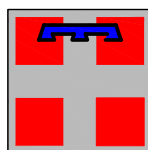


# AUTOSTRADA ASTI - CUNEO S.p.A.



PROVINCIA DI ASTI



REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI CUNEO

## COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE ASTI - CUNEO

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)

LOTTO 6 RODDI - DIGA ENEL

VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' EX ART. 20 D.LGS. 152/06  
STRALCIO DEL PROGETTO ESECUTIVO

OPERE D'ARTE IN SEDE

GALLERIA DI VERDUNO

PARTE GENERALE

SCENARI DI RISCHIO E LINEE GUIDA PER IL PIANO DELLE EMERGENZE

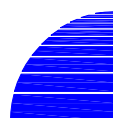
Aggiornato: 00	Data : Marzo 2014	Descrizione: EMISSIONE	Redatto: Prof. Barla	Controllato: Ing. Saurio	Approvato: Ing. Ghislandi	Codifica: 2.6 E - r D.2.1.09
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Lotto Prog. Tipo Elaborato
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data: MARZO 2014
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Scala: -



PROGETTISTA e RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Enrico Ghislandi  
Albo di Milano  
N° A 16993

CONCESSIONARIA:



AUTOSTRADA ASTI - CUNEO S.p.A.



## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. BREVE INQUADRAMENTO</b> .....	<b>3</b>
2.1. CARATTERISTICHE DELL'OPERA.....	3
2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
2.3. PROFILO GEOLOGICO DELLA GALLERIA.....	6
2.4. PROBLEMATICHE PRINCIPALI.....	7
<b>3. METODOLOGIA ADOTTATA PER IL PROGETTO</b> .....	<b>13</b>
3.1. LINEE CARATTERIZZANTI.....	13
3.2. INTERFEROMETRIA RADAR .....	17
<b>4. SUDDIVISIONE IN ZONE</b> .....	<b>19</b>
4.1. DESCRIZIONE DELLE ZONE.....	19
4.2. RISULTATI DELL'ANALISI CON INTERFEROMETRIA RADAR.....	30
<b>5. SCENARI DI RISCHIO</b> .....	<b>43</b>
5.1. CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE .....	43
5.2. DESCRIZIONE DEGLI SCENARI .....	45
<b>6. PIANO DI MONITORAGGIO E VALORI DI SOGLIA</b> .....	<b>53</b>
6.1. MONITORAGGIO E VALORI DI SOGLIA NELLE DIVERSE ZONE ....	53
6.2. MONITORAGGIO IN GALLERIA.....	70
6.3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	73

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione sono descritti con riferimento alle informazioni attualmente disponibili gli “Scenari di Rischio” connessi con il Tronco II Lotto 6 del collegamento autostradale A6-A21 (Asti-Cuneo) ed in particolare dell’area interessata dal futuro scavo della Galleria di Verduno. Nella stessa relazione vengono illustrati i dati e le informazioni necessarie per predisporre il “Piano delle Emergenze” da adottare in concomitanza con lo svolgimento dei lavori.

Il “Piano delle Emergenze” è inteso come l’articolazione delle procedure da affidare agli Enti ed alle Persone interessate per affrontare le situazioni di rischio che si possono verificare in concomitanza con la realizzazione dell’opera. Viene quindi svolto un attento studio sulla vulnerabilità del territorio in esame, in relazione alle modalità costruttive previste dal Progetto Esecutivo dell’opera, e sull’analisi e quantificazione degli scenari che è possibile anticipare.

La relazione tiene conto del complesso degli studi progettuali svolti e recepisce le prescrizioni riportate nel DEC VIA 576/2011 del 28 Ottobre 2011. In particolare, alla luce di quanto concordato con il Vice Prefetto di Cuneo nell’incontro del 23 Ottobre 2012, sono illustrati gli scenari di rischio, definendo i livelli di attenzione, preallarme ed allarme, ciò al fine di concorrere dal punto di vista tecnico all’individuazione, a cura dagli Enti preposti (Prefetto, Sindaci, Protezione Civile, ecc.), delle *“azioni da attuare in caso di attivazione di ciascun livello di allarme, nonché i soggetti a cui demandare responsabilità e coloro che dovranno agire nel pronto intervento”*.

La relazione è articolata come segue:

- Breve inquadramento introduttivo (capitolo 2)
- Metodologia adottata per il progetto (capitolo 3)
- Suddivisione in zone (capitolo 4)
- Scenari di rischio (capitolo 5)
- Piano di monitoraggio e valori di soglia (capitolo 6).

## 2. BREVE INQUADRAMENTO

Dopo un breve richiamo alle principali caratteristiche dell'opera, ci si sofferma nel presente capitolo sulle condizioni geologiche ed idrogeologiche della zona di interesse e sulle problematiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche di interesse per la costruzione, anche nell'ottica degli argomenti che saranno successivamente affrontati.

### 2.1. CARATTERISTICHE DELL'OPERA

La Galleria di Verduno rappresenta, nell'ambito del Tronco Il Lotto 6 del collegamento autostradale A6-A21 (Asti-Cuneo), l'opera di maggiore complessità sul piano della fattibilità tecnica e dell'interazione con le preesistenze (Figura 1). Di interesse in questa sede sono anche le opere costituenti la trincea in località Cascina dello Spià, fino quasi al ponte a campata unica che scavalca il Rio Deglia.

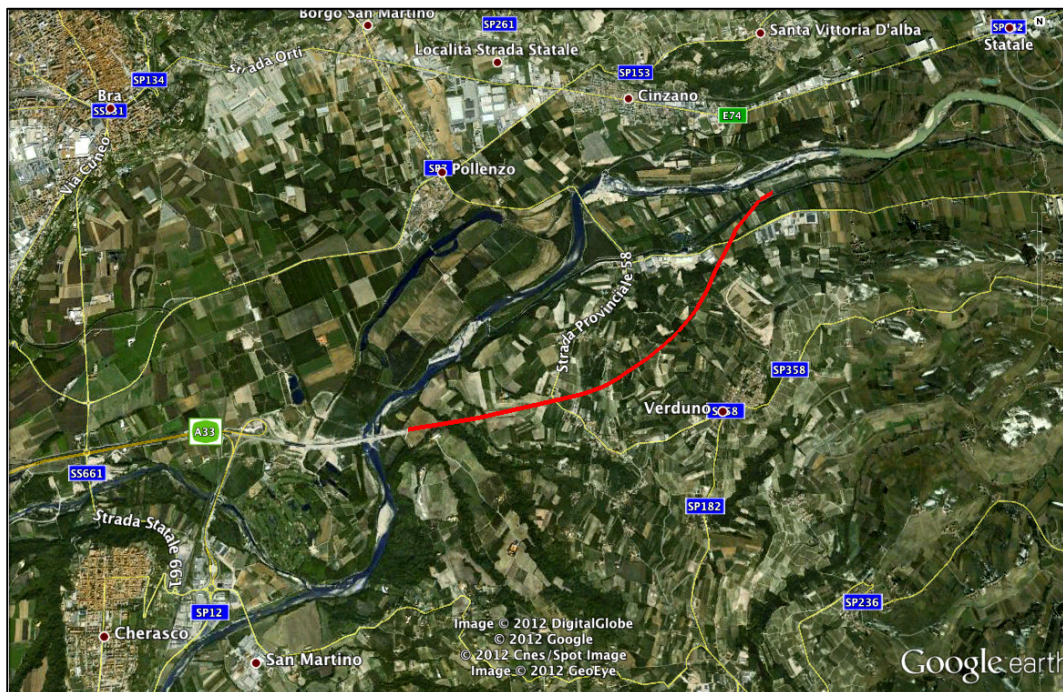


Figura 1. La Galleria di Verduno su immagine ottica (Google Earth).

La galleria è composta da due canne affiancate. Il tratto in naturale, scavato a foro cieco, è pari a 3100 m circa di lunghezza in canna di valle e 3185 m circa in canna di monte. Lo scavo avviene con metodo meccanizzato, adottando una TBM del tipo EPB (a controllo del fronte mediante pressioni di bilanciamento in camera di scavo) con diametro di scavo pari a 15.30 m. In corrispondenza degli imbocchi si prevede lo scavo di due brevi tratte con metodo tradizionale, ciò al fine di consentire l'avvio della TBM.

In asse tra le due canne principali, è previsto, sul Lato Cherasco, lo scavo di un cunicolo esplorativo (di diametro equivalente pari a 6 m circa) di lunghezza 400 m circa, ciò al fine di attraversare l'acquifero dei gessi fino al raggiungimento delle Marne di Sant'Agata Fossili. Tale cunicolo consentirà di approfondire le conoscenze sulle condizioni di attraversamento delle due future canne e riconoscere eventuali situazioni di criticità.

Questo cunicolo, attrezzato con sistemi di drenaggio ha lo scopo di abbattere le pressioni idrauliche intorno al cavo, riducendole ad un minimo corrispondente alla quota dell'arco rovescio del cunicolo stesso. Esso 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 in presenza di eventuali innalzamenti della superficie piezometrica al di sopra di un livello medio annuale.

Sui due imbocchi, Lato Cherasco e Lato Alba-Asti, sono previste impegnative opere di sostegno degli scavi mediante paratie di pali ancorate. Sul Lato Cherasco le opere di sostegno interessano prevalentemente un'area di versante dove sono presenti in sequenza accumuli di frana e limo, argille limoso-sabbiose, rocce gessifere e marne. Sul Lato Alba-Asti sono presenti in sequenza accumuli di frana e limo, argille limoso-sabbiose, rocce gessifere e marne. Si tratta in estrema sintesi di condizioni geologico-stratigrafiche e geotecniche scadenti che hanno richiesto interventi di notevole impegno sul piano esecutivo.

## 2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di interesse su cui si estende il tracciato della Galleria di Verduno si trova sul versante a valle dell'abitato omonimo. Nell'area affiorano i sedimenti appartenenti alla successione Messiniana del Bacino Terziario Piemontese, costituita da marne emipelagiche pre-evaporitiche del Tortoniano-Messiniano inferiore (le cosiddette Marne di Sant'Agata Fossili) e da sedimenti gessosi di mare basso Messiniano (Formazione Gessoso-Solfifera).

La Galleria di Verduno, lungo il suo sviluppo, attraversa differenti formazioni geologiche, le quali, nell'ambito degli studi geologici, idrogeologici e geotecnici svolti, sono state suddivise in "Unità Litologico-Geotecniche" come riportato nella Tabella 1:

*Tabella 1. Unità Litologico-Geotecniche*

Unità Litologiche	Descrizione	Sottounità	Litologia
Unità 1	Terreni di riporto	1a	Sabbie e ghiaie (relative a rilevati stradali)
		1b	Sabbie limose e limi sabbiosi (piccoli argini relativi alle canalizzazioni irrigue)
		1c	Limi e sabbie con ghiaie e terreno vegetale (colmamento di scavi sede di attività estrattiva)
Unità 2	Terreno agricolo		Limi sabbiosi e limi argillosi, con locale presenza di sabbia e ghiaia fine
Unità 3	Depositi alluvionali attuali e medio recenti	3a	Complesso ghiaioso-sabbioso
		3b	Complesso limoso-sabbioso
		3c	Complesso limoso-argilloso
Unità 4	Coperture costituite da accumuli di frana e coltri di terreno rimaneggiato dallo scorrimento superficiale (depositi colluviali)	-	Limi argillosi, limi sabbioso fini, argilla limosa con sabbia e localmente ciottoli di argilla marnosa alterata
Unità 5	Argille di Lugagnano e depositi granulari riferibili alla Formazione Gessoso-Solfifera	-	Argille marnose e siltose grigio-azzurre e limi sabbiosi
Unità 6	Gessi della Formazione Gessoso-Solfifera	-	Corpi gessosi litoidi, limi argillosi con intercalato gesso e argille marnose con inclusi di gesso
Unità 7	Marne di S. Agata Fossili	7	Argille marnose e limi argillosi molto consistenti, con livelli millimetrici di sabbia fine limosa e livelli decimetrici di calcareniti
		7a	Corpi intercalati nelle argille marnose costituiti da sabbie-ghiaiose, ghiaie medio-grossolane, ghiaie in matrice limosa, sabbie grossolane o medio fini
		7b	Orizzonte di alterazione delle argille marnose costituito da limo argilloso e argilla limosa

## 2.3. PROFILO GEOLOGICO DELLA GALLERIA

Le Figure 2 e 3 illustrano in forma semplificata i profili geologici lungo la galleria, rispettivamente per la canna di monte e di valle. Come illustrato nelle relazioni del Progetto Esecutivo (vedansi in particolare la Relazione Geologica, la Relazione Idrogeologica e la Relazione Geotecnica), la galleria è stata suddivisa in “zone caratteristiche a comportamento omogeneo”, in breve “zone omogenee”, in relazione alla risposta allo scavo ed in funzione delle problematiche individuate. Nel dettaglio sono state definite le seguenti 5 zone (vedasi al riguardo il Capitolo 4):

1. Imbocco Lato Cherasco, con depositi di frana, costituiti da argille limose ed in parte dai gessi e dalla possibile presenza, in essi, di cavità carsiche.
2. Tratta nella Formazione dei Gessi, con possibile presenza di cavità carsiche e/o zone in avanzata fase di dissoluzione.
3. Tratta nella Formazione delle Marne di Sant’Agata Fossili.
4. Tratta con presenza di Corpi Detritici all’interno delle Marne di Sant’Agata Fossili, a quota scavo o poco sopra la calotta.
5. Zona Lato Alba-Asti, con depositi di frana, costituiti da limi sabbiosi fini, localmente argillosi, inglobanti ghiaie e ciottoli; l’area si contraddistingue anche per una forte criticità geomorfologica e di propensione al dissesto.

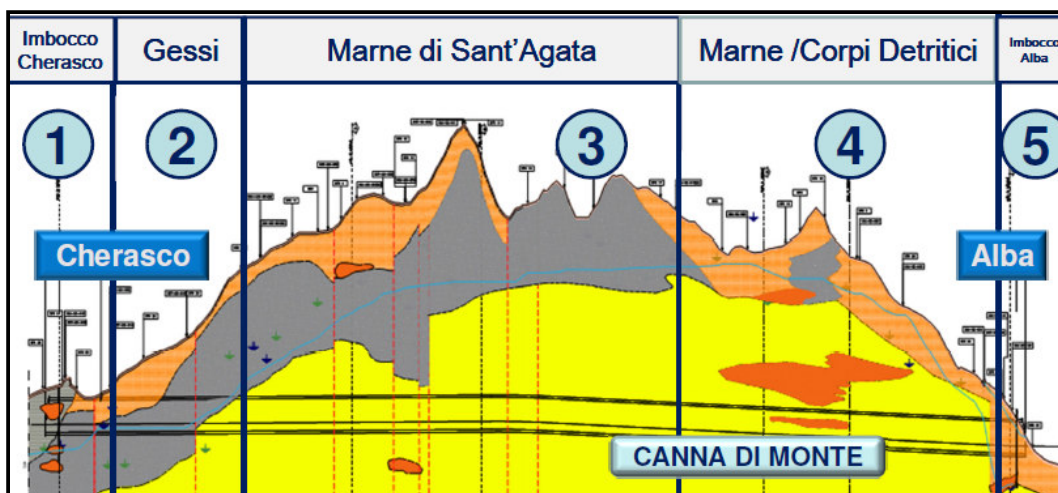


Figura 2. La Galleria Verduno. Profilo geologico. Canna di monte.

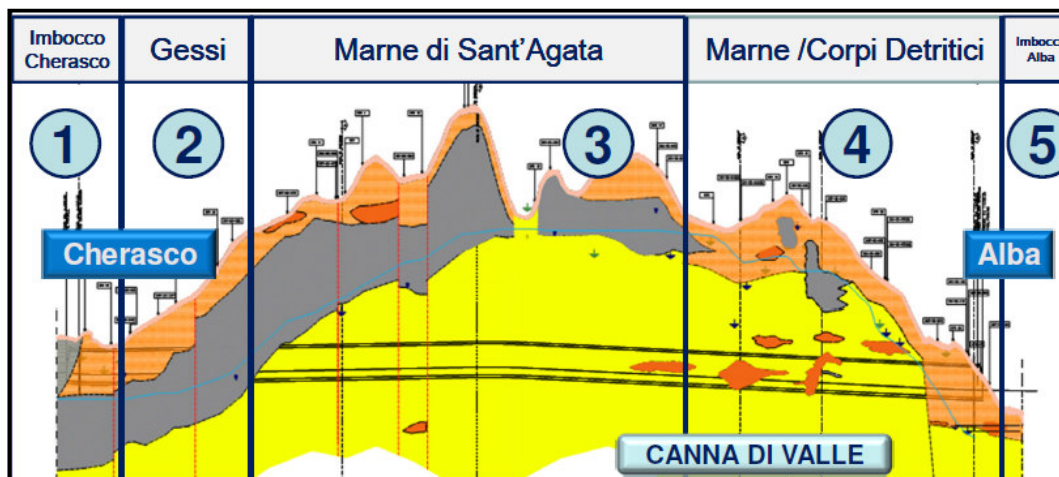


Figura 3. La Galleria Verduno. Profilo geologico. Canna di valle.

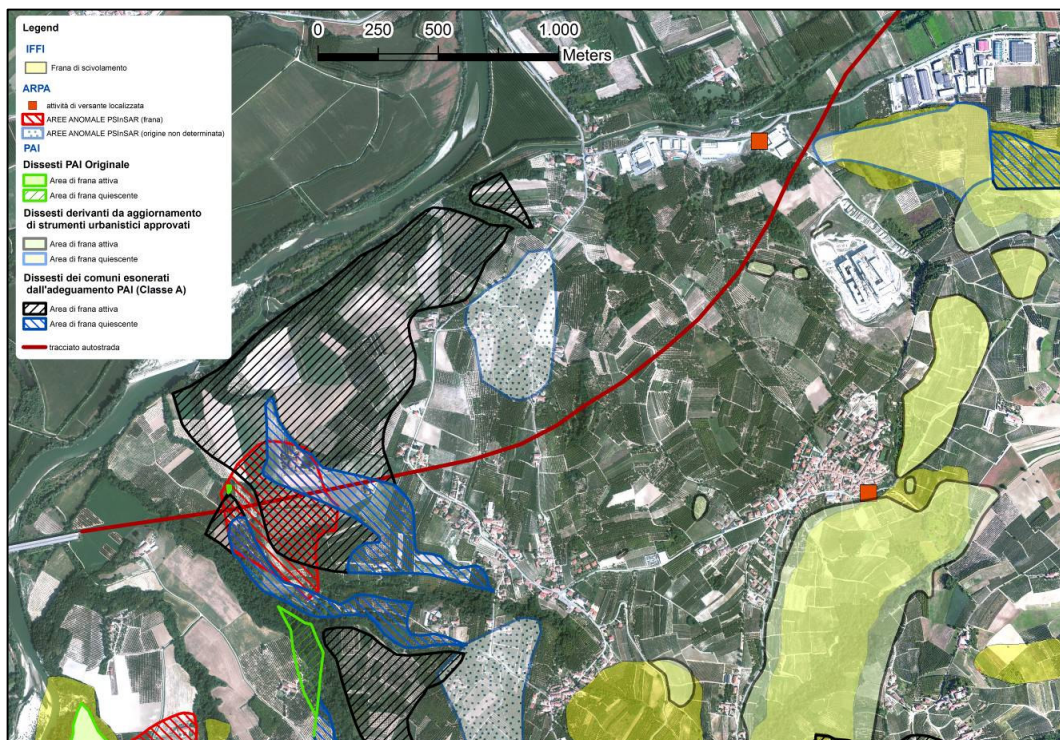
## 2.4. PROBLEMATICHE PRINCIPALI

### ❖ Fenomeni Franosi

Nell'area di interesse per l'opera ed in relazione alle caratteristiche geotecniche scadenti dei terreni in affioramento sono presenti numerosi fenomeni franosi, riportati da diverse cartografie pubblicate o rese disponibili dai vari Enti: Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia predisposto dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome; PAI - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Piemonte; ARPA - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Piemonte.

Tali fenomeni sembrano interessare sia le aree in cui affiorano le Marne di Sant'Agata Fossili, sia le zone dove la litologia prevalente è quella della Formazione Gessoso-Solfifera. Vale comunque evidenziare come i dati riguardanti la perimetrazione delle aree soggette a movimenti di versante siano alquanto discordanti tra loro. La Figura 4 presenta una mappa di sintesi.





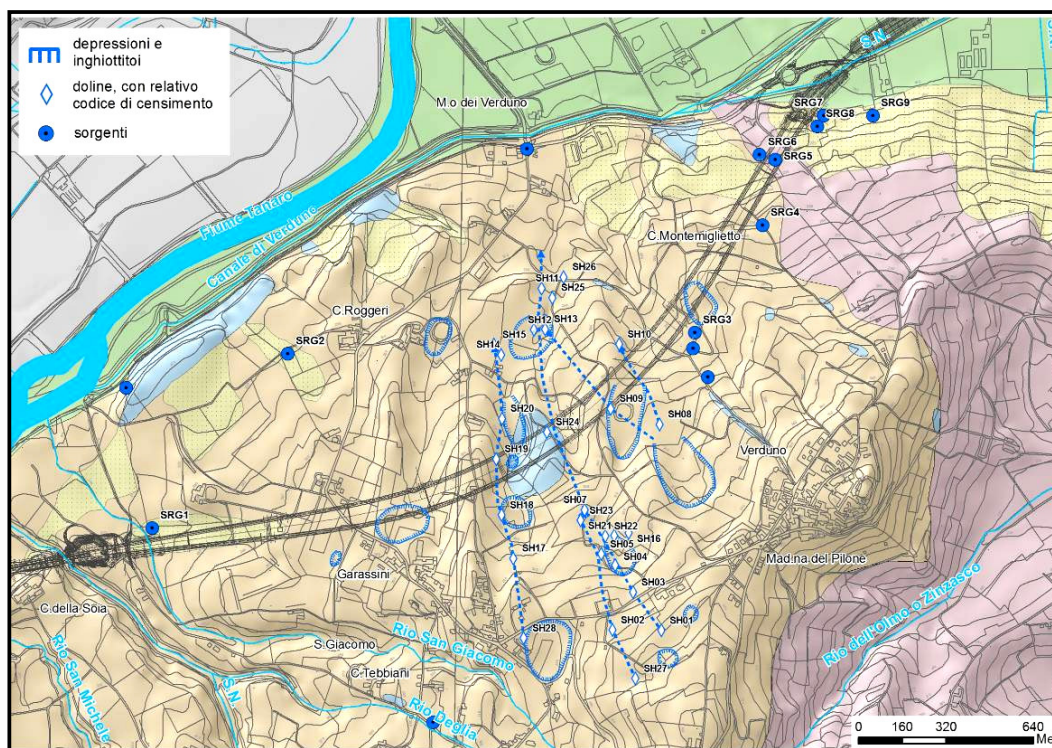
*Figura 4. Mappa di sintesi sulla cartografia dei fenomeni franosi dell'inventario IFFI, PAI, ARPA su immagine ottica (Google Earth).*

Di sicuro interesse è segnalare in questa sede la presenza di antichi movimenti gravitativi profondi in corrispondenza del settore Est del versante, in prossimità dell'imbocco Lato Alba-Asti, ed in particolare nella zona del Nuovo Ospedale Alba-Bra, oltre ad una coltre di depositi sciolti superficiali sede di una circolazione idrica non trascurabile. Dalle indagini effettuate nell'area sembra in ogni caso probabile che nel settore del nuovo ospedale sia presente un acquifero che coinvolge anche parte del substrato marnoso.

