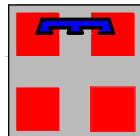




Autostrada Asti-Cuneo



PROVINCIA DI ASTI



REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI CUNEO

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE ASTI - CUNEO

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)
LOTTO 6 RODDI - DIGA ENEL

PROGETTO ESECUTIVO
OPERE D'ARTE IN SEDE

GALLERIA DI VERDUNO
PARTE GENERALE
RELAZIONE DI MONITORAGGIO

Aggiornato: 00	Data : Apr. 2013	Descrizione: EMISSIONE	Redatto: Ing. Gatti	Controllato: Ing. Ossezia	Approvato: Ing. Ghislandi	Codifica: 2.6 E - r D.2.1.08								
Aggiornato: 01	Data : Marzo 2015	Descrizione: Rev. a seguito richieste MIT-SVCA-V.A.	Redatto: Ing. Gatti	Controllato: Ing. Saurio	Approvato: Ing. Ghislandi	<table border="1"> <tr> <td>Lotto</td> <td>Prog.</td> <td>Tipo</td> <td>Elaborato</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Lotto	Prog.	Tipo	Elaborato				
Lotto	Prog.	Tipo	Elaborato											
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data: Marzo 2015								
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Scala: -								



PROGETTISTA e RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Enrico Ghislandi
Albo di Milano
N° A 16993

CONSULENZA SPECIALIZZATA



CONCESSIONARIA:





INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO	3
3. DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE	11
4. OBIETTIVI DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO.....	14
5. MONITORAGGIO IN GALLERIA.....	18
5.1. SCAVO MECCANIZZATO – STAZIONI DI MONITORAGGIO	18
5.2. SCAVO MECCANIZZATO – CONTROLLI IN CORSO D’OPERA.....	21
5.3. SCAVO IN TRADIZIONALE E CUNICOLO	23
5.4. SCAVO IN TRADIZIONALE DEI BY-PASS PEDONALI, CARRABILI E BY-PASS DRENANTE 29	
5.5. SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE E FREQUENZE DI LETTURA	30
6. MONITORAGGIO GEOTECNICO	34
6.1. ANALISI DEI DATI RILEVATI	36
6.2. STRUMENTAZIONE INCLINOMETRICA PROFONDA.....	37
6.3. RETE TOPOGRAFICA.....	40
6.4. MONITORAGGIO CON INTERFEROMETRIA RADAR.....	42
6.5. FREQUENZA DI LETTURA.....	42
7. MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO.....	44
7.1. ANALISI DEI DATI RILEVATI	45
7.2. RETE DI CONTROLLO PIEZOMETRICO	49
7.3. MONITORAGGIO DELLE PORTATE D’ACQUA EMUNTE IN GALLERIA	53
7.4. FREQUENZA DI LETTURA RETE PIEZOMETRICA.....	56
8. MONITORAGGIO DELLE OPERE DI IMBOCCO.....	57
9. SINTESI DELLE GRANDEZZE ATTESE DA MONITORARE	62
10. ESAME DEI DATI DI MONITORAGGIO ED AZIONI CONSEGUENTI	65











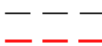

1. INTRODUZIONE

La presente relazione si inserisce nei documenti previsti per la redazione del Progetto Esecutivo della galleria naturale “Verduno”, opera facente parte del Lotto 6, Tronco 2 del collegamento autostradale A6-A21 (Asti-Cuneo) eseguita mediante scavo meccanizzato, utilizzando una fresa a piena sezione (TBM) del tipo EPB. In essa viene descritto il “programma di monitoraggio” che si intende adottare per il controllo, durante le fasi di realizzazione dell’opera, dei movimenti del terreno e del comportamento del cavo.

Il programma è stato predisposto al fine di verificare l’idoneità degli interventi e delle modalità esecutive previste in progetto e di controllare in particolare che i valori di cedimento del piano campagna e gli eventuali spostamenti profondi siano compresi entro limiti accettabili; il confronto dei dati misurati con le previsioni di progetto consentirà di adottare eventuali azioni correttive, in termini di interventi e fasi esecutive. Nel seguito, dopo un breve inquadramento delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni interessati dagli scavi, si descrive in dettaglio la tipologia della strumentazione adottata (caratteristiche tecniche e sistema di acquisizione), la quantità ed l’ubicazione degli strumenti.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO

La Galleria Verduno, lungo il suo sviluppo in naturale di 3185 m in canna di monte e 3100 m in canna di valle, attraversa differenti formazioni geologiche, le quali, nell'ambito degli studi geologici e geotecnici, sono state suddivise in "Unità Litologiche", come riportato nella tabella seguente.

FORMAZIONI GEOLOGICHE	UNITÀ LITOLOGICHE	LEGENDA LITOLOGICA
- Riporto	1b	 Materiale di riporto/vegetale
- Complesso ghiaioso-sabbioso/limo-sabbioso - Corpi detritici grossolani all'interno argille-marmose	3 / 7a	 Facies ghiaioso-sabbiosa
Fr/Ci - Depositi di frana - Limi sabbiosi fini, localmente argillosi, inglobanti ghiaie e ciottoli	4	 Limi prevalenti
Fr/Pa - Depositi di frana - Argille di Lugagnano. Argille marmose e siltose grigio-azzurre con intercalazioni, verso l'alto, di banchi di sabbie (Pliocene inferiore-medio).	4 / 5	 Argilla limosa, argilla sabbiosa
Pa - Argille di Lugagnano. Argille marmose e siltose grigio-azzurre con intercalazioni, verso l'alto, di banchi di sabbie (Pliocene inferiore-medio).	5	 Argilla mamosa con noduli di gesso
M4 - Marne di S. Agata Fossili. Limi argillosi e argille marnoso-siltose grigio-azzurre con sottili livelli di limo e sabbie fini. Intercalazioni di corpi sabbiosi e ghiaiosi con spessore metrico più frequenti al tetto dell'unità. Locale presenza di livelli calcarenitici con spessore decimetrico. (Tortoniano-Miocene Sup.).	7	 Marna da grigia a verde, con granuli e noduli gessosi; alternanze di marna compatta grigio-azzurra ed argilla da molto consistente a dura, da debolmente limosa a limosa; stratificazione evidente
M5 - Formazione Gessoso-Solfifera. Alternanze ben stratificate di limi argillosi, argille marmose e limi sabbiosi con gessi. I gessi costituiscono banchi litoidi con potenza metrica o si intercalano nella matrice limoso-argillosa sottoforma di sottili livelli e cristalli isolati. (Messiniano) (g) - Blocchi di gesso litoidi.	6	 Roccia gessifera o gesso grigio-bianco con tessitura cristallina con macrocristalli chiari, da compatta a totalmente frantumata, con superfici di discontinuità riempite di materiale argilloso
 Livello stabilizzato di falda rilevato nel piezometro Letture piezometri pregressi.		
 Limite stratigrafico  Superficie di discontinuità		

Le principali Unità Litologiche sono le seguenti:

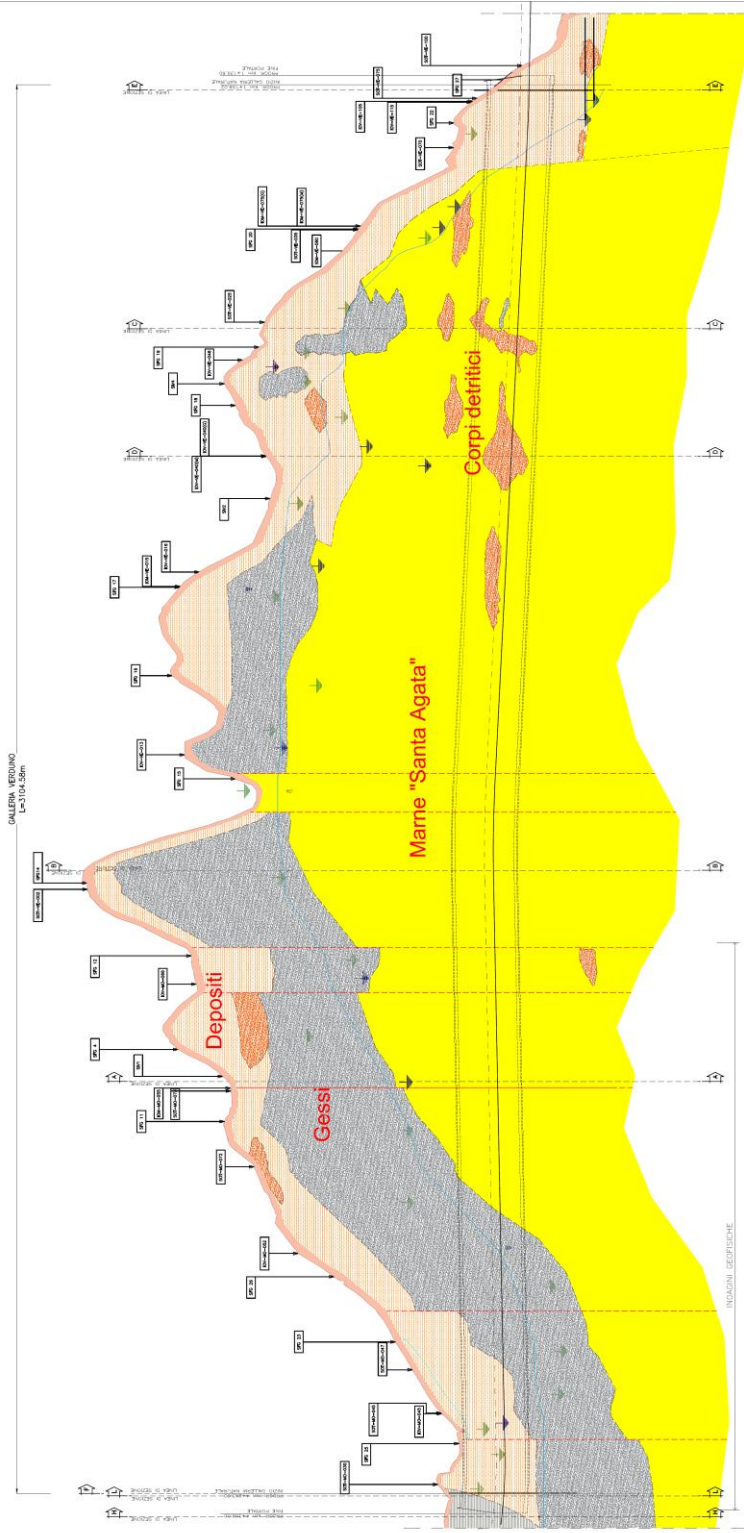
- Unità 4: Depositi di copertura e di frana, quali limi sabbiosi, argille limose e sabbiose.
- Unità 5: Argille marnoso-siltose, con intercalazioni, verso l'alto, di banchi di sabbia, appartenenti al Pliocene inferiore medio.



- Unità 6: Formazione gessoso-solfifera, costituita da alternanze di limi argillosi, argille marnose e gessi (i gessi costituiscono banchi litoidi con potenza metrica).
- Unità 7: Formazione delle Marne di Sant'Agata, costituita da limi argillosi e argille marnoso-siltose, con intercalati corpi ghiaioso-sabbiosi (Unità 7a).

Nelle figure seguenti si riportano i “Profili geomeccanici”, con la previsione della successione litostratigrafica lungo il tracciato delle due canne.

CANNA DI VALLE - TRATTE OMOGENEE



Tratta 1 Imbocco Cherasco	Tratta 2 Formazione Gessi	Tratta 3 Formazione Mame "Santa Agata"	Tratta 4 Formazione Mame/Corpi detritici	Tratta 5 Imbocco Alba
--	--	---	---	------------------------------------

L'esame dei "Profili geomeccanici", nonché gli studi e gli approfondimenti svolti in preparazione alla redazione del Progetto Esecutivo della galleria, hanno consentito di suddividere la galleria in 5 tratte omogenee, ciascuna delle quali caratterizzata da specifiche criticità e, quindi, da specifiche modalità operative di intervento per la realizzazione dell'opera. Anche il contesto geologico-geotecnico risulta sostanzialmente omogeneo in ciascuna tratta. Nel dettaglio:

1. Zona di imbocco lato Cherasco, caratterizzata in parte dalla presenza di depositi di frana, costituiti da argille limose, in parte dalla formazione dei gessi. La morfologia dell'area appare molto dolce, collocandosi l'imbocco in una vallecchia, attraversata trasversalmente dai Rii San Giacomo e Deglia. La circolazione dell'acqua è impostata nei gessi, con presenza di falde sospese nei limi sabbiosi. Le principali criticità riguardano la propensione dell'area al dissesto geomorfologico e la possibile presenza di cavità nella fascia dei gessi.
2. Zona di galleria interessata dall'attraversamento della formazione dei gessi. Questo settore rappresenta una delle zone più critiche lungo il tracciato della galleria vedendo l'interferenza del cavo con la formazione dei gessi e con l'acquifero in esso presente. Lo scavo della galleria si sviluppa in parte all'interno della roccia gessifera, in parte all'interno dei depositi pliocenici e dei depositi detritici sovrastanti. In questo settore le due canne della galleria attraversano interamente l'acquifero dei gessi, la cui circolazione è principalmente condizionata dalla geometria del sistema di condotti carsici formati per la dissoluzione del gesso, che determinano specifici assi di drenaggio. Le principali criticità della tratta sono riferibili alla notevole variabilità geomeccanica, che può determinare condizioni di instabilità dei fronti di scavo, nonché all'intercettazione di cavità carsiche, con possibili sacche d'acqua, che possono determinare rilasci e risentimenti in superficie.

3. Zona di galleria interessata dall'attraversamento del substrato marnoso-argilloso della Formazione delle Marne di Sant'Agata. In questo tratto di galleria si raggiungono le massime coperture, variabili da 60 a 90 m. La permeabilità delle marne è bassa e, di conseguenza, anche i deflussi previsti nella galleria sono previsti di piccola entità; in compenso si prevede che i battenti idraulici insistenti sulle due canne della galleria siano piuttosto alti (da 4-5 m in corrispondenza del contatto con i gessi, fino a 50-60 m nel tratto centrale della galleria). Particolare attenzione dovrà essere posta al settore prossimo all'imbocco lato Cherasco, dove lo spessore del substrato marnoso, che ricopre la calotta, si riduce progressivamente fino a pochi metri.
4. Zona di galleria all'interno della Formazione delle Marne di Sant'Agata dove si è rilevata la presenza, a quota scavo o poco sopra la calotta, di lenti ghiaioso-sabbiose. Tali lenti costituiscono corpi detritici all'interno della formazione marnosa; in essi vi è presenza di acqua in pressione, con valori nel range 2- 6 bar (ovvero battenti d'acqua di 20-60 m). Le lenti detritiche presentano spessori variabili da 2 m fino a 15-20 m e sono fortemente eterogenee lateralmente; spesso sono presenti solo in una delle due canne, specie in quella di valle, dove si sono riscontrati corpi di minori dimensioni, ma più diffusi. E' questo un settore di galleria dove gli avanzamenti dovranno essere condotti con molta attenzione verso la problematica in questione; la presenza dei corpi detritici rappresenta infatti un elemento di elevata criticità in quanto la loro intercettazione potrebbe comportare importanti venute d'acqua in galleria, con trascinarsi di materiale fine, ed attivazione di risentimenti a piano campagna, in termini di subsidenze o di innesco di fenomeni gravitativi di versante.
5. Zona di imbocco lato Alba, caratterizzata dalla presenza di depositi di frana, costituiti da limi sabbiosi fini, localmente argillosi, inglobanti ghiaie e ciottoli. L'area si caratterizza per una forte criticità geomorfologica e di propensione al dissesto. Si ha la presenza di una copertura detritica, costituita da argilla

