

LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE**

**PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)**

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIE – GEOLOGIA

GENERAL – GENERALE

**COMPLEMENTS DE GEOLOGIE – COMPLEMENTI DI GEOLOGIA
PLAN DES RECONNAISSANCES – PROGRAMMA DELLE INDAGINI**

**PLAN DES RECONNAISSANCES PROPOSEES COTE ITALIE –
PROGRAMMA DELLE INDAGINI PROPOSTE LATO ITALIA**

| Indice | Date/ Data | Modifications / Modifiche | Etabli par / Concepito da | Vérifié par / Controllato da | Autorisé par / Autorizzato da |
|--------|------------|---|---|------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 31/01/2013 | Première diffusion / Prima emissione | R. TORRI (SEA) GW. BIANCHI (SEA) D. MURGESE (SEA) | R. TORRI C. OGNIBENE | L. CHANTRON M. PANTALEO |
| A | 5/02/2013 | Reception des commentaires LTF / Recepimenti commenti LTF | R. TORRI (SEA) GW. BIANCHI (SEA) D. MURGESE (SEA) | R. TORRI C. OGNIBENE | L. CHANTRON M. PANTALEO |
| B | 30/09/2016 | Première émission phase PRF-PRV / Prima emissione fase PRF-PRV | G. MANCARI A. EUSEBIO (GEODATA) | A. EUSEBIO C. OGNIBENE | L. CHANTRON A. MORDASINI |
| C | 28/02/2017 | Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT | G. MANCARI A. EUSEBIO (GEODATA) | A. EUSEBIO C. OGNIBENE | L. CHANTRON A. MORDASINI |
| D | 11/04/2017 | Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT | G. MANCARI A. EUSEBIO (GEODATA) | A. EUSEBIO C. OGNIBENE | L. CHANTRON A. MORDASINI |



| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|----------|---------------------|----------|----------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CODE DOC | P | R | V | C | 3 | B | T | S | 3 | 0 | 1 | 0 | 7 | D |
| | Phase / Fase | | | Sigle étude / Sigla | | | Émetteur / Emittente | | | Numero | | | Indice | |

| | | | | |
|----------------|----------|-------------|----------|----------|
| A | P | N | O | T |
| Statut / Stato | | Type / Tipo | | |

| | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ADRESSE GED INDIRIZZO GED | C3B | // | // | 00 | 05 | 05 | 10 | 01 |
|------------------------------|------------|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

| |
|------------------------|
| ECHELLE / SCALA |
| - |



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE | 27 |
| 2. CRITICITÀ DA INDAGARE DURANTE LE PROSSIME FASI DI PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLE OPERE | 29 |
| 2.1 Tunnel di base – Lato Italia | 31 |
| 2.2 Galleria Maddalena 2 e Cantiere della Maddalena..... | 32 |
| 2.3 Area di Colombera..... | 32 |
| 2.4 Cantiere di Salbertrand..... | 32 |
| 2.5 Piana di Susa..... | 33 |
| 2.6 Interconnessione di Bussoleno | 33 |
| 2.6.1 Galleria d'interconnessione..... | 34 |
| 2.6.2 Tratta d'interconnessione a cielo aperto | 34 |
| 3. PROGRAMMA DELLE INDAGINI DI FASE 1 – PROGETTO ESECUTIVO..... | 35 |
| 3.1 Tunnel di Base - Settore dell'Ambin | 39 |
| 3.1.1 Obiettivi delle indagini..... | 39 |
| 3.1.2 Caratteristiche delle indagini | 39 |
| 3.2 Tunnel di Base – Settore di Venaus-Cenischia..... | 42 |
| 3.2.1 Obiettivi delle indagini..... | 42 |
| 3.2.2 Caratteristiche delle indagini | 42 |
| 3.3 Tunnel di Base – Settore di Mompantero | 45 |
| 3.3.1 Obiettivi delle indagini..... | 45 |
| 3.3.2 Caratteristiche delle indagini | 45 |
| 3.3.3 Studio petrografico..... | 45 |
| 3.3.4 Sondaggio meccanico S94 | 46 |
| 3.3.5 Ubicazione del sondaggio | 46 |
| 3.3.6 Indagini finalizzate al riconoscimento di minerali asbestiformi..... | 47 |
| 3.3.7 Cantierizzazione dell'area per la realizzazione del sondaggio | 47 |
| 3.3.8 Tavolo tecnico con ARPA | 48 |
| 3.3.9 Sondaggio geotecnico S100 | 48 |
| 3.3.10 Indagini geofisiche | 48 |
| 3.4 Tunnel di base: settore esterno di Mompantero..... | 48 |
| 3.4.1 Versante destro del rio Giandula (esposto a sud) al di sotto del quale lo scavo avverrà con TBM | 49 |
| 3.4.2 Versante sinistro del rio Giandula (esposto a nord-ovest) al di sotto del quale lo scavo sarà realizzato con martello pesante | 49 |
| 3.5 Imbocco Galleria Maddalena 2 e area di cantiere della Maddalena..... | 50 |
| 3.5.1 Obiettivi delle indagini..... | 50 |
| 3.5.2 Caratteristiche delle indagini | 50 |
| 3.5.3 Interventi proposti per la mitigazione dei rischi naturali | 51 |
| 3.6 Area di Colombera..... | 52 |
| 3.6.1 Obiettivi delle indagini..... | 52 |
| 3.6.2 Caratteristiche delle indagini | 52 |
| 3.7 Area di Cantiere di Salbertrand | 53 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.7.1 | Obiettivi delle indagini..... | 53 |
| 3.7.2 | Caratteristiche delle indagini | 53 |
| 3.8 | Piana di Susa..... | 54 |
| 3.9 | Gallerie d'interconnessione di Bussoleno | 55 |
| 3.9.1 | Contesto geologico..... | 55 |
| 3.9.2 | Obiettivi delle indagini..... | 56 |
| 3.9.3 | Caratteristiche delle indagini | 56 |
| 3.10 | Interconnessione a cielo aperto..... | 57 |
| 4. | PROGRAMMA DELLE INDAGINI DI FASE 2 – FASE DI ESECUZIONE | 58 |
| 4.1 | Indagini in avanzamento..... | 60 |
| 4.1.1 | Indagini geofisiche in avanzamento..... | 60 |
| 4.1.2 | Esecuzione di sondaggi in avanzamento..... | 62 |
| 4.2 | Rilievo del fronte di scavo o dei paramenti del tunnel | 64 |
| 4.3 | Analisi dei parametri di scavo della TBM..... | 66 |
| 5. | CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI SCAVO / SITI DI DESTINAZIONE... .. | 67 |
| 5.1 | Finalità delle indagini | 67 |
| 5.2 | Caratterizzazione dei siti di produzione | 67 |
| 5.2.1 | Modalità di esecuzione sondaggi | 67 |
| 5.2.2 | Prelievo dei campioni..... | 68 |
| 5.2.3 | Analisi chimiche da eseguire sui campioni..... | 68 |
| 5.2.4 | Ubicazione dei siti di indagine..... | 69 |
| 5.2.5 | Determinazione del valore del fondo naturale | 69 |
| 5.3 | Caratterizzazione dei siti di destinazione | 69 |
| 5.3.1 | Indagini in sito | 69 |
| 5.3.2 | Analisi di laboratorio | 70 |
| 5.4 | Analisi radiometriche..... | 70 |
| 1. | INTRODUZIONE | 27 |
| 2. | CRITICITÀ DA INDAGARE DURANTE LE PROSSIME FASI DI PROGETTO E REALIZZAZIONE DELLE OPERE | 29 |
| 2.1 | TUNNEL DI BASE – LATO ITALIA | 31 |
| 2.2 | GALLERIA MADDALENA 2 E CANTIERE DELLA MADDALENA | 32 |
| 2.3 | AREA DI COLOMBERA | 32 |
| 2.4 | CANTIERE DI SALBETRANDE..... | 32 |
| 2.5 | PIANA DI SUSAS..... | 33 |
| 2.6 | INTERCONNESSIONE DI BUSSOLENO | 33 |
| 2.6.1 | Galleria d'interconnessione | 34 |
| 2.6.2 | Tratta d'interconnessione a cielo aperto | 34 |
| 3. | PROGRAMMA DELLE INDAGINI DI FASE 1 – PROGETTO ESECUTIVO..... | 35 |
| 3.1 | TUNNEL DI BASE - SETTORE DELL'AMBIN | 39 |
| 3.1.1 | Obiettivi delle indagini | 39 |
| 3.1.2 | Caratteristiche delle indagini | 39 |
| 3.2 | TUNNEL DI BASE – SETTORE DI VENAUS-CENISCHIA | 42 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.1 | Obiettivi delle indagini | 42 |
| 3.2.2 | Caratteristiche delle indagini | 42 |
| 3.3 | TUNNEL DI BASE – SETTORE DI MOMPANTERO..... | 45 |
| 3.3.1 | Obiettivi delle indagini | 45 |
| 3.3.2 | Caratteristiche delle indagini | 45 |
| 3.3.3 | Studio petrografico | 45 |
| 3.3.4 | Sondaggio meccanico S94..... | 46 |
| 3.3.5 | Ubicazione del sondaggio..... | 46 |
| 3.3.6 | Indagini finalizzate al riconoscimento di minerali asbestiformi..... | 47 |
| 3.3.7 | Cantierizzazione dell'area per la realizzazione del sondaggio | 47 |
| 3.3.8 | Tavolo tecnico con ARPA | 48 |
| 3.3.9 | Sondaggio geotecnico S100..... | 48 |
| 3.3.10 | Indagini geofisiche..... | 48 |
| 3.4 | TUNNEL DI BASE: SETTORE ESTERNO DI MOMPANTERO..... | 48 |
| 3.4.1 | Versante destro del rio Giandula (esposto a sud) al di sotto del quale lo scavo avverrà con TBM..... | 49 |
| 3.4.2 | Versante sinistro del rio Giandula (esposto a nord-ovest) al di sotto del quale lo scavo sarà realizzato con martello pesante | 49 |
| 3.5 | IMBOCCO GALLERIA MADDALENA 2 E AREA DI CANTIERE DELLA MADDALENA | 50 |
| 3.5.1 | Obiettivi delle indagini | 50 |
| 3.5.2 | Caratteristiche delle indagini | 50 |
| 3.5.3 | Interventi proposti per la mitigazione dei rischi naturali..... | 51 |
| 3.6 | AREA DI COLOMBERA | 52 |
| 3.6.1 | Obiettivi delle indagini | 52 |
| 3.6.2 | Caratteristiche delle indagini | 52 |
| 3.7 | AREA DI CANTIERE DI SALBERTRAND | 53 |
| 3.7.1 | Obiettivi delle indagini | 53 |
| 3.7.2 | Caratteristiche delle indagini | 53 |
| 3.8 | PIANA DI SUSAS..... | 54 |
| 3.9 | GALLERIE D'INTERCONNESSIONE DI BUSSOLENO | 55 |
| 3.9.1 | Contesto geologico | 55 |
| 3.9.2 | Obiettivi delle indagini | 56 |
| 3.9.3 | Caratteristiche delle indagini | 56 |
| 3.10 | INTERCONNESSIONE A CIELO APERTO..... | 57 |
| 4. | PROGRAMMA DELLE INDAGINI DI FASE 2 – FASE DI ESECUZIONE | 58 |
| 4.1 | INDAGINI IN AVANZAMENTO..... | 60 |
| 4.1.1 | Indagini geofisiche in avanzamento | 60 |
| 4.1.2 | Esecuzione di sondaggi in avanzamento | 62 |
| 4.2 | RILIEVO DEL FRONTE DI SCAVO O DEI PARAMENTI DEL TUNNEL..... | 64 |
| 4.3 | ANALISI DEI PARAMETRI DI SCAVO DELLA TBM | 66 |
| 5. | CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DI SCAVO / SITI DI DESTINAZIONE... | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.1 | FINALITÀ DELLE INDAGINI..... | 67 |
| 5.2 | CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI PRODUZIONE | 67 |
| 5.2.1 | Modalità di esecuzione sondaggi..... | 67 |
| 5.2.2 | Prelievo dei campioni | 68 |
| 5.2.3 | Analisi chimiche da eseguire sui campioni | 68 |
| 5.2.4 | Ubicazione dei siti di indagine | 69 |
| 5.2.5 | Determinazione del valore del fondo naturale..... | 69 |
| 5.3 | CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI DESTINAZIONE..... | 69 |
| 5.3.1 | Indagini in sito | 69 |
| 5.3.2 | Analisi di laboratorio | 70 |
| 5.4 | ANALISI RADIOMETRICHE | 70 |

