell'inizio lavori di scavo)

STRUMENTI	ANTE OPERA (2 MESI)	CORSO D'OPERA (X MESI)	POST OPERA (12 MESI o a R.D.)
	Lecture	Lecture	Lecture
Piezometri	1 volta ogni 15 gg	1 volta a settimana	1 volta al mese
Inclinometri tradizionali	1 volta ogni 15 gg	1 volta a settimana	1 volta ogni 2 mesi
Inclinometri automatici		6 o più volte al giorno	2 o più volte al giorno
Celle di carico		3 volte a settimana	1 volta al mese

#### **ESEMPIO DI MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA GALLERIE**

Programma delle tabelle per il monitoraggio

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati almeno TRE MESI prima dell'inizio lavori di scavo)





STRUMENTI	ANTE OPERA tra - 5,0z <sub>0</sub> e -2,0z <sub>0</sub>	CORSO D'OPERA tra - 2,0z <sub>0</sub> e +3,0z <sub>0</sub>	POST OPERA >+3,0z <sub>0</sub>
	Lecture	Lecture	Lecture
Piezometri	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg
Inclinometri tradizionali	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg
Inclinometri automatici	3 volte al giorno	6 o più volte al giorno	2 o più volte al giorno
Staffe livellometriche	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg
Capisaldi/ Mire	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg
Accelerometro	Attivazione 1 mese	Attivato in continuo	Attivato in continuo

N.B.: Attivazione delle letture in funzione della posizione della sezione di monitoraggio dal fronte di scavo, con distanza (tra  $-n z_0$  e  $-n z_0$ ) calcolata per  $z_0$  pari alla profondità misurata dal p.c. all'asse della sezione di scavo della galleria. Per altri tipi di lavorazione (Pozzi, fondazioni, paratie, ecc...), in funzione della distanza vale il principio dell'area d'influenza e della situazione geologico-geomorfologica rilevata. Il progettista detterà la frequenza in funzione dei riscontri. Le letture Post Opera ( $>+3,0z_0$ ) devono essere effettuate sino a completo esaurimento degli eventuali movimenti.

#### **ESEMPIO DI MONITORAGGIO DA PIANO CAMPAGNA GALLERIE**

Programma delle tabelle per il monitoraggio

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati almeno TRE MESI prima dell'inizio lavori di scavo)

STRUMENTI	ANTE OPERA tra - 5,0z <sub>0</sub> e -2,0z <sub>0</sub>	CORSO D'OPERA tra - 2,0z <sub>0</sub> e +3,0z <sub>0</sub>	POST OPERA >+3,0z <sub>0</sub>
	Lecture	Lecture	Lecture
Piezometri	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg
Inclinometri tradizionali	1 volta a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg
Inclinometri automatici	3 volte al giorno	6 o più volte al giorno	2 o più volte al giorno
Capisaldi/ Mire	2 volte a settimana	1 volta ogni fase di scavo	1 volta ogni 15gg

N.B.: Attivazione delle letture in funzione della posizione della sezione di monitoraggio dal fronte di scavo, con distanza (tra  $-n z_0$  e  $-n z_0$ ) calcolata per  $z_0$  pari alla profondità misurata dal p.c. all'asse della sezione di scavo della galleria. Le letture Post Opera ( $>+3,0z_0$ ) devono essere effettuate sino a completo esaurimento degli eventuali movimenti.



## ESEMPIO DI MONITORAGGIO NELLE GALLERIE (SCAVO IN TRADIZIONALE E TBM)

Programma delle tabelle per il monitoraggio

(Tutti gli strumenti dovranno essere installati durante i lavori di scavo alla progressiva prevista)

STRUMENTI	CORSO D'OPERA DA 0	CORSO D'OPERA DA +2 $\phi$	POST OPERA >+4 $\phi$
	A +2 $\phi$	A +4 $\phi$	
	Letture	Letture	Letture
Capisaldi / Mire R.P.*	Ogni giorno	2 volte a settimana	1 volta al mese
Celle di Carico R.P.*	Ogni giorno	1 volta a settimana	1 volta al mese
Strain Gauges R.P.*	Ogni giorno	1 volta a settimana	1 volta al mese
Strain Gauges R.D.*	Ogni giorno	1 volta a settimana	1 volta al mese
Strain Gauges Conci	Ogni giorno	1 volta a settimana	1 volta al mese
Catena Sensori acceler.	6 o più volte al g.	3 volte al giorno	3 volte al giorno

\*R.P.: Rivestimento Provvisorio; R.D.: Rivestimento Definitivo.  $\phi$ : diametro galleria  
 Le letture Post Opera (> 4  $\phi$ ) devono essere effettuate sino a completo esaurimento degli eventuali movimenti.