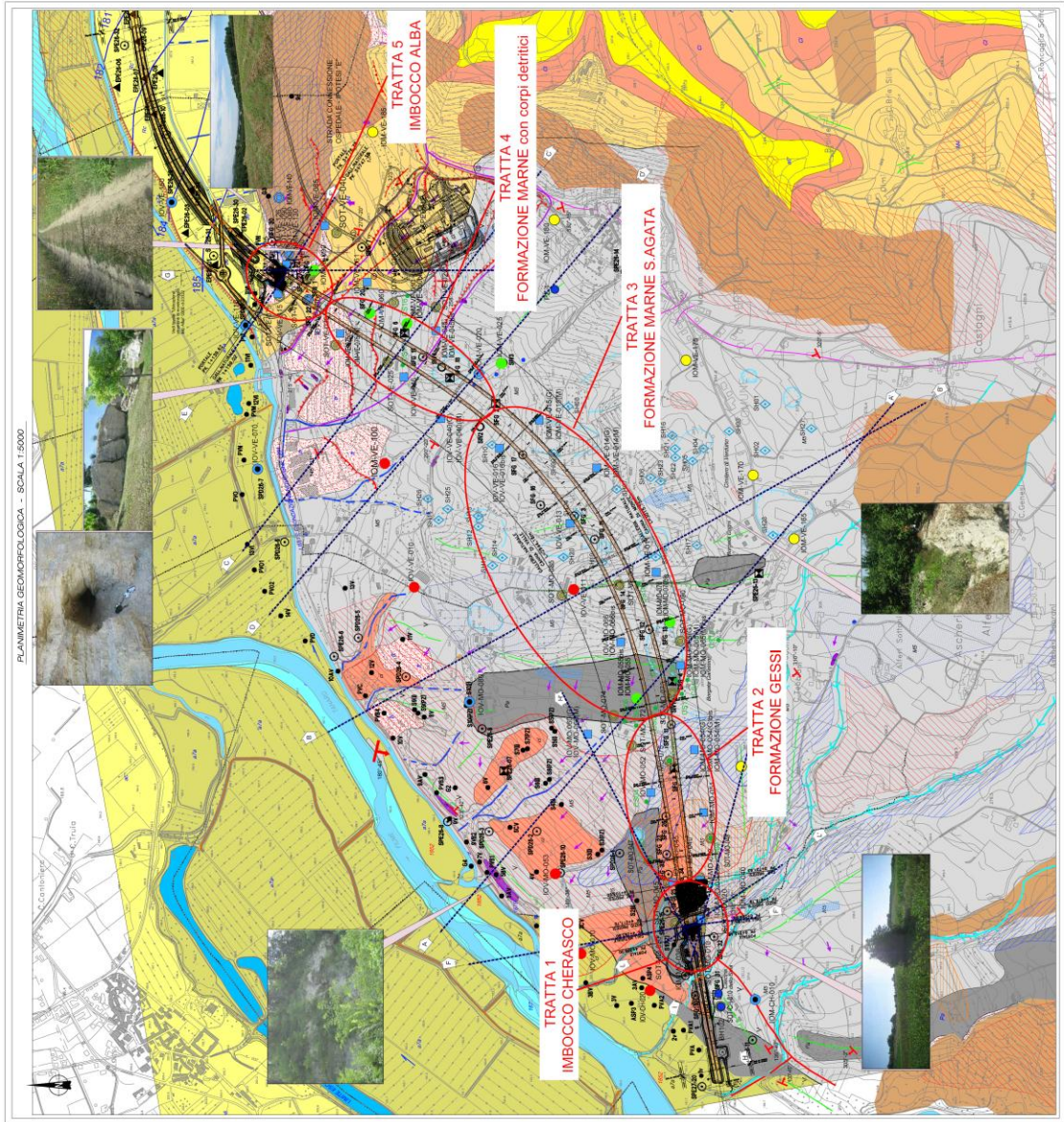


Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

limosa, argilla sabbiosa, con lenti granulari a componente ghiaioso-sabbiosa prevalente, attribuibili a coltri di frana, per uno spessore di circa 20-35 metri, poggiate sul substrato marnoso della formazione delle Marne di S. Agata Fossili. Nell'area sono stati censiti diversi fenomeni di dissesto, interessanti sia i depositi di frana, sia il substrato, come ad esempio nel settore più a monte della zona di imbocco, dove è in fase di costruzione il Nuovo Ospedale Alba-Bra. Il sistema di circolazione dell'acqua si localizza negli affioramenti di terreni rimaneggiati per frana, oltre che nelle porzioni di substrato alterato e diffusamente fratturato.

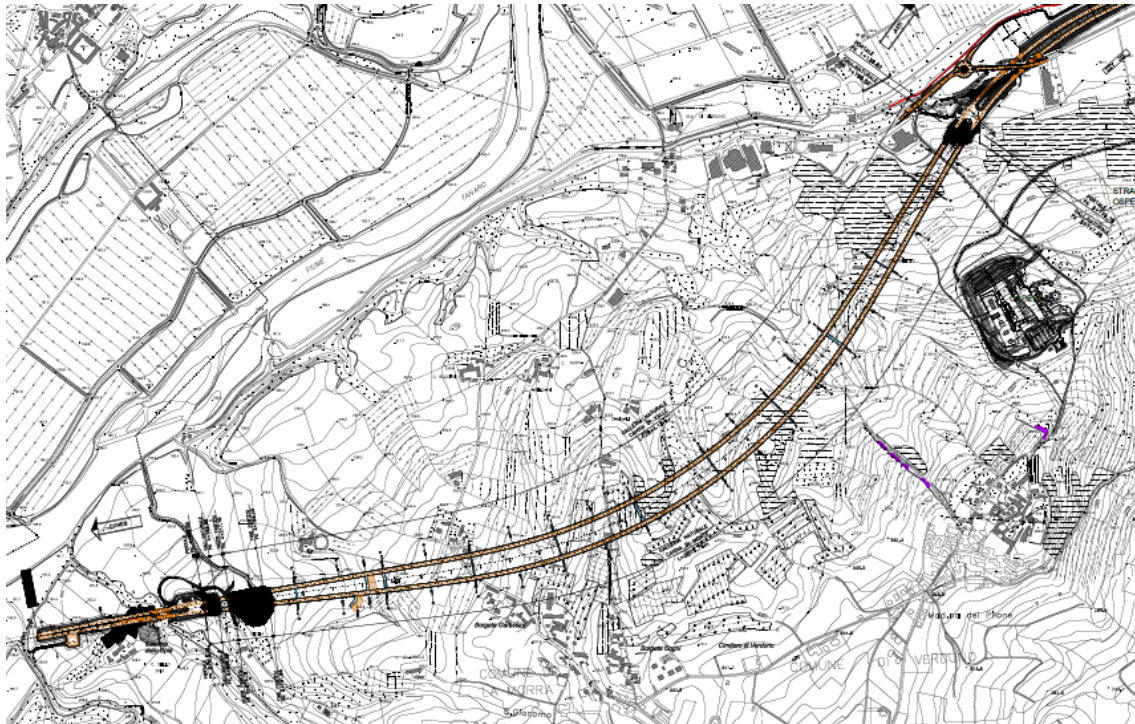
Nella seguente figura si riporta l'inquadramento planimetrico della galleria Verduno, con individuate le 5 tratte omogenee, precedentemente descritte.

INQUADRAMENTO PLANIMETRICO



3. DESCRIZIONE GENERALE DELLE OPERE

La galleria Verduno è composta da due fornici affiancati, ciascuno dei quali contiene una piattaforma stradale della larghezza di 11,95 m funzionale ad ospitare due corsie di marcia più una corsia di emergenza, in adempimento al D.M. 05/11/01. Le due carreggiate (carreggiata Asti-Cuneo o “canna di valle” e carreggiata Cuneo-Asti o “canna di monte”) sono separate, ad eccezione dei tratti di imbocco e dei tratti in artificiale, da un setto di terreno da un minimo di 20 m sino ad un massimo di circa 70 m. La canna di monte ha una lunghezza complessiva (comprensiva di becco di flauto) di 3261.3 m, tra le progressive 0+515.48 (imbocco Cherasco) e 3+776.78 (imbocco Alba), con tratto in naturale, scavato a foro cieco di 3187.5 m (gli imbocchi in naturale sono ubicati rispettivamente alle progressive 0+559.88 e 3+747.38). La canna di valle ha una lunghezza complessiva (comprensiva di becco di flauto) di 3168.38 m, tra le progressive 4+308.00 (imbocco Cherasco) e 1+139.60 (imbocco Alba), con tratto in naturale di lunghezza pari a 3104.58 m; gli imbocchi in naturale sono ubicati rispettivamente alle progressive 4+263.60 e 1+159.02. Le coperture della galleria aumentano gradualmente: dall’imbocco della galleria naturale lato Cuneo-Cherasco (da pochi metri in corrispondenza dell’imbocco, fino a 30 m a circa 500 m di distanza dall’imbocco) raggiungono valori compresi tra 40 e 90 m nel tratto centrale della galleria e infine diminuiscono progressivamente in corrispondenza dell’imbocco lato Asti-Alba (35 m a circa 300 m di distanza dall’imbocco, fino a pochi metri in corrispondenza dell’imbocco della galleria naturale). Nel seguito si riporta un inquadramento planimetrico.



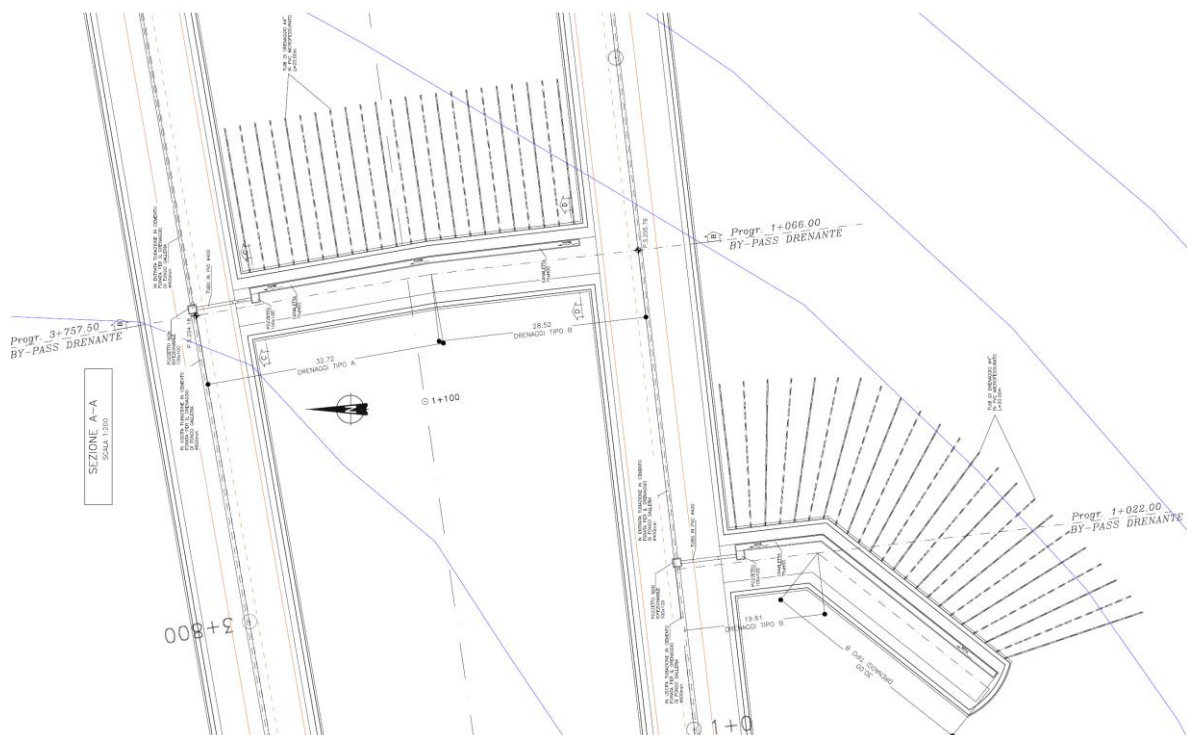
Per lo scavo della Galleria Verduno, gli approfondimenti progettuali condotti, hanno portato a privilegiare l'adozione dello scavo meccanizzato, mediante l'utilizzo di TBM del tipo EPB; tale soluzione è risultata quella in grado di garantire maggiori condizioni di sicurezza ed una più favorevole gestione dei tempi realizzativi dell'opera dal momento in cui il decreto di approvazione del MIT ha previsto l'eliminazione delle piazzole di sosta.

Al fine di contenere l'impatto delle opere in corrispondenza degli imbocchi, si è inoltre previsto di realizzare brevi tratti di galleria, in corrispondenza dell'attacco degli scavi, con metodologia in tradizionale (sezioni tipo C1, C2p e C2p-TBM), così da consentire la messa in pressione del fronte della TBM in presenza di idonei ricoprimenti (5-6 m), senza determinare importanti sbancamenti, che sarebbero risultati molto invasivi nel delicato contesto geomorfologico dei versanti in cui si inserisce l'opera.

Inoltre, nella tratta di attraversamento dei gessi, a partire dall'imbocco Cherasco, si è prevista la realizzazione di un cunicolo con funzione esplorativa (da esso verranno infatti eseguite indagini geofisiche nelle zone di futuro scavo

delle gallerie ed eventuali iniezioni di riempimento in caso di cavità), così da escludere che l'avanzamento della TBM nei gessi intercetti significative cavità o fasce di ammasso in evidente stato di dissoluzione.

Infine un'opera significativa è rappresentata da un by-pass drenante, attrezzato con fasci di drenaggi, realizzato dalla galleria in corrispondenza del contatto tra i gessi e la formazione delle marne, con l'obiettivo di regolare il flusso della circolazione d'acqua in sottterraneo ed evitare circolazioni, e quindi fenomeni di dissoluzione del gessi, in prossimità delle gallerie. Lo schema planimetrico del by-pass drenante è riportato nella figura seguente.



4. OBIETTIVI DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

La strumentazione da predisporre per il monitoraggio delle gallerie, durante le fasi di scavo, deve consentire la misura delle seguenti grandezze:

- stato tensionale e di deformazione delle opere in sotterraneo in costruzione (cunicolo e gallerie autostradali), seguendone l'evoluzione temporale in rapporto alle lavorazioni in galleria ed alla distanza della sezione monitorata dalla posizione del fronte di scavo;
- cedimenti a piano campagna, in funzione delle perdite di volume durante le fasi di scavo, specie in corrispondenza delle zone di imbocco e delle aree morfologicamente più vulnerabili;
- eventuali risentimenti profondi, in termini di scorrimenti o attivazione o riattivazione di superfici di scivolamento;
- variazione del contesto idrogeologico, ovvero variazione della piezometrica e monitoraggio delle portate di acqua emunte dal sistema di drenaggio in galleria o di eventuali venute d'acqua durante lo scavo in tradizionale, specie del cunicolo esplorativo.

Le suddette grandezze sono da monitorare allo scopo di validare ed eventualmente adeguare le modalità di avanzamento, considerando il disturbo arrecato all'ammasso al contorno del cavo ed la sua ripercussione sull'ambiente in prossimità delle gallerie. Questo in particolare modo per quanto attiene alla definizione dei parametri operativi della EPB in fase di scavo, che dovranno essere sistematicamente raccolti in corso d'opera. Il rilevamento delle grandezze di deformazione e spostamento deve permettere di valutare quando intensificare la frequenza di lettura della strumentazione allo scopo di seguire



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

più accuratamente l'evolversi dei fenomeni evidenziati e/o quando attivare interventi di urgenza o variazioni progettuali. Lo stesso per quanto attiene alle variazioni del contesto idrogeologico (piezometria ed acqua drenata).

Il progetto è stato infatti pensato con riferimento a specifici scenari di rischio, descritti in dettaglio nella "Relazione geotecnica" e ripresi nelle Linee Guida per la redazione del "Piano delle emergenze". Per ciascun scenario di rischio è stato pensato uno specifico sistema di monitoraggio in grado di valutare le ripercussioni sull'ambiente preesistente a seguito delle lavorazioni condotte in sottoterraneo e, nello specifico, prevedere azioni correttive.

Nel seguito si riporta una tabella riepilogativa dei principali scenari di rischio con indicata la strumentazione di monitoraggio predisposta ed il capitolo della presente relazione dove la strumentazione è descritta in dettaglio.