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Indagini previste nel settore del Tunnel di Base sul territorio italiano. Sono anche indicate le indagini già esistenti | 10 |
| Figura 2 – Indagini previste nei settori della Piana di Susa e delle Gallerie d’Interconnessione. Sono indicati anche i sondaggi esistenti..... | 11 |
| Figura 3 - Inquadramento geologico del nuovo tracciato in territorio italiano. (ZST: Zona a Scaglie Tettoniche)..... | 30 |
| Figura 4 – Andamento della falda freatica nella Piana di Susa..... | 33 |
| Figura 5 – La traiettoria ie la posizione indicativa del sondaggio S60 lungo il profilo geologico in asse al tunnel di base è indicata dalla linea tratteggiata nera. | 40 |
| Figura 6 – Indagini previste nei settori dell’Ambin e della Val Cenischia del Tunnel di Base. Sono indicate le indagini esistenti (sondaggi e geofisica) reliazzate da LTF, SITAF e nell’ambito del progetto della centrale di Pont Ventoux, nonché le opere sotterranee esistenti (gallerie della Centrale IREN di Pont Ventoux e le gallerie dell’autostrada A32). | 41 |
| Figura 7 - Indagini previste nel settore del Cenischia. Sono indicate anche le indagini già realizzate e utilizzate nel corso del PD..... | 44 |
| Figura 8 – Ubicazione delle indagini previste in prossimità dell’imbocco del tunnel di base. | 47 |
| Figura 9 – Stralcio cartografico con indicazione dei versanti che insistono sull’abitato di Urbiano. A: versante destro (esposto a sud), al di sotto del quale lo scavo avverrà con TBM; B: versante sinistro (esposto a nord-ovest), al di sotto del quale lo scavo sarà realizzato con martello pesante. In verde è indicato il tracciato dell’opera in progetto. In azzurro il rio Giandula. | 49 |
| Figura 10 – Panoramica presa dalla strada che collega Urbiano a Seghino, verso sud-est. La freccia indica gli affioramenti presenti a monte degli edifici ubicati sulla sponda destra del Giandula. | 50 |
| Figura 11 - Indagini previste all’imbocco della galleria Maddalena 2 e nell’area di Cantiere della Maddalena Sono indicati anche le indagini esistenti..... | 51 |
| Figura 12 - Indagini previste nell’area di Colombera | 53 |
| Figura 13 - Indagini previste nell’area del cantiere di Salbertrand | 54 |
| Figura 14 – Ubicazione delle indagini da realizzare nella Piana di Susa e delle indagini già realizzate nelle precedenti fasi di progetto. | 55 |
| Figura 15 – Ubicazione delle indagini previste per il settore d’interconnessione di Bussoleno. | 57 |

Figura 16 – Esempio di applicazione dei diversi metodi di indagine in avanzamento al fine di identificare e caratterizzare una possibile criticità e definire la contromisura più adeguata di mitigazione del rischio (l'esempio è relativo a scavo meccanizzato mediante TBM scudata) 60

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| Tabella 1 - Elenco dei sondaggi meccanici proposti per la fase di Progetto Esecutivo. Per ogni sondaggio è indicato il livello di priorità | 37 |
| Tabella 2 - Elenco delle indagini geofisiche proposte per la fase di Progetto Esecutivo. Per ogni indagine è indicato il livello di priorità | 38 |
| Tabella 3 - Tabella dei parametri da analizzare, *parametri indicati dal DM 161 del 10 agosto 2013 | 72 |

RESUME/RIASSUNTO

La phase de conception actuelle se configure comme une analyse et conception d'une nouvelle phase de construction de la liaison ferroviaire côté Italie suite à la prescription 235 de la résolution CIPE 19/2015.