❖ Doline, Inghiottitoi e Cavità carsiche

Nell'area dove è presente la Formazione Gessoso-Solfifera si trovano delle depressioni di origine carsica (Doline ed Inghiottitoi), di dimensioni da metriche a decametriche, dovute al discioglimento dei solfati ad opera delle acque di falda. Ogni depressione presenta al proprio centro uno o più inghiottitoi di

diametro metrico e profondi alcuni metri. La Figura 5, ripresa dalla Relazione Idrogeologica, mostra la distribuzione spaziale delle doline e degli inghiottitoi, che concorrono alla localizzazione lungo il versante di 4-5 direttrici di drenaggio sotterraneo.



*Figura 5. Presenza di doline ed inghiottitoi lungo il versante con indicazione delle possibili linee di drenaggio sotterraneo (ripresa dalla Relazione Idrogeologica).*

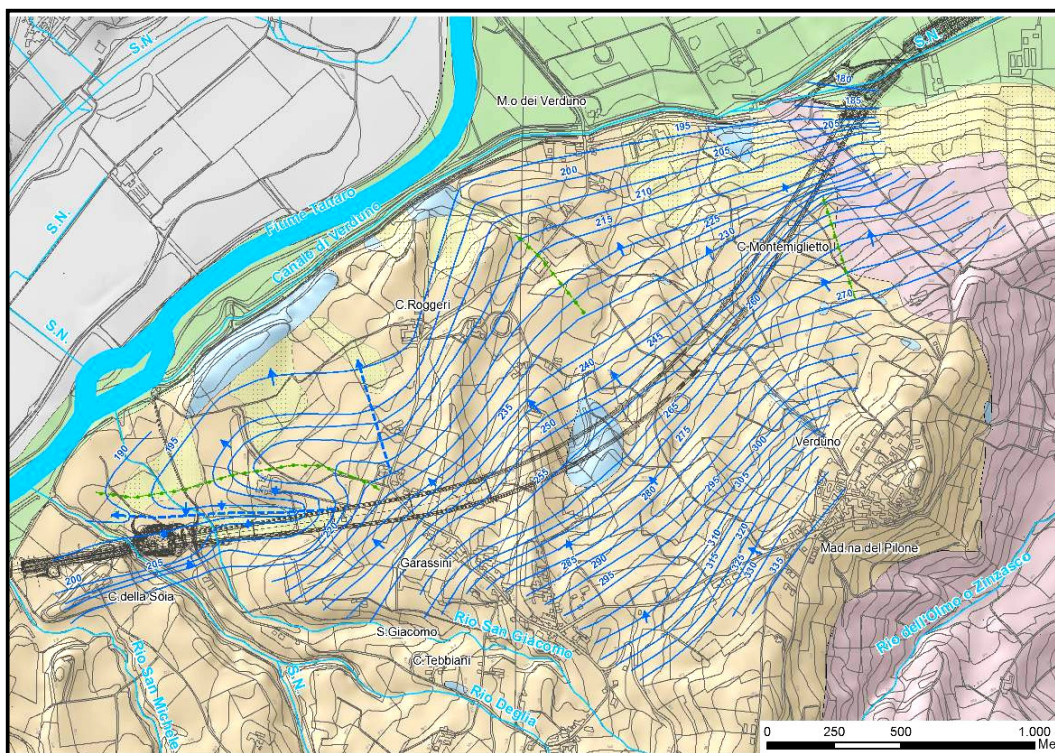
Sono inoltre da segnalare fenomeni di carsismo diffuso o più in generale di dissoluzione chimica che interessano il gesso con la presenza di piccole cavità carsiche. Oltre alle doline ed agli inghiottitoi sono anche presenti solchi carsici connessi a valle con inghiottitoi e depressioni che si attivano in occasione degli eventi piovosi. Le cavità carsiche ipogee sono riempite da sedimenti fini quali limi argillosi e limi sabbiosi che, in alcuni casi, occludono completamente la cavità.

❖ Assetto idrogeologico nei gessi

Come ampiamente illustrato nella Relazione Idrogeologica, il complesso dei gessi rappresenta l'acquifero principale del versante collinare compreso tra Verduno e La Morra. Alla scala del versante, l'acquifero ha un'immersione media a franapoggio verso Nord-Ovest, con bassi angoli di inclinazione. La circolazione idrica è principalmente impostata in corrispondenza delle porzioni interessate da carsismo e/o da fratturazione. La permeabilità è estremamente variabile, da bassa nelle porzioni intatte dei gessi, fino a molto elevata nelle porzioni intensamente carsificate o fratturate.

La base dell'acquifero è rappresentata dalle Marne di Sant'Agata Fossili, mentre il tetto è costituito in parte dai limi argillosi, limi sabbiosi e argille marnose messiniane della Formazione Gessoso-Solfifera, in parte dalle argille plioceniche marnose e siltose grigio-azzurre della Formazione delle Argille di Lugagnano. I gessi affiorano in superficie in maniera sporadica, in zone con estensione massima da decametrica a ettometrica, mentre in profondità sono estesi con continuità nella porzione centro-occidentale.

La Figura 6, ripresa dalla Relazione Idrogeologica, illustra la ricostruzione della superficie di falda dell'acquifero in generale ed in particolare quello dei gessi, eseguita a partire dai dati piezometrici medi delle diverse campagne di misura. Tale ricostruzione è stata eseguita applicando un criterio interpretativo che tiene conto dei limiti delle misure eseguite. In particolare, alle misure di falda ottenute dai piezometri con fenestratura nei gessi è stato attribuito un peso maggiore rispetto alle misure ottenute da piezometri con fenestratura mista in gessi e marne, o nelle sole marne.



*Figura 6. Ricostruzione della piezometria di falda dell'acquifero principale. Sono indicati con le frecce blu gli assi di drenaggio principali (ripresa dalla Relazione Idrogeologica).*

Occorre sottolineare come la distribuzione piezometrica di Figura 6 sia rappresentativa di un periodo in cui non si sono verificati eventi piovosi di particolare entità; non é influenzata da una situazione protratta nel tempo di mancanza di apporti meteorici. Come ben posto in luce nella Relazione Idrogeologica, si deve tenere conto del fatto che la falda è soggetta ad oscillazioni annuali variabili da 1-2 m fino ad un massimo di 12 m, più significative nella zona dell'imbocco Lato Cherasco.

#### ❖ Corpi detritici

Come documentato nella Relazione Geologica e nella Relazione Idrogeologica, nelle Marne di Sant'Agata Fossili ed in particolare nel settore centro-orientale del tracciato della galleria sono presenti intercalazioni con sabbie e ghiaie e



sabbie limose con rare ghiaie che formano lenti di potenza da metrica a decametrica (corpi detritici). E' emersa nello studio svolto una estrema variabilità nell'estensione laterale di queste lenti, con difficoltà nella loro precisa ricostruzione spaziale, possibile in senso longitudinale ma molto incerta in senso trasversale alla galleria.

I corpi detritici ospitano una falda di tipo confinato con quote piezometriche che raggiungono livelli anche superiori a quello della falda libera superficiale, disponendosi fino ad un massimo di 1-3 m al di sotto del piano campagna. L'alimentazione della falda potrebbe avvenire attraverso il recapito diretto delle acque meteoriche nelle porzioni sub-affioranti di tale acquifero, peraltro poco note e presumibilmente localizzate nella parte alta del versante, nel settore di Verduno.

### 3. METODOLOGIA ADOTTATA PER IL PROGETTO

Nel presente capitolo sono illustrate le linee principali, caratterizzanti il Progetto Esecutivo dell'opera alla luce dell'esigenza di predisporre il Piano delle Emergenze in ottemperanza al DEC VIA 576/2011 del 28 Ottobre 2011. In tale ambito ci si sofferma anche sulla scelta fatta, in questa sede, di condurre l'analisi dell'area di interesse con interferometria radar da satellite.

#### 3.1. LINEE CARATTERIZZANTI

Il Progetto Esecutivo, in tutti i suoi diversi aspetti, è stato svolto con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08 2008), dove è previsto che *“nei casi in cui a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva, la progettazione può essere basata sul metodo osservazionale”*. In estrema sintesi ciò è illustrato nella Figura 7.

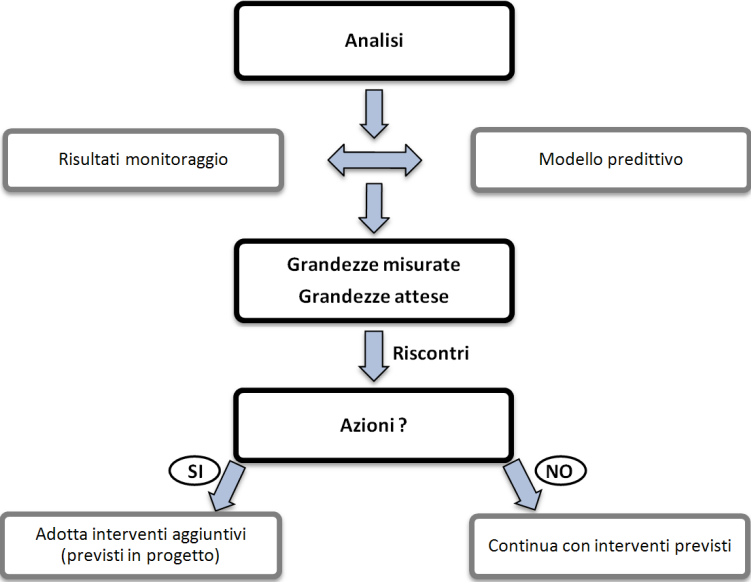


Figura 7. Quadro di sintesi del Metodo Osservazionale nell'ambito delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC08 2008).

L'analisi progettuale porta al "modello predittivo" e a valutare le cosiddette "grandezze attese", nonché ad introdurre come componente sostanziale dell'approccio il "monitoraggio in corso d'opera". In questa ottica, ove durante i lavori il confronto tra "grandezze attese" e "grandezze misurate" sia soddisfacente, la costruzione procede con gli interventi previsti. Nel caso contrario, accertato il raggiungimento dei limiti indicati in progetto, si passerà all'adozione di una delle soluzioni alternative previste nel progetto stesso.

Con riferimento alle problematiche che caratterizzano l'opera, richiamate in breve nel Capitolo 2 ed approfondite in ogni aspetto nella documentazione progettuale disponibile, nonché alla luce del DEC VIA 576/2011, si tratta di porre in atto le necessarie procedure per la gestione delle cosiddette "situazioni di rischio". Ciò vale in relazione alla necessità di affrontare in modo attento e rigoroso il problema della pubblica incolumità e della salvaguardia dei beni, in concomitanza alla realizzazione dell'opera, tenuto conto dell'interazione con l'ambiente costruito.

La Figura 8 esemplifica nel merito l'approccio adottato nel caso in esame, che è stato posto alla base dello sviluppo stesso di ogni fase progettuale. Grazie ad un attento studio delle problematiche individuate lungo il tracciato, dal punto di vista geologico, idrogeologico e geotecnico, si è posto l'obiettivo, caso per caso, di individuare gli scenari di rischio, definendo quello più probabile e quello meno probabile, intendendo con il primo individuare una "situazione attesa", mentre il secondo identifica una "situazione grave", che non si può escludere a priori. Come avviene per il metodo osservazionale, componente sostanziale dell'approccio è ancora il monitoraggio. Determinante in questo caso diventa la modalità di lettura e la rapida disponibilità dei risultati della misura, l'elaborazione e la verifica, ed infine la trasmissione del dato.

Si tratterà infatti di valutare, in base ai valori delle grandezze osservate ed all'opportuno confronto con valori di soglia prestabiliti, quale è la condizione in seguito alla quale dovranno essere assunte le opportune decisioni. È usuale in

questi casi distinguere tre diversi livelli di rischio identificati con “Attenzione”, “Preallarme” e “Allarme”. Ad esempio, durante lo scavo della galleria, ove è anticipata l’interazione con edifici posti in superficie, la soglia di “Attenzione” equivarrà alla possibilità che si manifestino lievi danni, sostanzialmente limitati agli intonaci e alle finiture. La soglia di “Preallarme” corrisponderà invece a danni che possono interessare, pur se in forma lieve, gli elementi strutturali. Infine, il raggiungimento della soglia di “Allarme” segnalerà la possibilità che si manifestino danni agli elementi strutturali, tali da impedire la piena fruibilità dell’edificio.

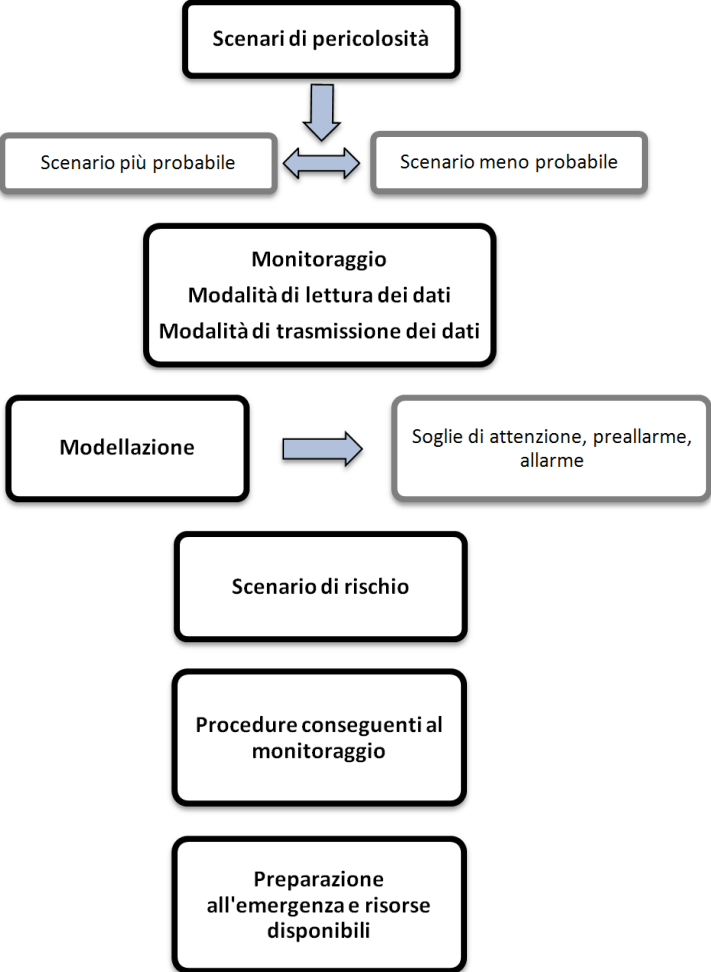
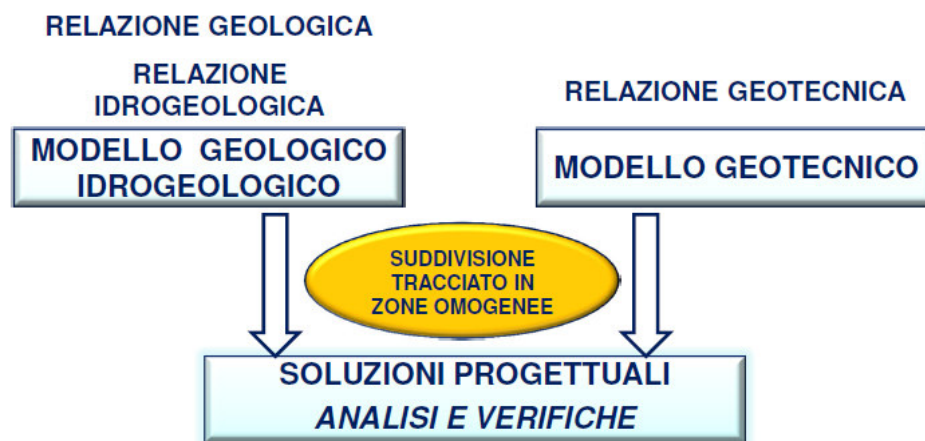


Figura 8. Quadro di sintesi dell’approccio adottato in sede progettuale.



Nel contesto sopra richiamato le indagini e gli studi svolti, riportati nella documentazione progettuale, sono stati in particolare volti all'elaborazione del Modello Geologico, del Modello Idrogeologico e del Modello Geotecnico. Ciò ha portato necessariamente, come già ricordato al Capitolo 2, a suddividere il tracciato della galleria nelle cosiddette “zone caratteristiche a comportamento omogeneo” o “zone omogenee”, come illustrato nella Figura 9 e trattato nel dettaglio nel successivo Capitolo 4.



*Figura 9. Sintesi dell'Approccio per l'individuazione delle soluzioni progettuali.*

Con riferimento particolare alla Relazione Geotecnica predisposta nell'ambito del Progetto Esecutivo, che si sviluppa con una serie articolata ed approfondita di Relazioni di Calcolo:

- Relazione di calcolo opere di sostegno – lato Cherasco
- Relazione di calcolo opere di sostegno – lato Alba
- Relazione di calcolo galleria artificiale – lato Cherasco
- Relazione di calcolo galleria artificiale – lato Alba
- Relazione di calcolo galleria naturale
- Relazione di calcolo cunicolo
- Relazione di calcolo delle interferenze con gli edifici

hanno assunto rilievo significativo, attraverso gli approfondimenti svolti sulle diverse problematiche, le analisi e le modellazioni di tipo analitico e numerico

(Figura 10). Tali analisi sono state volte al dimensionamento/verifica degli interventi proposti ed a valutare caso per caso i valori di soglia delle diverse “grandezze attese”.



Figura 10. Impostazione della Relazione Geotecnica.

In modo analogo, componenti essenziali della Relazione Idrogeologica sono le analisi e le modellazioni di tipo analitico e numerico svolte, con particolare riguardo alla simulazione tridimensionale del flusso idraulico, in condizioni naturali ed a seguito degli effetti idraulici indotti dalla opere in sotterraneo (Galleria di Verduno ed opere connesse), sia in termini di perturbazione idraulica sull’acquifero, sia come portate drenate dai sistemi di drenaggio temporanei (i.e. cunicolo centrale alle due gallerie) e permanenti sul lungo periodo (i.e. by-pass della galleria collegato ad un sistema di fori drenanti).

### 3.2. INTERFEROMETRIA RADAR

Nell’ottica appena descritta, si è ritenuto utile condurre l’analisi con interferometria radar dell’area interessata, con particolare riguardo alla Galleria

di Verduno, ciò anche in vista del monitoraggio da condurre durante lo scavo, per la corretta gestione dei lavori e per la tempestiva individuazione di eventuali situazioni di criticità. In particolare, l'analisi condotta ha previsto l'elaborazione di un data-set acquisito dal satellite canadese RADARSAT-1 in geometria ascendente, tra Marzo 2003 e Settembre 2012.

Nella relazione "Analisi e monitoraggio con interferometria radar da satellite" dell'Università degli Studi di Firenze sono stati presentati e commentati i dati derivanti dall'elaborazione effettuata (Figura 11). Questi dati sono stati confrontati con quelli disponibili sul Portale Cartografico Nazionale (Piano Straordinario di Telerilevamento), relativi ai periodi 1992-2000 e 2003-2010.

Nel Capitolo 4 che segue, nella presentazione degli scenari di rischio per le diverse zone, si farà riferimento ai risultati delle analisi SqueeSAR™, restituiti in file digitali (formato shape file) *shapefile REF* e *shapefile TSR*.

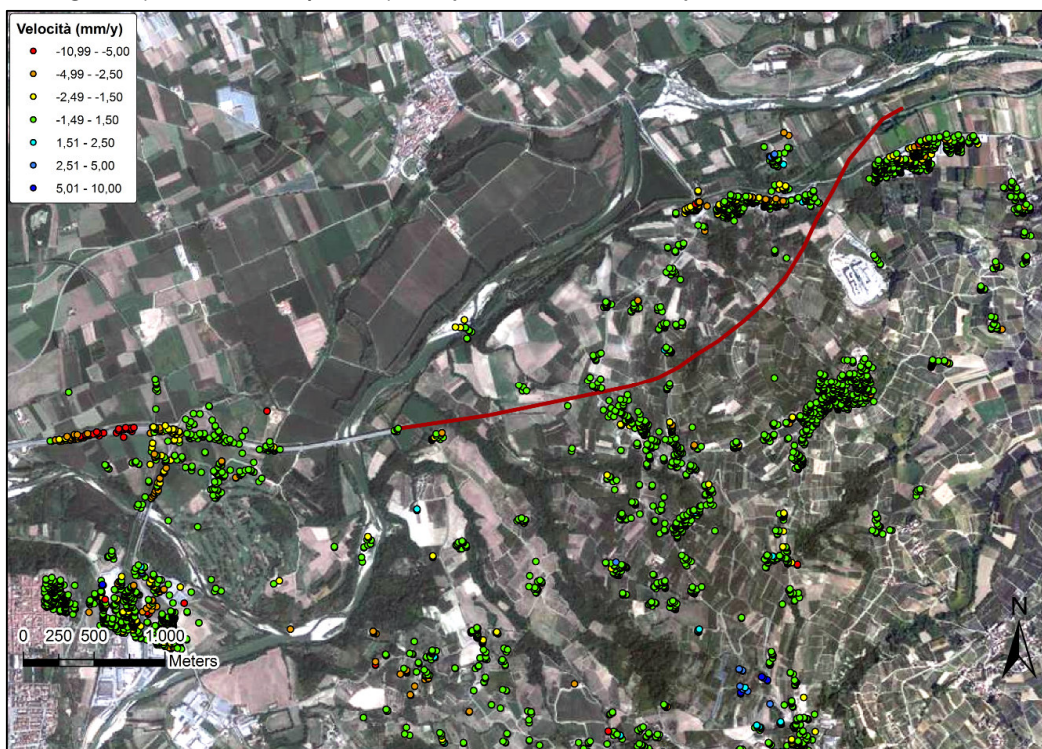


Figura 11. Distribuzione dei punti di misura individuati con l'analisi SqueeSAR™, visualizzati per velocità media annua.