N	Zona	Geologia-geotecnica	Scenari di rischio		Sistema di monitoraggio predisposto
			Più probabili	Meno probabili	
1	Imbocco Cherasco	Depositi detritici di copertura (4-5) e gessi (6). Presenza di cavità, vuote o con riempimento di acqua o materiale fine. Falda a a 2-3 m sopra la QP, con escursioni fino a 10m	Instabilità coltri superficiali		Strumentazione inclinometrica (6.2)
				Dissesti gravitativi profondi	Strumentazione inclinometrica (6.2), controllo topografico paratie (8)
				Danni alle preesistenze	Rete topografica di controllo (6.3)
			Intercettamento di cavità nei gessi		Attività geognostica dal cunicolo e topografia piano campagna (6.3)
			Variazione della quota piezometrica rispetto al modello idrogeologico di progetto		Strumentazione piezometrica (7.2) Controlli di portata sul sistema di drenaggio dell'ammasso (7.3)



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6

PROGETTO ESECUTIVO

Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

N	Zona	Geologia-geotecnica	Scenari di rischio		Sistema di monitoraggio predisposto
			Più probabili	Meno probabili	
2	Galleria nei gessi	Principalmente la unità litologica dei gessi (6), con sovrastanti depositi detritici (4-5). Presenza di cavità, vuote o con riempimento di acqua o materiale fine. Falda a a 2-3 m sopra la QP, con escursioni fino a 10m	Instabilità locali del fronte per variabilità caratt. geomec.	Risentimenti significativi a piano campagna, quali depressioni, sprofondamenti, nuovi inghiottitoi	Strumentazione inclinometrica e topografica piano campagna (6.2 e 6.3) Controllo delle doline dalla superficie, mediante punti topografici con misure in continuo da stazioni totali (6.3) Controllo falda con strumentazione piezometrica e controllo delle portate di drenaggio in galleria (7.2 e 7.3) Indagini in avanzamento dalla TBM e controllo dei parametri operativi della TBM, in particolare modo la pressione in camera di scavo (5.2)
			Instabilità locali del fronte per intercettazione cavità (vuote o con riempimento) – Perdita di pressione al fronte della TBM		
			Instabilità locali del fronte per ingenti venute d'acqua		
			Perdita di assetto della TBM per intercettazione cavità		
				Subsidenze a piano campagna	
		Monitoraggio piezometrico e topografico (7.2 e 6.3)			
3	Galleria nelle marne	Principalmente la unità litologica delle marne (7). I gessi sono generalmente posti a distanze > 20 m sopra la calotta. Battenti idraulici fino a 50-60 m, ma basse permeabilità (venute ridotte)		Elevate venute d'acqua in galleria (per elevati battenti)	Controlli in galleria delle portate d'acqua emunte (7.3)
				Interferenze con le cavità che stanno a 20 m sopra la calotta	Rete topografica (6.3) e strumentazione inclinometrica (6.2)
4	Galleria nelle marne con corpi detritici	Unità litologica delle marne (7), con presenza di corpi detritici con acqua in pressione, fino a 6 bar (7a).	Instabilità del fronte di scavo galleria	Risentimenti significativi a piano campagna, con danni a preesistenze e innesco di movimenti gravitativi	Strumentazione inclinometrica(6.2) e piezometrica (7.2) Controllo dei parametri operativi della TBM, in particolare modo la pressione in camera di scavo (5.2) Controlli di portata sul sistema di drenaggio dell'ammasso (7.3) Controllo mediante piano di monitoraggio topografico (6.3)
			Elevate venute d'acqua in galleria, in pressione, con trascinamento di materiale fine		
			Cedimenti a piano campagna		



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

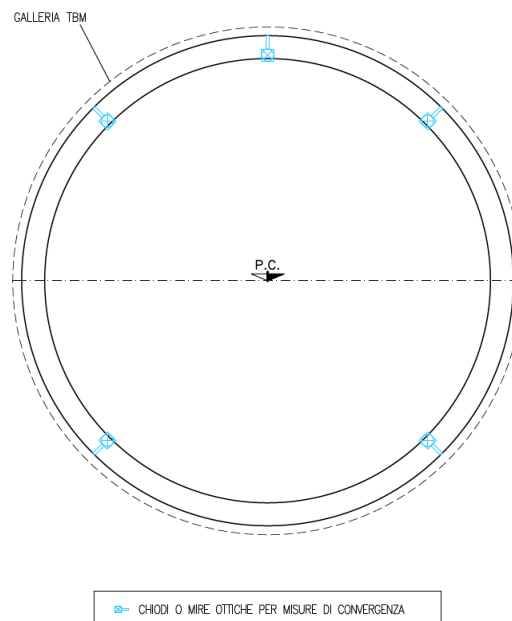
N	Zona	Geologia-geotecnica	Scenari di rischio		Sistema di monitoraggio predisposto
			Più probabili	Meno probabili	
5	Imbocco Alba	Depositi di copertura e di frana (4), fino a profondità di 23-24 m, poggianti sul substrato marnoso (7). Falda a -20 m da piano campagna, con possibili risalite in concomitanza di eventi meteorici intensi	Instabilità coltri superficiali		Strumentazione inclinometrica (6.2)
				Dissesti gravitativi profondi	Strumentazione inclinometrica (6.2), controllo topografico paratie (8)
				Danni alle preesistenze	Rete topografica (6.3)
			Variazione della quota piezometrica rispetto al modello idrogeologico di progetto		Strumentazione piezometrica (7.2) Controlli di portata sul sistema di drenaggio dell'ammasso (7.3)

5. MONITORAGGIO IN GALLERIA

5.1. SCAVO MECCANIZZATO – STAZIONI DI MONITORAGGIO

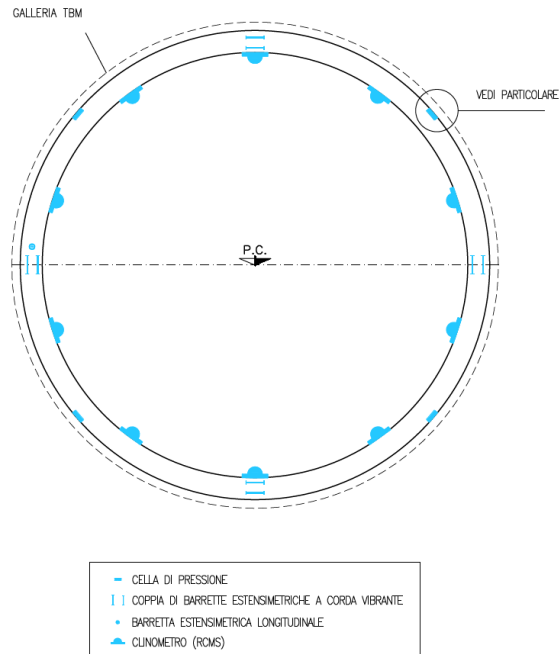
Si predispongono le seguenti stazioni di misura, la cui ubicazione è riportata in dettaglio negli elaborati “Profilo geologico geomeccanico di progetto – Canna di monte” e “Profilo geologico geomeccanico di progetto – Canna di valle”, documenti 2.6-E-d-D.2.1.24 e 23:

- Stazioni di convergenza, costituita da 5 target di misura della convergenza (realizzati mediante un chiodo con mira ottica riflettente) mediante strumento topografico di precisione; nei già citati profili di progetto, tali stazioni sono applicate con una frequenza di circa 200 m (data la difficoltà di eseguire le letture topografiche all’interno della TBM, stante gli ingombri del back-up, la loro applicazione sarà valutata in dettaglio in corso d’opera).



- Anelli strumentati, costituita da 4 coppie di barrette estensimetriche, previste nel getto dei conci prefabbricati, fissate alle armature metalliche principali e finalizzate alla misura delle deformazioni/tensioni tangenziali. Le barrette sono del tipo a corda vibrante, con termistore incorporato, e vengono ubicate in corrispondenza della chiave calotta e arco rovescio ed in corrispondenza del piano dei centri (da verificarsi in dettaglio con le posizioni dell'anello universale). E' prevista inoltre anche una barretta estensimetrica in direzione longitudinale. Vengono predisposte infine anche celle di pressione e, qualora non sia possibile ubicare stazioni di convergenza, clinometri, secondo lo schema riportato di seguito.

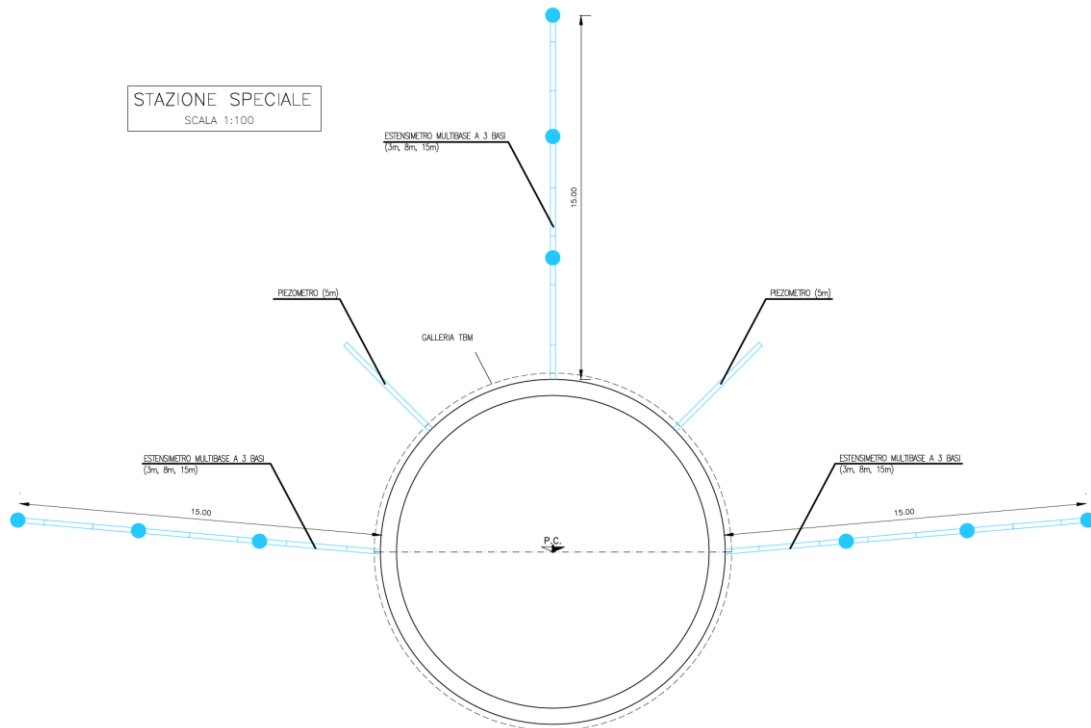
Gli anelli strumentati sono previsti in numero di 6 per canna, nei contesti geomeccanici e di copertura ritenuti più significativi. Come indicato nei profili geomeccanici, un anello strumentato è installato in corrispondenza di ciascuna tratta di imbocco, all'interno dei depositi superficiali (sia lato Cherasco, zona 1, che lato Alba, zona 5). Un anello è ubicato nella tratta di galleria interessata dai gessi (alla progr. 0+975 in canna di monte e 3+710 circa in canna di valle, zona 2), i restanti 3 nel tratto di galleria interessato dalla formazione delle Marne, in corrispondenza delle coperture massime (1+929 circa in canna di monte, 2+927 circa in canna di valle, zona 3) e delle zone interessate dai corpi detritici zona 4.



- Stazioni speciali, dove, in aggiunta alla strumentazione precedentemente descritta, si prevede inoltre la posa in opera di 3 estensimetri multibase a 3 basi, di lunghezza pari a 15 m, e 2 piezometri, ubicati alle reni, di lunghezza pari a 5 m. Tali stazioni sono previste in numero di 3 per canna. Nelle tabelle seguenti si riporta una sintesi delle progressive di applicazione degli anelli strumentati e delle stazioni speciali, indicando anche la zona di appartenenza.

CANNA DI VALLE			
Progressiva	Zona	Anello strumentato	Stazioni speciali
1+295	5	X	
1+843	4	X	X
2+248	4	X	
2+927	3	X	X
3+710	2	X	X
4+047	1	X	

CANNA DI MONTE			
Progressiva	Zona	Anello strumentato	Stazioni speciali
0+726	1	X	
0+975	2	X	X
1+929	3	X	X
2+868	3	X	
3+028	4	X	X
3+626	5	X	



5.2. SCAVO MECCANIZZATO – CONTROLLI IN CORSO D’OPERA

- Controllo parametri operativi TBM; un riscontro di monitoraggio per verificare il buon andamento degli avanzamenti è rappresentato dalla raccolta e dall’analisi dei parametri operativi di funzionamento della TBM, descritti in dettaglio nel documento 2.6E-rD.2.2.02 “Relazione specifiche tecniche scavo meccanizzato”, al capitolo 5. Il parametro più significativo dal punto di vista progettuale è rappresentato dal valore della pressione in camera di scavo, espresso in bar. Nei profili di progetto, documenti 2.6-E-d-D.2.1.24 e 23, è riportato in dettaglio, per ciascuna tratta di galleria, il range dei valori di pressione da mantenere in camera di scavo, in corrispondenza della calotta. Una riduzione superiore al 30-40% rispetto a quanto preventivato può significare una perdita del fluido contenuto all’interno della camera di scavo a causa dell’intercettazione

di cavità o di zone di ammasso in avanzata fase di dissoluzione, rendendo inefficace l'azione di confinamento del fronte atta a garantirne la stabilità. Con riferimento al valore minimo del range di pressione previsto a progetto, si fissa nella riduzione del 20% una soglia di attenzione (raggiunta la quale effettuare controlli sul sistema di condizionamento e messa in pressione della camera di scavo) e nella riduzione del 40% una soglia di allarme (raggiunta la quale interrompere l'avanzamento per consentire l'esame generale della problematica).

I controlli dovranno essere effettuati in continuo durante l'avanzamento della TBM.

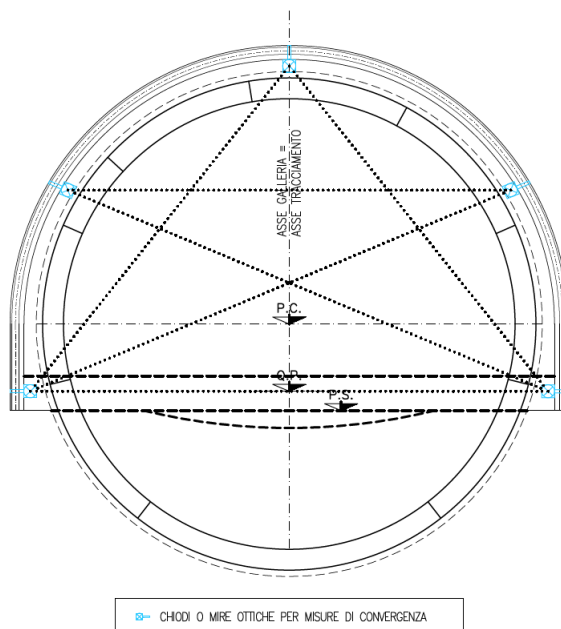
- Sistema tipo BEAM o similare: durante l'avanzamento si adotterà sulla TBM un sistema di investigazione di tipo geoelettrico tramite elettrodi collocati in corrispondenza della testa fresante. Tramite emissioni, in avanzamento, di impulsi elettrici lo strumento è in grado di fornire dati in merito all'andamento di due parametri correlabili alle caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi di prossimo attraversamento: 1) la resistività dei terreni, misurata in Ωm , e 2) il valore di porosità efficace (espressa in %), quest'ultima indicativa della percentuali di vuoti comunicanti rispetto al totale del volume di terreno analizzato. Grazie alla visualizzazione grafica di questi due parametri è possibile individuare, in anticipo rispetto al fronte, elementi di discontinuità presenti nell'ammasso, quale la presenza di faglie o sacche di acqua, oppure passaggi stratigrafici significativi (ad esempio il contatto tra gessi e marne). Nel caso in esame si verificherà in corso d'opera la possibilità di impiegare lo strumento anche per intercettare in anticipo eventuali cavità all'interno della formazione dei gessi, nonché la presenza di corpi detritici saturi all'interno delle marne.

I controlli dovranno essere effettuati in continuo durante l'avanzamento della TBM.

5.3. SCAVO IN TRADIZIONALE E CUNICOLO

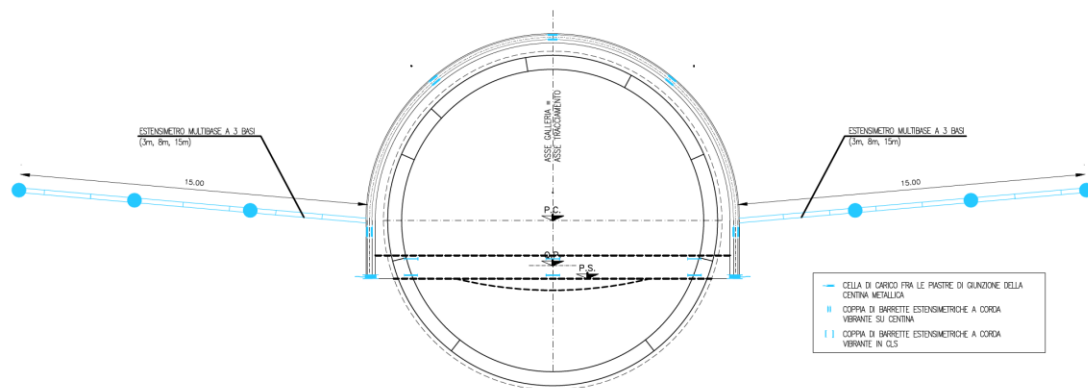
Si predispongono le seguenti stazioni di misura:

- Stazioni di convergenza, costituita da 5 target di misura della convergenza (realizzati mediante un chiodo con mira ottica riflettente) mediante strumento topografico di precisione, da porre in opera per ogni campo di avanzamento, come indicato nei profili di progetto, documenti 2.6-E-d-D.2.1.24 e 23.



- Stazioni speciali, dove, in aggiunta alla strumentazione precedentemente descritta, si prevede inoltre la posa in opera di 2 estensimetri multibase a 3 basi, di lunghezza pari a 15 m.

E' prevista inoltre la posa in opera di barrette estensimetriche a corda vibrante sia in corrispondenza delle centine che del solettone in c.a. che di celle di carico al piede delle centine, secondo lo schema riportato di seguito.



E' prevista la predisposizione di una stazione speciale per ogni imbocco, per un totale di 4 stazioni.

- Rilievi geomeccanici dei fronti di scavo: durante gli avanzamenti eseguiti in tradizionale dovranno inoltre essere condotti rilievi del fronte di scavo, consistenti nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo. Dovrà essere condotto un rilievo per ciascun campo di avanzamento, indicativamente a metà campo di scavo.

Nei rilievi geomeccanici devono essere descritte in dettaglio le caratteristiche litologiche stratigrafiche e strutturali dell'ammasso, con indicazione della litologia e delle caratteristiche petrografiche, del grado e tipo di compattezza/cementazione, della granulometria, dello stato di alterazione, delle caratteristiche delle discontinuità (tipo, localizzazione, giacitura, geometria, tipo di riempimento, JRC, JRS), nonché osservazioni sulle venute d'acqua e sugli eventuali distacchi.