Dans le cadre de ce projet en variante (PRV) sont introduits, que prévu dans la phase précédente «Progetto Definitivo Approvato», un certain nombre de d'importants changements y compris le déplacement de l'excavation de cote italienne du Tunnel de Base, et du chantier annexe près de la Maddalena de Chiomonte, dans le même secteur ou aujourd'hui est présent le chantier du tunnel exploratif de la Maddalena, avec la réalisation d'une nouvelle tunnel nommé Galeria de la Maddalena 2.

Ensemble la Galerie Maddalena 2 seront réalisé autres nouvelles œuvres comme les Galeries de Connexion 1 et 2 et la Galerie Maddalena 1bis, les premiers deux fonctionnels d'un point de vue logistique et de ventilation pour la phase des excavation, la Galerie Maddalena 1bis avec fonction de stockage irréversible des roches vertes provenant de l'excavation du Tunnel de Base.

Le Projet en Variant prévoit aussi le déplacement du Site de Clarea dans le secteur entre le Pk (BP) 51+700 – 50+600 du Tunnel de Base.

En outre, aussi dans la configuration des chantiers, en plus du déplacement du site de chantier principal de Susa à la Maddalena, la Variante de Sécurité a évalué un certain nombre de scénarios alternatifs par rapport le «Progetto Definitivo Approvato», impliquant des zones précédemment non touchées par les phases de construction du projet, y compris la construction d'un nouveau chantier dans la municipalité de Salbertrand, l'utilisation d'une petite zone en localité Colombera dans la commune de Chiomonte.

L'attuale fase progettuale si configura come analisi e progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015.

Nell'ambito di tale Progetto in Variante (PRV) si introducono, rispetto a quanto previsto nella precedente fase di Progetto Definitivo Approvato, una serie di importanti modifiche tra le quali lo spostamento dello scavo lato italiano del Tunnel di Base, e del relativo cantiere, alla Maddalena di Chiomonte, nel settore ove è attualmente presente il cantiere del cunicolo esplorativo della Maddalena, attraverso la realizzazione di una nuova galleria denominata Galleria della Maddalena 2.

Insieme alla Galleria Maddalena 2 saranno realizzate ulteriori nuove opere quali le Gallerie di Connessione 1 e 2 e la Galleria della Maddalena 1bis, le prime due funzionali dal punto di vista logistico e di ventilazione per la fase di scavo dell'opera principale, la Galleria Maddalena 1bis con funzione di stoccaggio irreversibile delle rocce verdi provenienti dallo scavo del Tunnel di Base.

Il Progetto in Variante prevede anche lo spostamento del Sito di Clarea nel settore compreso tra le Pk (BP) 51+700 – 52+600 del Tunnel di Base.

Inoltre, anche nella configurazione dei cantieri, oltre allo spostamento del cantiere principale da Susa alla Maddalena, la Variante Sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto alla fase di Progetto Definitivo Approvato, coinvolgendo aree non interessate in precedenza dalle fasi di costruzione del progetto, tra i quali la realizzazione di un nuovo sito di cantiere nel

Enfin la variante au projet détermine aussi l'élimination de la galerie de ventilation de Clarea et son relative chantier.

Sur la base des changements mentionnés ci-dessus effectués par le Variante, le précédent plan des investigations proposé dans la phase de « Progetto Definitivo Approvato », elle est modifiée par l'introduction d'une série de investigations à effectuer dans les nouveaux secteurs intéressés par la Variante (Salbertrand, Colombera et Maddalena) et l'élimination de quelques investigations dans les zones qui ne sont plus impliqués dans cette nouvelle phase du projet (portal Galerie de ventilation de Clarea).

Le programme de reconnaissance a été réalisé en divisant le tracé en secteurs homogènes par rapport aux points géologiques critiques, et par type de problématiques et/ou lacunes à étudier. Le plan a été conçu en distinguant les investigations selon la phase de leur réalisation : une première phase concernant les étapes avant l'excavation et la construction des ouvrages (Progetto Esecutivo) et une deuxième phase à réaliser pendant l'excavation des galeries (reconnaisances à l'avancement).

Synthétiquement, le programme a pour objet :

1. La caractérisation du massif rocheux à la cote du tunnel ;
2. La reconstruction de l'interface socle / dépôts quaternaires pour les secteurs des ouvrages avec une faible couverture topographique (portails et zones de la plaine);
3. La caractérisation géotechnique et hydrogéologique des terrains concernés par les ouvrages à l'air libre comme le pont sur la Dora à l'aval des galeries d'interconnexion;
4. La caractérisation environnementale des matériaux d'excavation et géotechnique des sites de destination.

comune di Salbertrand, l'utilizzo di una piccola area in località Colombera nel comune di Chiomonte.

Infine la variante al progetto determina anche l'eliminazione della Galleria di ventilazione di Clarea e del suo relativo cantiere.

Sulla base delle sopra menzionate modifiche apportate dalla Variante, il precedente piano delle indagini proposto nella fase di Progetto Definitivo Approvato, viene modificato introducendo una serie di indagini da eseguirsi nelle nuove aree interessate dalla Variante (Salbertrand, Colombera e Maddalena) ed eliminando alcune indagini su settori non più coinvolti in questa nuova fase progettuale (imbocco Galleria di ventilazione di Clarea).

Il piano indagini è stato realizzato dividendo la tratta in esame in settori che presentano un grado di omogeneità rispetto alle criticità di tipo geologico e per tipo di problematiche e/o lacune da indagare. Il programma è stato concepito distinguendo le indagini secondo la fase di loro realizzazione: una prima fase riguarda le indagini che saranno realizzate prima dello scavo e della costruzione delle opere e una seconda fase che riguarda invece le indagini previste in corso di scavo (indagini in avanzamento).

Sinteticamente, il programma è stato finalizzato per:

1. la caratterizzazione del basamento roccioso a quota tunnel;
2. la ricostruzione dell'interfaccia basamento/depositi quaternari per i settori in cui le opere sono caratterizzate da basse coperture (imbocchi dei tunnel e zone di pianura);
3. la caratterizzazione e parametrizzazione geotecnica e idrogeologica dei terreni in cui è prevista la

Investigations proposées pour la phase 1 – Progetto Esecutivo

La localisation des investigations est reportée dans les cartes des
Figura 1 et 2.

realizzazione di opere all'aperto come il ponte sulla
Dora a valle della galleria d'interconnessione;

4. Caratterizzazione ambientale dei materiali di scavo e
geotecnica dei siti di destinazione.

Indagini proposte per la fase 1 – Progetto Esecutivo

L'ubicazione indicativa delle singole indagini è riportata nelle carte
di Figura 1 e di Figura 2.