## 4. SUDDIVISIONE IN ZONE

Un aspetto molto importante dell'impostazione progettuale riguarda le individuazione degli "scenari di rischio" in un'ottica quantitativa e non solo qualitativa. Ciò ha avuto luogo alla luce delle numerose indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche svolte e sulla base di un'analisi delle informazioni esistenti sul territorio (tipico è il caso del censimento delle sorgenti e dello studio del Comune di Verduno sulle forme carsiche presenti nell'ambito comunale).

Componente importante di tale approccio, come già detto, è la modellazione che ha consentito di prevedere lo sviluppo dei possibili fenomeni di instabilità associati ai diversi interventi, con particolare riguardo agli scavi della galleria. Si è in tal modo cercato, per quanto possibile, di definire, caso per caso, le soglie di rischio per ciascun scenario. Vista l'analisi interferometrica svolta, che ha anche utilizzato misure ottenute da analisi di serie storiche, l'esposizione degli scenari verrà fatta in quanto segue, caso per caso, riferendosi alle informazioni acquisite.

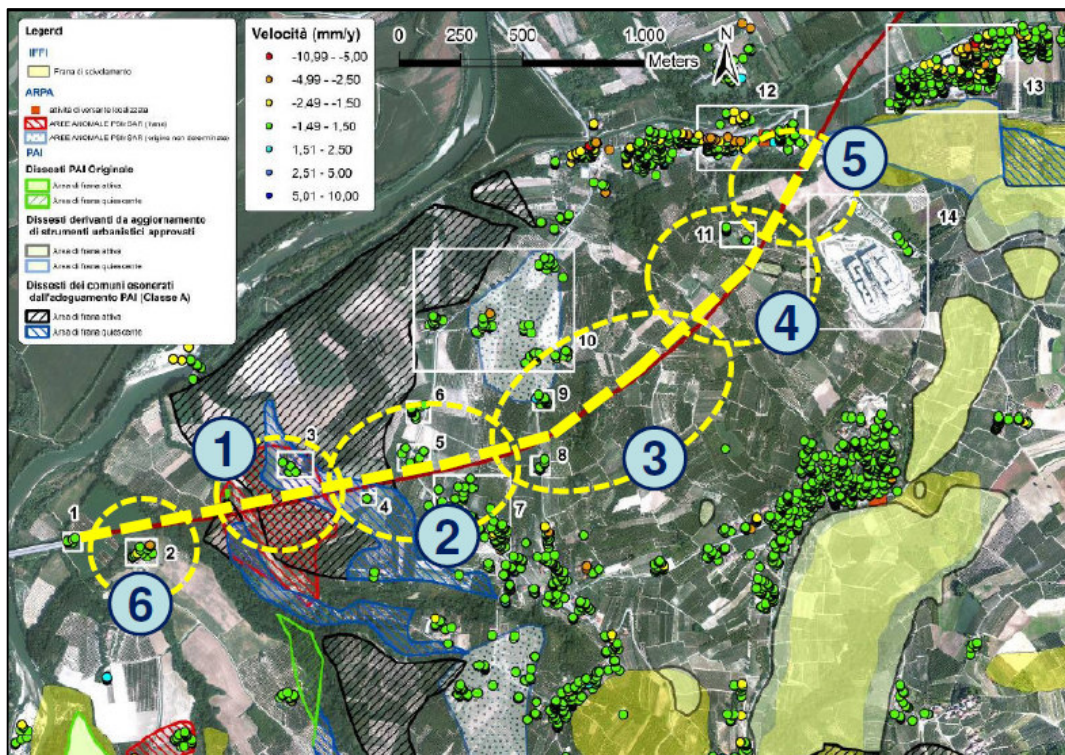
### 4.1. DESCRIZIONE DELLE ZONE

In accordo con quanto anticipato e schematizzato nelle Figure 2 e 3, la Galleria di Verduno è stata suddivisa in "zone caratteristiche a comportamento omogeneo". Tale suddivisione è resa anche nella Figura 12 dove le zone di interesse sono state riportate in forma schematica sovrapponendole al diagramma della velocità media annua dei punti di misura individuati con l'analisi SqueeSAR™, sovrapposto a sua volta alla mappa di sintesi sulla cartografia dei fenomeni franosi dell'inventario IFFI, PAI, ARPA.

Le zone prese in considerazione sono riportate nel seguente prospetto dove, oltre alle zone da 1 a 5 di specifico interesse per la galleria, è anche riportata la

zona 6 relativa alle opere di superficie della trincea in località Cascina dello Spià.

Codice	Descrizione
Zona 1	Imbocco Lato Cherasco
Zona 2	Formazione gessi
Zona 3	Formazione marne
Zona 4	Intercalazioni di corpi detritici
Zona 5	Imbocco Lato Alba-Asti
Zona 6	Cascina dello Spià



*Figura 12. Diagramma della velocità media annua dei punti di misura individuati con l'analisi SqueeSAR™, sovrapposta alla mappa di sintesi sulla cartografia dei fenomeni franosi dell'inventario IFFI, PAI, ARPA.*

❖ Zona 1

L'imbocco Lato Cherasco si colloca in un contesto morfologico caratterizzato da una vallecola poco incisa e aperta, con asse non inciso da alcun corso d'acqua. Sono presenti due rii, il San Giacomo e il Deglia, che attraversano trasversalmente la vallecola. I lavori di scavo interessano, per un primo tratto, le coltri di accumuli di frana ed i depositi colluviali e, per un secondo tratto, il passaggio dalle coltri ai gessi.

Come illustrato nel dettaglio nella Relazione Idrogeologica, nelle coltri dei depositi di frana e colluviali è presente acqua interstiziale (Figura 13). L'acqua è perlopiù in lenticelle corrispondenti a piccole falde sospese impostate nei limi sabbiosi e nelle argille limose. Tali circuiti sono alimentati direttamente dal sottobacino imbrifero rappresentato dalla vallecola, peraltro con bassi tassi di infiltrazione a causa delle permeabilità ridotte dei terreni di copertura.

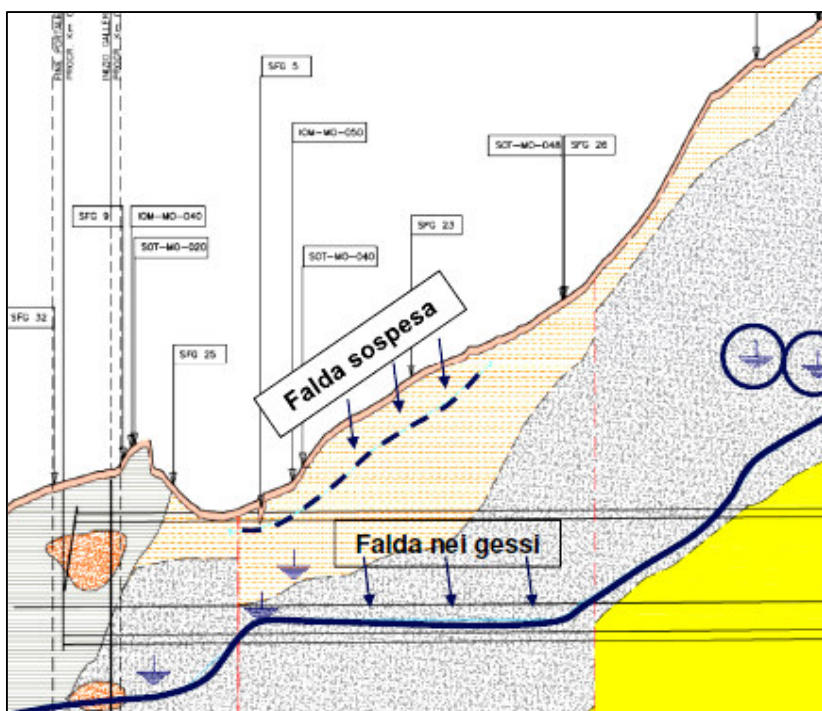


Figura 13 Profilo geologico della canna di monte. Imbocco Lato Cherasco (Zona 1) ed attraversamento dell'acquifero dei gessi (Zona 2).

Come illustrato nella stessa Figura 13, la falda profonda è invece impostata nei gessi, ubicati a letto delle coltri detritico-colluviali. In linea di massima, procedendo ad esempio lungo la canna di monte, il livello di falda rimane costante su valori di 1-2 m sopra l'arco rovescio fino alla fine della zona. Le misure piezometriche, analizzate nel dovuto dettaglio nella Relazione Idrogeologica, indicano che il contesto idrogeologico dell'imbocco Lato Cherasco può registrare variazioni di livello piezometrico positive anche di 10 m rispetto al livello medio.

Di interesse è porre in chiara evidenza la presenza di preesistenze quali edifici rurali e di civile abitazione che sono nella zona di potenziale interferenza con i lavori di scavo. A tale fine nella Figura 14, che riporta l'imbocco Lato Cherasco (si noti che non è rappresentato il cunicolo tra le due canne), sono indicate le sezioni trasversali H-H, I-I ed L-L, tracciate lungo le principali linee di pendenza dei versanti. La ricostruzione geologico-stratigrafica è illustrata nella Figura 15, nella quale si evidenziano le preesistenze prese in considerazione ai fini dell'analisi dell'interazione con le lavorazioni per lo scavo della galleria.

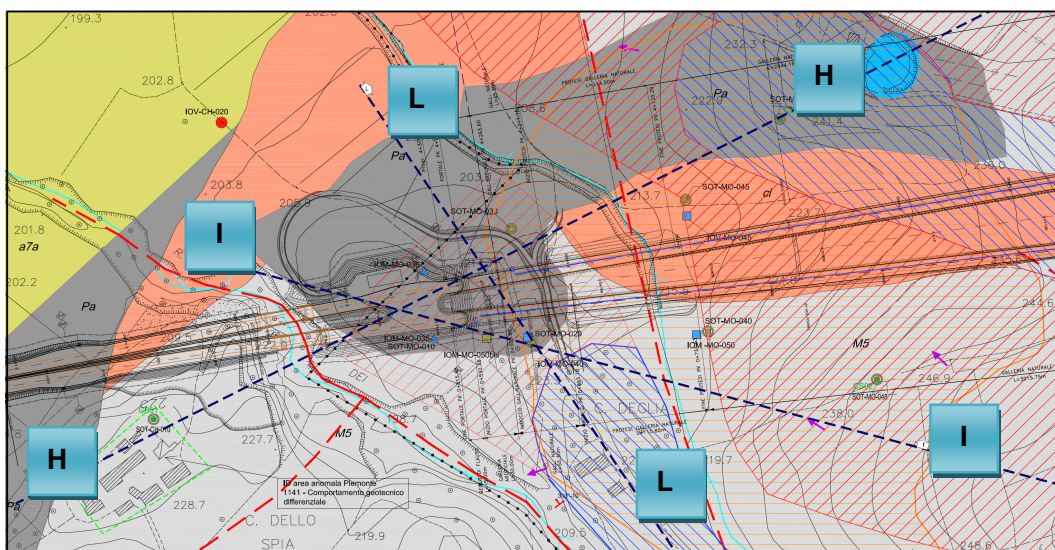


Figura 14. Planimetria della zona di imbocco Lato Cherasco (Zona 1) e sezioni trasversali H-H, I-I e L-L (si veda la Figura 15 per la ricostruzione geologico-stratigrafica e le preesistenze, edifici rurali ed abitazioni).

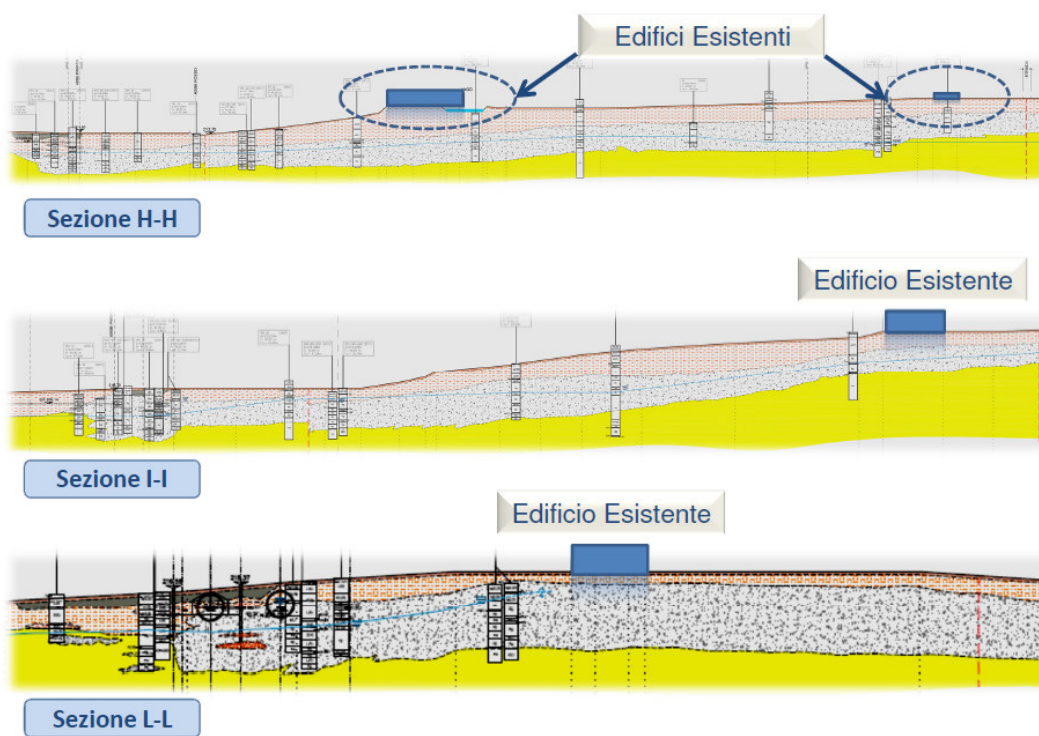


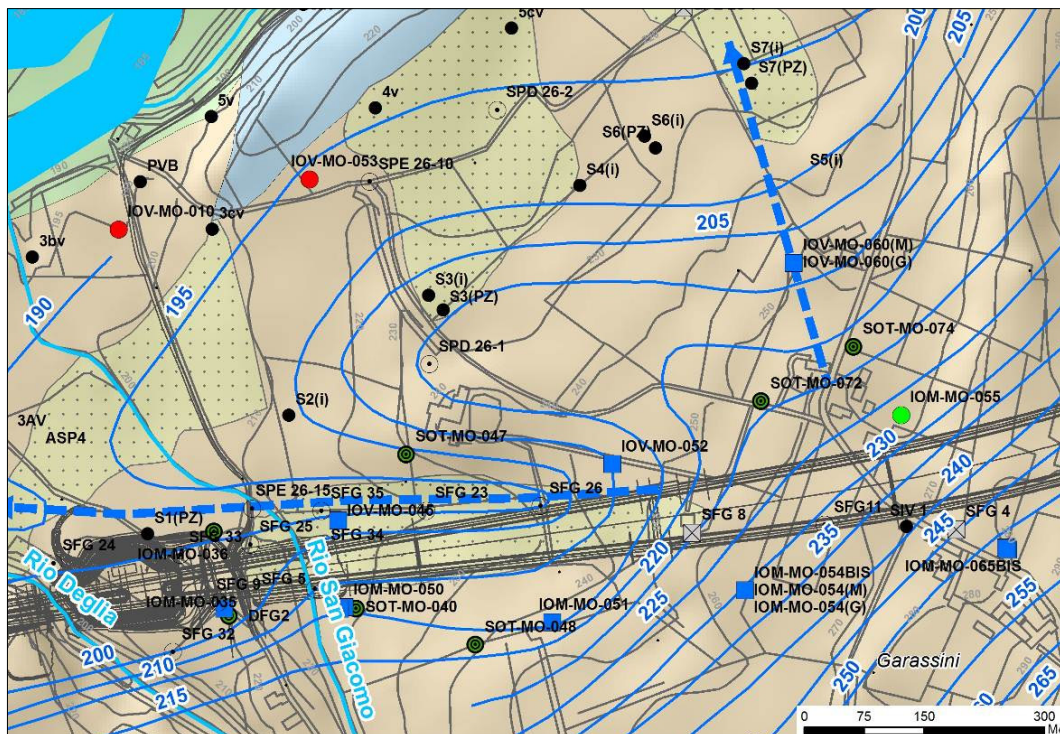
Figura 15. Sezioni trasversali H-H, I-I e L-L con la ricostruzione geologico-stratigrafica e preesistenze (edifici rurali ed abitazioni).

#### ❖ Zona 2

Nella zona 2 la galleria attraversa la formazione dei gessi e l'acquifero in essa presente. Come indicato nella Figura 13 lo scavo si sviluppa parte nella roccia gessifera, parte nei depositi pliocenici e parte all'interno dei depositi detritici costituiti da limi sabbiosi fini.

La circolazione nell'acquifero è condizionata dalla presenza di zone a maggior permeabilità formatesi per la dissoluzione del gesso. In particolare, gli studi svolti hanno posto in luce un contesto idrogeologico molto complesso, caratterizzato dalla presenza di due assi di drenaggio, rispettivamente in direzione circa Est-Ovest ed a direzione Nord-Sud (Figura 16).





*Figura 16. Ricostruzione della distribuzione piezometrica nell'attraversamento dei gessi (ripresa dalla Relazione Idrogeologica).*

Si prospetta che la canna di valle attraversi la parte intermedia ed alta dell'asse di drenaggio Est-Ovest, mentre quella di monte interessi una zona di intensa fratturazione e carsismo. Per quanto riguarda l'attraversamento dei gessi, non è possibile escludere che siano intercettate cavità carsiche sature d'acqua e contenenti sedimenti fini. Ciò vale anche per le tratte di scavo sopra il livello piezometrico dell'acquifero carsico, dove si possono verificare svuotamenti repentini e violenti di sacche d'acqua.

Un altro aspetto riguarda la differenza di risposta idraulica tra le due canne. In assenza di precipitazioni importanti, il battente idraulico sulla canna di monte si attesta per un lungo tratto su valori pressoché costanti, 2-3 m sopra la quota della base degli scavi. In prossimità dell'intersezione con il limite gessi-marne, l'acquifero si innalza raggiungendo valori di 2 m sopra la calotta della galleria. La canna di valle invece intercetta la falda acquifera ad una progressiva più

avanzata rispetto alla canna di monte e per un tratto piuttosto esteso del tracciato il livello di falda si colloca al di sotto del piede dello scavo.

Come per la Zona 1, anche qui sono possibili variazioni significative e repentine di livello piezometrico, con incrementi superiori anche ai 10 m in seguito ad eventi piovosi di una certa importanza. Pertanto, il livello piezometrico incontrato durante lo scavo può essere diverso da quello definito nei profili previsionali se nel corso dell'avanzamento si verificano precipitazioni intense o prolungate.

### ❖ Zona 3

Nella Zona 3 la galleria attraversa la Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili, con coperture significative. Come illustrato nel profilo geologico di Figura 17, riferito ancora alla canna di monte, vale porre in luce che, verso il termine della zona verso Cherasco, lo spessore del substrato marnoso sopra la calotta si riduce progressivamente, fino a 5-10 m, con possibili richiami, durante lo scavo, nella soprastante Formazione Gessoso-Solfifera.

Questa precauzione vale sia dal punto di vista della stabilità dello scavo che dal punto di vista idrogeologico, perché non è possibile escludere che le marne risentano indirettamente delle fenomenologie carsiche che interessano l'acquifero dei gessi. In pratica, non è possibile escludere il rilascio improvviso di acqua circolante attraverso condotti carsici alla base dell'acquifero oppure intrappolata in cavità chiuse e separate dal sistema di circolazione.

Nel resto della tratta non si ravvisano invece particolari criticità, anche perché le maggiori cavità carsiche si localizzano sempre a quote significativamente superiori alla galleria (10 - 20 m al di sopra della volta) così che non sono coinvolte dagli scavi. Peraltro, la permeabilità delle marne è bassa e di conseguenza anche i deflussi previsti nella galleria sono di piccola entità. Si nota che i battenti idraulici insistenti sulle due canne sono piuttosto alti,

sebbene variabili in funzione della profondità del tetto del substrato. Nei primi tratti delle due canne, attraverso le marne, i battenti sono dell'ordine di 4-5 m ed aumentano a 45-50 m nel tratto di spartiacque della galleria, raggiungendo valori massimi di quasi 60 m.

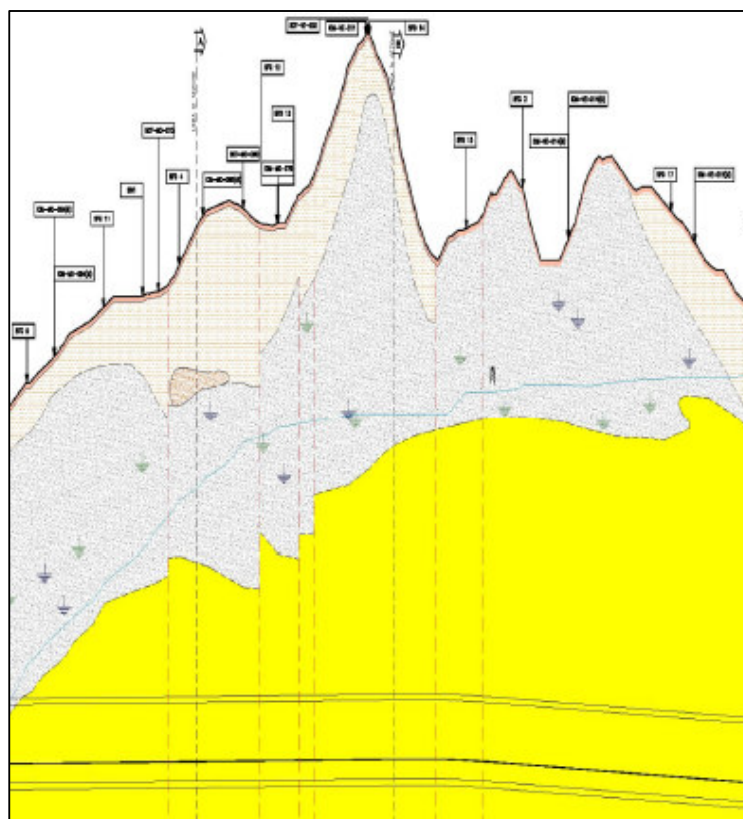


Figura 17. Profilo geologico della canna di monte. Zona 3.