In particolare nella zona 2, interessata dalla formazione dei gessi, occorrerà specificare in dettaglio la composizione geologica dei fronti di scavo, data la possibile variabilità litologica, nonché lo stato di alterazione e dissoluzione, segnalando la eventuale presenza di cavità o microcavità e le circolazioni d'acqua presenti. L'attività di rilievo



geologico del fronte risulta molto importante anche al passaggio tra le zone 2 e 3, ovvero al contatto tra la formazione dei gessi e la sottostante formazione marnosa, al fine di definire puntualmente il contatto geologico.

Durante i rilievi si potranno prelevare campioni per prove di laboratorio (prove di classificazione, di compressione, triassiali, di taglio su giunto, di estrusione ...) ed eventualmente eseguire prove in situ (pressiometriche, dilatometriche, scissometriche...). Nel seguito si riporta il tipologico della scheda di rilievo da impiegare per la raccolta dei dati.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE DEL FRONTE DI SCAVO				
OPERA: <input style="width: 90%;" type="text"/>				
DATA: <input style="width: 50px;" type="text"/>	ORA: <input style="width: 50px;" type="text"/>	RILIEVO N° <input style="width: 50px;" type="text"/>	PROG. NAT. [m]: <input style="width: 50px;" type="text"/>	PROG. ASS. [km]: <input style="width: 50px;" type="text"/>
REDATTO DA:	ORIENTAZIONE ASSE GALLERIA	COPERTURA (m)	AVANZAMENTO (m)	SEZIONE TIPO
LEGENDA: <input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/> <input style="width: 50px;" type="text"/>				
fam.	tipo	legenda	giaciture	Tipo di discontinuità
1				SC = Scistosità
2				ST = Stratificazione
3				J = Giunto generico
4				CT = Contatto
5				VN = Vena – intrusione
				F = Faglia
				FR = Frattura aperta
				CL = Clivaggio
LITOLOGIA 1				
LITOLOGIA 2				
DESCRIZIONE FRONTE:				



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6

PROGETTO ESECUTIVO

Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

	OPERA: _____	PROG. NAT. (m): _____	
	DATA: _____	RILIEVO N°: _____	PROG. ASS. (m): _____

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA												
Classe	R	σ _p (MPa)	lg σ _p PLT	Coeff.								
Medio alta	> 58	> 250	> 10	15								
Alta	44-58	110-250	4-10	10-15								
Medio - alta	32-43	60 - 110	2-4	6-10								
Moderata	12-31	20 - 60	1-2	3-6								
Bassa	<12	10-20	<1	2-3								
Molto bassa	0	<10		1								
prove sclerometriche												
disc.	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	MPa
1												
2												
3												
4												
5												

R2 - RQD				
Qualità	%	s (cm)*	Coeff.	* Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	>19	18-20	
Buona	75-90	10,9-19	15-18	
Discreta	50-75	6-10,5	10-15	
Bassa	25-50	3,5-6	6-10	
Molto bassa	<25	<3,5	3-6	
<input type="checkbox"/> > 200 m3 (sp >60 cm)	<input type="checkbox"/> 0,2-8 dm3 (sp 5-20 cm)	<input type="checkbox"/> 0,08-0,2 dm3 (sp 2-6 cm)		
<input type="checkbox"/> 8-200 m3 (sp 200-600 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> 0,2-8 m3 (sp 60-200 cm)	<input type="checkbox"/> 8-200 dm3 (sp 20-60 cm)		
<input type="checkbox"/> 8-200 m3 (sp 200-600 cm)	<input type="checkbox"/> 8-200 dm3 (sp 20-60 cm)	<input type="checkbox"/> <8 cm3 (sp <2 cm)		

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'					
	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Coeff.
Molto larga	> 1,8 m				20
Larga	0,6 - 1,8 m				12-19
Moderata	20 - 60 cm				8-12
Stretta	8-20 cm				6-8
Molto stretta	< 8 cm				5

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'					
	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Coeff.
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m			8
	Bassa	1 - 3 m			4
	Media	3 - 10 m			2
	Alta	10 - 20 m			1
	Molto alta	> 20 m			0
APERTURA	molto chiusi	nessuna			8
	chiusi	< 0,1 mm			5
	moderat. aperti	0,1 - 1,0 mm			4
	aperti	1 - 5 mm			1
	molto aperti	> 5 mm			0
RUGOSITA'	molto rugose	15-18 18-20			8
	rugose	12-14 14-16			5
	legg. rugose	8-10 10-12			3
	plane	4-6 6-8			1
	levigate	0-2 2-4			0
RIEMPIMENTI	Nessuno				8
	compatto < 5mm				5
	Compatto > 5mm				3
	Sciolto < 5mm				1
	sciolto > 5mm				0
ALTERAZIONE	Non alterata				8
	Leggermente alterata				5
	Moderatamente alterata				3
	Attivamente alterata				1
	Suolo residuale				0

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO				
Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	σ _w /σ _h	Coeff.	
Assoluta	nessuna	0	15	
Umidità	<10	<0,1	10	
Bagnata	10-25	0,1-0,2	7	
Stillicidio	25-125	0,2-0,5	4	
Venute	>125	>0,5	0	

R6 - CORREZIONE PER L'ORIENTAZIONE				
	Immersione	Inclinazione	Coeff.	
			parallela all'asse galleria	perpendicolare all'asse galleria
reggipoggio	parallela all'asse galleria	45-90	0	
		20-45	-2	
	franapoggio	45-90	-5	
		20-45	-10	
perpendicolare all'asse galleria	45-90	-12		
	20-45	-5		
Qualsiasi		<20	-10	

RMR - BIENIAWSKI (1989)				
PARAMETRI	COEFF.			
Resistenza roccia intatta	R1			
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2			
Spaziatura discontinuità	R3			
Condizioni delle discontinuità	R4			
Presenza di acqua nella roccia	R5			
Compensazione orientazione	R6			

RMR				
CLASSE DI BIENIAWSKI				
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

RMR base (secco)	
GSI = RMR base (secco) - 5 =	

RAPPORTO LITOLOGIA 1/LITOLOGIA 2	1 =
	2 =

NOTE



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

	OPERA: <input style="width: 90%;" type="text"/>	PROG. NAT. (m): <input style="width: 80%;" type="text"/>
	DATA: <input style="width: 80%;" type="text"/>	RILIEVO N°: <input style="width: 80%;" type="text"/>
		PROG. ASS. (m): <input style="width: 80%;" type="text"/>

	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">SURFACE CONDITIONS</th> </tr> <tr> <th>VERY GOOD</th> <th>GOOD</th> <th>FAIR</th> <th>POOR</th> <th>VERY POOR</th> </tr> </table>	SURFACE CONDITIONS					VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR																														
SURFACE CONDITIONS																																									
VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR																																					
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>STRUCTURE</th> <th colspan="4">DECREASING SURFACE QUALITY →</th> </tr> <tr> <td></td> <td>90</td> <td>80</td> <td>70</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>80</td> <td>70</td> <td>60</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>70</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>60</td> <td>50</td> <td>40</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>50</td> <td>40</td> <td>30</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> </table>	STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →					90	80	70	N/A		80	70	60	N/A		70	60	50	N/A		60	50	40	N/A		50	40	30	20		N/A	N/A	20	10	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓</th> </tr> </table>	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →																																								
	90	80	70	N/A																																					
	80	70	60	N/A																																					
	70	60	50	N/A																																					
	60	50	40	N/A																																					
	50	40	30	20																																					
	N/A	N/A	20	10																																					
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓																																									
Abaco per la stima di GSI		Stereogramma delle discontinuità																																							

Panoramica del fronte o dettaglio

Panoramica del fronte di scavo.

Per l'Impresa:	Per la D.L.:
----------------	--------------

5.4. SCAVO IN TRADIZIONALE DEI BY-PASS PEDONALI, CARRABILI E BY-PASS DRENANTE

Durante la realizzazione dei by-pass di collegamento tra le due canne, eseguiti con scavi in tradizionale, andrà prevista l'ubicazione di stazioni di monitoraggio finalizzate al riscontro delle ipotesi progettuali ed alla validazione delle soluzioni adottate. Stazioni di monitoraggio andranno ubicate anche per la realizzazione del by-pass drenante. Così come già descritto per gli scavi in tradizionale della galleria principale e del cunicolo (capitolo 5.3), si predispongono:

- Rilievi geomeccanici dei fronti di scavo: durante gli avanzamenti eseguiti in tradizionale dovranno inoltre essere condotti rilievi del fronte di scavo, consistenti nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche del fronte di scavo. Dovrà essere condotto un rilievo per ciascun campo di avanzamento, indicativamente a metà campo di scavo.
- Stazioni di convergenza, costituite da 3 target (by-pass pedonali) e 5 target (by-pass carrabili e drenante) di misura della convergenza, realizzati mediante un chiodo con mira ottica riflettente e lette con strumento topografico di precisione, da porre in opera in numero di 3 per ciascun by-pass.
- Stazioni speciali, dove, in aggiunta alla strumentazione precedentemente descritta, si prevede inoltre la posa in opera di 2 estensimetri multibase a 3 basi, di lunghezza pari a 15 m. E' prevista inoltre la posa in opera di 3 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante in corrispondenza delle centine (ubicate in corrispondenza del piano dei centri e della chiave calotta), 2 celle di carico al piede delle centine, e 4 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante nel rivestimento definitivo

(ubicate in corrispondenza del piano dei centri, della chiave calotta e della chiave arco rovescio).

E' prevista la predisposizione di una stazione speciale per i seguenti by-pass rappresentativi delle varie zone di gallerie (le progressive si riferiscono alla canna di monte): by-pass drenante Progr. 1+022, by-pass carrabile alle Progr. 2+025, 2+925, by-pass pedonali alle Progr. 1+725 e 3+225.

5.5. SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE E FREQUENZE DI LETTURA

Nel seguito si forniscono le principali specifiche tecniche della strumentazione da installare che potranno essere tarate in corso d'opera in funzione della reale situazione tenso-deformativa rilevata dalle prime stazioni installate. Si fornisce indicazione anche dalla modalità di acquisizione

Convergenza

L'acquisizione avviene con strumento topografico a lettura manuale. Per le stazioni di convergenza ubicate sul rivestimento in conci prefabbricati andrà effettuata 1 lettura alla settimana per il primo mese e letture mensili fino a stabilizzazione del dato. Per le stazioni di convergenza ubicate sul rivestimento di prima fase, nell'ambito di scavi in tradizionale, si effettueranno letture giornaliere fino ad una distanza del fronte di scavo di 20 m, 3 letture a settimana fino ad una distanza dal fronte di 50 m e successivamente 1 lettura alla settimana fino a stabilizzazione del dato.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

Principio di Misura	Puntamento ottico e misurazione elettronica (angoli e distanze)
Precisione sistema collimazione automatica	≤ 1 mm a 200 metri
Precisione lettura angolare	1"
Precisione misura della distanza	1 mm + 2 ppm

Barette estensimetriche

Le barrette estensimetriche saranno collegati ad un'unità di acquisizione dati del tipo Multiplexer, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale (tipo ADK-100), da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile. Si prevedono 3 letture alla settimana per il primo mese e successivamente 2 letture al mese fino a stabilizzazione del dato.

Principio di Misura	Corda Vibrante
Campo di Misura (f.s.)	- / + 1500 $\mu\epsilon$
Precisione	<2 % f.s.
Campo di Temperatura	-20° / +80° C
Coefficiente di espansione termica	11.6 $\mu\text{s} / ^\circ\text{C}$
Lunghezza	min 150 mm
Segnale in Uscita	Hz

Piezometro elettrico

I piezometri elettrici saranno collegati ad un'unità di acquisizione dati del tipo Multiplexer, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale (tipo ADK-100),



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile. Si prevede 1 lettura alla settimana per il primo mese e successivamente 1 lettura al mese fino al termine dei lavori. In funzione dei dati rilevati si potrà impiegare tale strumentazione anche in esercizio, eseguendo 4 letture all'anno (letture stagionali).

Campo di misura tipico	500 Kpa
Massimo sovraccarico	min 1.5 volte il fondo scala
Carico minimo di utilizzo	1 % f.s.
Precisione tipica	0.2 e 0.5% F.S.
Segnale in uscita	mV/V o 4-20mA
Deriva termica	(zero-span) non superiore a 0.05% f.s./°C
Campo di temperatura	0-35 °C

Celle di carico

Le celle di carico saranno collegati ad un'unità di acquisizione dati del tipo Multiplexer, la quale a sua volta invierà i dati all'unità centrale (tipo ADK-100), da cui saranno scaricati i dati dei sensori mediante apposita centralina mobile. Si prevedono 3 letture alla settimana per il primo mese e successivamente 2 letture al mese fino a stabilizzazione del dato.

Principio di Misura	Potenziometrico
Campo di Misura (F.S.)	0 – 1000KN
Carico ammissibile	150% F.S.
Precisione	<0.50 % F.S.
Campo di Temperatura	-15° / +70° C



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

Segnale in Uscita

mV/V – 4-20mA

Trasduttore di spostamento (per estensimetro multibase)

Le misure effettuate con estensimetri multibase consistono nel rilevamento e nella restituzione, grafica e numerica, degli spostamenti di punti (basi) in direzione longitudinale rispetto al foro in cui sono collocati. Eseguito il foro fino alla profondità prevista, i punti di misura vengono fissati alle pareti del foro, mediante dispositivi ad espansione meccanica o tramite ancoraggi in ferro zincato ad aderenza migliorata cementati in profondità. Ad ogni base viene solidarizzata un'asta indeformabile metallica, in invar o vetroresina, la cui testa sporge a bocca foro; tali aste devono essere protette mediante guaina in plastica, entro cui possono liberamente scorrere per evitare di venire solidarizzate con l'ammasso roccioso in più punti. Si prevedono 3 letture alla settimana per il primo mese e successivamente 2 letture al mese fino a stabilizzazione del dato.

Principio di Misura	Potenziometrico
Campo di Misura (f.s.)	0-25 / 0-50 / 0-100 / 0-150 mm
Precisione	<0.25 % F.S.
Campo di Temperatura	-20° / +70° C
Segnale in Uscita	Volt/mA

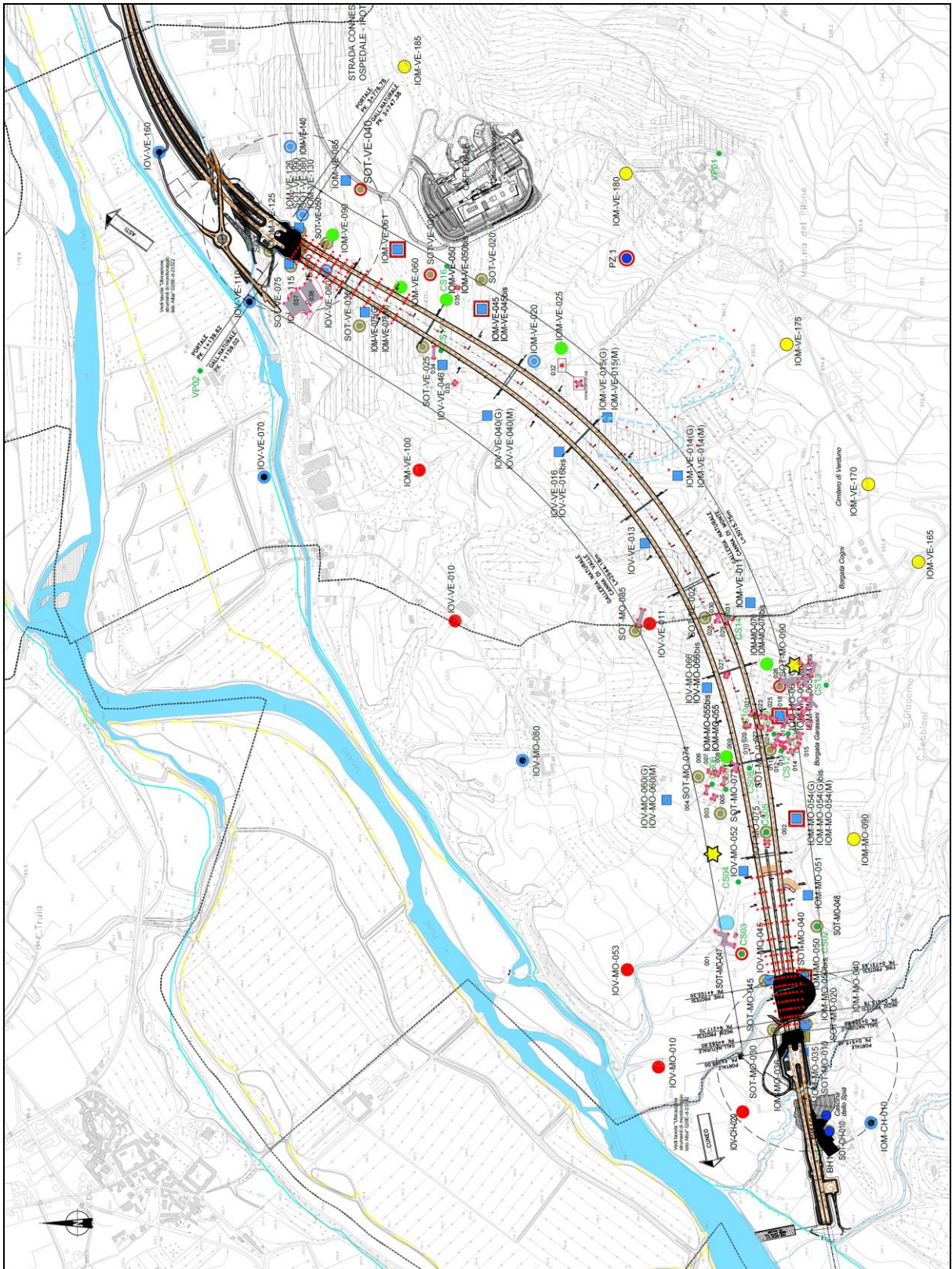
6. MONITORAGGIO GEOTECNICO

Al fine di raccogliere informazioni sulle deformazioni determinatesi nel terreno a seguito dello scavo delle gallerie in sotterraneo si prevede di predisporre:

- Strumentazione inclinometrica profonda, localizzata nelle aree morfologicamente più delicate (ad esempio in corrispondenza degli imbocchi ed a controllo di aree con pre-esistenze in superficie).
- Rete di capisaldi topografici, disposti a piano campagna in corrispondenza di edifici o manufatti presenti. La rete di capisaldi prevede capisaldi per lettura con strumentazione GPS, capisaldi per lettura con strumentazione topografica. Si è inoltre prevista la localizzazione di alcune “stazioni topografiche totali” per la lettura in continuo.