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

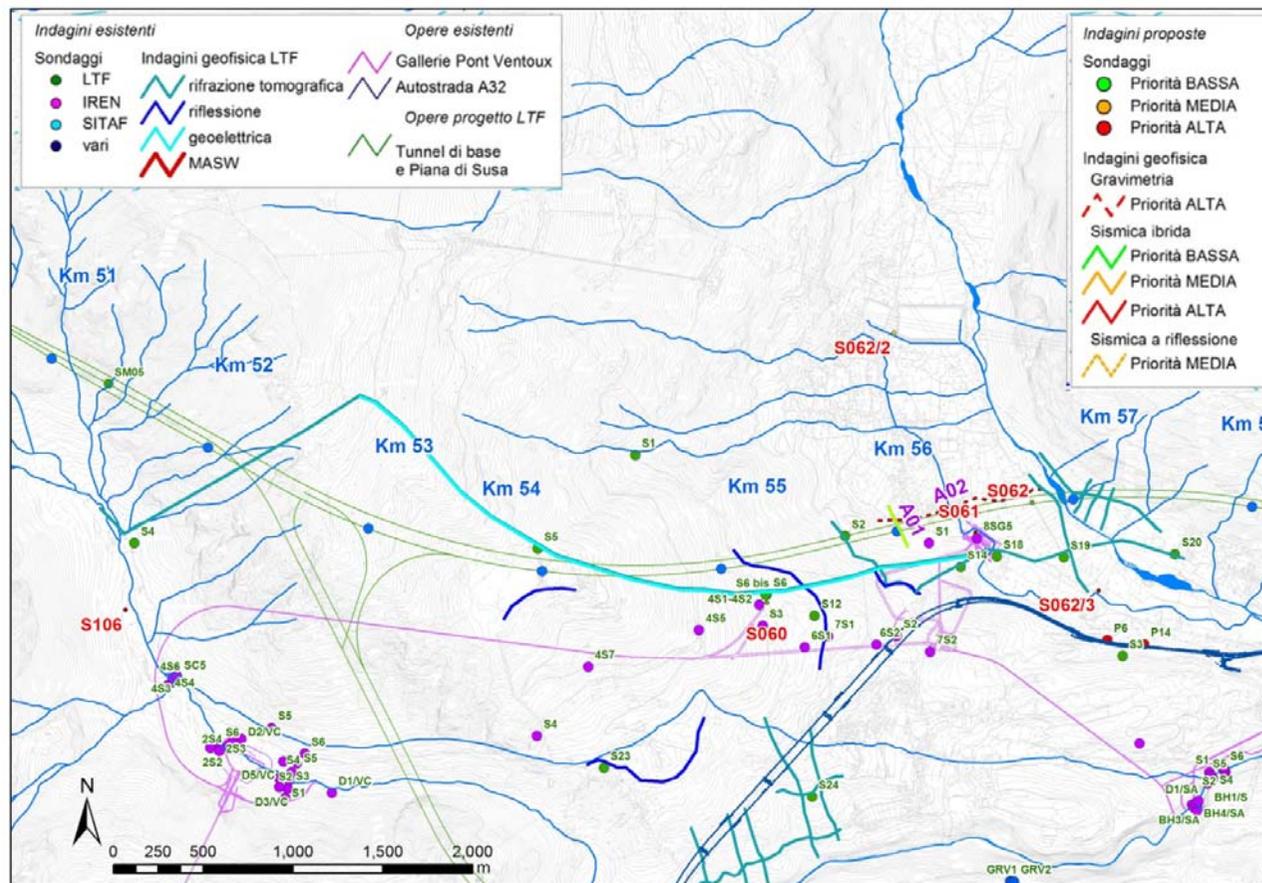


Figure 1 – Investigations prévues dans le secteur du Tunnel de Base. Les forages existants sont également reportés.

Figura 1 – Indagini previste nel settore del Tunnel di Base sul territorio italiano. Sono anche indicate le indagini già esistenti

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

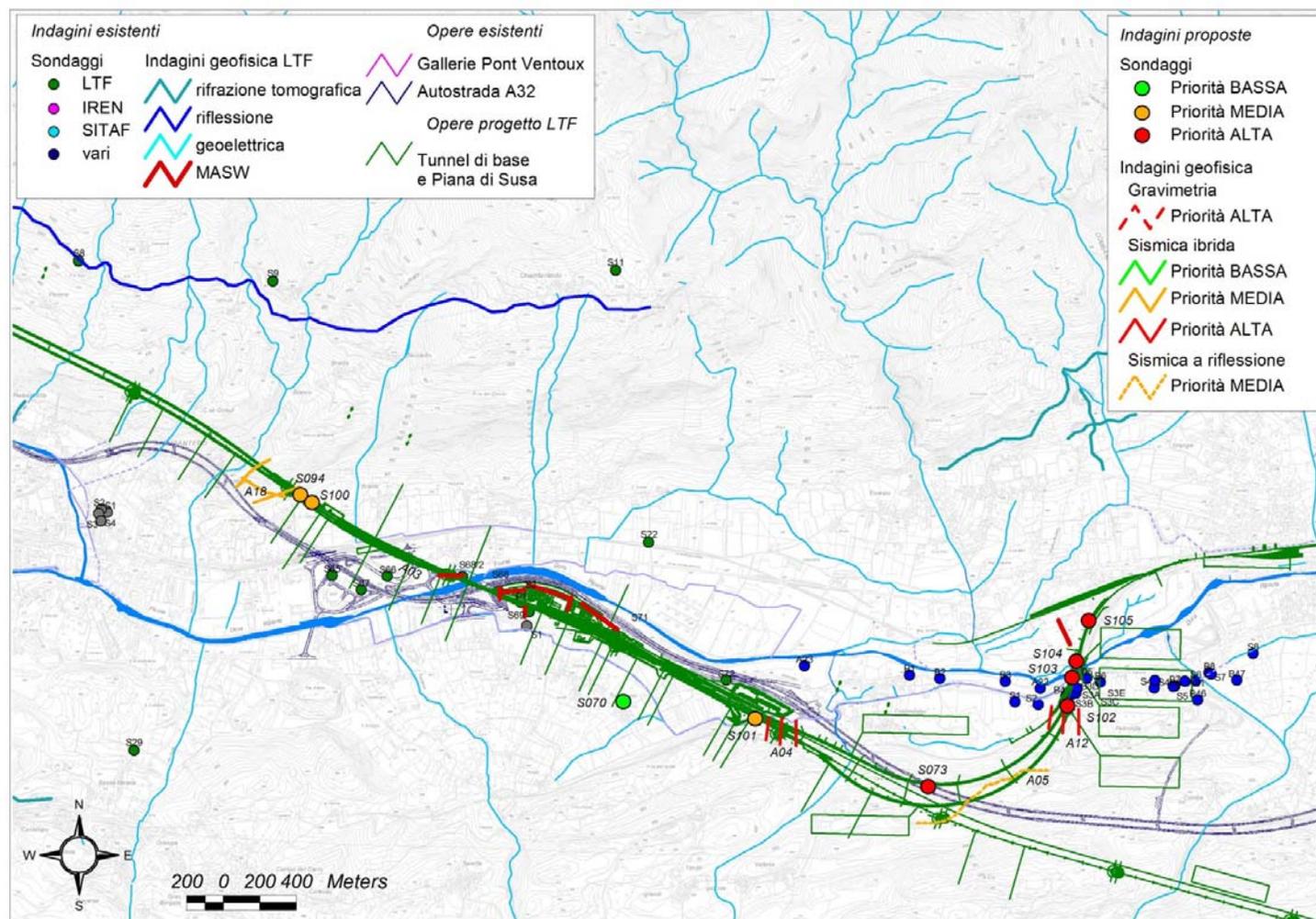


Figure 2 – Investigations prévues dans le secteur de la Plaine de Susa et des Galeries d'Interconnexion. Les forages existants sont également indiqués.