#### ❖ Zona 4

L'attraversamento comporta nella Zona 4 lo scavo di lenti di materiale ghiaioso-sabbioso e sabbioso-limoso intercalate nelle marne del substrato (i cosiddetti corpi detritici). Per la canna di monte è previsto che tali lenti siano attraversate o si trovino poco sopra la volta della galleria; per la canna di valle è presente un numero maggiore di corpi, singolarmente meno estesi di quelli precedenti. La situazione è schematizzata nella Figura 18.

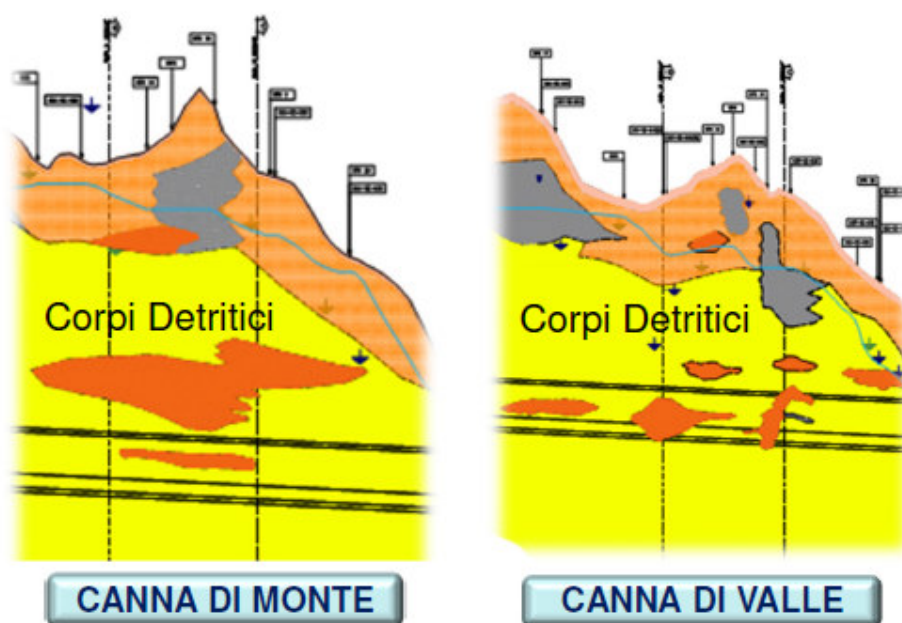


Figura 18. Profilo geologico della canna di monte e della canna di valle. Zona 4.

Come già ricordato al Capitolo 2, 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. I valori attesi di carico idraulico in questi stessi corpi detritici sono elevati e compresi tra circa 20 e 60 m. Peraltro, già si è detto che la loro ricostruzione spaziale è relativamente incerta in senso trasversale alla galleria e che, come è schematizzato nella sezione trasversale di Figura 19, questi possono anche estendersi verosimilmente verso monte.

La Relazione Idrogeologica evidenzia come in questa zona, oltre alla falda delle intercalazioni detritiche, siano presenti altri sistemi di circolazione più superficiali. Il principale tra questi è quello ospitato negli accumuli misti di frana dei due grandi movimenti franosi che interessano il versante. Questi depositi sono frammisti a coltri di depositi colluviali e sono sede di circolazioni con carattere permanente, alimentate direttamente dagli apporti meteorici. Il sistema di flusso dei depositi sembra essere in continuità laterale con quello dei gessi.

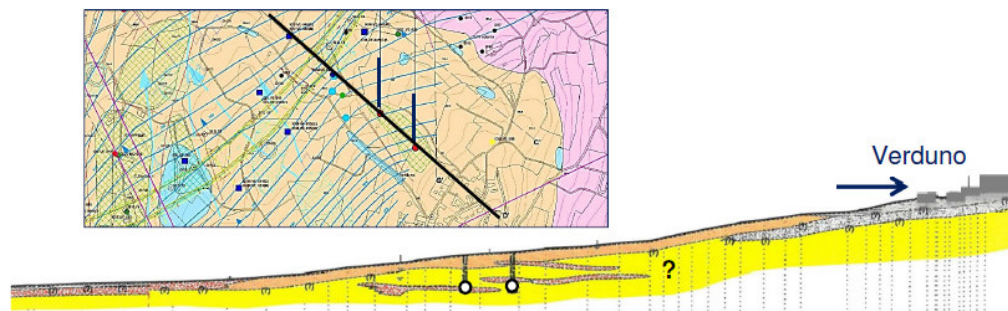


Figura 19. Sezione geologica trasversale alla galleria nella Zona 4 verso monte.

#### ❖ Zona 5

Questa zona riguarda le opere di imbocco Lato Alba-Asti della galleria e ricade in un settore di versante dove è in costruzione il Nuovo Ospedale, opera che si trova a circa 600 m a monte dello stesso imbocco (Figura 20 e 21). Come è illustrato nella Figura 20, lungo i profili geologici in asse alle due canne si osserva la presenza di una copertura detritica, costituita da argilla limosa, argilla sabbiosa, argilla limosa con sabbia e presenza di lenti granulari a componente ghiaioso-sabbiosa prevalente, poggiante sul substrato marnoso della Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili.

Il contesto idrogeologico in superficie è lo stesso di quello descritto per la Zona 4, nel senso che le due zone sono in continuità idraulica. Tuttavia la galleria non intercetta più i corpi detritici e l'imbocco è chiaramente impostato nelle coltri di depositi superficiali. Un aspetto da segnalare in tale contesto, come posto in luce nella Relazione Idrogeologica, riguarda le condizioni di elevata ricarica della falda superficiale. Si osserva comunque che, mentre nel settore limitrofo all'ospedale il livello della falda in occasione di particolari eventi meteorici reagisce con innalzamenti significativi, nel settore dell'imbocco non si hanno variazioni altrettanto importanti (almeno nell'intervallo di tempo in cui è stato effettuato il monitoraggio).

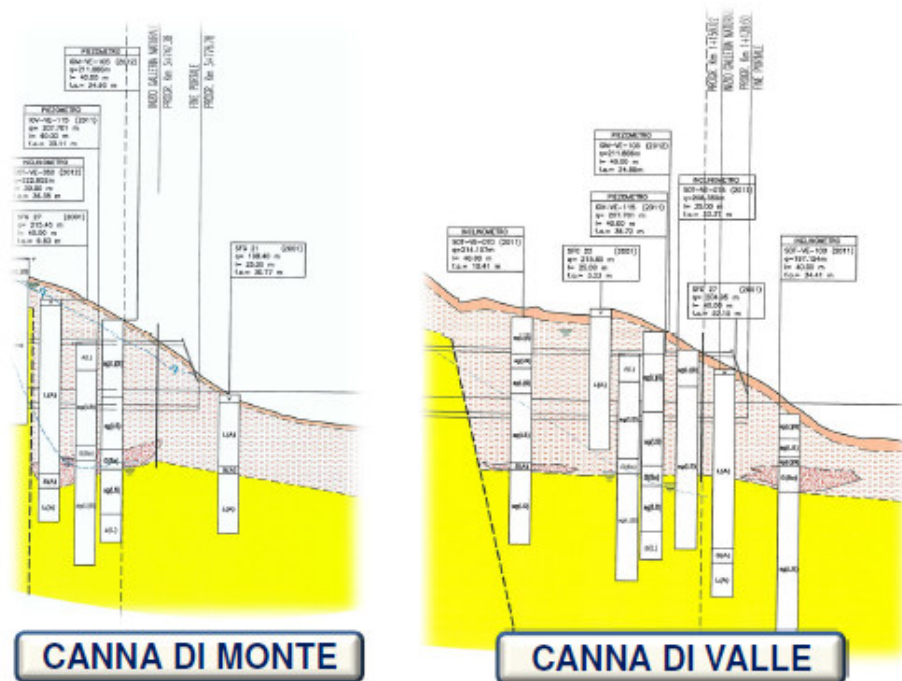


Figura 20. Profilo geologico della canna di monte e della canna di valle. Zona 5.

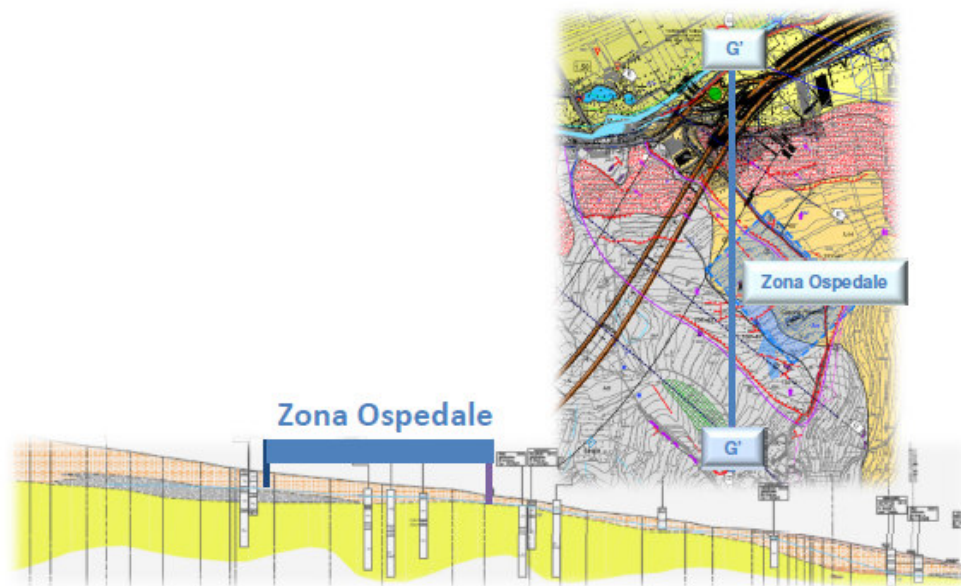
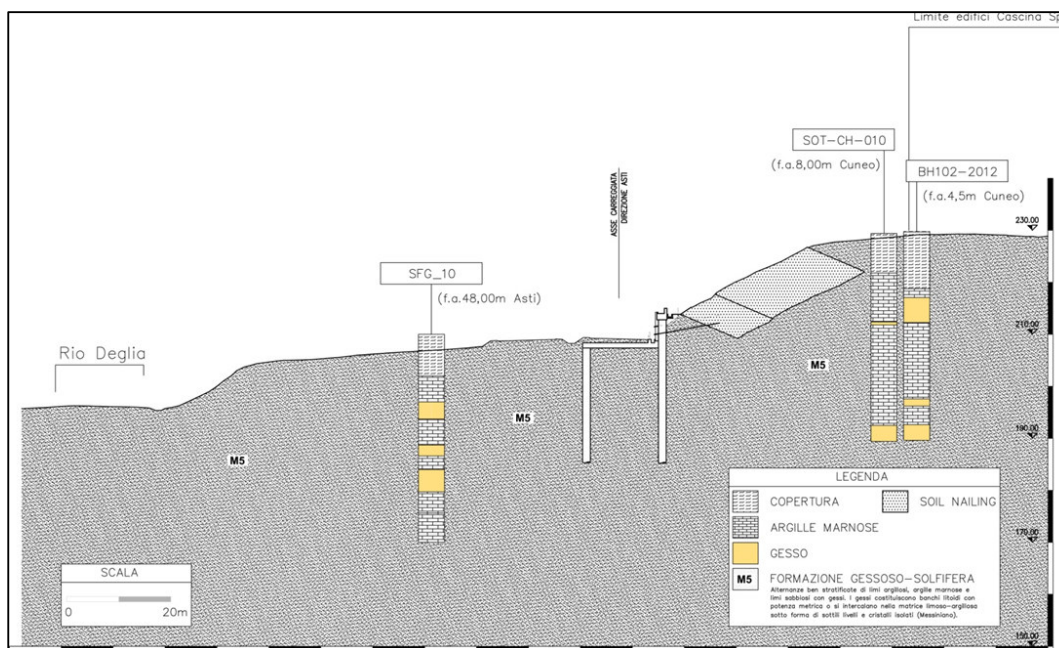


Figura 21. Sezione geologica trasversale passante per l'imbocco. Zona 5.

❖ Zona 6

Questa zona riguarda le opere costituenti la trincea in località Cascina dello Spià, illustrate nella sezione rappresentativa di Figura 22, dove si osserva che il contesto geologico è caratterizzato dalla presenza della Formazione Gessoso-Solfifera.

Il primo tratto di trincea interessa la parte del versante acclive, in sommità del quale insiste la “Cascina dello Spià”. Proseguendo, prima di raggiungere il rio Deglia, contraddistinto da un asse molto inciso, con anse e meandri indotti da fenomeni di erosione, le pendenze si riducono sensibilmente, fino a raggiungere valori medi dell’ordine di 10÷12°.



*Figura 22. Opere in località Cascina dello Spià. Zona 6.*

#### 4.2. RISULTATI DELL'ANALISI CON INTERFEROMETRIA RADAR

Come già ricordato, si è condotta l'analisi con interferometria radar dell'area interessata dal progetto. In quanto segue si passano brevemente in rassegna,

zona per zona (Figura 12), le risultanze di tale analisi, rimandando per il dettaglio all'apposita relazione.

#### ❖ Zona 1

Con riferimento alla Zona 1 ed agli aspetti già sottolineati in precedenza, l'area di interesse (Area 3) riguarda una cascina (Cascina Dabene) ubicata a monte della galleria (si veda al riguardo la sezione di Figura 13), all'interno di aree classificate come frana attiva sia dalla cartografia PAI che da ARPA Piemonte. Lo stesso vale per l'Area 4 dove è presente un edificio localizzato in prossimità dell'asse della galleria (Figura 23).

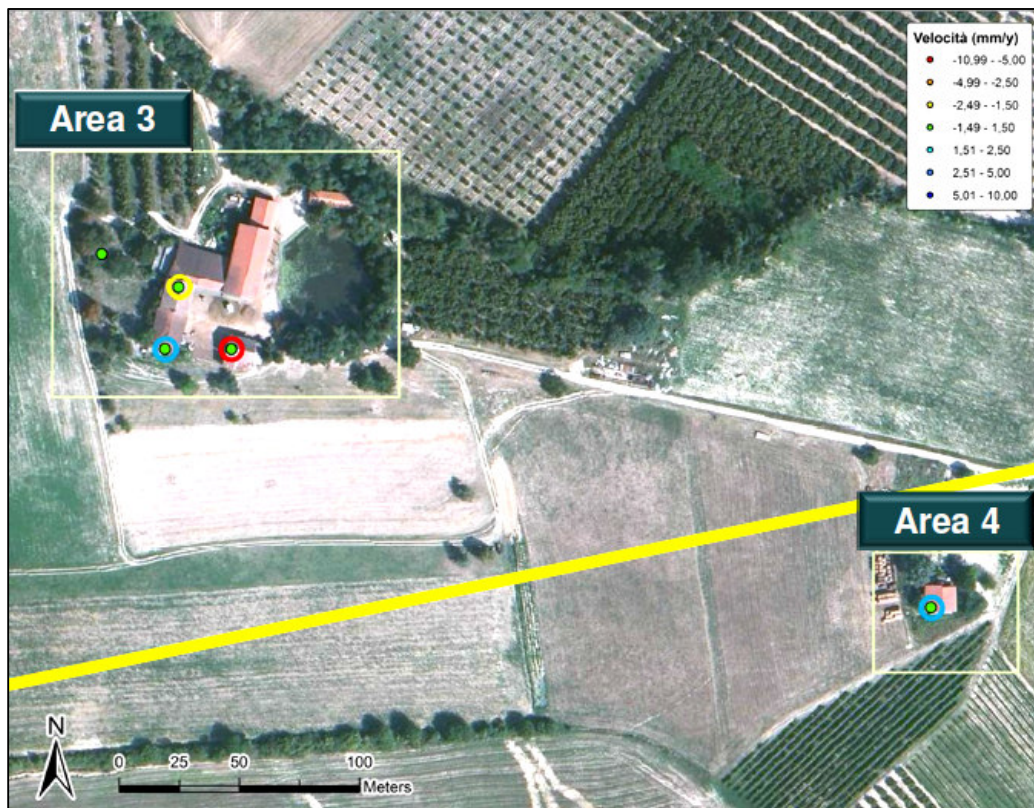
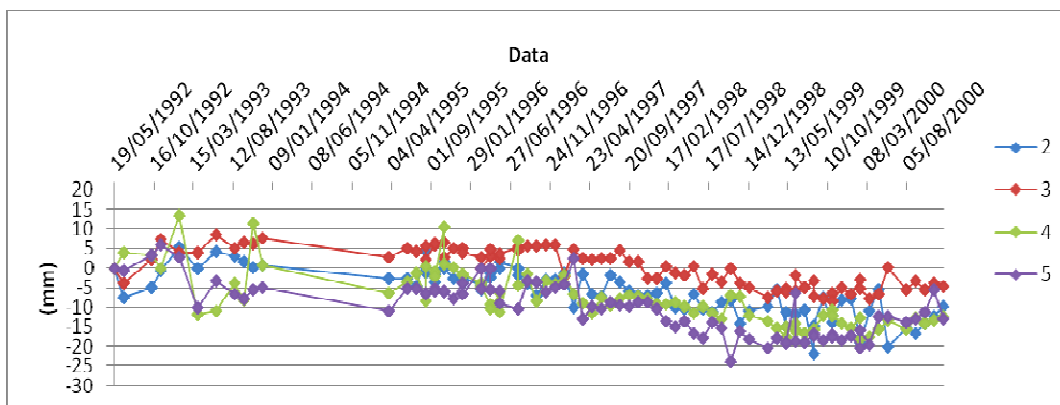


Figura 23. Localizzazione dei bersagli radar delle Aree 3 e 4. Zona 1.

I dati RADARSAT-1 disponibili e riguardanti il periodo 2003-2012 mostrano una generale stabilità delle strutture. Ove l'attenzione venga riportata sugli



spostamenti calcolati analizzando il data-set ERS discendente di Figura 24, si osserva per il periodo 1992-2000 un leggero trend in allontanamento. Anche per l'unico bersaglio RADARSAT-1 relativo all'Area 4, si ha un comportamento stabile, anche se caratterizzato da elevato rumore del dato.



*Figura 24. Serie storiche dei bersagli ERS con geometria discendente ricadenti nell'Area 3. Zona 1.*

#### ❖ Zona 2

Nella Zona 2 sono compresi gruppi di edifici ad uso residenziale, posti in adiacenza all'asse della galleria. Essi sono stati identificati come appartenenti alle Aree 5, 6 e 7. L'Area 6 è ubicata a Nord dell'Area 5, mentre l'Area 7 (7A e 7B) costituisce il maggior nucleo urbanizzato, la Borgata Garassini, presente nelle immediate vicinanze del tracciato della galleria.

L'Area 5 e l'Area 6 (Figura 25), visti i dati RADARSAT-1 disponibili, sono entrambe caratterizzate da una generale stabilità, che risulta confermata anche dall'analisi dei data-set ERS ed ENVISAT. L'Area 7 (Figura 26) nel suo insieme presenta una generale stabilità lungo la linea di vista del satellite, con alcune eccezioni nell'Area 7A, dove la velocità media massima è pari a -3.11 mm/anno (Figura 27).

Per il settore settentrionale dell'Area 7 (7B), che corrisponde ad una porzione della Borgata Garassini di recente urbanizzazione, si constata che i dati

RADARSAT-1 indicano una condizione di stabilità che trova conferma nei dati ERS ed ENVISAT.

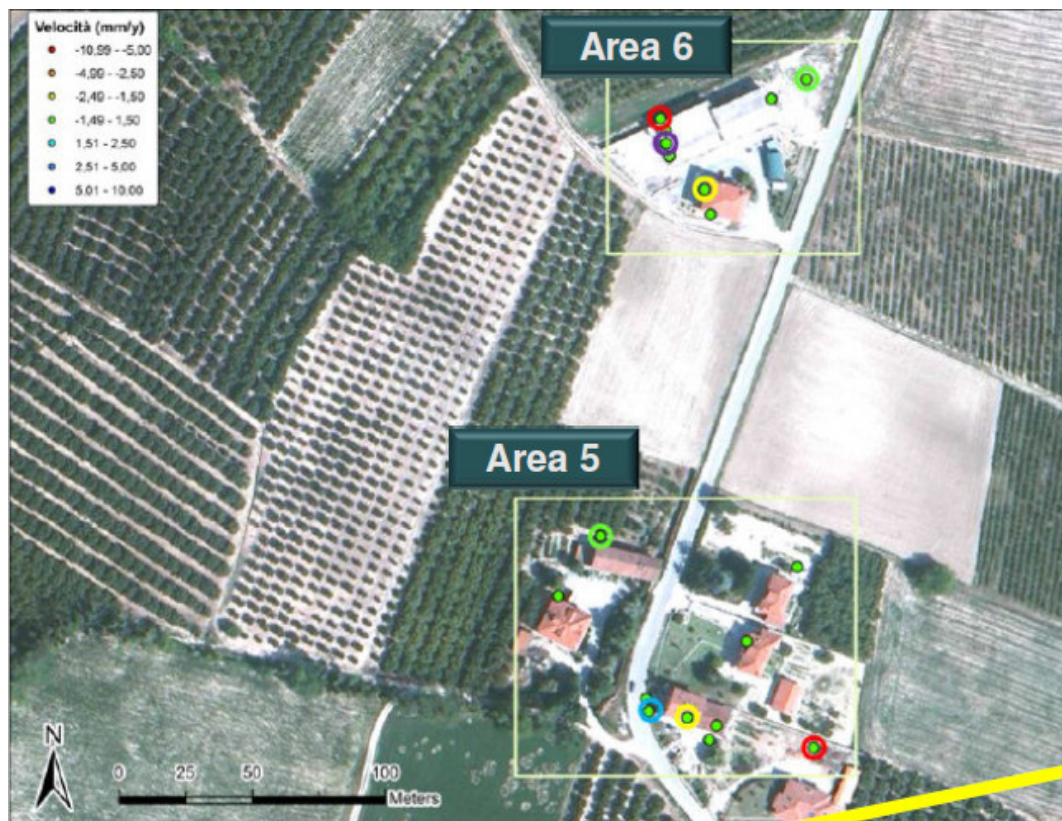


Figura 25. Localizzazione dei bersagli radar delle Aree 5 e 6. Zona 2.