Nella figura seguente si riporta una planimetria di inquadramento della campagna di monitoraggio prevista. La strumentazione prevista è riportata nell’elaborato grafico 2.6.E.d.D.2.1.32 “Planimetria generale di monitoraggio” e descritta in dettaglio nei capitoli seguenti.

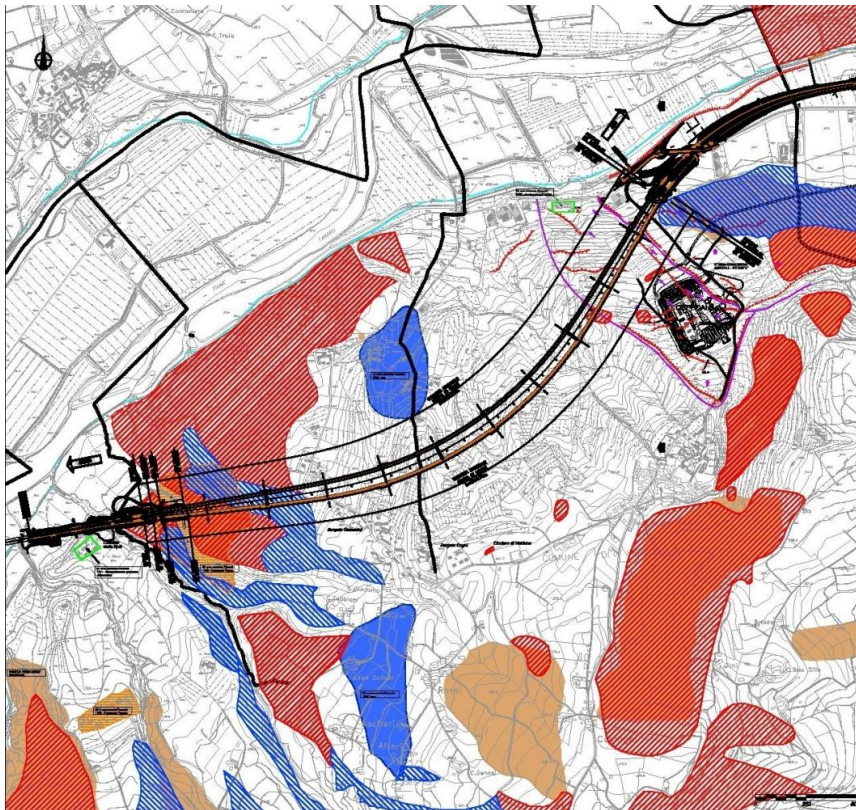
Si evidenzia anche il possibile ricorso ad un aggiornamento dei dati di interferometria radar raccolti in fase di progettazione nel settembre 2012.



6.1. ANALISI DEI DATI RILEVATI

In fase di progettazione esecutiva, nell’ambito degli studi geomorfologici, si è provveduto ad una ricerca sui fenomeni già censiti dagli Enti preposti alla tutela del territorio con l’obiettivo di segnalare fenomeni franosi censiti e pregressi all’inizio dei lavori, sui quali maggiormente concentrare l’attenzione delle attività di monitoraggio.

Si sono esaminati i censimenti dei dati ARPA ed IFFI, i fenomeni franosi riportati dal PAI principalmente nel settore orientale (lato Alba). Una sintesi delle aree indicate dai vari enti come soggette a fenomeni franosi (e delle loro eventuali sovrapposizioni) è presentata nella “Carta dei Fenomeni Franosi Censiti”, documento 2.6-E.dD.2.1.06, uno stralcio della quale è riportato nella seguente figura (si veda l’elaborato per la leggenda).



L'elaborazione SqueeSAR™ del RADARSAT-1, forse anche a causa della scarsità di bersagli sui dissesti segnalati, non ha rilevato movimenti significativi.

L'interpretazione progettuale circa le criticità geomorfologiche dell'area di progetto, che tiene conto di tutte le informazioni esaminate, compreso i sopralluoghi sul posto, è riportata nel documento "Carta geomorfologica", documento 2.6-E.dD.2.1.06. Senza dubbio l'area più critica è rappresentata dal settore interessato dall'imbocco lato Alba e dal versante a monte dello stesso, in direzione del Nuovo Ospedale Alba-Bra, laddove è presente un'estesa area in frana attiva interessante i depositi di copertura, nonché si è evidenziata la presenza di piani di scorrimento traslazionale all'interno del substrato marnoso.

6.2. STRUMENTAZIONE INCLINOMETRICA PROFONDA

La tabella seguente riporta la codifica dei punti di monitoraggio, la loro ubicazione, la località più vicina o la progressiva di riferimento.

Codifica Punto di Monitoraggio	Tipologia punto monitoraggio	Ubicazione	Profondità (m)
SOT-MO-020	INCLINOMETRO	AREA IMBOCCO CHERASCO	40
SOT-MO-030	INCLINOMETRO	AREA IMBOCCO CHERASCO	40
SOT-MO-040	INCLINOMETRO	AREA IMBOCCO CHERASCO	40
SOT-MO-045	INCLINOMETRO	AREA IMBOCCO CHERASCO	40
SOT-MO-047	INCLINOMETRO	CASCINA DABENE	50
SOT-MO-048	INCLINOMETRO	EST AREA IMBOCCO CHERASCO	50
SOT-MO-050	TOPOGRAFICO	AREA IMBOCCO CHERASCO	
SOT-MO-060	TOPOGRAFICO	CASCINA DABENE	
SOT-MO-070	TOPOGRAFICO	OVEST BORGATA GARASSINI	
SOT-MO-072	INCLINOMETRO	NORD BORGATA GARASSINI	50
SOT-MO-073	INCLINOMETRO	BORGATA GARASSINI	80
SOT-MO-074	INCLINOMETRO	NORD BORGATA GARASSINI	70



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

Codifica Punto di Monitoraggio	Tipologia punto monitoraggio	Ubicazione	Profondità (m)
SOT-MO-075	INCLINOMETRO	OVEST BORGATA GARASSINI	80
SOT-MO-080	TOPOGRAFICO	BORGATA GARASSINI	
SOT-MO-085	INCLINOMETRO	SUD C. CAMINALI	80
SOT-MO-090	INCLINOMETRO	BORGATA GARASSINI	80
SOT-VE-002	INCLINOMETRO	EST BORGATA GARASSINI	80
SOT-VE-010	TOPOGRAFICO	CONTRADA MONTEMIGLIETTO	
SOT-VE-020	INCLINOMETRO	SUD CONTRADA MONTEMIGLIETTO	70
SOT-VE-025	INCLINOMETRO	CONTRADA MONTEMIGLIETTO	60
SOT-VE-030	INCLINOMETRO	EST CONTRADA MONTEMIGLIETTO	60
SOT-VE-035	INCLINOMETRO	NORD CONTRADA MONTEMIGLIETTO	50
SOT-VE-040	INCLINOMETRO	NORD-EST CONTRADA MONTEMIGLIETTO	20
SOT-VE-050	INCLINOMETRO	IMBOCCO LATO ALBA	30
SOT-VE-060	TOPOGRAFICO	AREA IMBOCCO ALBA	
SOT-VE-070	INCLINOMETRO	IMBOCCO LATO ALBA	40
SOT-VE-075	INCLINOMETRO	IMBOCCO LATO ALBA	35
SOT-VE-080	INCLINOMETRO	IMBOCCO LATO ALBA	40
SOT-VE-100	INCLINOMETRO	IMBOCCO LATO ALBA	40

Di seguito sono riportati in tabella gli inclinometri che saranno strumentati in continuo:

Codifica Punto di Monitoraggio	Tipologia punto monitoraggio	Ubicazione	Profondità (m)
SOT-VE-030	INCLINOMETRO	EST CONTRADA MONTEMIGLIETTO	60
SOT-VE-040	INCLINOMETRO	NORD-EST CONTRADA MONTEMIGLIETTO	20
SOT-MO-047	INCLINOMETRO	CASCINA DABENE	50
SOT-MO-090	INCLINOMETRO	BORGATA GARASSINI	80

Con riferimento alle 5 zone in cui è stato suddiviso il tracciato, la strumentazione prevista è in dettaglio la seguente:

- Zona 1 (imbocco Cherasco): al fine di monitorare i versanti retrostanti le opere di imbocco si è prevista l'installazione degli inclinometri SOT-MO-020, 030, 040, 045 e 047, quest'ultimo ubicato in posizione antistante la Cascina Dabene e strumentato per lettura in continuo. Più esterno all'area dell'imbocco, verso est, si posiziona l'inclinometro SOT-MO-048.
- Zona 2 (Gessi): si è predisposto l'inclinometro SOT-MO-075, in asse tra le due canne, mentre gli inclinometri SOT-MO-72 e 74 e gli inclinometri SOT-MO-73 e 90 rispettivamente a valle ed a monte del tracciato. L'inclinometro SOT-MO-090, posto in corrispondenza della Borgata Garassino, sarà a lettura in continuo.
- Zona 3 (Marne): in questa zona non sono segnalate criticità riguardo a fenomeni profondi; si è prevista l'installazione dei soli inclinometri SOT-VE-002 in asse gallerie e 085 a valle del tracciato.
- Zona 4 (marne con corpi detritici): in questa zona si è prevista l'installazione di 3 inclinometri, SOT-VE-020, 025 e 030 ubicati rispettivamente a sud della Contrada Montemigletto, in Contrada Montemigletto e ad est della stessa. Per lo strumento 030 si è prevista lettura in continuo. Gli strumenti 020 e 030 sono posti a monte del tracciato, lo strumento 025 a valle. L'obiettivo è di controllare eventuali movimenti in profondità correlati all'avanzamento degli scavi all'interno delle porzioni dei corpi detritici.
- Zona 5 (imbocco lato Alba): essendo l'area critica sotto l'aspetto geomorfologico, si è previsto un significativo numero di strumenti inclinometrici, ubicati a monte delle opere di imbocco. Nel dettaglio: lo strumento SOT-VE-035 è posizionato a valle del tracciato, gli strumenti SOT-VE-050, 070, 075 e 080 in corrispondenza dell'imbocco, lo strumento 100 a valle dell'imbocco stesso. Particolarmente importante lo strumento 040, monitorato in continuo, posto a valle della zona dove si è

costruito il Nuovo Ospedale; tale strumento consentirà di valutare eventuali risentimenti generati dalla costruzione dell'imbocco sulle aree poste a monte.

6.3. RETE TOPOGRAFICA

Prima dell'inizio dei lavori verrà predisposta una rete topografica a piano campagna, costituita da capisaldi per rilievo con strumentazione topografica e con GPS.

La rete di capisaldi per lettura topografica prevede:

- Stendimenti di capisaldi topografici su sezioni trasversali al tracciato delle gallerie in corrispondenza delle zone di imbocco, fino in presenza di coperture pari a 30 m. Ogni stendimento è costituito da 9 capisaldi topografici di cui 3+3 disposti per ciascuna canna in corrispondenza dell'asse e dei due paramenti, 2 posti a circa 15-20 m dal paramento esterno di ciascuna canna ed 1 in corrispondenza dell'asse di tracciamento dell'opera (tra le due canne); gli stendimenti sono posti ad interasse pari a 25 m fino in presenza di ricoprimenti pari a 15 m e successivamente ad interasse di 50 m.
- Allineamenti di capisaldi topografici lungo l'asse di tracciamento delle due canne, posti ad interasse di 100 m per ricoprimenti superiori a 30 m.
- Rete di controllo topografico dei fabbricati e dei manufatti presenti in superficie, predisponendo mire topografiche in corrispondenza degli spigoli dei fabbricati o di punti significativi.

- Rete di controllo topografico di alcuni fenomeni di cavità e doline presenti a piano campagna, con predisposizione di capisaldi disposti arealmente al contorno delle forme rilevate.

In corrispondenza della Borgata Garassino, che rappresenta l'interferenza più importante con abitazioni preesistenti, si è inoltre prevista la presenza di 2 stazioni totali per lettura dei capisaldi in automatico con frequenza di 4 letture al giorno (ogni 6 ore).

La rete di capisaldi per lettura con GPS prevede per le zone di suddivisione del tracciato la seguente strumentazione:

- Zona 1 (imbocco Cherasco): al fine di monitorare i versanti retrostanti le opere di imbocco si è prevista l'installazione dei capisaldi CS02, CS04 e CS03, quest'ultimo a valle della Cascina Dabene.
- Zona 2 (Gessi): si sono predisposti i capisaldi CS05, CS08, CS10 e CS14 sostanzialmente lungo il tracciato, mentre i capisaldi CS06 e CS07 sono ubicati in corrispondenza di edifici a valle del tracciato ed i capisaldi CS09, CS11, CS12 e CS13 su alcuni edifici significativi della Borgata Garassino.
- Zona 3 (Marne): Si è prevista l'installazione del solo caposaldo CS14; la zona non presenta presenza di edifici o pre-esistenze in superficie. Alcuni capisaldi della rete topografica consentiranno di tenere sotto controllo la zona interessata da doline.
- Zona 4 (marne con corpi detritici): si è prevista l'installazione del caposaldo CS15, in prossimità dell'edificio 034.
- Zona 5 (imbocco lato Alba): Non sono previsti capisaldi del tipo a lettura con GPS.



6.4. MONITORAGGIO CON INTERFEROMETRIA RADAR

In fase di progettazione si è ricorso all'ausilio di un'indagine con "interferometria radar", eseguita in corrispondenza dell'area della Galleria Verduno con analisi SqueeSARTM. L'analisi condotta ha previsto l'elaborazione di un dataset composto da 126 immagini acquisite dal satellite canadese RADARSAT-1 in geometria ascendente nel periodo compreso tra Marzo 2003 e Settembre 2012. Per l'interpretazione dei dati si rimanda all'elaborato "Analisi e monitoraggio con interferometria da satellite dell'area interessata dal progetto della galleria Verduno (CN)", documento 2.6-E.rD.2.1.06.

Si ritiene utile potere disporre, durante la realizzazione delle opere, di un aggiornamento dei dati interferometrici, così da effettuare confronti con la situazione ante-operam delineata nel settembre 2012. In linea di principio si può pensare ad un'acquisizione periodica in concomitanza di alcune fasi realizzative significative: ad esempio al completamento della realizzazione della prima canna ed a lavori ultimati, o come approfondimento di evidenze raccolte dalla strumentazione inclinometrica e topografica.

6.5. FREQUENZA DI LETTURA

La lettura della strumentazione inclinometrica profonda verrà effettuata di regola 1 volta al mese durante la realizzazione dei lavori; la frequenza sarà elevata a 2 letture al mese (lettura quindicinale) per la strumentazione posta entro una fascia di 300 m dal fronte di avanzamento degli scavi (prima e dopo il fronte).

La rete topografica sarà letta con frequenza settimanale; la frequenza sarà elevata a 2-3 letture settimanali per la strumentazione posta entro una fascia di 300 m dal fronte di avanzamento degli scavi (prima e dopo il fronte).



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

La frequenza di lettura sarà comunque tarata in corso d'opera in funzione dei dati via via rilevati. In funzione dei dati rilevati verrà inoltre deciso in corso d'opera la strumentazione per la quale sarà necessario procedere a letture di controllo oltre il termine dei lavori, durante le prime fasi di esercizio dell'opera.

7. MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO

Sulla base della valutazione degli impatti e dei rischi idrogeologici si è previsto di attuare un piano di monitoraggio idrogeologico da effettuare attraverso misurazione dei livelli piezometrici.