## 5 Monitoraggio delle opere civili

Nei seguenti paragrafi si illustreranno le principali indicazioni per la conduzione di un monitoraggio geo- logico-geotecnico in grado di fornire tutte le risposte progettuali ricercate per le principali opere di ingegneria civile.

### 5.1 Monitoraggio delle opere in sotterraneo

La presente parte è stata redatta in rispondenza alla normativa tecnica di settore con particolare riferimento al par. 6.2.4 del D.M. 14.01.2008 e definisce, in funzione del monitoraggio effettuato in galleria, le modalità di avanzamento degli scavi laddove il progetto lo preveda:

1. Il documento "Gestione degli avanzamenti dello scavo in galleria" non può in alcun modo dare luogo a incrementi delle quantità contrattualizzate (consolidamenti, centine, spessori, ...). Se all'interno del progetto delle gallerie è prevista una variabilità degli interventi sulla sezione, essa può essere regolata dal documento in oggetto fino a che ciò non comporti incrementi non coperti dagli importi previsti nei lavori del contratto di appalto per quella specifica voce. All'interno della singola sezione gli elementi soggetti a variabilità sono esclusivamente il passo delle centine, i consolidamenti al fronte, la distanza arco rovescio-fronte e rivestimento definitivo-fronte;
2. Qualora il progetto preveda una distribuzione percentuale delle sezioni



di scavo all'interno di una tratta cosiddetta "omogenea", cioè caratterizzata dallo stesso intervallo di caratteristiche di resistenza e deformabilità, la stessa deve essere regolata dal documento "Gestione degli avanzamenti dello scavo in galleria" nella misura in cui ciò non comporti un incremento percentuale della sezione così come previsto in progetto per quella tratta. Non è possibile, attraverso il suddetto documento, far ricorso a sezioni di scavo non espressamente previste per la tratta in esame;

3. L'applicazione del documento necessita della misura di apposite grandezze durante le fasi di scavo. La tipologia di grandezze da misurare dovrà essere determinata per ogni specifico progetto dal Progettista e condivisa con l'Ente. Gli intervalli di misura sulla base dei quali è definito l'incremento, il decremento, oppure la conferma degli interventi previsti sono definiti sulla base delle calcolazioni effettuate in fase di progetto e sulla base della sensibilità del Progettista. Per quanto riguarda i rilievi geomeccanici dei fronti di scavo dovranno essere accompagnati dai reticoli stereografici con distribuzione delle discontinuità rispetto all'avanzamento della galleria;
4. Per quanto riguarda la misura delle grandezze previste in fase di progetto, i cui valori determinano il ricorso a incrementi o decrementi di consolidamenti, in sede di esecuzione occorrerà considerare una eventuale rimodulazione dei valori assegnati in funzione della reale risposta deformativa dell'ammasso riscontrata in fase di scavo. Tale operazione va fatta almeno durante il primo campo di scavo per ogni tratta a comportamento omogeneo. Al fine di controllare l'effettivo spessore dei rivestimenti definitivi, prima dell'esecuzione del getto, il Direttore Lavori dovrà disporre un rilievo geometrico del profilo di scavo della sezione per verificare la corretta realizzazione degli spessori delle carpenterie in conformità al progetto. Resta inteso che ciò (la rimodulazione) non produrrà effetti sulle previsioni di progetto contrattualizzate ma solo sui limiti attraverso i quali applicare il progetto medesimo nel rispetto del punto 1 della presente nota.

#### 5.1.1 Monitoraggio in galleria

In conformità a quanto previsto dalla normativa vigente, il monitoraggio geotecnico degli scavi costituisce parte integrante del progetto geotecnico e strutturale delle opere.

In particolare, gli elementi che il Progettista dovrà monitorare sono i seguenti:

- deformazioni/spostamenti del contorno dello scavo;
- carichi effettivi sul sostegno di prima e seconda fase.