Figura 2 – Indagini previste nei settori della Piana di Susa e delle Gallerie d'Interconnessione. Sono indicati anche i sondaggi esistenti.

Les reconnaissances en phase PE (Projet Exécutif) prévoient donc la réalisation de :

- 28 forages de profondeur comprise entre 30 et 600 ml, pour un total linéaire de 2860 mètres ;
- 11 prospections sismiques pour un total linéaire de 3520 mètres environ ;
- 1 prospection gravimétrique de longueur d'environ 1 km dans le Val Cenischia ;
- Investigations sismiques de type MASW à hauteur des ouvrages d'art principaux (ponts, gares, bâtiments, etc) ;
- Investigations pour caractériser les sites de destination (sites de reenvironnementalisation) en particulier sur le Site de Torrazza Piemonte 10 forages de profondeur de 10 m et 40 forages à la pelle de profondeur de 1 m, sur le Site de Caprie 5 forages de profondeur de 10 et 30 forages à la pelle de profondeur de 1 m;

En ce qui concerne les investigations proposées en cours d'excavation, elles ont pour objectif de reconnaître les points critiques résiduels et revêtent un rôle important en tant que mesure de réduction des points critiques individualisés.

Pour ce qui concerne les investigations proposées en phase de Projet Exécutif, il est rappelé dans ce qui suit, pour chacun des secteurs, les points critiques identifiés, les reconnaissances proposées pour permettre de lever ces points critiques, les priorités et les objectifs de ces reconnaissances.

Le indagini della fase PE (Progetto Esecutivo) prevedono dunque la realizzazione di:

- 28 sondaggi di profondità compresa tra 30 e 600 ml, per un totale lineare di 2860 metri;
- 11 stendimenti di sismica per un totale lineare di 3520 metri circa;
- 1 stendimento gravimetrico di lunghezza di circa 1 km trasversale alla Val Cenischia;
- Indagini sismiche tipo MASW in corrispondenza delle opere d'arte maggiori (ponti, stazioni, edifici, ecc);
- Indagini per la caratterizzazione dei siti di destinazione (siti di riambientalizzazione) in particolare sul Sito di Torrazza Piemonte 10 sondaggi di profondità di 10 m e 40 pozzetti esplorativi di profondità di 1 m, sul Sito di Caprie 5 sondaggi di profondità di 10 m e 30 pozzetti esplorativi di profondità di 1 m.

Le indagini previste in corso di realizzazione delle opere sono finalizzate al superamento delle criticità residue e rivestono un ruolo importante come una delle principali misure di mitigazione dei rischi individuati.

Per quanto riguarda le indagini proposte per la fase di Progetto Esecutivo, di seguito, per ogni settore, è descritto in modo sintetico le criticità identificate, le indagini proposte per affrontare tali criticità, le priorità e gli obiettivi da perseguire.

Tunnel de Base – Secteur d’Ambin

Points critiques

- le comportement du massif rocheux sous forte couverture dans un contexte de contact tectonique ;
- la faible connaissance du contexte géologique à la cote du tunnel à l’interface entre les gneiss aplitiques de l’Unité d’Ambin et la Zone à Ecailles Tectoniques (ZST), interface dont la géométrie n’est pas bien connue ;

Investigations proposées

S60 : sondage et carottage continu d’une profondeur d’environ 600 mètres sur le versant Est du Massif de l’Ambin.

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|---------------------------|
| BAISSE | S60 |

Objectifs

- a. Définir la structure de l’Unité d’Ambin à la cote du tunnel (S60);
- b. Vérifier la puissance de la Zone à Écailles Tectoniques et la géométrie des zones de cisaillement associées au contact tectonique ;
- c. Caractérisation géomécanique du massif à la cote du tunnel dans une formation où il y aura le risque de creusement dans des roches très dures et abrasives (gneiss aplitiques d’Ambin) et avec un niveau de risque de décompression violente (Rockburst) moyen (couvertures comprises entre 600 et 850 mètres) ;

Tunnel di Base – Settore dell’Ambin

Criticità

- comportamento dell’ammasso roccioso sotto alta copertura in un contesto di contatto tettonico;
- la scarsa conoscenza dell’assetto geologico a quota tunnel del tratto di interfaccia tra gli gneiss aplitici dell’Unità dell’Ambin e la Zona a Scaglie Tettoniche (ZST) del cui andamento non si hanno prove certe.

Indagini proposte

S60: sondaggio a carotaggio continuo con profondità di circa 600 metri sul versante orientale del Massiccio dell’Ambin.

Priorità:

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|------------------------|
| BASSA | S60 |

Obiettivi

- a. Definire la struttura dell’Unità d’Ambin a quota tunnel (S60);
- b. Verificare la potenza della Zona a Scaglie Tettoniche e l’andamento di zone di taglio connesse al contatto tettonico;
- c. Eseguire la caratterizzazione geomeccanica dell’ammasso a quota tunnel in una formazione in cui si presenterà il rischio di scavo in rocce molto dure e abrasive (gneiss aplitici d’Ambin) e con livello di rischio di colpo di montagna (Rockburst) medio (coperture comprese tra 600 e 850 metri);
- d. La caratterizzazione degli gneiss aplitici;

- d. Caractérisation des gneiss aplitiques ;
 e. Détermination du degré de perméabilité et de la charge hydraulique à l'intérieur du massif, à la cote du tunnel et sur la partie du dessus, et vérifier la variation de perméabilité en fonction de la profondeur.

- e. Determinare il grado di permeabilità e di carico idraulico presente all'interno del massiccio a quota tunnel e nella parte soprastante e di verificare la variazione di permeabilità con la profondità.

Tunnel de Base – Portail Maddalena 2 et Site de chantier de la Maddalena

Tunnel di Base – Imbocco Maddalena 2 e area di Cantiere della Maddalena

Points critiques

- Géotechnique, hydrogéologie de la vallée et de la terre et l'emplacement du contact entre les dépôts et la roche dans le Portail Galerie Madeleine 2.

Criticità

- Caratterizzazione geotecnica, idrogeologica dei terreni di fondovalle e ubicazione del contatto tra i depositi e il substrato roccioso in corrispondenza del portale della Galleria Maddalena 2.

Investigations proposées

S12_PRV: sondage en carottage continu sub-horizontale de longueur d'environ de 150 mètres au portail de la galerie Maddalena 2.

Indagini proposte

S12_PRV: sondaggio sub-orizzontale a carotaggio continuo all'imbocco della Galleria Maddalena 2 di lunghezza di circa 150 metri.

S10_PRV et **S11_PRV**: sondages en carottage continu d'une profondeur de 30 mètres équipé avec piézomètre.

S10_PRV et **S11_PRV**: sondaggi a carotaggio continuo di profondità di circa 30 m attrezzati a piezometro.

Ces reconnaissances sont complétées par la réalisation de forages à la pelle pour déterminer la nature des sols, l'épaisseur du terrain végétal et du dépôt d'origine anthropique.

Queste indagini saranno completate attraverso lo scavo di pozzetti esplorativi per la caratterizzazione dei suoli, lo spessore del terreno vegetale e i depositi di natura antropica.

SR5_PRV et **SR6_PRV**: profil de sismique réfraction

SR5_PRV et **SR6_PRV**: indagine sismica a rifrazione

MASW01_PRV: profil de seismic MASW

MASW01_PRV: Indagine sismica MASW

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|--------------------------------------|
| HAUTE | S12_PRV, S11_PRV, A05_PRV et A06_PRV |
| MOYENNE | S10_PRV |
| BASSE | MASW01_PRV |

Priorità:

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|-------------------------------------|
| ALTA | S12_PRV, S11_PRV, A05_PRV e A06_PRV |
| MEDIA | S10_PRV |

Objectifs

- a. Vérifiez la position du contact dépôts/roche au portail de la galerie Maddalena 2
- b. Caractérisation géotechnique, hydrogéologique et sismique des dépôts (naturels et anthropiques) dans la zone du chantier de construction de la Maddalena et de la future central de ventilation.