E' stata quindi predisposta una rete di monitoraggio costituita da piezometri (la cui installazione è già avvenuta nel 2011 al fine di raccogliere dati con largo anticipo rispetto all'inizio dei lavori) e da 4 sorgenti in corrispondenza delle quali verranno effettuate misure in situ e prelievo di campioni.

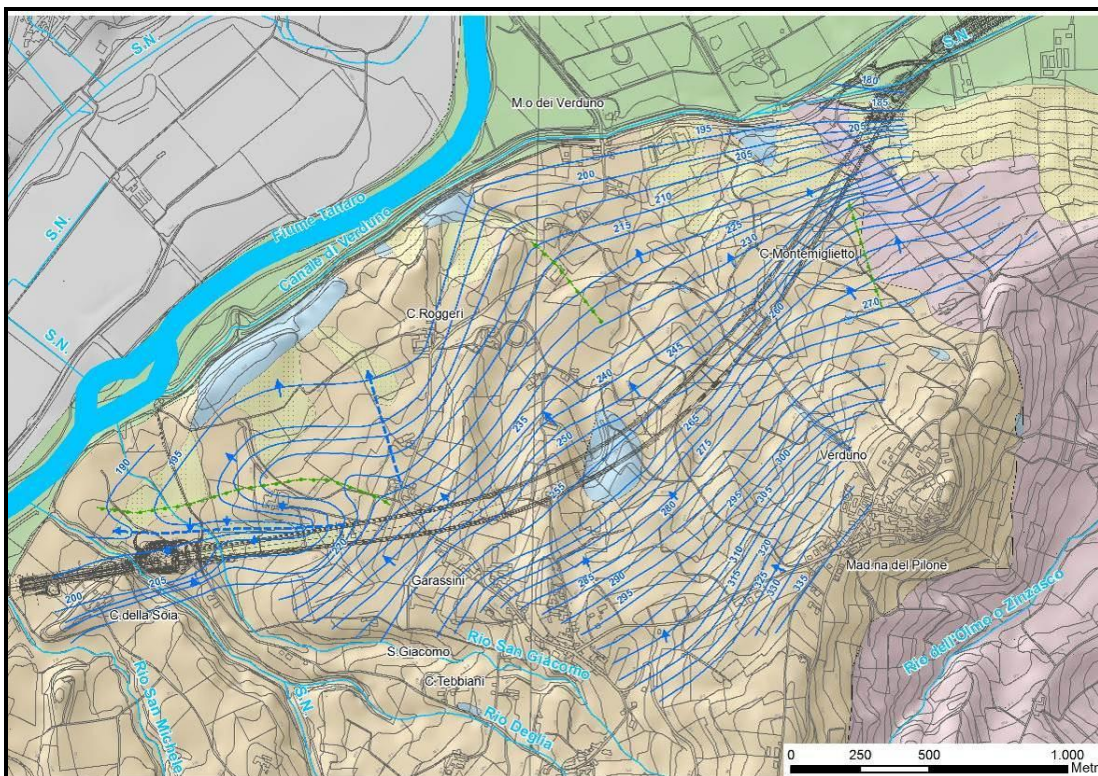
Il dettaglio della strumentazione installata è descritta al capitolo 7.2, dove si riporta anche una tabella riepilogativa in cui, per ogni strumento, è indicato il codice identificativo e la profondità di indagine. La strumentazione prevista è riportata inoltre nell'elaborato grafico 2.6.E.d.D.2.1.32 "Planimetria generale di monitoraggio".

Al fine di effettuare le necessarie correlazioni tra le variazioni piezometriche riscontrate dalla rete di monitoraggio piezometrica e le lavorazioni in sottoterraneo si è inoltre prevista la misura delle portate d'acqua emunte in galleria, sia durante la realizzazione dell'opera, sia durante l'esercizio dell'infrastruttura, come descritto al capitolo 7.3.

Si premette, al capitolo 7.1., una sintesi del quadro idrogeologico rilevato, descritto compiutamente nella "Relazione idrogeologica" di progetto, documento 2.6-E.r.D.2.1.04.

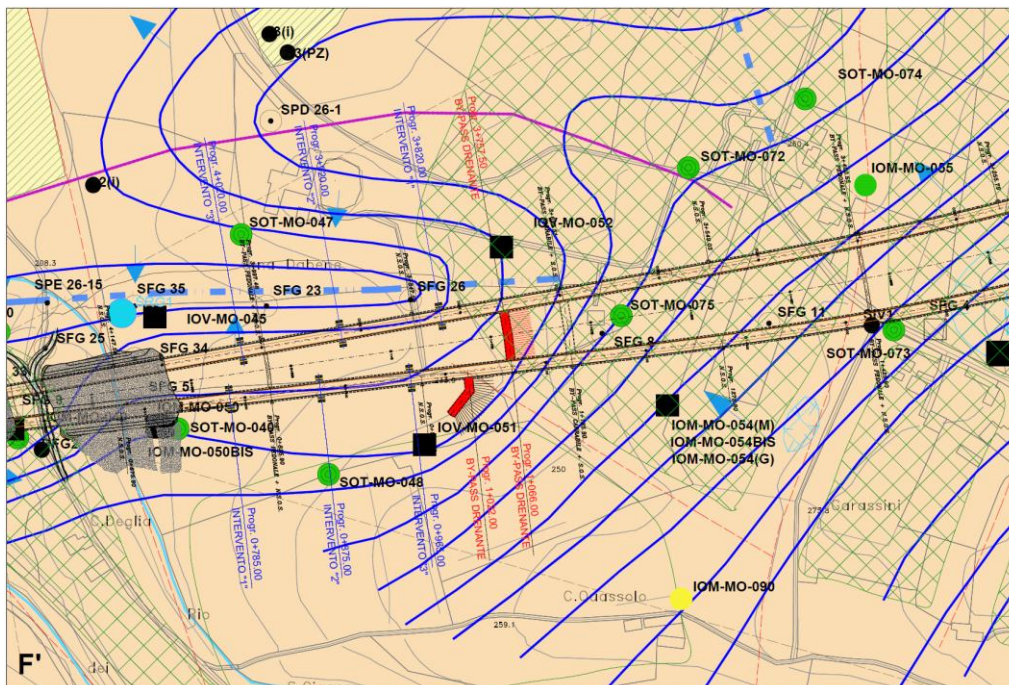
7.1. ANALISI DEI DATI RILEVATI

La rete di monitoraggio predisposta consentirà di valutare costantemente il comportamento dell'acquifero, controllando l'impatto della costruzione dell'opera sul sistema idrogeologico dell'area. Nella figura seguente si riporta la ricostruzione della piezometrica di falda a grande scala, messa a punto impiegando l'insieme dei dati disponibili.



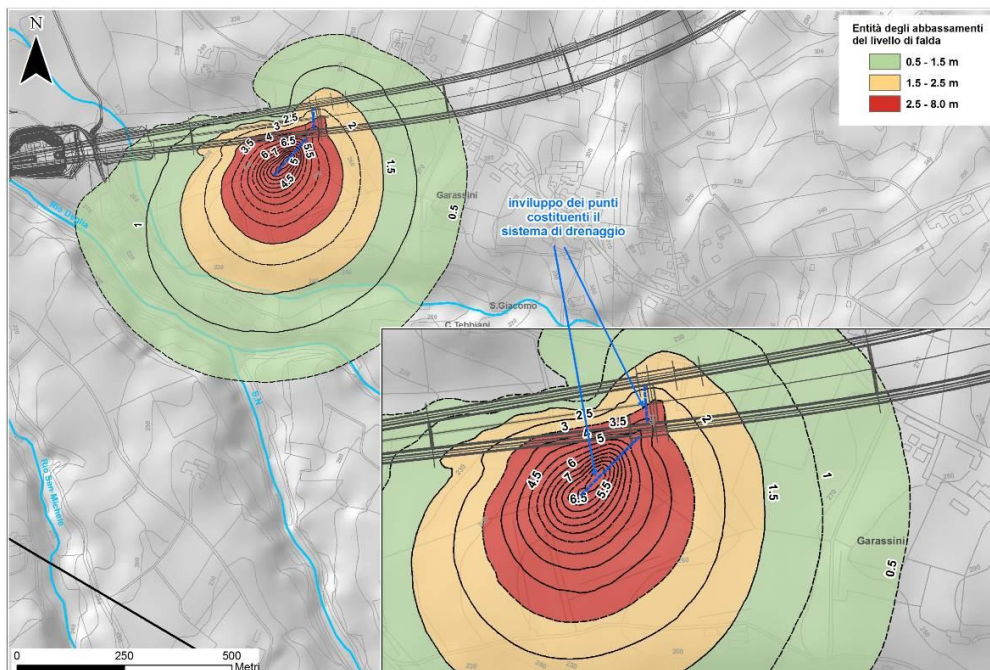
Per quanto riguarda la ricostruzione piezometrica in corrispondenza del settore interessato dalla formazione dei gessi, presso l'imbocco lato Cherasco, sono stati messi a punto due possibili scenari: il primo considerando i soli dati relativi al Monitoraggio Ambientale (2011-2013), il secondo combinando i dati del Monitoraggio Ambientale con i dati relativi alla campagna 2001-2002, i quali non sono più oggi nelle condizioni di fornire dati piezometrici affidabili. Entrambe le scelte, come in dettaglio discusso nella relazione idrogeologica, hanno dei pro e dei contro: il vantaggio derivante dall'integrazione dei dati

piezometrici relativi alle serie 2001-2002 e 2011-2013 è quello di poter ottenere una ricostruzione piezometrica basata su numero di campioni più elevato e con una maggiore distribuzione areale. L'estrapolazione basata sui soli valori derivanti dal piezometri del Monitoraggio Ambientale implica infatti la correlazione tra un numero inferiore di dati e quindi il ricorso ad un maggior grado di libertà nella ricostruzione della superficie piezometrica, pur presentando il vantaggio di considerare dati coevi e quindi non soggetti a differenti condizioni di alimentazione/drenaggio. Considerando i soli dati piezometrici della Monitoraggio ambientale (2011-2013) la superficie piezometrica presenta un andamento circa monoclinale con direzione media verso NW-SE; in questa rappresentazione non emergano né spartiacque, né assi di drenaggio idrogeologici. Considerando anche i dati 2001-2002, si determina invece la presenza di un'insenatura molto pronunciata della piezometria in corrispondenza del tracciato della canna di valle della futura Galleria di Verduno, fino a 4-5 m più bassa di quella rappresentata considerando i soli dati 2011-2013, come mostrato nella figura seguente.

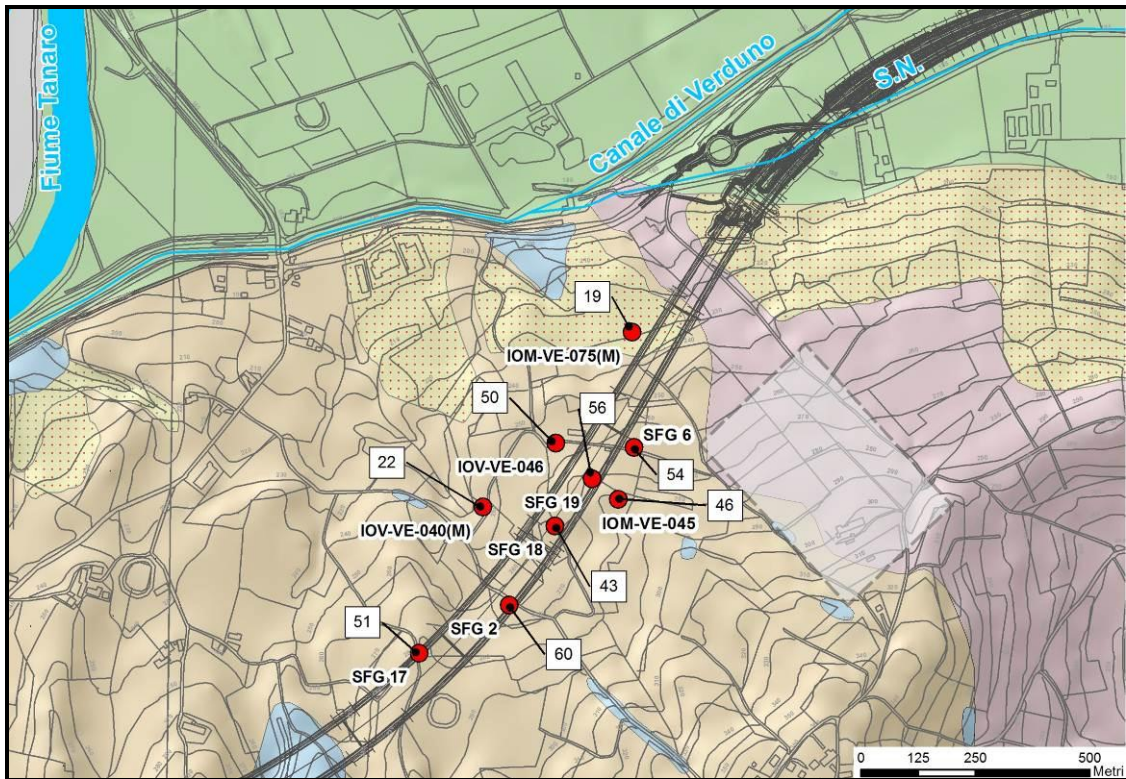


Gli approfondimenti progettuali, volti ad individuare le criticità connesse alla realizzazione delle nuove opere, sono stati condotti con riferimento ad entrambi gli scenari, anche se l'insieme dei dati geologici-idrogeologici raccolti – stratigrafie, cavità rilevate ... - fanno preferire l'inserimento nel modello idrogeologico di un asse di drenaggio compatibile con i dati rilevati nel periodo 2001-2002 nella zona prossima alla canna sud, dove non sono attualmente disponibili nuove informazioni piezometriche.

Il controllo dei livelli piezometrici risulterà inoltre di fondamentale importanza per la valutazione dell'efficacia di alcuni degli interventi previsti. In particolare i piezometri collocati in prossimità del by pass drenante dovranno verificarne l'effettivo funzionamento, misurando un abbassamento della falda, rispetto ai valori ante-operam, di circa 2.5 m per una fascia al contorno del by-pass drenante di ampiezza pari a 150-190 m, come mostrato nella figura seguente. In caso contrario si dovrà provvedere ad un'intensificazione del sistema di drenaggio secondo le modalità riportate nell'elaborato 2.6E-dD.2.2.83 "Galleria Verduno – Galleria Naturale – By pass drenante". Al riguardo sarà importante anche la misura delle portate emunte in galleria.



Anche il sistema di drenaggio all'interno dei corpi detritici potrà essere ridefinito qualora le misure rilevate dai piezometri evidenzino un innalzamento anomalo della quota di falda, sostituendo i drenaggi corti previsti con tubi $\varnothing 4''$ di lunghezza $L=10,0$ m. L'attraversamento di questo settore comporta lo scavo di lenti di materiale ghiaioso-sabbioso e sabbioso-limoso (Complesso Idrogeologico 2b) intercalate nelle marne del substrato. Per la canna di monte è previsto che le lenti ghiaioso-sabbiose siano attraversate dal tracciato o si trovino poco sopra di esso tra le pk 2+760 e la 3+400 circa; per la canna di valle la zona di pertinenza di queste lenti è prevista tra le pk 1+620 e 2+360 circa. Tali lenti sono state ricostruite spazialmente attraverso i numerosi sondaggi che le hanno intercettate in prossimità del tracciato della galleria: SFG 2, SFG 6, SFG 18, SFG 19, SFG 20, IOV-VE-046, IOV-VE-040(M) e IOV-VE-075(M), IOM-VE-045. Lo spessore complessivo delle lenti rilevato tramite sondaggio varia da 2 m a 20 m circa e sono fortemente eterogenee lateralmente. I corpi detritici ospitano falde in pressione con quote piezometriche anche superiori alla falda libera superficiale, con valori fino a 1 - 3 m dal piano campagna. La figura seguente riporta i valori di carico idraulico medio misurato in ciascun piezometro e previsti alla quota della galleria. Come si può osservare, i valori attesi di carico sono elevati e compresi tra ca. 20 e 60 m dalla quota di progetto. E' importante sottolineare che questi corpi rappresentano un elemento di criticità idrogeologica per le problematiche che la loro intercettazione da parte della galleria comporta a livello di spinte idrostatiche sul materiale di riempimento della camera di confinamento della TBM, nonché di possibili venute d'acqua (in caso di superamento della pressione massima di confinamento del fronte) e di possibile dilavamento di materiale fine.. Va inoltre rimarcato che se la galleria agirà da elemento impermeabile essa potrà originare dei fenomeni di riduzione della sezione di deflusso all'interno delle lenti, con eventuale conseguente aumento dei battenti idrici a monte. Questi effetti sono tuttavia difficilmente stimabili, poiché non è chiara l'entità del flusso all'interno dei corpi detritici.