Il monitoraggio delle deformazioni dovrà prevedere l'installazione delle seguenti tipologie di strumentazioni:

- sezioni di monitoraggio "Tipo X", caratterizzata dall'installazione di sole mire ottiche;
- sezioni di monitoraggio "Tipo XX", caratterizzata dall'installazione di mire ottiche, celle di carico, alla base delle centine e Strain Gauges (barrette estensimetriche) nel sostegno di prima fase;
- sezioni di monitoraggio "Tipo XXX", caratterizzata dall'installazione di Strain Gauges (barrette estensimetriche) nel Rivestimento definitivo e nei Conci se scavata con TBM.



Nella tabella seguente si riporta una possibile frequenza d'installazione delle sezioni di monitoraggio associate alle diverse sezioni tipo di scavo.

Sintesi	dei	monitoraggi	per	le	diverse	sezioni	tipo
Sezioni di Monitoraggio		X		XX		XXX	
Sezioni tipo di scavo							
A1 A2		1/20m		1/300m		-	
B1 B1bis		1/20m		1/200m		1/500m	
Tipo C		1/6.5m		1/100m		1/350m	
Conci TBM						1/400m	

Per l'individuazione dell'ubicazione e della quantità di strumentazione, il Progettista dovrà redigere specifici elaborati grafici.

Nel caso di anomalie nell'andamento delle deformazioni le frequenze d'installazione potranno essere intensificate, ricorrendo nel contempo all'esecuzione di interventi integrativi.

#### 5.1.2 Rilievo strutturale del fronte di scavo

Il Progettista, considerando le difficoltà e le incertezze che circondano ogni scavo in sotterraneo, dovrà prevedere dei rilievi sistematici dei fronti in scavo. Tali rilievi permetteranno di acquisire gli elementi relativi alle caratteristiche geostruturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, inteso come complesso costituito dalla matrice rocciosa e dai piani di discontinuità, principalmente per usi classificativi mediante indice RMR e GSI. In base ai risultati dei rilievi del fronte di scavo verrà confermata oppure ridefinita la sezione tipo da applicare nel corso dell'avanzamento.

Si distinguono due tipi di rilievo geostruturale:

- rilievo di dettaglio da eseguire in corrispondenza delle sezioni definite nel progetto e nel piano di monitoraggio o in presenza di variazioni litologiche e/o strutturali di particolare rilevanza;
- rilievo speditivo da eseguire per ciascun campo di avanzamento in cui sono necessari interventi di preconsolidamento-presostegno dell'ammasso al fronte o pulizia dello stesso.

Dovranno essere redatte schede di rilievo. Questa attività ed i rilievi geostruturali stessi dovranno essere materialmente eseguiti da uno o più geologi o ingegneri geotecnici dotati di specifico addestramento ed esperienza.

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

- bussola geologica per misura dell'orientazione di piani nello spazio;
- nastri misuratori e bindelle metriche;
- martello di Schmidt (sclerometro);
- profilatore di rugosità a pettine (pettine di Barton);
- disco (diametro 30 cm) per il posizionamento della bussola;
- apparecchio Point Load Test.

#### 5.1.3 Rilievo di dettaglio

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 compressione 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 JRC), 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.

#### 5.1.4 Rilievo speditivo

Le modalità esecutive saranno come precedentemente descritto per i rilievi di dettaglio con l'eccezione che l'assetto generale, le spaziatura delle discontinuità, i parametri JRC e JCS potranno essere valutati qualitativamente.

## **4.2 Monitoraggio opere di fondazione, di sostegno ed in terra (pozzi, paratie, rilevati)**

Per quanto concerne il monitoraggio delle opere di fondazione, di sostegno ed in



terra (paratie, pozzi, rilevati), si dovrà prevedere la realizzazione di sezioni strumentate in corrispondenza delle quali predisporre sia la strumentazione di monitoraggio "esterna" sia quella "interna" in maniera tale da poter acquisire su uno stesso allineamento dati correlabili relativi al comportamento dell'ammasso al contorno dello scavo e/o dei cedimenti in corrispondenza delle strutture in corso di realizzazione.

In generale, per il controllo della paratia, si dovranno prevedere installazioni di celle di carico su tiranti, puntoni, ove presenti e mire topografiche di punti rappresentativi, nonché il controllo del piano campagna con capisaldi, tubi inclinometrici e piezometrici.