Come si vedrà più oltre, i fabbricati in questione sono stati studiati, anche sulle base delle informazioni disponibili con le schede del censimento degli edifici, per poter valutare l'interferenza attesa tra gli scavi condotti in sotterraneo ed i fabbricati e manufatti presenti in superficie. Ciò ha comportato, secondo quanto illustrato in specifica relazione allegata al progetto, il calcolo dei cedimenti/spostamenti a piano campagna ed in corrispondenza dei piani fondazione, così da valutare, per ciascun fabbricato, la classe di danno attesa.

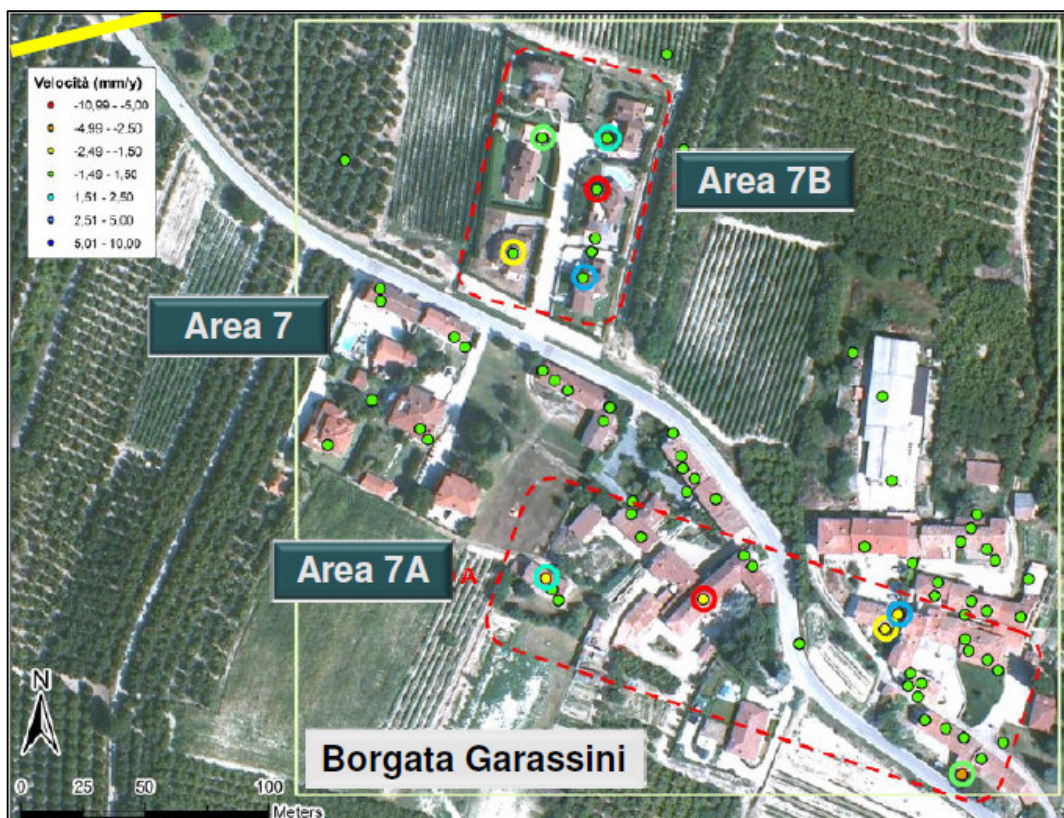


Figura 26. Localizzazione dei bersagli radar delle Aree 7A e 7B. Borgata Garassini. Zona 2.

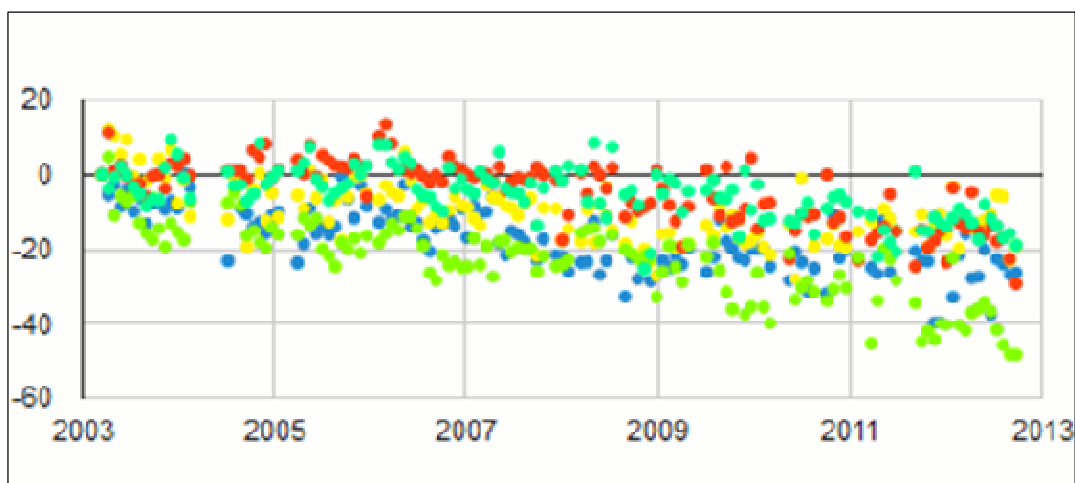


Figura 27. Serie storiche dei bersagli RADARSAT-1selezionati per l'Area 7A. Zona 2.

❖ Zona 3

Lungo il tracciato della galleria, nella Zona 3, ove si attraversa la Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili, con coperture significative, sono comprese le Aree 8, 9 e 10. L'Area 8 (Figura 28) è prossima ad un borgo situato a Sud dell'asse della galleria e mostra 7 bersagli, tutti caratterizzati da stabilità, almeno nel periodo di osservazione dal 2003 al 2013. L'Area 9 (Figura 28), che corrisponde ad un casolare a Nord del tracciato, in prossimità della porzione sommitale di un'area anomala riportata nella mappa dei fenomeni franosi classificati da ARPA Piemonte, è anch'essa stabile.



Figura 28. Localizzazione dei bersagli radar delle Aree 8 e 9. Zona 3.

L'Area 10 (Figura 29), che è costituita da un insieme di agglomerati urbani ubicati all'interno della mappa dei fenomeni franosi classificati da ARPA Piemonte, è caratterizzata dalla presenza di diverse decine di bersagli. Soltanto

alcuni di questi presentano spostamenti in allontanamento dal satellite. Le velocità medie massime sono pari a  $-2.94$  mm/anno. Si tratta comunque di punti sparsi all'interno di un significativo numero di bersagli stabili, almeno nel periodo di osservazione che va dal 2003 al 2012.



Figura 29. Localizzazione dei bersagli radar dell'Area 10. Zona 3.

#### ❖ Zona 4

A questa zona, che corrisponde all'attraversamento dei cosiddetti corpi detritici ubicati all'interno delle Marne di Sant'Agata Fossili e rappresenta un settore di particolare delicatezza in termini di potenziale interferenza con gli scavi in sotterraneo, appartiene l'Area 11 (Figura 30). Sono qui presenti un casolare ed alcune pertinenze poste circa a Nord-Ovest della galleria. Si osserva che tutti i

bersagli presentano una condizione di stabilità lungo la linea di vista del satellite.

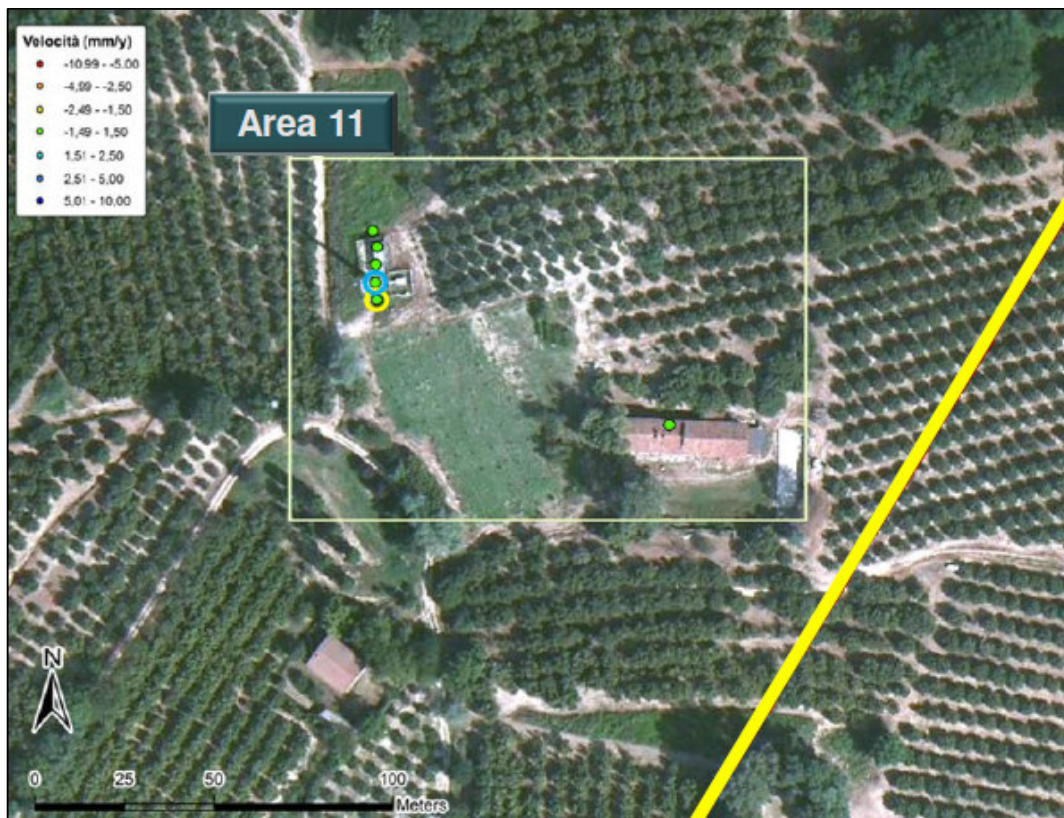
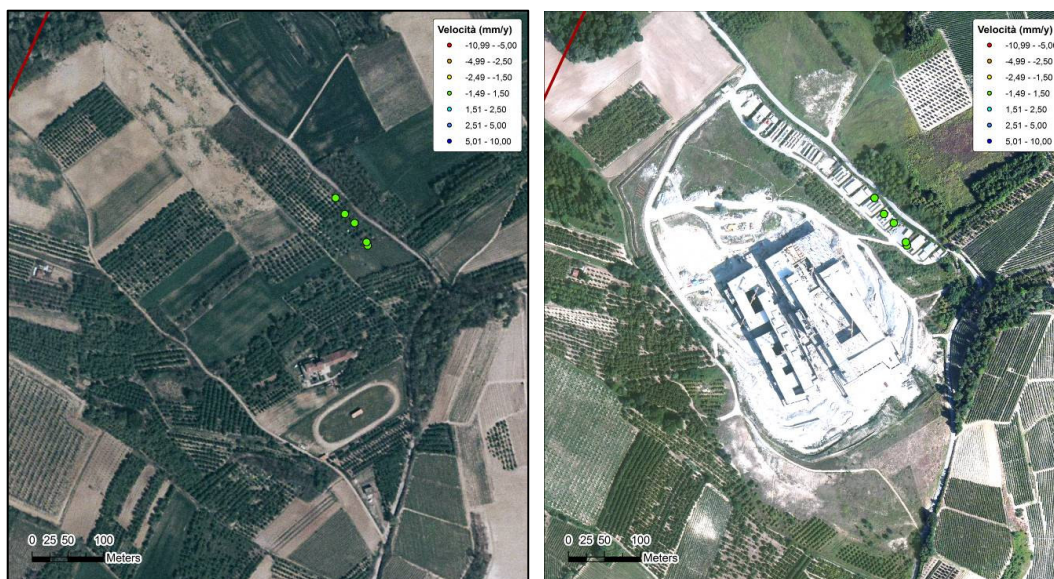


Figura 30. Localizzazione dei bersagli radar dell'Area 11. Zona 4.

#### ❖ Zona 5

La Zona 5 corrisponde sostanzialmente al settore dell'imbocco Lato Alba-Asti. La Figura 31, che confronta l'ortofoto del 2000 con quella del 2012, rende a colpo d'occhio la grande trasformazione subita dall'area per l'insediamento di nuove strutture rappresentate da diversi fabbricati industriali, ad Est dello stesso imbocco, ed in particolare dal sito di costruzione del Nuovo Ospedale Alba-Bra. Come già ricordato, questo ricade interamente all'interno di un corpo di frana attivo.

Vale osservare che in tale zona, in particolare in corrispondenza del sito del nuovo ospedale, la presenza di un cantiere in attività non ha consentito di individuare dei bersagli validi ad eccezione di alcuni punti in corrispondenza di strutture temporanee. E' tuttavia evidente che, con la costruzione ed il completamento dell'opera, la presenza di strutture permanenti potrebbe divenire un'area piuttosto utile per la presenza di nuovi bersagli, ben visibili, che potrebbero essere posti sotto osservazione ai fini di valutare gli eventuali effetti indotti dalla costruzione della galleria.



*Figura 31. Zona 5 relativa all'imbocco Lato Alba-Asti. Confronto tra ortofoto del 2000 (a sinistra) e del 2012 (a destra).*

All'interno della Zona 5 sono presenti le infrastrutture industriali ubicate nel settore di pianura, immediatamente ad Ovest del futuro imbocco della galleria, corrispondenti all'Area 12 (Figura 32), e ad Est dello stesso imbocco, corrispondenti invece all'Area 13 (Figura 33). L'analisi del data-set RADARSAT-1 pone in luce per entrambe tali aree evidenti fenomeni di abbassamento con velocità medie massime pari a -4.81 mm/anno.

Tali cedimenti possono essere verosimilmente correlati a fenomeni di consolidazione per carico delle nuove strutture su un terreno di scadenti caratteristiche geotecniche. Se in particolare l'attenzione viene posta sull'Area 12, l'elaborazione dei dati ERS ed ENVISAT evidenzia con chiarezza una maggiore instabilità del capannone posto nel settore occidentale dell'area stessa, come è ben illustrato dalla Figura 34.

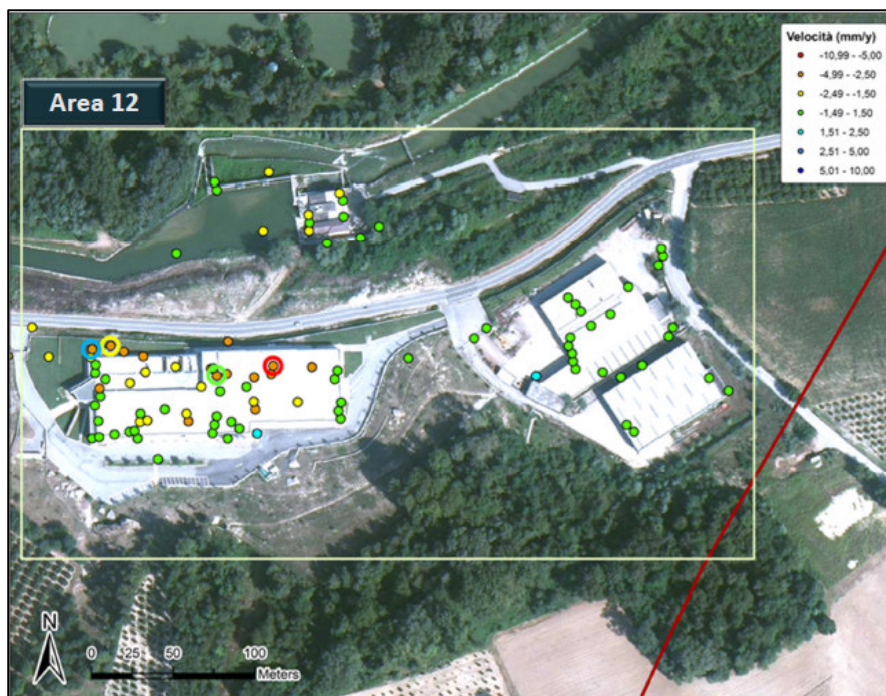


Figura 32. Localizzazione dei bersagli radar dell'Area 12. Zona 5.





Figura 33. Localizzazione dei bersagli radar dell'Area 13. Zona 5.

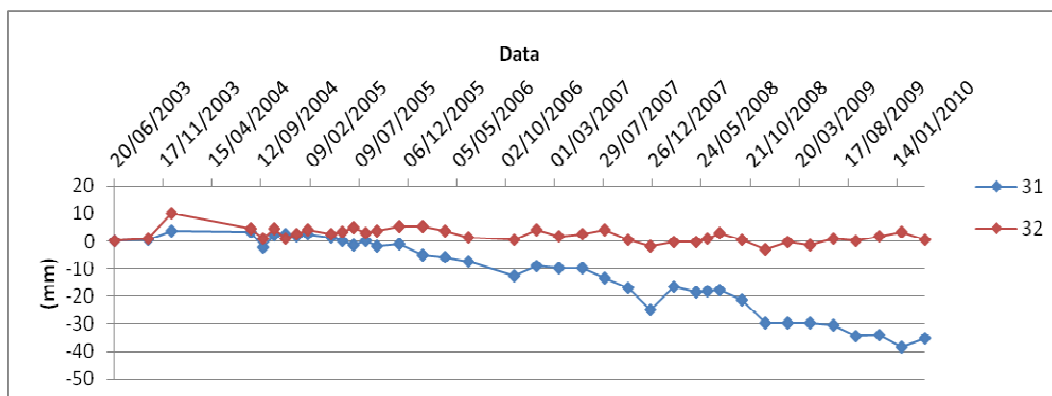


Figura 34. Serie storiche dei bersagli ENVISAT all'interno dell'Area 12.. Zona 5.



#### ❖ Zona 6

Questa zona riguarda la trincea autostradale ad inizio lotto, in località denominata “Cascina dello Spià”, che comporta di incidere e stabilizzare il pendio, alla sommità del quale è sita la cascina, ricorrendo ad interventi di rinforzo e di sostegno.

I risultati dei rilievi interferometrici svolti e relativi al periodo 2003-2012, illustrati nella Figura 35, rivelano movimenti estremamente limitati o nulli lungo la linea di vista del satellite, ad eccezione di una piccola percentuale di bersagli che mostra spostamenti in allontanamento con velocità medie che raggiungono i -2.9 mm/anno. Il settore dell’area che presenta minore stabilità è quello nord-orientale.

Vale ricordare che i rilievi interferometrici, relativi al periodo compreso tra il 1992 ed il 2001, disponibili sul sito di ARPA Piemonte, evidenziano la presenza di movimenti con velocità comprese tra 1 e 4 mm/anno. Non si può quindi escludere che tali movimenti siano imputabili, oltre che a cedimenti differenziali indotti dai carichi trasmessi al terreno dalle fondazioni degli edifici, anche a deformazioni di versante.

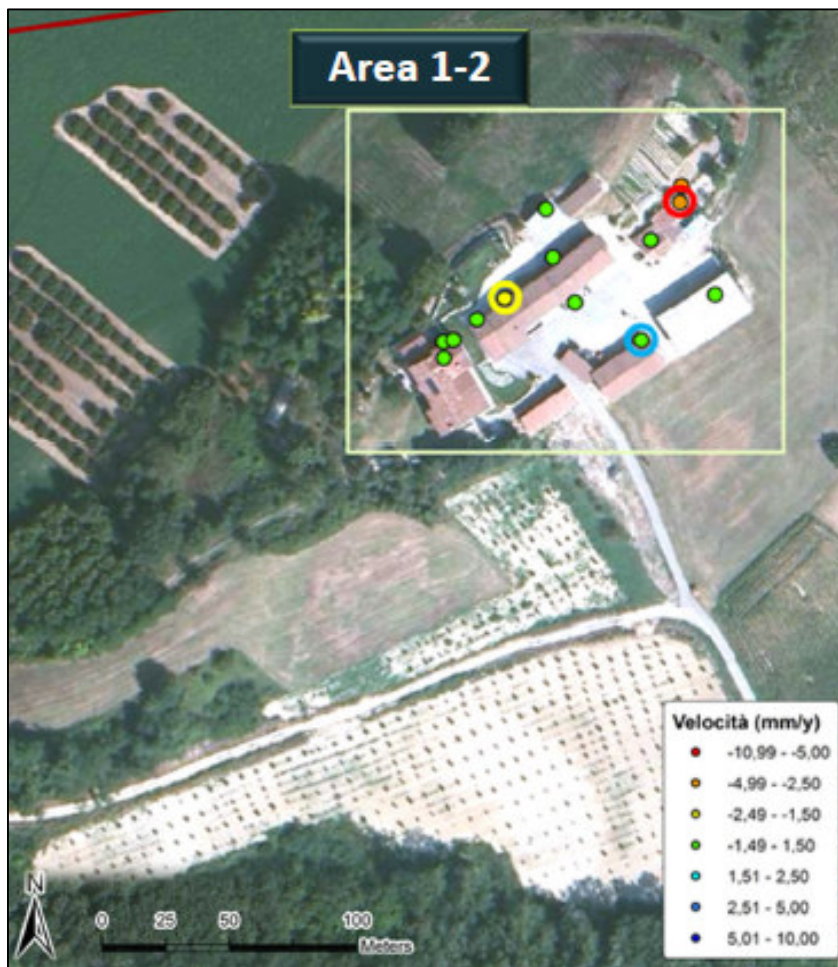


Figura 35. Localizzazione dei bersagli radar dell'Area 1-2. Zona 6.

## 5. SCENARI DI RISCHIO

Per “Scenario di Rischio” si intende, alla luce del Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 12 Gennaio 2012, *“la rappresentazione dei fenomeni di origine naturale o antropica che possono interessare un determinato territorio provocandovi danni a persone e/o cose e che costituisce la base per elaborare un piano di emergenza”*. Nel caso in esame lo scenario di rischio è da intendersi ovviamente in relazione alle opere previste nel Progetto Esecutivo.

Con riferimento agli scenari di rischio individuati, *“competete alle Autorità di Protezione Civile individuate dalle vigenti disposizioni normative (Comuni, Province, Prefetture - Uffici Territoriali del Governo, Regioni e Province Autonome e Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri) e le altre autorità individuate dalla legge provvedere, per quanto di competenza, a definire la pianificazione relativa, nel rispetto delle disposizioni vigenti”*.

### 5.1. CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

L’opera principale, nell’ambito del Progetto Esecutivo predisposto è la Galleria di Verduno, per la quale gli approfondimenti progettuali condotti hanno portato all’adozione dello scavo meccanizzato mediante l’utilizzo di TBM del tipo EPB. Tale soluzione è indubbiamente quella in grado di garantire maggiori condizioni di sicurezza ed una più favorevole gestione dei tempi di completamento dell’opera.