7.2. RETE DI CONTROLLO PIEZOMETRICO

La rete di monitoraggio piezometrica è costituita dalla strumentazione indicata nella tabella riportata alla pagina seguente. Su alcuni piezometri si è inoltre prevista l'installazione di strumentazione per la misura in continuo dei livelli piezometrici, al fine di monitorare costantemente l'acquifero. I piezometri da monitorare in continuo sono stati scelti in funzione delle criticità maggiori che possono derivare da un abbassamento significativo del livello di falda indotto dal drenaggio della galleria di Verduno, in particolare con riferimento all'ubicazione di alcuni abitati presenti a piano campagna in prossimità del tracciato della galleria. Il monitoraggio piezometrico in continuo di alcuni strumenti particolarmente significativi consente di ottemperare a quanto indicato



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

nelle prescrizioni del DEC-VIA 576/2011. I piezometri scelti tra quelli esistenti sono i seguenti:

Codice Piezometro	Fenestratura	Abitati limitrofi	Caratteristiche
IOM-MO-050	Gessi	-	Ubicato in una zona in cui è attesa una variazione del livello di falda di media entità
IOM-MO-054(G)	Gessi	-	Ubicato in una zona in cui è attesa una variazione del livello di falda di media entità
IOM-MO-065(G)	Gessi	In prossimità di Borgata Garassini	Ubicato ai limiti della fascia in cui iniziano a verificarsi variazioni del livello di falda
IOM-VE-045(M)	Corpi detritici	-	Ubicato nell'acquifero in pressione dei corpi detritici intercalati nelle marne
IOM-VE-061	Corpi detritici	-	Ubicato nell'acquifero in pressione dei corpi detritici intercalati nelle marne
Pz1	Corpi detritici	A valle di Verduno	Ubicato nell'acquifero in pressione dei corpi detritici a valle di Verduno



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

CODICE PUNTO	PROFONDITA' (m)
IOM-CH-010	
IOV-CH-020	15
IOV-MO-010	15
IOM-MO-040	40
IOV-MO-045	40
IOM-MO-050	40
IOM-MO-050bis	35
IOM-MO-051	80
IOV-MO-052	80
IOV-MO-053	35
IOM-MO-054(G)	45
IOM-MO-054(G)bis	20
IOM-MO-054(M)	80
IOM-MO-055	80
IOM-MO-055bis	30
IOV-MO-060(G)	54.5
IOV-MO-060(M)	60
IOM-MO-065(G)	65
IOM-MO-065(M)	80
IOM-MO-065(M)bis	80
IOV-MO-066	80
IOV-MO-066bis	38
IOM-MO-070	80
IOM-MO-070bis	30
IOV-MO-080(S10)	18
IOM-MO-090	60
IOV-VE-010	50
IOM-VE-011	80
IOV-VE-011	60
IOV-VE-013	80
IOM-VE-014(G)	50
IOM-VE-014(M)	80
IOM-VE-015(G)	35
IOM-VE-015(M)	80
IOV-VE-016	80
IOV-VE-016bis	30
IOM-VE-020	
IOM-VE-025	80
IOV-VE-040(G)	45
IOV-VE-040(M)	60
IOM-VE-045	80
IOM-VE-045bis	24
IOV-VE-046	70
IOM-VE-050	75
IOM-VE-050bis	19
IOM-VE-060	65
IOM-VE-061	45

CODICE PUNTO	PROFONDITA' (m)
IOM-VE-075(G)	24
IOM-VE-075(M)	60
IOV-VE-080	
IOM-VE-085	45
IOM-VE-090	40
IOM-VE-100	35
IOM-VE-105	40
IOV-VE-110	6.15
IOV-VE-115	40
IOM-VE-130	
IOM-VE-140	
IOM-VE-165	60
IOM-VE-170	60
IOM-VE-175	60
IOM-VE-180	60
IOM-VE-185	60
IOM-RO-010	15
IOV-RO-010	15
IOM-RO-030(PZ6-2)	7.1
IOV-RO-030(PZ6-4)	7
IOM-RO-040	15
IOV-RO-040	15
IOM-AB-010	15
IOV-AB-010	15
BH101-2012	40
BH102-2012	40
PZ1	80

Con riferimento alle 5 zone in cui è stato suddiviso il tracciato, la strumentazione prevista è la seguente:

- Zona 1 (imbocco Cherasco): sono stati previsti i piezometri IOM-MO-040, 045, 050 (con lettura in automatico) e 051. L'inclinometro IOV-MO-052 è posto a valle del tracciato.
- Zona 2 (Gessi): nella prima parte, verso ovest, si è ubicato il piezometro IOM-MO-54, il quale consentirà, in abbinamento al piezometro 051, di monitorare l'abbassamento della piezometrica generata dal by-pass drenante. Nella parte centrale della zona 2, interessata da alcune abitazioni, in particolare la Borgata Garassino, sono stati previsti i piezometri IOM-MO-055, 065, 066 e 070. In particolare lo strumento 065, posto a valle della Borgata Garassino, sarà attrezzato con lettura in continuo.
- Zona 3 (Marne): In questa zona si è prevista l'installazione dei piezometri IOM-VE-011, 014 e 015 a monte del tracciato, a valle di una zona interessata da fenomeni carsici in superficie con presenza di doline. La strumentazione IOV-VE011, 013 e 016 sono invece posti a valle del tracciato, anch'essa in zona interessata dalla presenza di cavità e doline. Si ricorda che in questa zona la galleria attraversa la formazione delle marne di Sant'Agata; superiormente alla formazione delle marne è presente la formazione dei gessi, che raggiunge la superficie topografica.
- Zona 4 (marne con corpi detritici): si è prevista l'installazione di un elevato numero di strumenti, considerata la presenza in profondità dei corpi detritici contenente acqua in pressione. Gli strumenti IOM-VE-045, 050 e 060 sono posti a monte del tracciato, lo strumento 045 con lettura in continuo. Gli strumenti 040 e 046 sono posti a valle del tracciato.

- Zona 5 (imbocco lato Alba): anche in questa zona è importante la ricostruzione dell'evoluzione della piezometrica, considerata l'importanza della saturazione dei terreni sulle condizioni di stabilità. Gli strumenti IOM-VE-090 e IOV-VE105 e 115 sono posti a ridosso delle opere di imbocco. Lo strumento 075 è posto a valle del tracciato, infine gli strumenti IOM-VE-061 e 85 sono posti a monte del tracciato in posizione antistante le aree di realizzazione del Nuovo Ospedale; lo strumento 061 sarà attrezzato per lettura in continuo.

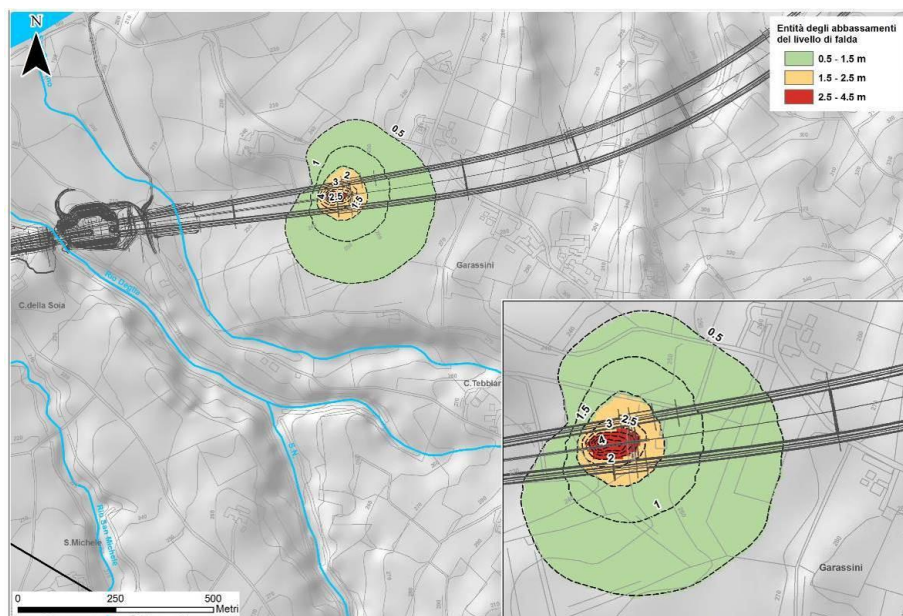
Sono poi presenti alcuni piezometri appartenenti alla rete di monitoraggio ambientale di monte, che sebbene non direttamente correlabili ai lavori in sotterraneo, possono comunque fornire indicazioni utili per controllare la fascia di interferenza con la piezometrica; gli strumenti sono denominati IOM-VE-165, 170, 175, 180, 185 e PZ1.

7.3. MONITORAGGIO DELLE PORTATE D'ACQUA EMUNTE IN GALLERIA

Al fine di effettuare utili correlazioni con le variazioni della superficie piezometrica, rilevata dalla rete di piezometri, è necessario procedere al monitoraggio delle portate d'acqua emunte in galleria, sia durante le fasi di scavo e realizzazione delle opere sia durante l'esercizio delle gallerie. Per le varie fasi di realizzazione delle opere si prevedono i seguenti controlli:

- Fase I – Realizzazione del cunicolo centrale all'asse delle due canne principali (diametro di ca. 6 m), scavato con metodologia tradizionale e per una lunghezza di 400 m: occorrerà procedere alla misura giornaliera delle portate emunte in fasi di scavo, mediante misuratore di portata a stramazzo all'imbocco del cunicolo o con contatore a valle dell'impianto di trattamento delle acque. Secondo lo schema idrogeologico di progetto, il cunicolo in questione intercetterà e quindi drenerà la falda

limitatamente alla porzione finale di attraversamento dell'acquifero dei gessi. Questo significa che nelle porzioni rimanenti di cunicolo il drenaggio avverrà solo qualora si registreranno degli innalzamenti della superficie piezometrica al di sopra di un livello medio annuale. Le portate osservate durante lo scavo del cunicolo e la variazione piezometrica nei piezometri circostanti consentiranno di tarare il modello idrogeologico di previsione. Il risentimento dello scavo del cunicolo è sintetizzato nella figura seguente e descritto in dettaglio nella "Relazione idrogeologica", al capitolo 9.1.1. Le portate attese sono dell'ordine dell'1.5 lt/sec, incrementabile fino a 4 lt/sec in presenza di un periodo di piogge intense.



- Fase II – Realizzazione gallerie: al termine della realizzazione del cunicolo verrà eseguito lo scavo meccanizzato delle due canne principali della Galleria di Verduno (diametro di ca. 15 m), con tecnica TBM-EPB (*Earth Pressure Balance*). Questa tecnica permette di scavare in materiali incoerenti effettuando un confinamento e sostegno del fronte attraverso la pressurizzazione del materiale di scavo, anche attraverso l'uso di additivi specifici, limitando quindi il drenaggio della falda al fronte

solo alle tratte di galleria ove la pressione idrostatica risulta superiore alle pressioni di confinamento della TBM (in genere di valore massimo pari a 6 bar al piano dei centri della galleria, 3 bar in calotta). Durante questa fase occorrerà procedere alla misura giornaliera delle portate emunte durante l'avanzamento della TBM, mediante misuratore di portata a stramazzo all'imbocco della galleria o con contatore a valle dell'impianto di trattamento delle acque. Le portate attese sono molto limitate, inferiori al lt/sec, per la parte del tracciato in marne, mentre possono essere significative per la zona 4 di attraversamento dei corpi detritici, con acqua in pressione fino a 5-6 bar; in questa tratta si attendono valori mediamente sui 10 lt/sec, con punte fino a 65 lt/sec (come riportato in dettaglio nella relazione idrogeologica, capitolo 10.2.2.).

- Fase III – Configurazione finale: al termine dello scavo delle due canne sarà realizzato un sistema di fasci di drenaggio lanciati da due cavi, denominati by-pass drenanti. Tale dispositivo drenante ha la funzione di costituire un sistema di controllo degli innalzamenti piezometrici in corrispondenza del passaggio tra le formazioni delle marne e dei gessi, dove si concentra la circolazione sotterranea. Analogamente il progetto prevede, nelle tratte interessate dall'acquifero dei gessi (imbocco lato Cherasco) e dei corpi detritici (zone imbocco Alba), la posa in opera di drenaggi laterali, diametro 100 mm, al fine di evitare fenomeni di innalzamento della falda. Al termine dei lavori occorrerà procedere, per un periodo di 12 mesi (così da verificare un intero ciclo stagionale), alla misura quindicinale delle portate emunte dai by-pass drenanti in corrispondenza del pozzetto 100x100 di adduzione delle acque drenate al tubo di smaltimento generale DN 600 posto in corrispondenza dell'arco rovescio della galleria. Si attendono portate complessive dai by-pass drenanti pari a 2 lt/sec (fino ad un massimo di 7 lt/sec in corrispondenza di eventi meteorici intensi), si veda relazione

idrogeologica al capitolo 10.3. Con la medesima cadenza dovranno essere misurate le portate agli imbocchi delle gallerie così da stimare, per differenza rispetto a quanto drenato nel by-pass drenante, le portate derivate lungo la galleria. Le frequenze di lettura potranno essere più attentamente calibrate a seguito della realizzazione dell'opera, in funzione dei dati rilevati.

7.4. FREQUENZA DI LETTURA RETE PIEZOMETRICA

La lettura della strumentazione piezometrica profonda verrà effettuata di regola 1 volta al mese durante la realizzazione dei lavori; la frequenza sarà elevata a 2 letture al mese (lettura quindicinale) per la strumentazione posta entro una fascia di 300 m dal fronte di avanzamento degli scavi (prima e dopo il fronte).

La frequenza di lettura sarà comunque tarata in corso d'opera in funzione dei dati via via rilevati. In funzione dei dati rilevati verrà inoltre deciso in corso d'opera la strumentazione per la quale sarà necessario procedere a letture di controllo oltre il termine dei lavori, durante le prime fasi di esercizio dell'opera.

8. MONITORAGGIO DELLE OPERE DI IMBOCCO

In corrispondenza delle opere di imbocco si prevede la predisposizione di un piano di monitoraggio finalizzato al controllo dei fenomeni deformativi indotti dagli scavi per la realizzazione delle opere. Le indicazioni di dettaglio della strumentazione prevista sono riportate nell'elaborato 2.6-e-d-2-3.2-47 "Ubicazione strumenti di monitoraggio opere di imbocco" per l'imbocco lato Cherasco e nell'elaborato 2.6-e-d-2-3.3-37 "Ubicazione strumenti di monitoraggio opere di imbocco" per l'imbocco lato Alba.

La strumentazione predisposta è relativa al controllo dei seguenti parametri:

- deformazioni delle paratie; al fine di verificare la rispondenza con le previsioni di progetto e validare le assunzioni geotecniche in termini di caratterizzazione geotecnica e spinte sulle opere;
- tassi di lavoro dei tiranti di ancoraggio; al fine di verificare l'idoneità degli interventi di contrasto secondo le previsioni di progetto e di verificarne, qualora di tipo definitivo, la funzionalità ed efficacia nel lungo termine;
- deformazioni profonde del versante; per verificare che gli scavi per la realizzazione delle nuove opere non inneschino importanti fenomeni gravitativi nei versanti retrostanti;
- livello piezometrico della falda; al fine di verificare le pressioni idrostatiche sulle opere di sostegno e l'eventuale riduzione della piezometrica connessa all'azione di drenaggio operata durante lo scavo degli imbocchi;
- deformazioni superficiali del terreno, mediante capisaldi; finalizzato a misurare i fenomeni di cedimenti sui versanti a tergo degli imbocchi. Misure topografiche dovranno essere effettuate anche in corrispondenza

delle protesi al fine di verificare l'assenza di cedimenti prima del passaggio delle TBM (frequenze di lettura come indicato al capitolo 6.5.).

A tal fine è stata prevista la messa in opera di:

- inclinometri
- targets topografici per la rilevazione degli spostamenti della paratia;
- celle di carico toroidali per la rilevazione del tasso di lavoro delle teste dei tiranti e, per i tiranti definitivi, per la loro evoluzione nel tempo;
- piezometri;

L'installazione degli inclinometri e del piezometro e la lettura dei rispettivi dati dovrebbe precedere di almeno sei mesi l'attivazione dei lavori (monitoraggio ante-operam); quelle relative agli altri strumenti procederanno contestualmente alla progressione dei lavori degli imbocchi. Le frequenze di lettura raccomandate sono settimanali per le fasi di costruzione dell'imbocco, mensili o bimestrali (in funzione della stabilizzazione delle misure) a scavi delle gallerie attivati. La sospensione delle letture potrà avvenire a ritombamenti avvenuti.

In corrispondenza dell'imbocco lato Cherasco, una parte di paratia di sostegno degli scavi, realizzata con pali di diametro 1200 mm contrastati da tiranti in trefoli, riveste carattere di opera definitiva; dovranno quindi essere monitorati i tiranti allo scopo di valutare l'evoluzione della forza nel tirante, così da consentire il controllo nel tempo della funzionalità dell'opera. La presenza di terreni di natura gessosa potrebbe infatti ridurre nel tempo la funzionalità dei tratti di ancoraggio, determinando una progressiva riduzione della capacità prestazionale del tirante, ovvero dell'azione di contrasto. Tramite il sistema di monitoraggio (celle toroidali) occorrerà verificare che non si delinei una progressiva riduzione del tiro.