Per i pozzi o pali di fondazione dei viadotti un controllo topografico del plinto, installazione di barrette estensimetriche nelle centine dei pozzi durante il ribasso o nelle armature dei pali, catena inclinometrica automatica, inclinometri e/o piezometri nel terreno.

Nei rilevati, le misure dirette riguardano principalmente la determinazione delle deformazioni, delle pressioni neutre e delle pressioni totali nel terreno di fondazione. Per il controllo di queste grandezze fisiche vengono comunemente utilizzati strumenti tipo: assestimetri magnetici od a piastra (questo metodo per sezioni strumentate provvisorie), clinometri, piezometri e celle di pressione.

Esistono varie tipologie di questi strumenti, da utilizzare in dipendenza della natura del terreno, dell'entità dei carichi, della difficoltà di posa in opera e di misura, della qualità della misura, dell'importanza dell'opera. La scelta ed il posizionamento, come già detto, dovranno avvenire tenendo conto della stratigrafia e delle tensioni indotte dal rilevato.

Il progettista dovrà redigere elaborati dedicati con particolari e dettagli d'installazione.

### **5.3 Monitoraggio versanti**

#### **5.3.1 Finalità del sistema di monitoraggio**

Il sistema di monitoraggio è finalizzato al controllo delle condizioni di sicurezza dell'area e dell'opera sia durante le fasi di realizzazione degli interventi di progetto sia durante l'esercizio dell'infrastruttura viaria. In particolare, si prevede il monitoraggio delle pressioni interstiziali e degli spostamenti nel terreno da eseguire preliminarmente all'inizio delle lavorazioni, in corso d'opera e durante la vita utile dell'opera.

Il monitoraggio in corso d'opera ha lo scopo di definire le tempistiche esecutive delle lavorazioni; infatti a titolo di esempio, nel caso della realizzazione di un'opera di sostegno in area di frana a ridosso di una strada che preveda anche un sistema di drenaggio profondo, si potranno avviare le attività di sbrancamento a valle delle paratie solo quando le misure piezometriche avranno confermato l'abbassamento del livello piezometrico fino ai livelli definiti in progetto. Analogamente, una volta terminati i lavori, l'infrastruttura stradale potrà entrare in esercizio ed essere aperta al traffico solo dopo aver verificato che la quota della falda corrisponda al livello piezometrico di progetto assunto.

Durante l'esercizio dell'opera il monitoraggio ha lo scopo di confermare il miglioramento delle condizioni di stabilità del movimento franoso e il raggiungimento dei coefficienti di sicurezza attesi attraverso la verifica dell'abbattimento del livello piezometrico indotto dal sistema di drenaggio profondo fino ai livelli definiti in progetto, nella configurazione definitiva di massima efficienza



del sistema di drenaggio pro- fondo, e il controllo della progressiva riduzione della velocità degli spostamenti del terreno, fino all'esaurimento del fenomeno deformativo.

Il monitoraggio deve essere protratto lungo tutta la vita utile dell'opera, al fine di verificare il mantenimento dell'efficacia degli interventi nel tempo; qualora dall'analisi delle letture del monitoraggio si rilevassero innalzamenti anomali e/o variazioni localizzate della quota della falda, si prescriverà di eseguire la manutenzione straordinaria del sistema di drenaggio profondo per individuare eventuali malfunzionamenti del sistema di allontanamento delle acque di drenaggio dovuti a possibili rotture e occlusioni delle tubazioni di scarico, accumulo di materiale all'interno dei pozzi drenanti, ecc...

Inoltre, nel caso in cui fosse rilevato un innalzamento del livello piezometrico tale da poter provocare una riattivazione del movimento franoso, dovrà essere valutata la necessità di progettare e realizzare interventi integrativi per la messa in sicurezza definitiva del versante.

## **6 Specifiche tecniche della principale strumentazione di monitoraggio e modalità di installazione**

### **6.1 Inclinatori**

La misura dell'andamento degli spostamenti orizzontali con la profondità del terreno verrà effettuato mediante misure eseguite su colonne inclinometriche di lunghezza opportuna.

Lo stato deformativo del tubo è rilevato mediante misure condotte con sonde rimovibili. Le misure inclinometriche consistono nel rilevamento e nella restituzione grafico/numerica degli spostamenti nella direzione radiale, all'interno di una colonna calata lungo un'asse di foro di sondaggio verticale.