Zone de Colombera

Points critiques

Géotechnique et hydrogéologique des sols.

Investigations proposées

S1_PRV, S2_PRV et S3_PRV: Sondages en carottage continu d'une profondeur de 30 mètres équipé avec piézomètre.

A01_PRV: profil de sismique réfraction

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|---------------------------------|
| HAUTE | S1_PRV, S2_PRV, S3_PRV, A01_PRV |
| MOYENNE | - |
| BASSE | - |

Objectifs

L'objectif principal de ces investigations est la caractérisation géotechnique et hydrogéologique des dépôts meubles (naturels et anthropiques) sur laquelle il est prévu le site de Colombera.

| | |
|--------------|------------|
| BASSA | MASW01_PRV |
|--------------|------------|

Obiettivi

- a. Verificare la posizione del contatto depositi/roccia all'imbocco della Galleria Maddalena 2
- b. Caratterizzazione geotecnica, idrogeologica e sismica dei depositi sciolti (naturali ed antropici) in corrispondenza dell'area di cantiere della Maddalena e per la futura centrale di ventilazione.

Area di Colombera

Criticità

Caratterizzazione geotecnica, idrogeologica dei terreni.

Indagini proposte

S1_PRV, S2_PRV e S3_PRV: Sondaggi carotati verticali con profondità di 30 metri.

A01_PRV : indagine geofisica con stese di sismica a rifrazione

Priorità

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|---------------------------------|
| ALTA | S1_PRV, S2_PRV, S3_PRV, A01_PRV |
| MEDIA | - |
| BASSA | - |

Obiettivi

La finalità delle indagini è quella di definire la stratigrafia dell'area e caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni presenti sui quali è prevista l'area di Cantiere di Colombera.

Site de chantier de Salbertrand

Points critiques

Géotechnique et hydrogéologique des sols.

Investigations proposées

S4_PRV, S5_PRV, S6_PRV, S7_PRV, S8_PRV, S9_PRV, S13_PRV et S14_PRV: Sondages en carottage continu d'une profondeur de 30 mètres équipé avec piézomètre.

A02_PRV, A03_PRV et A04_PRV: profil de sismique réfraction.

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|---------------------|--|
| HAUTE | S4_PRV, S5_PRV e S6_PRV, S7_PRV, S8_PRV, S9_PRV, S13_PRV, S14_PRV, A02_PRV, A03_PRV et A04_PRV |
| MOYEN NE | - |
| BASSE | - |

Objectifs

L'objectif principal de ces investigations est la caractérisation géotechnique et hydrogéologique des dépôts meubles (naturels et anthropiques) sur laquelle il est prévu le site de chantier de Salbertrand et le pont provisoire sur la Dora Riparia.

Tunnel de Base – Secteur Venaus Cenischia

Points critiques

- relations entre les dépôts quaternaires du val Cenischia et leur

Area di Cantiere di Salbertrand

Criticità

Caratterizzazione geotecnica, idrogeologica dei terreni.

Indagini proposte

S4_PRV, S5_PRV, S6_PRV, S7_PRV, S8_PRV, S9_PRV, S13_PRV e S14_PRV: Sondaggi carotati verticali con profondità di 30 metri attrezzati a piezometro.

A02_PRV, A03_PRV e A04_PRV: indagini geofisiche con stese di sismica a rifrazione.

Priorità

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|---|
| ALTA | S4_PRV, S5_PRV e S6_PRV, S7_PRV, S8_PRV, S9_PRV, S13_PRV, S14_PRV, A02_PRV, A03_PRV e A04_PRV |
| MEDIA | - |
| BASSA | - |

Obiettivi

La finalità delle indagini è quella di definire la stratigrafia dell'area e caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni presenti sui quali è prevista l'area di Cantiere di Salbertrand e il ponte provvisorio sulla Dora Riparia.

Tunnel di Base – Settore Venaus Cenischia

Criticità

- rapporti tra i depositi di fondovalle del Cenischia e il loro

soubassement rocheux aux alentours du pK 57 (Zone Piémontaise) où le tracé du Tunnel de Base passe du rocher aux dépôts de fond de vallée pour rentrer de nouveau dans le rocher aux alentours du pK 56 (Zone à Ecailles Tectoniques);

- la traversée souterraine du lit du T. Cenischia avec un long tronçon de galeries creusé dans les dépôts meubles représente un élément critique en relation à différents problèmes :
 - la position exacte de l'interface roche/alluvions afin d'établir la longueur exacte du tronçon en terrains meubles et pour les analyses de type hydrogéologique ;
 - l'état de saturation des dépôts quaternaires ;
 - l'effet de barrage (effet digue) de l'écoulement souterrain;
 - l'effet de tassements suite au creusement en terrains meubles saturés;
 - la possible présence de niveaux alluvionnaires limoneux et/ou de dépôts glaciaires de fond à basse perméabilité, qui pourrait confiner vers le haut des nappes sous pression ;
 - la localisation d'un ouvrage souterrain dans un contexte fortement anthropisé.
- Les points critiques hydrogéologiques sont fortement liés à l'interaction entre le creusement du tunnel et les venues en galerie. **En particulier on ne connaît pas la géométrie actuelle de la nappe qui a été drainée par les travaux de la centrale hydroélectrique de Pont Ventoux et qui, après un certain temps, aura atteint un nouvel équilibre hydrodynamique.**

Investigations proposées

Il est prévu de réaliser des investigations de géophysique et des forages mécaniques en carottage continu.

A01 : profil de sismique réflexion de direction perpendiculaire au tracé, centrée sur le point de transition dépôts quaternaires/rocher.

basamento roccioso nell'intorno della pK 57 dove il tracciato del Tunnel di Base passa dalle rocce di basamento (Zona Piemontese) ai depositi di fondovalle e rientra nelle rocce di basamento nell'intorno della pK 56 (Zona a Scaglie Tettoniche);

- l'attraversamento in sotterraneo dell'alveo del T. Cenischia con un lungo tratto di galleria impostato in depositi sciolti rappresenta un elemento di criticità in relazione a diversi problemi:
 - l'esatta posizione dell'interfaccia roccia/alluvioni per stabilire l'esatta lunghezza della tratta scavata in terreni sciolti e per la realizzazione delle valutazioni idrogeologiche;
 - lo stato di saturazione dei depositi quaternari;
 - effetto di sbarramento (effetto diga) del deflusso idrico sotterraneo;
 - effetto di cedimenti in seguito allo scavo in terreni sciolti saturi;
 - la possibile presenza di livelli alluvionali limosi e/o di depositi glaciali di fondo a bassa permeabilità, che potrebbero confinare verso l'alto delle falde in pressione;
 - l'ubicazione di un'opera sotterranea in un contesto fortemente antropizzato.
- Le criticità di tipo idrogeologico sono fortemente connesse all'interazione tra gli scavi del tunnel e le venute in galleria. **In particolare non si conosce l'attuale geometria della falda e drenata dalle opere della centrale idroelettrica di Pont Ventoux che a distanza di tempo avrà raggiunto un nuovo equilibrio idrodinamico.**

Indagini proposte

Si prevede di realizzare indagini di geofisica e sondaggi meccanici a carotaggio continuo

A01: stesa di sismica a riflessione con direzione perpendicolare al tracciato e centrata sul punto di transizione depositi di

A02 : reconnaissance gravimétrique le long de la vallée du Cenischia afin de recueillir plus d'informations concernant le contexte stratigraphique des dépôts quaternaires du fond de vallée.