Come ampiamente documentato nelle diverse relazioni che costituiscono il progetto, al fine di contenere l’impatto delle opere in corrispondenza degli imbocchi, si è inoltre previsto di scavare brevi tratti di galleria, in corrispondenza dell’attacco degli scavi, con metodo in tradizionale, così da consentire la messa in pressione del fronte della TBM in presenza di idonei ricoprimenti (5-6 m). D’altra parte, gli imbocchi sono stati ubicati in modo da limitare gli sbancamenti

e minimizzare l'impatto sul delicato contesto geomorfologico dei versanti in cui si inserisce l'opera.

Come noto, inoltre, nella tratta di attraversamento dei gessi, a partire dall'imbocco Lato Cherasco, si è previsto lo scavo di un cunicolo esplorativo da cui eseguire indagini geofisiche nelle zone di futuro scavo delle due canne ed eventuali iniezioni di riempimento ove si dovessero incontrare cavità. Tale precauzione è tale da evitare che l'avanzamento della TBM nei gessi intercetti significative cavità o fasce di ammasso in evidente stato di dissoluzione.

Si tratta di scelte particolarmente appropriate nel difficile contesto geologico, idrogeologico e geotecnico in cui avviene l'avanzamento dello scavo, peraltro in presenza di potenziali interferenze con le preesistenze in superficie, proprio per ridurre ogni possibile rischio. La macchina di scavo adottata prevede infatti il sostegno sistematico del fronte di scavo per mezzo dello stesso terreno scavato (opportunamente condizionato con schiume e/o polimeri), che è mantenuto in pressione all'interno della camera di scavo attraverso i martinetti di spinta dello scudo.

Le terre di scavo vengono rimosse dalla camera di scavo attraverso una coclea, la quale permette, in funzione della quantità di materiale estratto, di regolare la pressione presente al fronte. La macchina di scavo è dotata di uno scudo protettivo in acciaio, al di sotto del quale si provvede alla posa del rivestimento in conci prefabbricati ed all'intasamento del "vuoto anulare" tra l'estradosso dei conci e la superficie scavata. Le fasi di realizzazione della galleria con TBM sono dunque le seguenti:

- Scavo con TBM del tipo EPB
- Posa anello di rivestimento in conci prefabbricati dello spessore di 60 cm
- Riempimento dello spazio anulare tra estradosso anello e profilo di scavo con malta cementizia (a presa rapida)
- Esecuzione di eventuali dreni
- Sistemazione interna.

Con riferimento poi alle opere in superficie (per la galleria, gli imbocchi Lato Cherasco e Lato Alba-Asti; per il tratto in trincea, il pendio della Cascina dello Spià), il progetto, come documentato nel dovuto dettaglio nella Relazioni Geotecniche e nelle annesse Relazioni di Calcolo, prevede il ricorso ad idonee opere di stabilizzazione e sostegno degli scavi così da minimizzare le deformazioni del versante. Inoltre, per evitare il prodursi di instabilità delle coltri superficiali, si sono ridotte le altezze di sbancamento in assenza di opere di sostegno.

## **5.2. DESCRIZIONE DEGLI SCENARI**

In linea con la suddivisione in zone descritte al Capitolo 4 ed illustrate nella Figura 12, si descrivono in quanto segue gli “scenari di rischio”, in stretta relazione agli studi di tipo geologico, idrogeologico e geotecnico svolti, nonché alle articolate analisi analitiche e numeriche condotte, anche allo scopo di fornire per le diverse grandezze monitorate i valori di soglia cui fare riferimento in sede di predisposizione del Piano delle Emergenze (Capitolo 6).

### **❖ Zona 1**

Per le opere di imbocco, a seguito delle lavorazioni ed in particolare degli scavi per i fronti di attacco delle due canne della galleria, occorre considerare come scenario di rischio l’innescò di fenomeni di instabilità sui versanti retrostanti, ciò anche con riferimento al possibile prodursi di danni agli edifici ed ai manufatti ivi presenti, in particolare alla Cascina Dabene (Figura 22). Di rilievo è anche la presenza di cavità che rendano non efficienti i tiranti di contrasto delle paratie di pali.

In estrema sintesi, come reso nel prospetto seguente, il progetto prevede e tratta le possibili contromisure e, come si descriverà più oltre, svolge attraverso gli strumenti della modellazione numerica le relative quantificazioni ai fini di

individuare gli idonei strumenti di monitoraggio e definire le grandezze attese (valori di soglia).

Condizioni Geologiche, Idrogeologiche e Geotecniche	Scenari di rischio		Azioni di progetto
	Più probabili	Meno probabili	
Depositi detritici di copertura e gessi). Presenza di cavità, vuote o con riempimento di acqua o materiale fine. Falda a 2-3 m sopra la QP, con escursioni fino a 10m	Instabilità coltri superficiali		Sbancamenti con pendenze 2/3, protetti
		Innesco di instabilità di versante, con superficie di scivolamento profonde gravitativi profondi	Riduzione scavi a cielo aperto, opere
		Danni alle preesistenze	Controllo degli spostamenti
	Intercettazione di cavità nei gessi		Sistema di investigazione da p.c. e in
	Variazione della quota piezometrica		Drenaggio controllato e monitoraggio

#### ❖ Zona 2

Questa zona è caratterizzata dalla presenza di un ammasso gessoso, interessato da possibili fenomeni di dissoluzione e presenza di cavità anche di ordine metrico, non localizzabili a priori, e possibile circolazione di acqua. La problematica dello scavo della galleria pone in evidenza una serie di scenari assai articolata, quali l'intercettazione di cavità e svuotamento di sacche d'acqua o sedimenti fini.

Attenzione deve essere posta, in relazione alla individuazione degli scenari di rischio di breve termine, cioè durante lo scavo della galleria, alle preesistenze in superficie. Come illustrato nelle Figure 24 e 25, in questa zona sono infatti compresi gruppi di edifici ad uso residenziale che costituiscono il maggior nucleo urbanizzato, tra cui in particolare la Borgata Garassini, presente nelle immediate vicinanze del tracciato della galleria.

Infatti, ove si intercettino sacche d'acqua e sedimenti fini intrappolati in cavità carsiche, l'apertura improvvisa di una di queste cavità diventa uno scenario probabile. Ciò si può verificare sia nella zona satura dell'acquifero che in quella

insatura, dove comunque le cavità potrebbero essersi riempite d'acqua per sifonamento durante eventi meteorici intensi.

Peraltro, in ragione delle non elevate coperture, pari a 10-30 m, non è possibile escludere significativi risentimenti verso la superficie topografica, con fenomeni di subsidenza indotta. Un altro aspetto da considerare, con riferimento all'impiego di una TBM-EPB, è in questi casi la riduzione/annullamento della pressione di confinamento del fronte. Per cui scenari possibili durante l'avanzamento diventano depressioni, sprofondamenti, nuovi inghiottitoi, ecc.

Ecco che lo scavo del cunicolo esplorativo, da cui eseguire indagini in avanzamento (si vedano al riguardo la Relazione Geotecnica e gli Elaborati Grafici), consente di prevedere la presenza di cavità nell'intorno del cavo, in modo da procedere al loro riempimento preventivo mediante iniezioni di miscela cementizie. Al contempo, la rete di monitoraggio, di cui si dirà nel capitolo successivo, consentirà di segnalare eventuali movimenti in superficie ed in profondità, nonché variazioni della superficie piezometrica.

In estrema sintesi, il prospetto seguente illustra quanto sopra detto ed esemplifica le possibili contromisure, ciò con riferimento alla fase di scavo di avanzamento.

Condizioni Geologiche, Idrogeologiche e Geotecniche	Scenari di rischio		Azioni di progetto
	Più probabili	Meno probabili	
Principalmente gessi , con sovrastanti depositi detritici . Presenza di cavità, vuote o con riempimento di acqua o materiale fine. Falda a 2-3 m sopra la QP, con escursioni fino a 10m	Instabilità locali del fronte per variabilità caratteristiche geotecniche.	Risentimenti significativi a piano campagna, quali depressioni, sprofondamenti, nuovi inghiottitoi	Cunicolo esplorativo con indagini in avanzamento. Confinamento del fronte con TBM-EPB
	Instabilità del fronte per intercettazione cavità. Perdita di pressione al fronte della TBM		Cunicolo esplorativo con riempimento preventivo di eventuali cavità intercettate
	Instabilità locali del fronte per venute d'acqua		Indagini in avanzamento . Confinamento del fronte con TBM-EPB
		Subsidenze a piano campagna	Monitoraggio piezometrico e topografico



❖ Zona 3

In questa zona, la galleria attraversa la Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili, con i gessi posti a distanze maggiori di 20 m sopra la calotta. Sono anticipati battenti idraulici fino a 50-60 m, anche se le basse permeabilità dell'ammasso fanno prevedere venute d'acqua ridotte. Non si ravvisano particolari criticità in relazione allo cavo di avanzamento, anche se occorre ricordare la problematica del contatto con la Zona 2 dei gessi.

Lo spessore del substrato marnoso, che ricopre la calotta, si riduce in questo tratto fino a 5-10 m, per cui dovrà essere posta particolare attenzione ai cedimenti in calotta galleria, onde evitare che si instaurino richiami verso lo spessore della soprastante formazione gessosa. Le cavità carsiche, assai diffuse a piano campagna, si localizzano sempre a quote significativamente superiori alla gallerie (10 ÷ 20 m al di sopra della calotta) e in questo caso non sono coinvolte direttamente dagli scavi.

Con riferimento a questa zona, le preesistenze in superficie (Figure 28 e 29) sono rappresentate da un borgo situato a Sud dell'asse della galleria (Area 8) e da un casolare a Nord del tracciato (Area 9). Sono altresì da considerare gli agglomerati urbani (Area 10) ubicati all'interno della mappa dei fenomeni franosi classificati da ARPA Piemonte.

In estrema sintesi, il prospetto seguente illustra quanto sopra detto ed esemplifica le possibili contromisure, ciò con riferimento alla fase di scavo di avanzamento.

Condizioni Geologiche, Idrogeologiche e Geotecniche	Scenari di rischio		Azioni di progetto
	Più probabili	Meno probabili	
Principalmente Marne di Sant'Agata Fossili. I gessi sono generalmente sopra la calotta a distanza maggiore di 20 m. I battenti idraulici sono fino a 50-60 m, ma le permeabilità sono basse, per cui le venute sono ridotte	Ridotte venute d'acqua in galleria	Elevate venute d'acqua in galleria (per elevati battenti)	Indagini in avanzamento. Confinamento del fronte con TBM-EPB
		Interferenze con le cavità che stanno 20 m sopra la calotta	Monitoraggio piezometrico e topografico

#### ❖ Zona 4

Questa zona è, come noto, particolarmente problematica per la presenza dei cosiddetti corpi detritici nelle Marne di Sant' Agata Fossili. All'interno di questi si ha acqua in pressione, in quanto le lenti, costituite da materiale ad elevata permeabilità, sono idraulicamente alimentate da circolazioni sotterranee. Le pressioni idrauliche in essi sono dell'ordine di 3-5 bar.

I corpi detritici confinati all'interno delle marne hanno permeabilità elevate e sono in grado, in mancanza di un adeguato confinamento, di rilasciare rapidamente forti quantitativi di acqua e di materiali fini. Lo scavo meccanizzato con TBM-EPB fornisce un contrasto alle pressioni idrauliche. E' possibile anticipare che, per valori superiori a 3-4 bar, la pressione d'acqua eccedente venga gradualmente scaricata attraverso la coclea della TBM e gestita attraverso il sistema di collettamento delle acque previsto in galleria.

Come già anticipato, lo scavo meccanizzato comporta certamente minori rischi in termini di possibili subsidenze in superficie e di riattivazione di possibili deformazioni gravitative di versante. E' comunque da considerare uno scenario, anche se "meno probabile", che una volta posto in opera il rivestimento a tenuta idraulica, si possa avere un aumento delle pressioni idrauliche dell'acquifero. Ne consegue, come si vedrà al capitolo successivo, l'esigenza di un controllo in continuo attraverso la rete di monitoraggio del livello piezometrico.

Con riferimento a questa zona, le preesistenze in superficie sono rappresentate da un casolare ed alcune pertinenze poste circa a Nord-Ovest della galleria (Figura 30).

In sintesi, il prospetto seguente illustra quanto sopra detto ed esemplifica le contromisure previste in progetto.

Condizioni Geologiche, Idrogeologiche e Geotecniche	Scenari di rischio		Azioni di progetto
	Più probabili	Meno probabili	
Principalmente Marne di Sant'Agata Fossili con la presenza di corpi detritici con acqua in pressione fino a 6 bar	Instabilità del fronte di scavo e del cavo galleria	Risentimenti significativi a piano campagna, con danni a preesistenze e innesco di deformazioni gravitative profonde di versante	Indagini in avanzamento. Confinamento del fronte con TBM-EPB
	Elevate venute d'acqua in galleria, in pressione, con trascinamento di materiale fine	Interferenze con le cavità 20 m sopra la calotta	Monitoraggio piezometrico e topografico
	Cedimenti a piano campagna		

#### ❖ Zona 5

Questa zona riguarda l'imbocco Lato Alba-Asti che si trova in un contesto geomorfologico molto delicato. E' presente nella stessa zona, a monte dell'imbocco, il Nuovo Ospedale di Alba-Bra. Durante le indagini condotte per la sua costruzione è stata accertata la presenza di fenomeni gravitativi diffusi, pregressi e in atto, che interessano la coltre detritico-colluviale superficiale e l'orizzonte di substrato alterato.

E' stato peraltro posto in luce che le instabilità sono connesse alle caratteristiche geotecniche scadenti dei terreni ed alla presenza di falda acquifera che, soprattutto in occasione di eventi meteorici intensi, opera negativamente sulle condizioni di stabilità del versante, favorendo l'innesco di fenomeni di instabilità.

In analogia con quanto richiamato per l'imbocco Lato Cherasco, la progettazione dell'imbocco ha teso a limitare le altezze di sbancamento, così da evitare di intagliare significativamente il versante. E' anche qui presente una paratia di imbocco con ancoraggi. La presenza di trincee drenanti e

l'introduzione di un sistema di drenaggi profondi posti in opera contestualmente ai tiranti concorre a controllare le complesse condizioni idrogeologiche.

Gli scenari di rischio presi in considerazione riguardano possibili instabilità delle coltri superficiali ed attivazione di deformazioni gravitative profonde di versante. Di interesse è anche l'interferenza con le preesistenze a monte dell'imbocco, rappresentate dal nuovo ospedale.

In sintesi, il prospetto seguente illustra quanto sopra detto ed esemplifica le contromisure previste in progetto.

Condizioni Geologiche, Idrogeologiche e Geotecniche	Scenari di rischio		Azioni di progetto
	Più probabili	Meno probabili	
Depositi di copertura e di frana poggianti sul substrato marnoso. Falda a -20 m da piano campagna, con possibili risalite in concomitanza di eventi meteorici intensi	Instabilità coltri superficiali	Attivazione di deformazioni gravitative profonde di versante	Riduzione scavi a cielo aperto, opere di sostegno di adeguata rigidità Trincee drenanti e drenaggi dalla paratia
	Variazione della quota piezometrica	Danni alle preesistenze	Monitoraggio piezometrico e topografico
	Cedimenti a piano campagna		Controllo degli spostamenti

#### ❖ Zona 6

La trincea autostradale sottostante la Cascina dello Spià interessa un pendio caratterizzato dalla presenza della Formazione Gessoso-Solfifera, con argille marnose, localmente sormontate da argille limose compatte. Materiali gessiferi si alternano alle argille marnose. Come per la zona interessata dallo scavo della galleria (Zone 1 e 2), nei materiali gessiferi possono essere rinvenute cavità prodotte da circolazione idrica sotterranea e da fenomeni di dissoluzione.

Gli interventi di rinforzo e di sostegno previsti in progetto consistono in: preventivo rinforzo con chiodature, da porre in opera nel tratto più acclive del pendio sottostante la cascina; interventi di riprofilatura del versante dove questo

è meno acclive; posa di opere di sostegno degli scavi, con una paratia di monte di pali trivellati e una paratia di valle, collegati da una soletta-puntone.

Tra gli scenari di rischio occorre dunque riferirsi alla presenza di cavità negli strati di gesso, che al solito sono disposte nell'ammasso in modo casuale. Ne consegue l'esigenza di tenere conto, durante le fasi di scavo della trincea e in caso di piogge intense, di venute d'acqua sulla scarpata, da intercettare adeguatamente e smaltire. E' peraltro necessario considerare, durante le fasi di realizzazione dei pali trivellati, possibili rapide perdite del fluido di circolazione

In sintesi, il prospetto seguente illustra quanto sopra detto ed esemplifica le contromisure previste in progetto.

Condizioni Geologiche, Idrogeologiche e Geotecniche	Scenari di rischio		Azioni di progetto
	Più probabili	Meno probabili	
Principalmente gessi Presenza di cavità vuote o con riempimento di acqua o materiale fine.	Intercettazione di cavità nei gessi	Fenomeni di instabilità di versante	Opere di sostegno di adeguata rigidità Interventi drenanti
	Venute d'acqua sulla scarpata	Danni alle preesistenze	Monitoraggio piezometrico e topografico
	Perdite di fluido di circolazione nella realizzazione dei pali		Controllo degli spostamenti con estensimetri ed inclinometri

## 6. PIANO DI MONITORAGGIO E VALORI DI SOGLIA

Gli scenari di rischio descritti nel capitolo precedente sono stati individuati sulla base degli approfondimenti di tipo geologico, idrogeologico e geotecnico condotti e descritti nella documentazione progettuale. Si sono inoltre svolti calcoli e simulazioni di tipo analitico e numerico al duplice scopo di dimensionare/verificare gli interventi e trarre indicazioni sui valori di soglia delle grandezze significative da monitorare. Nel presente capitolo, si descrive in particolare il piano di monitoraggio che sarà funzionante durante l'esecuzione delle diverse opere.

Indipendentemente dalle precauzioni prese in fase progettuale e dagli approfondimenti svolti, vista la complessità dell'ambiente geologico ed idrogeologico in esame, nonché il comportamento geotecnico dei terreni interessati, tale piano è strumento indispensabile per la verifica in corso d'opera delle previsioni progettuali (Figura 7). Lo stesso piano diventa, nell'ottica che ha guidato l'approccio progettuale adottato, lo strumento per valutare, in base ai valori delle grandezze osservate ed all'opportuno confronto con valori di soglia prestabiliti, la condizione in seguito alla quale assumere le opportune decisioni, in ottica di protezione civile (Figura 8).

### 6.1. MONITORAGGIO E VALORI DI SOGLIA NELLE DIVERSE ZONE

Il Piano di Monitoraggio è descritto in quanto segue in linea con la presentazione degli scenari di rischio delle diverse zone (Zone 1-6). Vista la stretta correlazione, nelle Zone 2-4, tra gli scenari di rischio anticipati e le lavorazioni in sotterraneo, si richiama brevemente anche il monitoraggio delle due canne della Galleria di Verduno e del Cunicolo Esplorativo Lato Cherasco.

Per le grandezze monitorate, in relazione allo scenario individuato, zona per zona, saranno indicati i valori di soglia ("attenzione", "preallarme", "allarme") da

utilizzare nell'ottica della predisposizione del Piano delle Emergenze ai fini di Protezione Civile.

#### ❖ Zona 1

Il piano di monitoraggio in corrispondenza dell'imbocco Lato Cherasco, illustrato nella vista planimetrica di Figura 36, è in particolare volto al controllo dei fenomeni deformativi indotti durante gli scavi.

La strumentazione prevista, in corrispondenza delle opere di sostegno, comprende:

- la misura degli spostamenti orizzontali e verticali della trave di coronamento della paratia. Tale misura verrà effettuata mediante livellazioni topografiche di alta precisione, riferite a capisaldi fissi, opportunamente materializzati;
- la misura dell'andamento con la profondità degli spostamenti orizzontali della paratia; a tale scopo, in corrispondenza di almeno due sezioni, sono previste postazioni inclinometriche di tipo fisso digitalizzato;
- la misura degli spostamenti orizzontali della paratia e del terreno a tergo; in corrispondenza delle stesse sezioni di cui sopra sono previste postazioni estensimetriche a punti multipli di tipo fisso digitalizzato;
- la misura del carico nei tiranti di ancoraggio mediante celle estensimetriche di tipo digitalizzato.

Per la misura degli spostamenti orizzontali della paratia potranno essere utilizzati gli inclinometri SOT-MO-020 e SOT-MO-030 già facenti parte della rete di monitoraggio posta in opera e visibili nella Figura 36, dove viene indicata anche la posizione delle due postazioni estensimetriche.

Portando l'attenzione sul versante e vista ad esempio la sezione di analisi H-H di Figura 15, l'interesse del monitoraggio è quello di controllare i fenomeni deformativi indotti via via che ci si allontana dall'opera di sostegno. Allo stesso tempo occorre misurare il livello piezometrico della falda acquifera. A tal fine

saranno utilizzati i fori inclinometrici ed i fori piezometrici esistenti, già facenti parte della rete di monitoraggio posta in opera e visibile nella stessa Figura 36.

Tenuto conto che si sono considerati come scenari di rischio sia l'innescò di fenomeni di instabilità sui versanti retrostanti la paratia e comunque il possibile prodursi di danni agli edifici ed ai manufatti presenti nella Zona 1, in particolare alla Cascina Dabene, Area 3 (Figura 23), il foro inclinometrico SOT-MO 047 sarà attrezzato con inclinometro di tipo fisso digitalizzato.

E' anche prevista, in corrispondenza della stessa cascina e dell'edificio ubicato nell'Area 4 (Figura 23), visti gli effetti connessi con l'avanzamento dello scavo delle due canne della galleria, l'installazione di trasduttori potenziometrici per la misura dello spostamento relativo tra elementi strutturali opportunamente individuati e dell'apertura/scostamento di fessure, ove esistenti.

Viste le grandezze monitorate scelte e ritenute maggiormente significative, tenuto conto dei calcoli condotti, si individua per la fase di costruzione i seguenti valori di soglia per gli spostamenti orizzontali misurati in corrispondenza della trave di coronamento della paratia di pali:

- Soglia di "attenzione": 3.5 cm
- Soglia di "preallarme": 7.5 cm (valore stimato)
- Soglia di "allarme": 15 cm (valore stimato).