L'inclinometro è composto da un tubo inclinometrico, da una sonda, da una centralina di misura e dal relativo cavo di connessione.

I tubi utilizzati solidarizzati al terreno possiedono, al loro interno, 4 scanalature di guida entro cui scorre la sonda rimovibile. Le 4 scanalature sono tra loro ortogonali ed hanno la funzione di guidare ed orientare le sonde durante le letture.

I tubi, in ABS o PVC, hanno in genere lunghezza di 3 m, spessore circa 3 mm e diametri nominali 60 mm, giuntati mediante manicotti.

Ai fini della precisione delle misure è importante che le scanalature dei tubi presentino una spirality inferiore a 0.5° per metro.

Il tubo inclinometrico ha le seguenti caratteristiche tecniche

- materiale ABS o PVC;
- diametro esterno min. 60 mm;
- lunghezza spezzoni 3 metri;
- spessore min. 2.5mm;
- max torsione ammissibile >1°/1m;
- max compressione lungo l'asse del tubo 1% della lunghezza spezzone;
- manicotto di giunzione auto-allineante sui due spezzoni di tubo;
- lunghezza manicotto 200mm

La sonda inclinometrica è costituita da un contenitore cilindrico con lunghezza compresa tra 70 e 100 cm munito di due carrelli per lo scorrimento nelle guide dei tubi; al suo interno è alloggiato il sensore di misura (biassiale) che dovrà



essere di tipo servoaccelerometrico (sonde rimovibile).

I due servoaccelerometri (denominati A e B) forniscono l'inclinazione del tubo in due piani verticali mutuamente ortogonali consentendo di calcolare, a partire dalle misure, le componenti degli spostamenti orizzontali in un qualsiasi sistema di riferimento cartesiano ortogonale.

La distanza tra il carrellino superiore e quello inferiore della sonda (lunghezza operativa), che è generalmente di 0.5 metri, costituisce il passo minimo con il quale è possibile effettuare le misure. La sonda dovrà permettere le misure all'interno di tubi aventi diametro tra le guide da 40 a 85 mm.

Dato che le letture inclinometriche sono di tipo comparativo (gli eventuali spostamenti nel tempo vengono riferiti alla lettura iniziale), fondamentale requisito delle misurazioni è la ripetibilità.

Pertanto la sonda deve essere realizzata secondo elevati standard qualitativi e i materiali impiegati devono rispondere a severe specifiche prestazionali rispetto ai diversi fattori d'esercizio che possono alterare nel tempo la sensibilità e precisione della sonda. In particolare, per la sonda biassiale, devono essere garantiti elevati standard qualitativi miranti ad assicurare la massima ortogonalità tra gli assi dei sensori e l'allineamento con il piano carrello.

Inoltre, per assicurare la precisione delle letture inclinometriche, è altrettanto essenziale che la sonda sia sottoposta periodicamente ad un accurato controllo di taratura.

Si evidenzia che, ad oggi, nonostante la larga diffusione dell'utilizzo delle misure inclinometriche come strumento di monitoraggio geotecnico e nonostante le numerose pubblicazioni scientifiche in materia, non è stata ancora definita una normativa per l'elaborazione delle misure inclinometriche e per la rappresentazione dei risultati, né tanto meno sono state mai fornite delle linee guida sul tema. Nelle applicazioni pratiche è quindi consuetudine riportare le misure e le elaborazioni delle letture senza applicare procedure di analisi e correzione dei dati, in riferimento ad errori accidentali, grossolani o sistematici qualora presenti. Per una corretta interpretazione dell'eventuale fenomeno di dissesto/cedimento in atto è quindi opportuno tenere in considerazione le caratteristiche tecniche della strumentazione ed i metodi di misura. Si fa presente che, operando in accordo con le "Raccomandazioni ISRM per il controllo dei movimenti nell'ammasso roccioso tramite inclinometri e clinometri, 1977", nonostante la grande quantità di fattori che possono dar luogo a vari tipi di errore, è possibile ottenere risultati molto prossimi a quelli che la sensibilità e la precisione dello strumento impiegato sono in grado di fornire, ed è in questo senso opportuno procedere sempre, a monte dell'interpretazione delle elaborazioni, ad una preliminare valutazione delle grandezze attese e riscontrate in relazioni ai valori di accuratezza della strumentazione utilizzata.