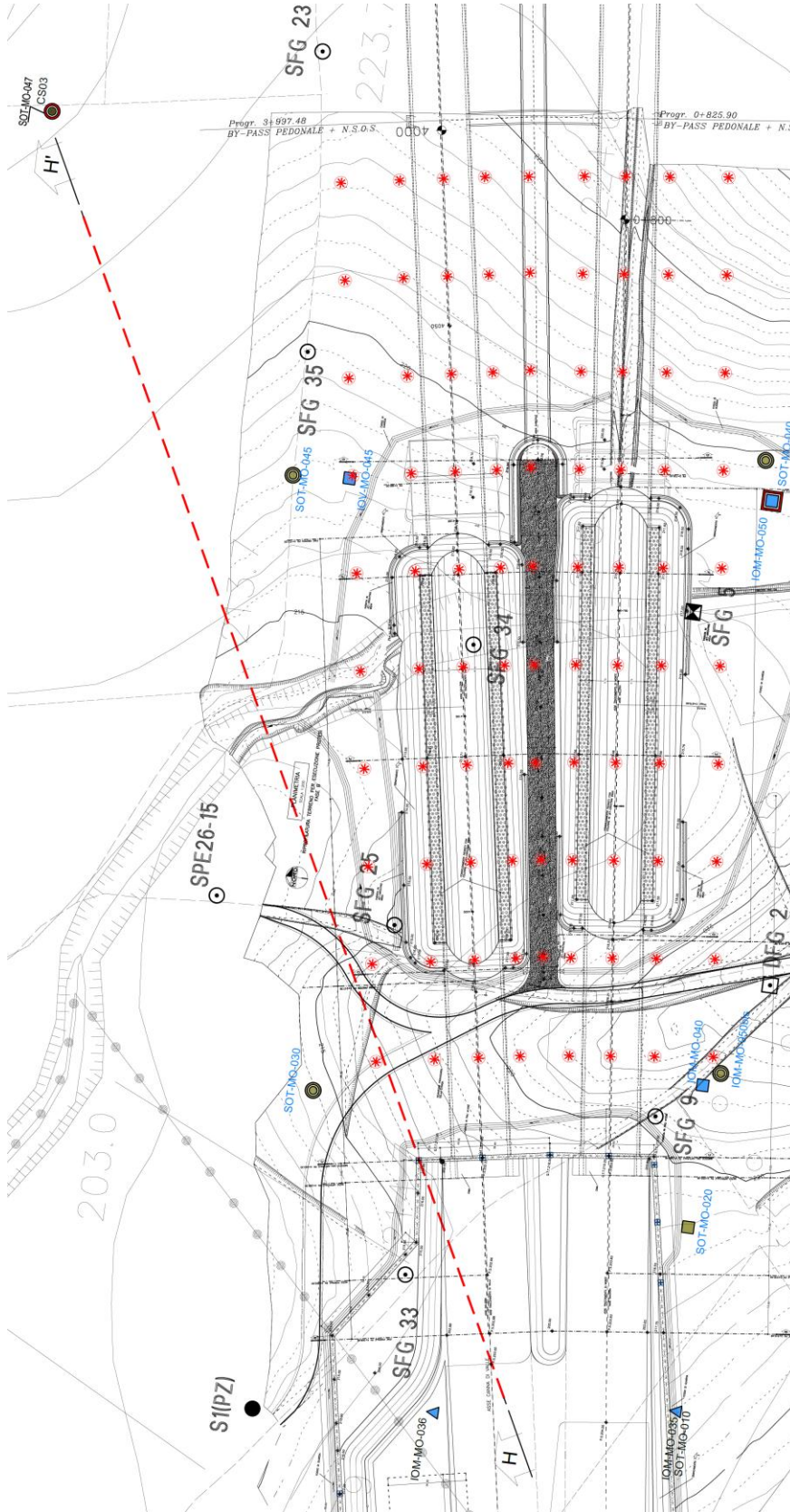


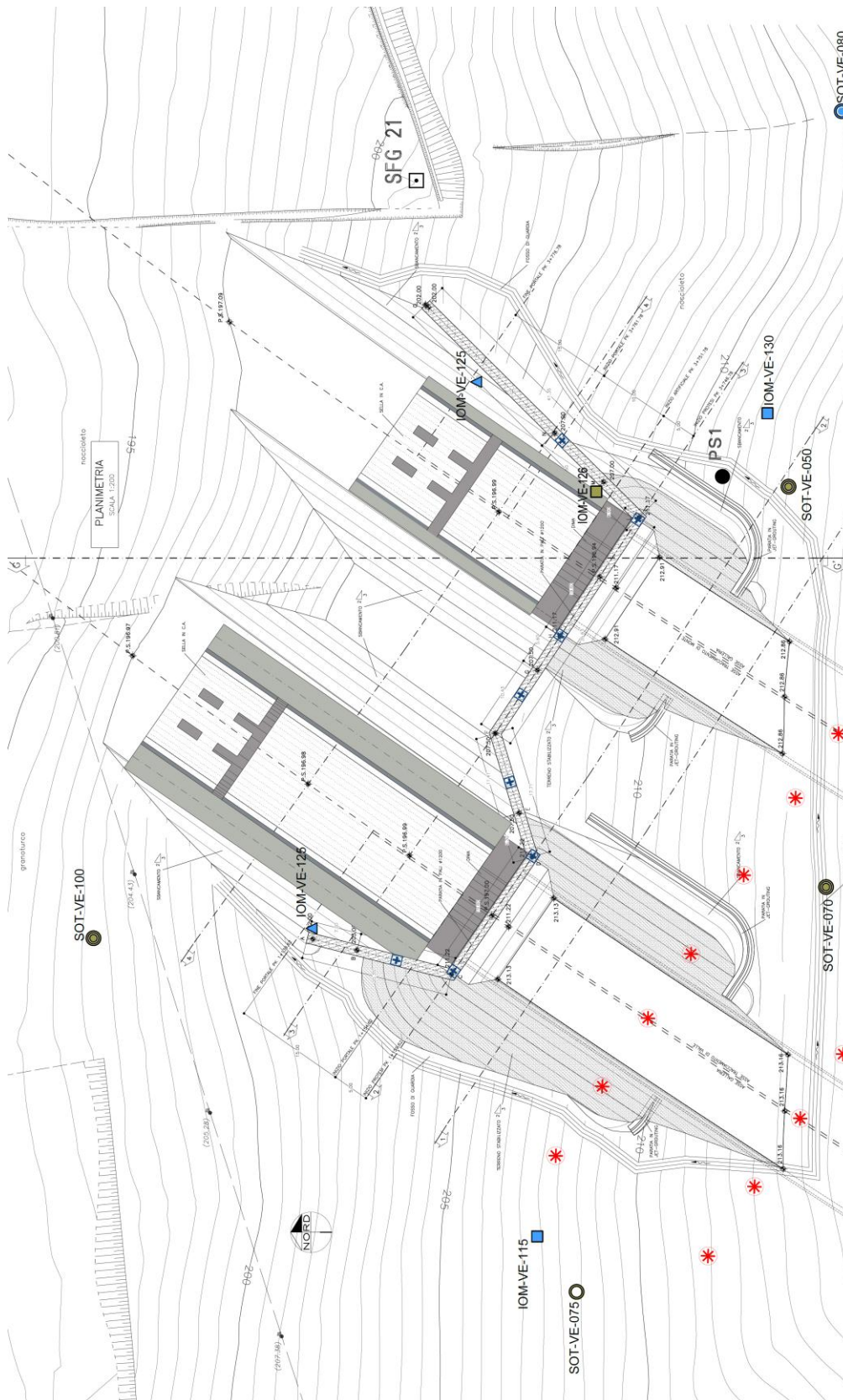
Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

Per i tiranti definitivi si prevedono letture delle celle toroidali con frequenza 2 volte al mese per i primi 6 mesi, seguiti da letture 1 volta/mese per l'anno successivo e 1/6 mesi durante la fase di esercizio dell'opera. La frequenza delle letture potrà essere variata in corso d'opera in funzione dei dati rilevati.

Qualora l'esito delle letture indichi problematiche circa la funzionalità dei tiranti definitivi nel lungo termine, occorrerà procedere alla realizzazione di nuovi tiranti in sostituzione dei precedenti, allungando il tratto libero così da ubicare i bulbi di ancoraggio in una nuova porzione di ammasso.

Nelle figure seguenti si riporta l'inquadramento planimetrico delle due zone di imbocco, lato Cherasco e lato Alba.





9. SINTESI DELLE GRANDEZZE ATTESE DA MONITORARE

Nel seguito si riporta una sintesi delle principali grandezze attese che saranno oggetto di monitoraggio, fornendo i valori previsti da progetto utili per la definizione delle soglie di attenzione, pre-allarme ed allarme che saranno oggetto del “Piano delle Emergenze”.

- Imbocco lato Cherasco: Spostamenti paratia pari a 20-35 mm (in funzione della posizione lungo l'altezza della paratia); risentimenti entro 70-100 m a tergo dell'imbocco, con spostamenti minori di 10 mm; spostamenti millimetrici in corrispondenza delle preesistenze a 200-300 m dall'imbocco.
- Imbocco lato Alba: Spostamenti paratia pari a 20-40 mm (in funzione della posizione lungo l'altezza della paratia); risentimenti entro 100-150 m a tergo dell'imbocco, con spostamenti minori di 10 mm; spostamenti orizzontali di 6-8 mm e cedimenti di 2 mm in corrispondenza del nuovo Ospedale posto a circa 350 m dall'imbocco
- Variazione della piezometria zona gessi rispetto al modello idrogeologico di progetto: Fase costruttiva (per scavo cunicolo esplorativo e scavo gallerie con TBM): riduzione del livello di falda di 4.5 m esteso per fascia di 40 m dall'asse della galleria e di 0.5 m per una fascia di 250 m; Fase definitiva (by-pass drenante): riduzione del livello di falda di 2.5 m per una fascia di 150-190 m dall'asse del by-pass drenante, e di 1.5 m per una fascia di 400-450 m. Per i by-pass drenanti è prevista una portata drenata da 2 lt/sec fino ad un massimo di 7 lt/sec in concomitanza di eventi piovosi intensi.
- Cedimenti a piano campagna: i valori di cedimento massimo in asse galleria risultano variabili tra 9 mm e 112 mm; in corrispondenza dei fabbricati a seguito dello scavo delle gallerie sono previsti cedimenti da 5



mm a 47 mm, in funzione della localizzazione del fabbricato e del ricoprimento ivi presente. A questi valori si possono associare cedimenti ulteriori di 5-10 mm per effetto del drenaggio operato nella zona dei corpi detritici, con valore cumulato massimo quindi pari a 50-60 mm.

I valori di sintesi sopra riportati sono derivati da analisi numeriche e possono quindi essere affetti dalle semplificazioni che sono insite nelle metodologie di calcolo e, soprattutto, nei modelli numerici adottati, i quali non possono ovviamente tener conto di una serie di fattori difficilmente schematizzabili nelle computazioni eseguite. Al fine di impiegarli quali valori di soglia da confrontare con gli esiti dell'attività di monitoraggio previste, dovranno essere opportunamente innalzati in funzione del livello di attenzione o allarme considerati.

A titolo di suggerimento ed esempio, si anticipano nel seguito, per le principali grandezze da monitorare sopra richiamate, possibili valori da impiegare quali soglie di attenzione e di allarme. Tali soglie dovranno comunque essere più in dettaglio valutate e individuate nell'ambito della redazione del "Piano delle emergenze" in funzione dei livelli di rischio assunti e della gestione delle emergenze conseguenti.

Opere di imbocco – Spostamenti paratie multi-tirantate

Valore attenzione: 60-75 mm

Valore allarme: 130-150 mm

Opere di imbocco – Spostamenti versanti retrostanti imbocco

Valore attenzione: 10-15 mm

Valore allarme: 20-25 mm



Tracciato galleria – Spostamenti e cedimenti piano campagna

Valore attenzione: 20-40 mm (*)

Valore allarme: 40-60/70 mm (*)

(*) in funzione dei ricoprimenti presenti, si veda relazione 2.6E-rD.2.1.07

Variazione piezometrica rispetto al modello idrogeologico di progetto

Valore attenzione: 2.5-3.0 m (*)

Valore allarme: 4.5-5.0 m (*)

La variazione piezometrica dovrà essere messa in relazione anche alle portate d'acqua emunte in galleria, secondo quanto già descritto al capitolo 7.3..

(*) tenendo conto anche dell'escursione stagionale

Si evidenzia inoltre che la valutazione circa situazioni di attenzione e/o di allarme dovrà essere effettuata prendendo in conto l'insieme generale dei dati, pesando anche l'evoluzione ed il gradiente dei fenomeni deformativi rilevati. Sempre a titolo di suggerimento la soglia di attenzione legata al gradiente di deformazione per strumentazione inclinometrica potrebbe essere posta a 20 mm/mese (tale valore rappresenta la velocità dello spostamento differenziale locale, in corrispondenza della superficie di scorrimento individuata dallo strumento); per le misure topografiche del piano campagna, considerata anche la possibile velocità di avanzamento degli scavi condotti con TBM, la soglia di attenzione potrebbe essere pari a 30-40 mm/mese (tale valore rappresenta la velocità dello spostamento del punto di misura considerato).

10. ESAME DEI DATI DI MONITORAGGIO ED AZIONI CONSEGUENTI

Nel seguito si riportano, in forma tabellare, le principali azioni correttive che potranno essere poste in opera durante le fasi di costruzione, qualora i dati di monitoraggio indichino valori delle grandezze monitorate superiori alle soglie di attenzione e di allarme. La definizione puntuale delle azioni sarà comunque predisposta in corso d'opera in relazione all'insieme delle misure riscontrate.

Inoltre, in ogni caso, all'avvicinarsi delle soglie di attenzione, si ritiene opportuno intensificare la frequenza delle letture, così da valutare più attentamente il gradiente dei fenomeni deformativi riscontrati.

Attività	Scenari di rischio	Sistema di monitoraggio predisposto (si veda anche cap.4)	Azioni correttive
Opere imbocco	Instabilità coltri superficiali	Strumentazione inclinometrica, rete topografica piano campagna, controllo topografico paratie e sollecitazione tiranti, verifica spinta idrostatica	Modifica fasi di scavo imbocchi, con riduzione altezza scavi di ribasso ed incremento numero e/o ordini di tiranti. In caso di superamento delle soglie deformative della paratia si provvederà ad inserire nuovi ordini di tiranti, riducendo gli step di ribasso. In caso di superamento della forza sui tiranti se ne aumenterà il numero, riducendo il passo trasversale e/o aumentando la sezione resistente e la lunghezza di ancoraggio. Predisposizione interventi di drenaggio nella paratia.
	Dissesti gravitativi, danni alle preesistenze. Instabilità opere di presidio		
	Intercettazione di cavità nei gessi, con rischio di svuotamento idraulico e rischio di collasso di cavità		



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

Attività	Scenari di rischio	Sistema di monitoraggio predisposto <i>(si veda anche cap.4)</i>	Azioni correttive
Galleria naturale	Instabilità locali del fronte per variabilità caratteristiche geomeccaniche, intercettamento cavità, venute acqua. Produzione cedimenti a piano campagna	Strumentazione topografica piano campagna e rete piezometrica	Incremento pressione di contrasto in camera di scavo. Nella tratta dei gessi: interventi di consolidamento eseguiti dal cunicolo esplorativo. Interventi di intasamento a tergo dei conci eseguiti dall'interno della galleria, mediante perforazioni, diametro 80 mm, ed iniezione a boccaforo.
	Perdita di assetto della TBM per intercettamento cavità	Controlli topografici TBM, sistema di guida topografica tipo VMT	Interventi di consolidamento dal cunicolo
	Elevate venute d'acqua in galleria	Strumentazione piezometrica	Incremento pressioni di contrasto in camera scavo Eventuali interventi di consolidamento dal fronte TBM attraverso le predisposizioni
Galleria naturale	Cedimenti a piano campagna	Controllo mediante piano di monitoraggio topografico	Incremento pressioni di contrasto in camera scavo Verifica procedure intasamento a tergo dei conci: incremento pressione di iniezione malta e quantitativi Interventi di intasamento a tergo dei conci eseguiti dall'interno della galleria, mediante perforazioni, diametro 80 mm, ed iniezione a boccaforo.
	Variazioni livelli piezometrici, con incremento falda (lungo termine) Sovraccarichi idraulici sui rivestimenti	Rete piezometrica	Incremento sistema di drenaggio in galleria, con inserimento tubi drenaggio (zona gessi e corpi detritici)



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
Galleria Verduno – Relazione di monitoraggio

Attività	Scenari di rischio	Sistema di monitoraggio predisposto <i>(si veda anche cap.4)</i>	Azioni correttive
Galleria naturale (tradizionale)	Cedimenti a piano campagna	Controllo mediante piano di monitoraggio topografico	Modifica interventi e fasi esecutive: aumento interventi di consolidamento con elementi in VTR, riduzione lunghezza sfondi e del passo centine, riduzione distanza dal fronte di getto dell'arco rovescio
	Consistenti venute d'acqua in galleria	Rete piezometrica, riscontri diretti in galleria	Predisposizione interventi di consolidamento dal fronte di scavo (abbinati a locali controlli con drenaggi controllati in avanzamento)