In relazione alle preesistenze ed in particolare all'Area 3 ed all'Area 4 di Figura 23, ad esempio con riferimento ai risultati delle simulazioni numeriche svolte per la sezione H-H illustrati nella Figura 37, si indica il seguente valori di soglia per gli spostamenti verticali:

- Soglia di "attenzione": 1.0 mm
- Soglia di "preallarme": 10 mm (valore stimato)
- Soglia di allarme: maggiore di 20 mm (valore stimato).





Collegamento autostradale Asti-Cuneo. Tronco Il Lotto 6  
VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' EX ART. 20 D.LGS. 152/06  
STRALCIO DEL PROGETTO ESECUTIVO  
Scenari di Rischio e Linee Guida per il Piano delle Emergenze

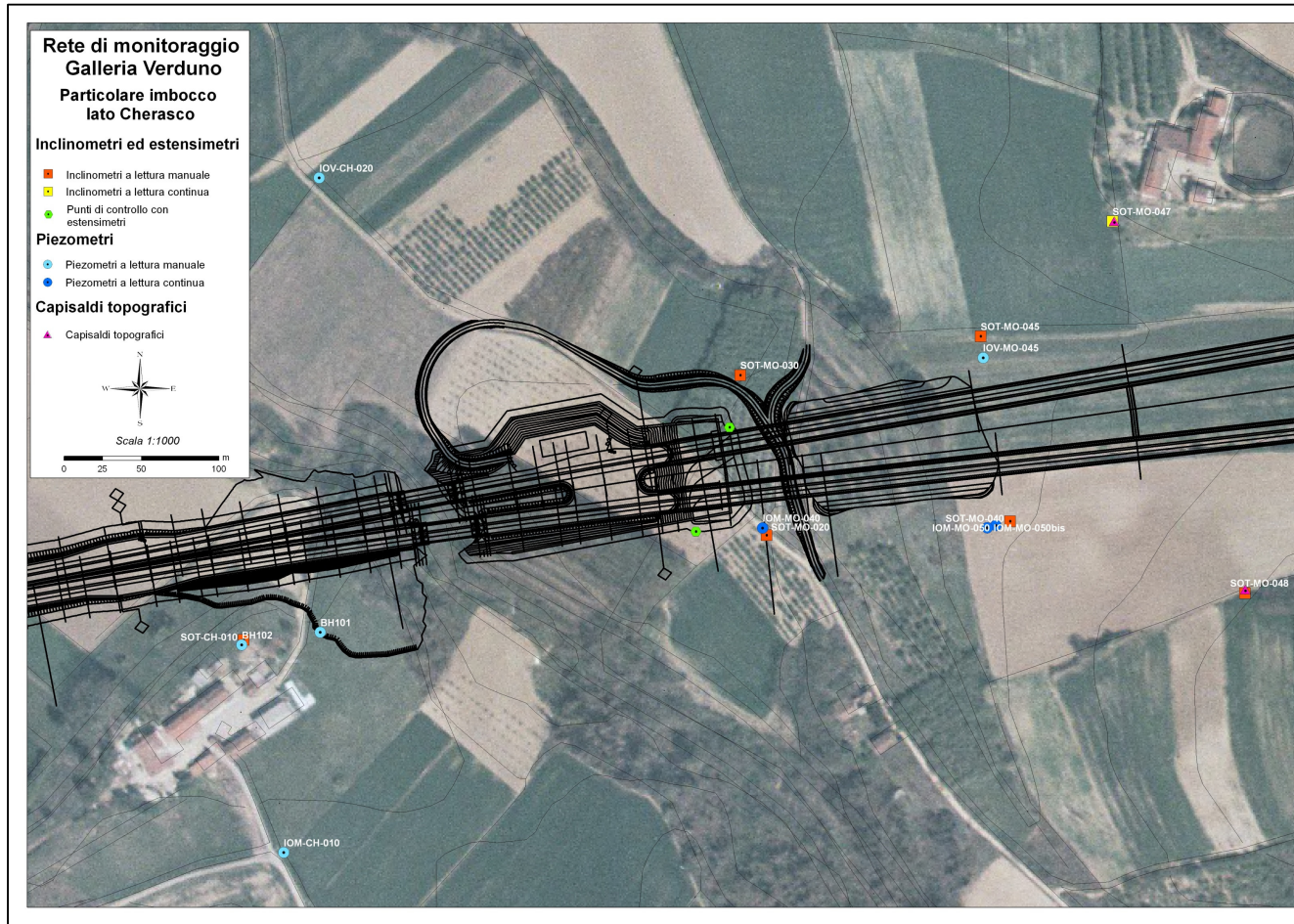


Figura 36. Piano di monitoraggio. Zona 1.

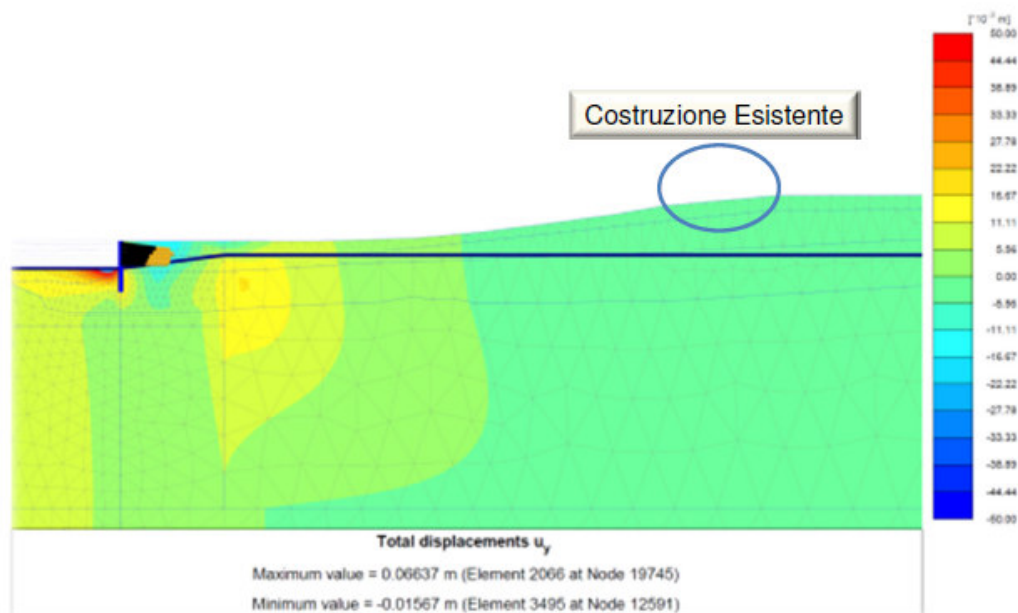


Figura 37. Spostamenti verticali calcolati lungo la sezione H-H (ripresa dalla Relazione di calcolo dell'imbocco Lato Cherasco).

#### ❖ Zona 2

In questa zona, vista la problematica dello scavo del cunicolo esplorativo e delle due canne della galleria, tenuto conto degli scenari di rischio prospettati, il piano di monitoraggio è finalizzato al controllo dei possibili fenomeni deformativi in superficie ed indotti negli edifici ad uso residenziale, su cui ci si è già soffermati in precedenza, visibili nelle Figure 25 e 26 (tra questi in particolare la Borgata Garassini) .

La Figura 38 illustra la strumentazione di cui si prospetta l'installazione. In aggiunta alla strumentazione ivi esistente, anch'essa riportata, è prevista l'attivazione di un sistema di monitoraggio topografico automatico mediante stazione totale robotizzata. La configurazione del sistema prevede due stazioni, sei prismi di riferimento e circa trenta prismi di controllo da installare sugli edifici.



Collegamento autostradale Asti-Cuneo. Tronco Il Lotto 6  
VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' EX ART. 20 D.LGS. 152/06  
STRALCIO DEL PROGETTO ESECUTIVO  
Scenari di Rischio e Linee Guida per il Piano delle Emergenze

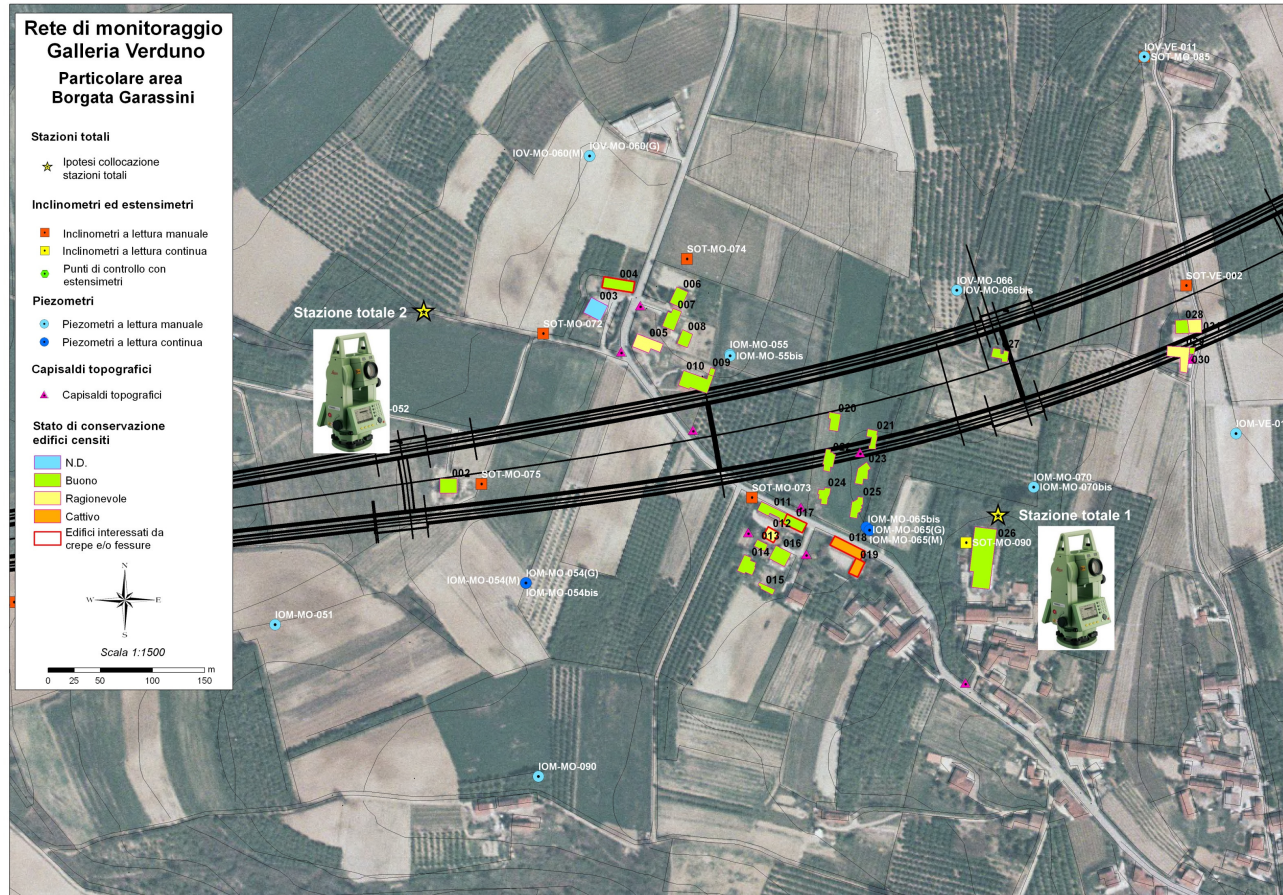


Figura 38. Piano di monitoraggio. Zona 2.

Poiché nell'area di Borgata Garassini risultano presenti alcuni edifici (in particolare gli edifici 4, 12, 17, 18 e 19 indicati nella Figura 38) su cui è stata riscontrata la presenza di quadri fessurativi di differente entità, si prevede inoltre l'installazione di specifici trasduttori potenziometrici per la misura dello spostamento di tali fessure ove presenti.

In relazione all' influenza dello scavo del cunicolo esplorativo e della galleria sulla falda acquifera ed al possibile verificarsi di variazioni del livello piezometrico è previsto inoltre che il foro piezometrico ivi esistente, IOM-MO-065(G), già facente parte della rete di monitoraggio ambientale, sia attrezzato per la lettura in continuo.

Al fine di individuare per le diverse grandezze monitorate con la strumentazione di cui sopra i valori di soglia da utilizzare ai fini della predisposizione del Piano delle Emergenze, si fa ancora riferimento alle analisi numeriche svolte e riportate nella documentazione progettuale, in particolare alla Relazione Idrogeologica ed alla Relazione sugli effetti dello scavo sugli edifici in superficie.

#### ❖ *Impatti sull'acquifero dei gessi*

Con riferimento allo scavo delle opere in sotterraneo nell'acquifero dei gessi, che interessa la zona in esame, è utile qui richiamare gli impatti attesi nel breve termine, determinati, in un primo tempo, dal drenaggio dovuto al cunicolo esplorativo centrale alle due canne e, in un secondo tempo, dalla somma degli effetti idraulici determinati dalla compresenza del cunicolo drenante e dalle due canne della galleria, impermeabili.

Al termine dello scavo del cunicolo, l'abbassamento del livello di falda atteso è quello rappresentato in Figura 39, dove è illustrata la zonizzazione degli abbassamenti attesi, distinguendo tre fasce, rispettivamente di lieve entità (0.5-1.5 m), media entità (1.5-2.5 m) e significativa entità (2.5-4.5 m).

L'abbassamento di lieve entità (fino a 0.5 m) si estende fino a 250 m dalla zona ipocentrale definita tramite l'elaborazione dei dati di simulazione, mentre un abbassamento di massima entità (3.5-4.5 m) si verifica per un'estensione massima di 40 m. Si nota in particolare che la Borgata Garassini rimane ubicata su una fascia esterna anche alla zona di minimo abbassamento previsto.

E' di sicuro rilievo osservare che gli abbassamenti stimati, compresi quelli massimi, sono di una grandezza inferiore rispetto alle variazioni stagionali misurate attraverso i piezometri della rete di monitoraggio ambientale. Infatti, il livello di falda ha un'escursione tra valori massimi e minimi anche di oltre 10 m. In sostanza, lo scavo del cunicolo induce una variazione che rientra ampiamente nell'ordine delle oscillazioni naturali del livello di falda.

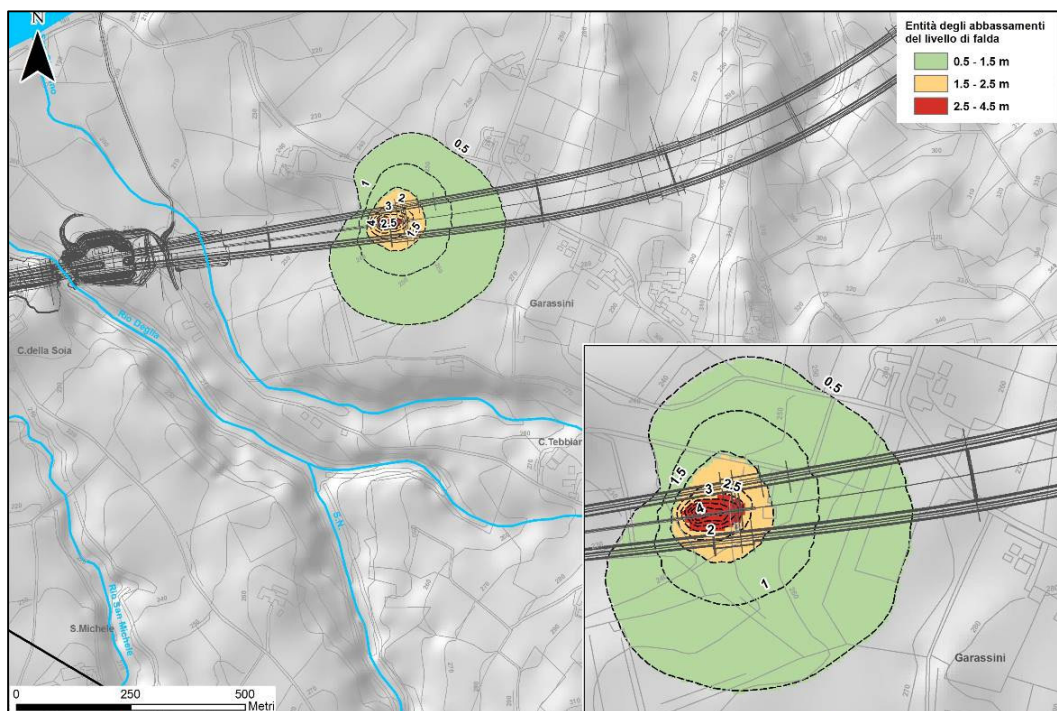
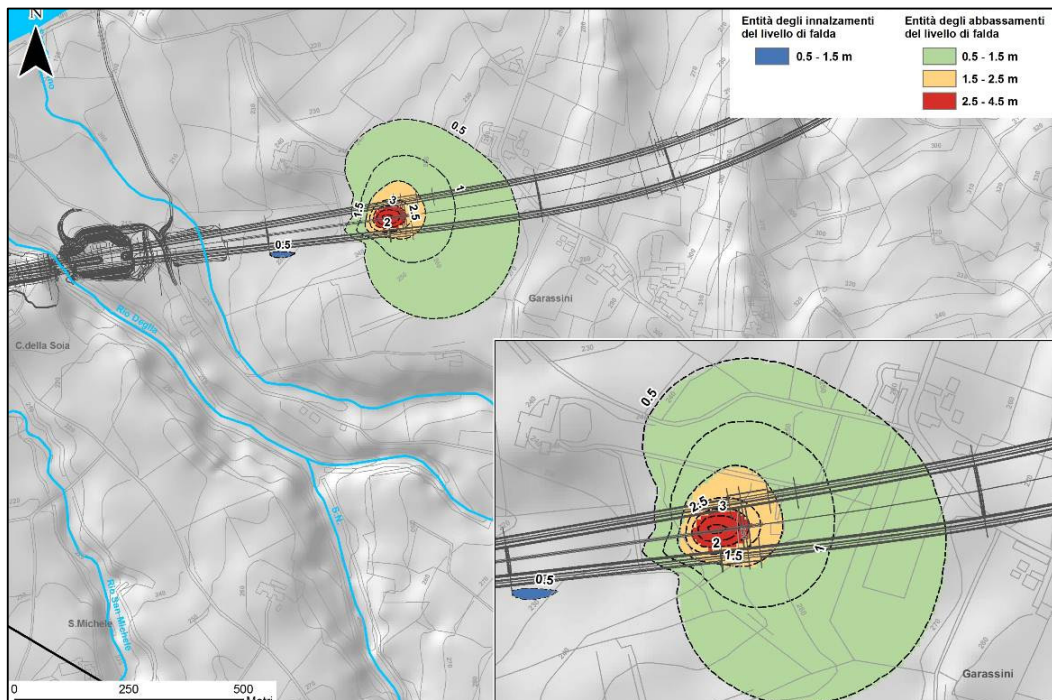


Figura 39. Abbassamenti del livello piezometrico dovuto al drenaggio del cunicolo esplorativo (ripresa dalla Relazione Idrogeologica).

Ove siano presenti le due canne della galleria, come illustra la Figura 40, la superficie di abbassamento non subisce variazioni sensibili rispetto alla situazione precedente, fatta eccezione per un innalzamento piuttosto localizzato pari a 0.5-1.5 m nelle vicinanze della canna di monte, che non determina alcun effetto in superficie. Anche in questo caso la Borgata Garassini rimane esterna al settore interessato dagli abbassamenti di falda più consistenti.



*Figura 40. Abbassamenti ed innalzamenti di livello piezometrico in seguito alla presenza del cunicolo esplorativo e delle due canne della galleria (ripresa dalla Relazione Idrogeologica).*

Si individuano conseguentemente per la fase di costruzione i seguenti valori di soglia per la variazione del livello piezometrico misurato nel foro IOM-MO-065(G):

- Soglia di “attenzione”: +/- 0.5-1.5 m
- Soglia di “preallarme”: +/-1.5-2.0 m
- Soglia di “allarme”: maggiore di 2.5-4.5 m.

❖ *Cedimenti in superficie*

Altro aspetto da prendere in considerazione riguarda i potenziali cedimenti in superficie, in particolare nelle zone ove sono ubicati gli edifici numerati 1-25 (Figura 38). Si osserva che la gran parte di questi è soggetta a cedimenti trascurabili dell'ordine di pochi millimetri (Figure 41 e 42).

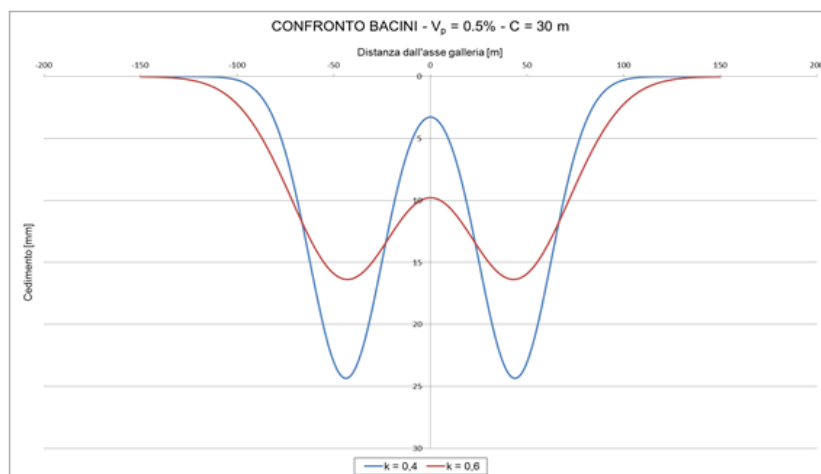


Figura 41. Bacino di subsidenza - Variabilità del parametro  $k$  del terreno (ripresa dalla Relazione sugli effetti dello scavo sugli edifici in superficie).