## **6.2 Piezometri elettrici**

Il piezometro elettrico installato in un foro di sondaggio consente di misurare direttamente la pressione interstiziale alla quota di installazione dello strumento.

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installato il piezometro dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili.

In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico. 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 avutasì 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.

L'installazione seguirà le seguenti fasi:

- posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia fine e pulita;
- discesa a quota del piezometro elettrico, inserito all'interno di un sacchetto di geotessile riempito di sabbia e acqua e del cavo elettrico di collegamento;
- posa di sabbia attorno al piezometro 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 cavi 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 dell'estremità del foro con la realizzazione di un chiusino di protezione;
- esecuzione della prima lettura significativa.

La lettura consiste nella misura del segnale elettrico del piezometro mediante una centralina portatile. La strumentazione di lettura sarà composta da più unità di acquisizione dati in grado di leggere, acquisire e trasmettere le letture dai numerosi piezometri installati nell'area.

## **7 Conclusioni**

Le indicazioni fornite sono scaturite da considerazioni di tipo teorico e tecnico.

Il progettista, in funzione della continua evoluzione della tecnologia, dovrà per ogni singolo progetto e opera verificare i rischi e quindi predisporre un adeguato sistema di monitoraggio. Considerando che a volte si opera in ambienti e opere di elevata complessità in corso d'opera si valuterà la possibilità di incrementare o ridurre le strumentazioni e la frequenza delle letture. Tutto in funzione del reale



comportamento registrato e della risposta deformativa degli ammassi alla realizzazione dell'Opera in corso di realizzazione.

L'obiettivo del presente documento è quello di puntualizzare il ruolo importante del Monitoraggio geo- tecnico-geomorfologico per la corretta valutazione dei rischi legati alla realizzazione di qualsiasi opera, nel contesto geotecnico, geologico-idrogeologico-geomorfologico. I risultati delle misure della strumentazione geotecnica insieme alle altre conoscenze permettono una migliore definizione dei valori di soglia (attenzione e allarme) e consentono una verifica in tempo reale della risposta del terreno-opera. Il monitoraggio permette, in generale, di individuare quegli aspetti particolari legati alla natura e al comportamento del terreno e ad altri fattori ambientali, allo studio del reale comportamento sforzi-deformazioni-tempo del terreno naturale

Si è tentato inoltre di offrire criteri per il progetto e la scelta della strumentazione, archiviazione, elaborazione e trasmissione dei dati, non ultimo al flusso delle informazioni e alle figure professionali che devono essere impiegate (struttura operativa del Monitoraggio).

La continua evoluzione della strumentazione, i risultati delle misure e il rapido controllo ed interpretazione, la tecnologia di trasmissione e visualizzazione dei dati in tempo reale ed in qualsiasi parte del mondo permetteranno in futuro di aumentare i fattori di sicurezza di qualsiasi opera.

## **7.1 Appendice**

### 7.1.1 Approccio metodologico all'analisi del rischio geologico-idrogeologico-geotecnico

Nella progettazione esecutiva di un'opera l'analisi e la gestione del rischio devono comprendere l'attualizzazione dello studio geologico e geotecnico della fase progettuale precedente, la valutazione delle indagini da eseguire in avanzamento e i valori soglia associati al comportamento allo scavo misurabili attraverso il sistema di monitoraggio. Il Progettista deve valutare i rischi residui, verificare la loro accettabilità e definire la strategia definitiva per la gestione dei rischi, riportandola nei documenti.

Scopo della gestione del rischio è l'adozione di metodologie volte a:

- incrementare la sicurezza durante la costruzione;
- raggiungere gli obiettivi dell'appalto in termini di costi e tempi;
- riconoscere per tempo le potenziali evoluzioni degli scenari tecnico-economici e ambientali.

La gestione del rischio, in generale, interessa sia la fase progettuale sia la fase esecutiva dei lavori: si tratta, cioè, di un processo di accompagnamento alla fase esecutiva che considera l'evolversi delle esperienze verificando l'efficacia della fase progettuale o il suo necessario aggiornamento.