S61 : sondage en carottage continu d'une profondeur de 120 mètres ;

S62 : sondage en carottage continu d'une profondeur de 120 mètres ;

S62/2 et **S62/3** : sondages en carottage continu d'une profondeur de 120 mètres.

Les forages ont une longueur permettant d'atteindre le socle rocheux au-dessous des dépôts de la vallée et doivent être équipés de tube piézométrique pour mesurer le niveau de la nappe phréatique. En cas d'interception des niveaux aquifères profonds sous pression, il sera nécessaire d'isoler ces niveaux et de prévoir l'installation de sondes piézométriques pour leur auscultation.

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|---------------------------|
| HAUTE | A02 – S61 – S62/3 |
| MOYENNE | S62 – S62/2 |
| BASSE | A01 |

Objectifs

- Définir la géométrie de l'interface socle / dépôts quaternaires et caractériser le comportement des terrains traversés;
- vérifier l'intersection du tracé du Tunnel de Base avec les mêmes dépôts de fond de vallée et avec des structures fragiles comme la faille de Venaus;
- caractériser l'aquifère du fond de vallée du Cenischia, et les charges hydrauliques attendues en phase de creusement.

Tunnel de Base – Secteur Mompantero

fondovalle/roccia.

A02: indagine gravimetrica lungo il fondovalle Cenischia al fine di raccogliere maggiori informazioni riguardo l'assetto stratigrafico dei depositi quaternari di fondovalle.

S61: sondaggio a carotaggio continuo con profondità di 120 metri;

S62: sondaggio a carotaggio continuo con profondità di 120 metri;

S62/2 e **S62/3**: sondaggi a carotaggio continuo con profondità di 120 metri.

I sondaggi hanno una lunghezza tale da raggiungere il basamento roccioso al di sotto dei depositi di fondovalle e devono essere attrezzati con tubo piezometrico per la misura del livello della falda freatica. Nel caso dell'intercettazione di livelli acquiferi profondi in pressione, sarà necessario isolare tali livelli e predisporre l'installazione di sonde piezometriche per il loro monitoraggio.

Priorità

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|------------------------|
| ALTA | A02 – S61 – S62/3 |
| MEDIA | S62 - S62/2 |
| BASSA | A01 |

Obiettivi

- Definire l'andamento dell'interfaccia basamento / depositi quaternari e caratterizzare il comportamento dei terreni attraversati;
- verificare l'intersezione del tracciato del Tunnel dei Base con gli stessi depositi di fondovalle e con strutture fragili come la faglia di Venaus;
- caratterizzazione dell'acquifero di fondovalle Cenischia e dei carichi idraulici da attendersi durante lo scavo della galleria.

Tunnel di Base – Settore Mompantero

Points critiques

Les points critiques majeurs sont liés à la caractérisation géotechnique et géomécanique du massif rocheux ainsi qu'à la définition du risque lié à la présence de roches vertes. Le secteur de la tête du tunnel est placé à hauteur du contact tectonique entre les calcschistes de la Zone Piémontaise et la couverture du Socle de Dora Maira entre lesquels sont intercalées les roches basiques afférentes aux unités de pertinence océanique (Roches Vertes).

Investigations proposées

S94 : Forage carotté horizontal (longueur de 200 m minimum et au moins jusqu'à dépasser le tronçon des Roches Vertes soit 380 m maximum).

S100 : Forage carotté vertical d'une profondeur de 30 mètres.

A18 : investigation géophysique avec lignes sismiques hybrides (réflexion + réfraction).

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|---------------------------|
| HAUTE | - |
| MOYENNE | S94 – S100 – A18 |
| BASSE | - |

Objectifs

Le cadre géologique et structural de ce secteur présuppose la réalisation de reconnaissances ponctuelles (forages S94 et S100) et de surfaces (levés de terrain et géophysique A18) afin d'évaluer la possibilité de traverser, durant le creusement de la galerie, des couches caractérisées par la présence de minéraux asbestiformes. Le but principal de ces études est donc de préciser les caractéristiques des Roches Vertes d'un point de vue géomécanique et de définir la

Criticità

Le criticità maggiori sono connesse sia alla caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dell'ammasso sia alla definizione del rischio legato alla presenza di rocce verdi. Il settore d'imbocco è posizionato in corrispondenza del contatto tettonico tra i calcscisti della Zona Piemontese e le coperture del Basamento Dora Maira tra cui sono intercalate le rocce basiche afferenti alle unità di pertinenza oceanica (Rocce Verdi).

Indagini proposte

S94 : Sondaggio carotato orizzontale (lunghezza di almeno 200 m e almeno fino a oltrepassare il tratto delle Rocce Verdi ovvero 380 m al massimo).

S100 : sondaggio carotato verticale con profondità di 30 metri.

A18 : indagine geofisica con stese di sismica mista (riflessione + rifrazione).

Priorità

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|------------------------|
| ALTA | - |
| MEDIA | S94 – S100 – A18 |
| BASSA | - |

Obiettivi

L'assetto geologico - strutturale di questo settore, presuppone la realizzazione di indagini puntuali (sondaggi S94 e S100) e areali (rilievi di terreno e geofisica A18) al fine di valutare la possibilità di attraversare, durante lo scavo della galleria, tratte caratterizzate dalla presenza di minerali asbestiformi. La finalità principale di queste indagini è quindi quella di definire la lunghezza esatta del tratto che sarà realizzato all'interno delle Rocce Verdi.

longueur exacte du tronçon qui sera réalisé à l'intérieur des Roches Vertes.

Dans le secteur du rio Giandula, il est proposé la réalisation d'une campagne de mesures topographiques de détail afin de vérifier la présence de phénomènes d'instabilité (chute de pierre). Il est également proposé d'installer un système de suivi des phénomènes d'instabilité qui pourraient se vérifier en cours d'excavation du tunnel de base.

Plaine de Susa et interconnexion Ligne Historique à Bussoleno

Points critiques

Les points critiques liés au secteur de la Plaine de Suse ont été abordés pendant la phase du PD avec la réalisation de 4 forages géotechniques et des prospections de type MASW pour la caractérisation sismique des sols. Les points critiques résiduels concernent notamment le secteur à l'aval de la galerie d'interconnexion et le site du pont sur la Dora.

Investigations proposées

S70: forage géotechnique de 30 mètres équipé de piézomètre.

S103 : forage de 30 m ;

S104 : forage géotechnique de 30 mètres équipé de piézomètre.

S105 : forage géotechnique de 30 mètres équipé de piézomètre.

Ces reconnaissances sont complétées par la réalisation de forages à la pelle pour déterminer la nature des sols, l'épaisseur du terrain végétal et du dépôt d'origine anthropique.

Objectifs

En correspondance du pont sur la Dora en aval des galeries d'interconnexion, le programme de reconnaissances prévoit un forage

E' proposto inoltre di realizzare una campagna di misure topografiche lungo i versanti del rio Giandula al fine di verificare la presenza di instabilità di versante e poter stabilire una strategia di messa in sicurezza dei versanti a fronte di cadute massi e crolli in parete. È altresì proposto di installare un sistema di monitoraggio per verificare fenomeni di instabilità che potrebbero verificarsi durante lo scavo del tunnel di base.

Piana di Susa e interconnessione Linea Storica a Bussoleno

Criticità

Le criticità connesse a questo settore sono state in gran parte risolte durante la fase di PD con la realizzazione di 4 sondaggi geotecnici e la realizzazione di indagini geofisiche di tipo MASW nel settore. Le criticità residue riguardano il settore a valle della galleria d'interconnessione e il ponte sulla Dora.

Indagini proposte

S70: sondaggio geotecnico di 30 metri attrezzato a piezometro

S103: sondaggio di 30 metri;

S104: sondaggio geotecnico di 30 metri attrezzato a piezometro

S105: sondaggio geotecnico di 30 metri attrezzato a piezometro

Queste indagini saranno completate attraverso lo scavo di pozzetti esplorativi per la caratterizzazione dei suoli, lo spessore del terreno vegetale e i depositi di natura antropica.