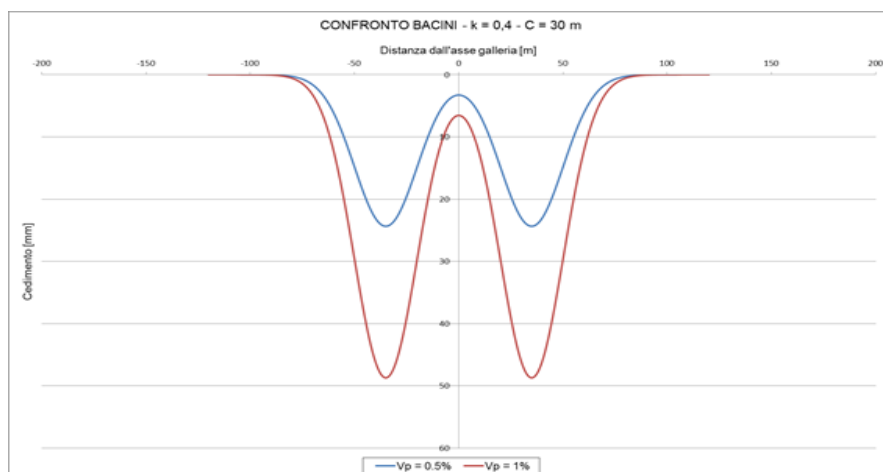


Figura 42. Bacino di subsidenza - Variabilità volume perso  $V_p$  (ripresa dalla Relazione effetti dello scavo sugli edifici in superficie).

Si nota infine che le categorie di danno relative agli edifici analizzati sono sempre uguali a 0 e solo in un caso, l'interferenza 02, peraltro legata ad elevati volumi persi e quindi decisamente cautelativi, raggiunge una classe di danno pari a 1-2.

Si individuano conseguentemente per la fase di costruzione i seguenti valori di soglia per il cedimento verticale misurato per gli edifici:

- Soglia di "attenzione": 5 mm
- Soglia di "preallarme": 10 mm

- Soglia di allarme: maggiore di 20 mm.

#### ❖ Zona 3

Come già evidenziato nel descrivere gli scenari di rischio, questa zona non presenta particolari problemi, in quanto lo scavo avviene all'interno del substrato marnoso-argilloso sotto coperture significative, salvo la breve tratta al confine con la Zona 2, verso Cherasco, dove lo spessore del substrato marnoso che ricopre la calotta si riduce progressivamente e non è possibile escludere il rilascio improvviso di acqua circolante attraverso condotti carsici alla base dell'acquifero dei gessi oppure intrappolata in cavità chiuse.

Per quanto riguarda le preesistenze in superficie (Figure 28 e 29) sono presenti alcune abitazioni (Area 8, Area 9, Area 10), di cui quelle dell'Area 10 sono ubicate all'interno della mappa dei fenomeni franosi classificati da ARPA Piemonte. L'analisi dei cedimenti connessi allo scavo, come riportato nella Relazione - Documento 2.6E-rD.2.1.07), non evidenzia particolari criticità.

Il Piano di monitoraggio in questa zona fa riferimento ai soli piezometri già installati in linea con il monitoraggio ambientale.

#### ❖ Zona 4

Questa zona è interessata dalla presenza dei cosiddetti corpi detritici inglobati nelle Marne di Sant' Agata Fossili. E' stato sottolineato, nel descrivere gli scenari di rischio, che lo scavo della galleria, per quanto opportunamente eseguito con TBM-EPB, comporta una particolare attenzione durante l'avanzamento, per l'incertezza nell'ubicazione ed estensione areale di questi corpi detritici, in particolare verso monte. E' stato anche evidenziato come il regime delle pressioni neutre lungo i versanti possa essere influenzato da possibile intercomunicazione idraulica.

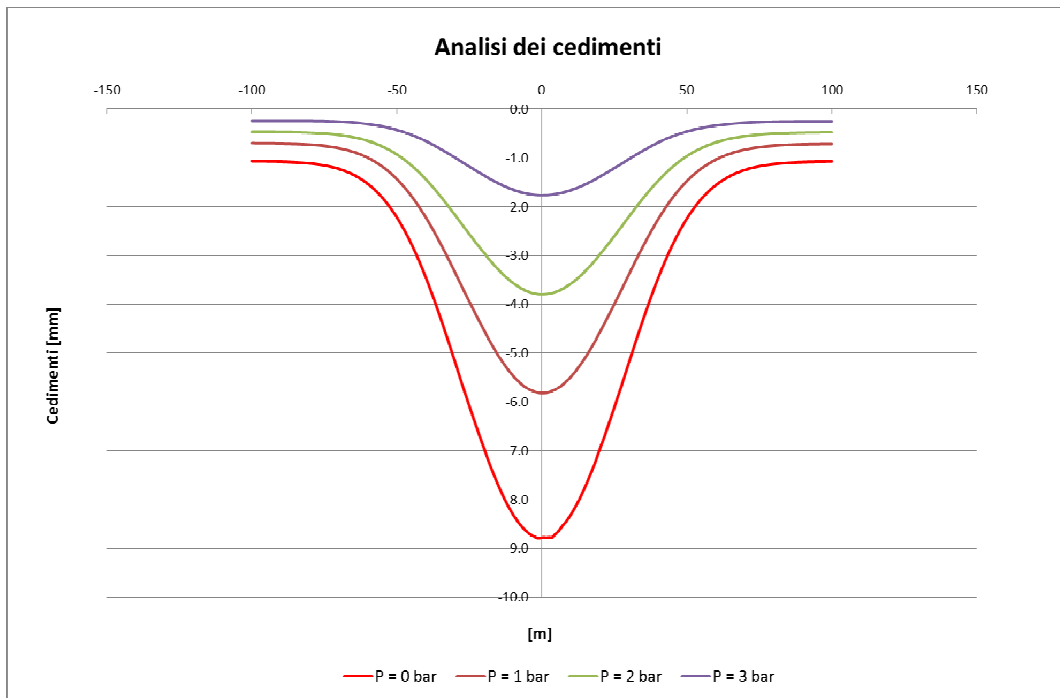
Ne consegue che durante lo scavo della galleria, ove questi corpi detritici siano intercettati senza preventivi interventi di confinamento del cavo, si possono avere variazioni delle pressioni idrostatiche in essi contenute, qualora subiscano variazioni del contenuto



d'acqua per effetto di un'azione di drenaggio operata dalla galleria. Tale situazione può portare a cedimenti e spostamenti in superficie, con possibili danni sulle preesistenze in superficie, o ad attivazione di fenomeni gravitativi di versante.

La problematica è stata oggetto di analisi nella Relazione sugli effetti dello scavo sugli edifici in superficie mediante un modello numerico semplificato allo scopo di quantificare l'effetto del possibile abbattimento della falda in corrispondenza delle lenti detritiche, nel campo di valori di pressione residua pari a 0-3 bar.

I risultati illustrati nella Figura 43, ripresi dalla relazione di cui sopra, mostrano che i cedimenti in superficie aumentano al diminuire della pressione. Si osserva che il cedimento rimane sempre inferiore al centimetro e a seguito di una corretta valutazione della pressione da applicare al fronte di scavo tali valori di cedimento diventano trascurabili.



*Figura 43. Bacino di subsidenza al variare al diminuire della pressioni residua nei pori (ripresa dalla Relazione effetti dello scavo sugli edifici in superficie).*



Considerato quanto sopra richiamato ed in base allo scenario analizzato e quantificato, il piano di monitoraggio prevede in particolare misurazione in continuo dei livelli piezometrici nei fori IOM-VE-045(M), IOM-VE-061 e Pz1 (a valle di Verduno), tutti ubicati nell'acquifero in pressione dei corpi detritici intercalati nelle marne .

Allo stesso modo, saranno misurati i cedimenti a piano campagna mediante la rete di monitoraggio topografico a piano campagna già esistente ed opportunamente integrata. Il ricorso ai fori inclinometrici già disponibili consentirà di misurare gli eventuali movimenti superficiali e profondi. Sarà così possibile valutare in dettaglio, in corso d'opera, gli eventuali risentimenti generati sul territorio.

Oltre al previsto ricorso ai sistemi di diagnostica in avanzamento di tipo geoelettrico, rilevando i valori di resistività e porosità efficace del terreno oltre il fronte di scavo, fino a 40-50 m, al fine di poter segnalare la presenza di lenti di materiale granulare con presenza di acqua, è anticipato il controllo/misura in continuo della pressione al fronte della TBM.

Si individuano conseguentemente per la fase di costruzione i seguenti valori di soglia per la pressione residua nei nell'acquifero dei corpi detritici:

- Soglia di "attenzione": 3.0 bar
- Soglia di "preallarme": 2.0 bar
- Soglia di allarme: minore di 2.0 bar.

Allo stesso modo sono indicati per la fase di costruzione i seguenti valori di soglia per il cedimento verticale misurato in superficie:

- Soglia di "attenzione": 5 mm
- Soglia di "preallarme": 10 mm
- Soglia di allarme: maggiore di 20 mm.

#### ❖ Zona 5

Il Piano di Monitoraggio in corrispondenza dell'imbocco Lato Alba-Asti, illustrato nella vista planimetrica di Figura 44, in analogia a quanto fatto per l'imbocco Lato Cherasco, è volto al controllo dei fenomeni deformativi indotti durante gli scavi. E' però necessario tenere

conto del fatto che questa zona si trova in un contesto geomorfologico molto delicato, per la presenza di fenomeni gravitativi diffusi, pregressi e in atto, nel settore a tergo dell'imbocco. E' presente nella stessa zona il Nuovo Ospedale di Alba-Bra.



Collegamento autostradale Asti-Cuneo. Tronco II Lotto 6  
VERIFICA DI ASSOGGETTABILITA' EX ART. 20 D.LGS. 152/06  
STRALCIO DEL PROGETTO ESECUTIVO  
Scenari di Rischio e Linee Guida per il Piano delle Emergenze

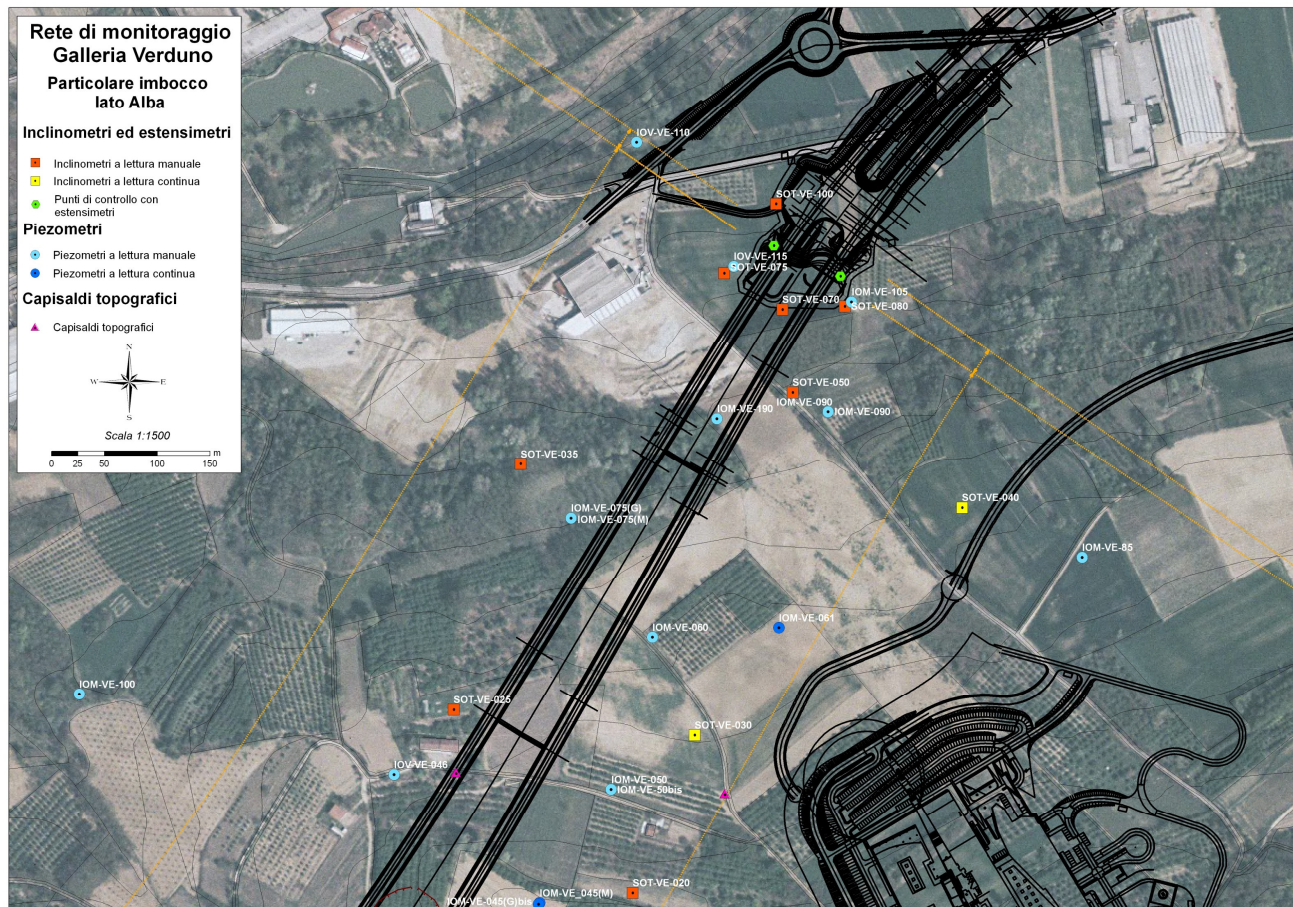


Figura 44. Piano di monitoraggio. Zona 5.

La strumentazione prevista, prima di tutto in corrispondenza delle opere di sostegno, comprende:

- la misura degli spostamenti orizzontali e verticali della trave di coronamento della paratia. Tale misura verrà effettuata mediante livellazioni topografiche di alta precisione, riferite a capisaldi fissi, opportunamente materializzati;
- la misura dell'andamento con la profondità degli spostamenti orizzontali della paratia; a tale scopo in corrispondenza di almeno due sezioni sono previste postazioni inclinometriche di tipo fisso digitalizzato;
- la misura degli spostamenti orizzontali della paratia e del terreno a tergo; in corrispondenza delle stesse sezioni di cui sopra sono previste postazioni estensimetriche a punti multipli di tipo fisso digitalizzato;
- la misura del carico nei tiranti di ancoraggio mediante celle estensimetriche di tipo digitalizzato.

Per la misura degli spostamenti orizzontali della paratia potranno essere utilizzati gli inclinometri SOT-VE-070, SOT-VE-075 e SOT-VE-080 già facenti parte della rete di monitoraggio posta in opera e visibili nella Figura 44, dove viene indicata anche la posizione delle due postazioni estensimetriche previste.

Portando l'attenzione sul versante e vista ad esempio la sezione di analisi G-G di Figura 21, l'interesse del monitoraggio è quello di controllare i fenomeni deformativi indotti via via che ci si allontana dall'opera di sostegno e lungo il pendio interessato dai fenomeni gravitativi.

Inoltre, vista la presenza sullo stesso pendio del nuovo ospedale di Alba-Bra, il monitoraggio dovrà interessare tutta la fascia di territorio compresa tra il nuovo edificio e l'asse della galleria. Allo stesso tempo occorrerà misurare il livello piezometrico della falda acquifera e le sue variazioni nel tempo.

A tal fine saranno utilizzati i fori inclinometrici ed i fori piezometrici esistenti, già facenti parte della rete di monitoraggio posta in opera e visibile nella stessa Figura 44. In particolare si prevede di attrezzare con postazione digitalizzata a

lettura continua gli inclinometri SOT-VE-030, SOT-VE-040 e SOT-VE-050 collocati tra il nuovo ospedale e l'imbocco Lato Alba-Asti. Attualmente i fori inclinometrici SOT-VE-030 e SOT-VE-040 risultano già attrezzati per effettuare tale tipologia di lettura.

Per quanto riguarda la misura dei livelli piezometrici si prevede di attrezzare con cella piezometrica a lettura continua rispettivamente i piezometri IOM-VE-061, IOM-VE-090, e IOM-VE-190. Tra questi il piezometro IOM-VE-061 è già attrezzato per acquisizione dei dati piezometrici in continuo.

Viste le grandezze monitorate scelte e ritenute maggiormente significative, tenuto conto dei calcoli condotti, si individua per la fase di costruzione il seguente valore di soglia per gli spostamenti orizzontali misurati in corrispondenza della trave di coronamento della paratia di pali:

- Soglia di "attenzione": 3.5 cm
- Soglia di "preallarme": 7.5 cm (valore stimato).
- Soglia di "allarme": 15 cm (valore stimato).

In relazione alle preesistenze, si indica il seguente valori di soglia per gli spostamenti verticali:

- Soglia di "attenzione": 1.0 mm
- Soglia di "preallarme": 10 mm (valore stimato)
- Soglia di allarme: maggiore di 20 mm (valore stimato).

#### ❖ Zona 6

Il piano di monitoraggio da attuare durante l'esecuzione della trincea in località Cascina dello Spià comprende:

- la misura dell'andamento con la profondità degli spostamenti orizzontali delle paratie di monte e di valle; a tale scopo in corrispondenza di due sezioni sono

previste due postazioni inclinometriche, una in un palo di monte e una in un palo di valle;

- la misura degli spostamenti orizzontali e verticali della trave di coronamento dei pali di monte. Tale misura verrà effettuata mediante livellazioni topografiche di alta precisione, riferite a capisaldi fissi, opportunamente materializzati;
- la misura dell'andamento con la profondità delle deformazioni assiali nei pali delle paratie di monte e di valle allo scopo di ricavare le sollecitazioni flessionali dei pali. In corrispondenza di sue sezioni di progetto verranno attrezzate quattro postazioni estensimetriche, due nei pali di monte e due nei pali di valle.
- la misura del livello piezometrico in due dei fori esistenti BH101-2012 e BH102.2012, attrezzati con piezometri elettrici a più livelli con lettura automatica in continuo.

In relazione alle grandezze monitorate scelte e ritenute maggiormente significative nei calcoli condotti, si individuano per la fase di costruzione i seguenti valori di soglia per gli spostamenti orizzontali misurati in sommità ai pali della paratia di monte:

- Soglia di "attenzione": 15 cm
- Soglia di "preallarme": 22 cm
- Soglia di "allarme": 28 cm.

## 6.2. MONITORAGGIO IN GALLERIA

Il piano di monitoraggio è stato descritto sopra con riferimento specifico alle attività in superficie, essendo questo finalizzato al controllo/misura delle grandezze assunte con in mente gli scenari di rischio presentati. E' stato però più volte sottolineato come quanto avviene in superficie lungo il tracciato della Galleria di Verduno sia strettamente correlato alle attività in sotterraneo e come le due attività siano tra loro interdipendenti. E' quindi naturale, nel questo

contesto, ricordare brevemente il monitoraggio in galleria, descritto nelle relazioni e nelle tavole allegate al progetto.

❖ Con riferimento specifico alle attività in corso d'opera ed alle tratte di galleria con scavo meccanizzato, sono parte del sistema di monitoraggio le seguenti stazioni di misura:

- Stazioni di convergenza, costituite, ciascuna, da 5 mire ottiche riflettenti solidali al rivestimento; la misura avviene mediante strumento topografico di precisione. Le stazioni sono ubicate in sotterraneo con una frequenza di circa 200 m, data la difficoltà di raccogliere informazioni per la presenza del back-up

- Anelli strumentati, con 4 coppie di barrette estensimetriche, previste nel getto dei conci prefabbricati, fissate alle armature metalliche principali e finalizzate alla misura delle deformazioni/tensioni radiali. Le barrette sono del tipo a corda vibrante con termistore incorporato e vengono ubicate in corrispondenza della chiave di calotta, arco rovescio e piano dei centri. E' prevista inoltre anche una barretta estensimetrica in direzione longitudinale. Vengono predisposte infine anche celle di pressione e clinometri, secondo lo schema riportato di seguito. Gli anelli strumentati sono previsti in numero di 6 per canna, nei contesti geologici e di copertura ritenuti più significativi.

- 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 celle piezometriche, ubicate alle reni, di lunghezza pari a 5 m. Tali stazioni sono previste in particolare nelle Zone 1, 2, 4 e 5.

❖ Per quanto riguarda invece le tratte di scavo con metodo tradizionale (tratte di galleria prossime agli imbocchi e cunicolo esplorativo, sono parte del sistema di monitoraggio le seguenti stazioni di misura:



- Stazioni di convergenza, costituite, ciascuna, da 5 mire ottiche riflettenti solidali al rivestimento; la misura avviene mediante strumento topografico di precisione. Sono poste in opera per ogni campo di avanzamento.
- 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., oltre a celle di carico al piede delle centine.

Durante gli avanzamenti dovranno inoltre essere condotti rilievi del fronte di scavo, consistenti nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologico-geotecniche del fronte di scavo.

❖ Sempre con riferimento allo scavo meccanizzato occorre ricordare che le moderne macchine di scavo del tipo EPB hanno componenti meccaniche ed elettroniche assai complesse, che permettono di eseguire scavi con estrema precisione lungo tracciati plano-altimetrici predefiniti, in contesti geotecnici difficili, attraverso la definizione ed il successivo controllo di "parametri guida", remotizzati in centrali di controllo.

Senza volere, in questa sede, entrare nel dettaglio dei parametri guida e delle caratteristiche della macchina che verrà impiegata, si ricorda, come ampiamente illustrato nella Relazione sulle specifiche tecniche dello scavo meccanizzato, che è previsto, come d'uso, tenere sotto controllo durante gli avanzamenti, "parametri operativi" e "dati di scavo" per le ripercussioni che questi possono avere sui risentimenti in superficie, come più volte segnalato nelle pagine precedenti.

Sarà prevista l'adozione di un programma informatico di gestione dei parametri chiave, così da disporre di tabelle e grafici di semplice ed immediata comprensione, da correlare, tra l'altro, con i risultati del sistema di monitoraggio predisposto.

### 6.3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Occorre solo sottolineare in conclusione come nel contesto dell'opera, in ragione delle attività di monitoraggio previste, in superficie ed in sotterraneo, tutte finalizzate al Piano delle Emergenze, la scelta delle componenti che costituiscono la "catena strumentale" (sensore, apparato di rilevamento, linea di trasmissione, sistema di acquisizione e gestione dati) avverrà in modo di integrare i diversi sistemi di monitoraggio tra loro su un'unica piattaforma di gestione, consentendo la rapida disponibilità e diffusione dei dati.

In tale ottica, i sistemi di consultazione dei dati saranno integrati con sistemi GIS per la rappresentazione su di un progetto cartografico di ulteriori strati informativi di contorno al monitoraggio per una immediata consultazione visiva. Dal punto di vista dell'accesso alle informazioni occorre ancora porre in luce l'importanza che la consultazione possa avvenire in qualunque momento ed in tempo reale.

La tempestività con cui si otterranno i dati delle misure consentirà di attivare, a valle dell'acquisizione e del controllo, idonei sistemi di segnalazione per comunicare rapidamente la presenza di eventuali valori di soglia che possano generare situazioni di attenzione o allarme con riferimento all'opera monitorata.