Il rischio non può essere completamente eliminato, ma solo ridotto ad un livello di accettazione che sia giustificato (ragionevole) dato che l'annullamento assoluto del rischio è una condizione non compatibile con i parametri economici e temporali di un'opera tanto più in ambito geotecnico.

Definire accettabile il rischio implica la comprensione del meccanismo del danno. L'analisi di rischio per- tanto fornisce:

- la comprensione dei fatti, la natura dei presupposti necessari e il rapporto tra i fattori;
- obiettività nelle procedure e nella presentazione dei risultati.



Il processo della gestione del rischio implica generalmente le seguenti fasi:

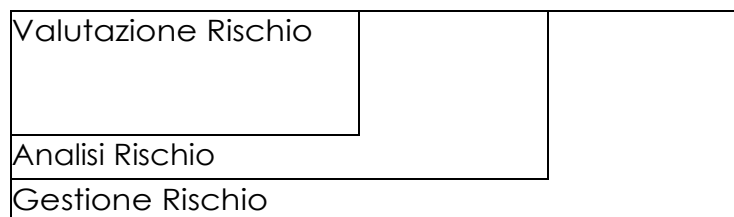
1. prendere conoscenza delle condizioni iniziali dei luoghi interessati dall'opera;
2. identificare gli scenari di rischio potenziale (SRP);
3. stabilire i meccanismi che regolano gli scenari di rischio (lista eventi pericolosi);
4. stabilire le misure di mitigazione appropriate;
5. effettuare la gestione, individuando le competenze della struttura preposta a svolgerla.

Diviene pertanto fondamentale che ognuna delle fasi sia supportata da una esauriente documentazione dei fatti, dei presupposti, delle conoscenze acquisite; un efficace sistema di monitoraggio può supportare al meglio tutti questi processi.

La gestione rischio pertanto, pur interagendo sistematicamente con tutti i processi della fase realizzata, deve avere una sua autonomia sia in termini di espletamento che di registrazione e tracciabilità della documentazione specifica redatta.

Coerentemente con l'avanzamento del progetto e della sua realizzazione, le fasi di gestione del rischio possono essere ricondotte in 3 categorie principali:

- I. valutazione del rischio (risk assessment) – (fasi 1 e 2);
- II. analisi del rischio (risk analysis) – (fasi 3 e 4);
- III. gestione del rischio (risk management) – (fase 5)



Ognuna delle suddette categorie è parte costitutiva della successiva e solo l'ultima definisce completamente il processo.

Una volta individuati i rischi specifici la documentazione progettuale definisce chiaramente le categorie di rischio da basso a elevato in termini di:

- congruenza dei dati geotecnici-geologici-geomorfologici-geostrutturali con le ipotesi di progetto;
- congruenza delle ipotesi progettuali con le condizioni riscontrate in fase di scavo (distacco cunei, estensione zone di faglia, comportamento spingente, ecc.), alle quali devono essere associate le opportune contromisure (interventi di mitigazione).

Preso atto dei rischi spetta al committente in interazione con il progettista e l'impresa valutare le conseguenti azioni da prendere.

È pertanto necessario definire le situazioni connesse a potenziali rischi geotecnici/idrogeologici che verranno prese in esame per la procedura di gestione e controllo (Monitoraggio geotecnico- geomorfologico).

Le fasi che contraddistinguono l'analisi del rischio sono:

- bilancio delle conoscenze e delle incertezze geotecniche, costituito dalla fase di analisi di affidabilità dei dati, dalla redazione dei documenti di sintesi geologici e dalla compilazione del registro dei rischi geologici;



- valutazione dei rischi, a sua volta costituita dall'identificazione dei rischi, la loro quantificazione e la valutazione della loro accettabilità;
- trattamento dei rischi, ovvero l'identificazione delle misure per la loro riduzione od eliminazione. Con riferimento all'applicazione dell'analisi dei rischi alle diverse fasi del progetto, nella fase di Progettazione Esecutiva l'analisi rischi deve comprendere l'aggiornamento dello studio geologico e geotecnico della fase precedente, la valutazione delle indagini da eseguire in avanzamento e i valori soglia associati al comportamento allo scavo dell'ammasso roccioso, misurabili attraverso il sistema di monitoraggio. Il Progettista deve valutare i rischi residuali, verificare la loro accettabilità e definire la strategia definitiva per la gestione dei rischi, riportandola nei documenti.