Obiettivi

In corrispondenza del ponte sulla Dora a valle delle galeries d'interconnessione, il piano indagini prevede un sondaggio geotecnico

géotechnique à chaque pile du pont. Il s'agit des forages S103 et S104 dont le but est la caractérisation géotechnique des terrains de fondation. Leur profondeur devra être d'au moins 30 mètres avec la réalisation d'essais géotechniques nécessaires à l'évaluation, en plus de la lithostratigraphie, de la capacité portante du terrain et les paramètres sismiques.

Le troisième forage (S105) du même genre est prévu sur le tronçon plus en aval où le tracé prévoit la réalisation de la ligne en remblais.

Le forage équipé en piézomètre S70 permettra de vérifier la présence de flux souterrains transversaux à l'axe de la ligne ferroviaire alimentés par le cône du rio Scaglione.

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|---------------------------|
| HAUTE | 103 – 104 - 105 |
| MOYENNE | - |
| BASSE | S70 |

Objectifs

L'objectif principal de ces investigations est la caractérisation géotechnique et hydrogéologique des dépôts meubles (naturels et anthropiques) au niveau des travaux principaux.

Il est utile de prévoir que les nouveaux forages soient équipés pour déterminer la présence de la nappe phréatique et d'éventuelles nappes suspendues (campagne de mesures piézométriques).

La caractérisation sismique des terrains au niveau de l'ensemble des ouvrages à l'air libre a été réalisée en novembre et décembre 2012 par investigations sismiques MASW.

Galleries d'interconnexion

per ogni spalla del ponte stesso. Si tratta di due sondaggi (S103 e S104) finalizzati alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione. La loro profondità dovrà essere di almeno 30 metri e saranno eseguite al loro interno le prove geotecniche necessarie a valutare, oltre che l'assetto litostratigrafico, la capacità portante del terreno e i parametri sismici.

Un terzo sondaggio (S105) dello stesso tipo è previsto nel tratto più a valle in cui il tracciato prevede la realizzazione della linea su rilevato.

Il sondaggio attrezzato a piezometro S70 permetterà di verificare la presenza di flussi sotterranei trasversali all'asse della linea ferroviaria e alimentati dal conoide del rio Scaglione.

Priorità

| <i>Priorità</i> | <i>Codice indagine</i> |
|-----------------|------------------------|
| ALTA | 103 – 104 - 105 |
| MEDIA | - |
| BASSA | S70 |

Obiettivi

L'obiettivo principale delle indagini è la caratterizzazione geotecnica e idrogeologica dei depositi sciolti (naturali ed antropici) in corrispondenza delle opere principali.

Malgrado i sondaggi esistenti non evidenzino la presenza di una falda estesa in superficie, è bene prevedere che i nuovi sondaggi siano attrezzati per la caratterizzazione della falda freatica e di eventuali falde sospese (campagna di misure piezometriche).

La caratterizzazione sismica dei terreni della tratta a cielo aperto dell'interconnessione sono stati investigati tramite indagini sismiche tipo MASW nei mesi di novembre e dicembre 2012.

Galleries d'interconnessione

Points critiques

L'effet de superposition entre les structures morphologiques dues à des plissements successifs et l'action de l'érosion glaciaire sur le substratum rocheux avec la formation de spillway channel (observables dans la zone de Meana et Mattie) pourrait constituer un élément critique dans les secteurs des portails où la morphologie en terrasse laisse supposer la présence de petites vallées remplies de dépôts quaternaires qui pourraient être interceptés sur les premiers 200 mètres environ de la galerie (aux deux têtes) déterminant une condition d'alternance de terrains meubles et rocheux.

Dans ce secteur, les points critiques liés à la présence de Roches Vertes sont extrêmement réduits et limités à la présence de lentilles et boudins basiques et ultra-basiques d'une puissance métrique à décamétrique, associés aux calcamicaschistes de la couverture du Complexe Meana – M.te Muretto. De plus, l'analyse au microscope optique d'échantillons prélevés en surface a démontré l'absence de minéraux amiantifères au sein de ces roches vertes.

Investigations proposées

S73 : forage vertical carotté d'une longueur d'environ 50 mètres à partir d'un by-pass de la galerie autoroutière de la Prapontin.

S101 : forage horizontal carotté. Sa longueur est de 300 mètres.

S102 : forage horizontal carotté. Sa longueur est de 300 mètres.

A04 : profil de sismique hybride (réflexion + réfraction).

A05 : profil de sismiques à réflexion. L'étude consiste en un profil d'environ 800 mètres.

A12 : profils de sismique hybride (réflexion + réfraction).

Priorité

| <i>Priorité</i> | <i>Code investigation</i> |
|-----------------|---------------------------|
| HAUTE | S73 – S102 – A04 – A12 |

Criticità

L'effetto di sovrapposizione tra le morfostrutture dovute a fasi plicative successive e all'azione d'erosione glaciale nel substrato roccioso con formazione di spillway channel (osservabili nella zona di Meana e Mattie) potrebbe costituire un elemento di criticità nei settori di imbocco dove la presenza di una marcata morfologia a gradoni può far presupporre la presenza di vallecicole riempite da depositi quaternari che potrebbero essere intercettati nei primi 200 metri circa della galleria (per entrambi gli imbocchi) determinando una condizione di alternanza di terreni sciolti e roccia.

In questo settore le criticità legate alla presenza di Rocce Verdi sono estremamente ridotte e circoscritte alla presenza di lenti e boudins basici e ultrabasici di potenza da metrica a decametrica associati ai calcemicascisti di copertura del Complesso Meana – M.te Muretto. Inoltre l'analisi al microscopio ottico di campioni prelevati in affioramento ha evidenziato l'assenza di minerali amiantiferi al loro interno.

Indagini proposte

S73: sondaggio carotato verticale di lunghezza di circa 50 metri a partire da un by-pass della galleria autostradale Prapontin

S101: sondaggio carotato orizzontale. La sua lunghezza è di 300 metri.

S102: sondaggio carotato orizzontale. La sua lunghezza è di 300 metri.

A04: indagine sismica ibrida (riflessione + rifrazione).

A05: indagine sismica a riflessione L'indagine consiste in una stesa di lunghezza di circa 800 metri.

A12: indagine sismica ibrida (riflessione + rifrazione).

Priorità

| | |
|----------------|--------|
| MOYENNE | S101 – |
| BASSE | - A05 |

Objectifs

- cadre géologique et structural des secteurs des têtes des galeries ouest et est ;
- cadre géologique et structural à la cote du tunnel et évaluation des conditions géomécaniques du massif rocheux en relation également à la présence d'autres ouvrages souterrains adjacents;
- caractérisation des écoulements hydriques à l'intérieur du massif;
- vérifier la présence des roches vertes et évaluer la présence de minéraux amiantifères en leur sein.

Investigations proposées pour la phase 2 –En cours d'excavation

En phase d'exécution des travaux, la réalisation d'un programme de reconnaissances proposées a complément des existantes, prévue au fur et à mesure que le creusement avance.

De manière générale, ce programme a pour but de fournir les données et informations suivantes :

- Prévenir et identifier de façon anticipée la présence de conditions critiques de manière à définir et mettre en œuvre les mesures les plus adaptées pour la réduction du niveau de risque ;
- adapter, le cas échéant, la méthode et les procédures d'excavation selon les conditions prévues ;
- fournir les données nécessaires pour prévenir les conditions géologiques imprévues ;
- évaluer et définir les caractéristiques du massif rocheux et son comportement en cours d'excavation ;
- définir les lithotypes qui seront rencontrés en cours

| | |
|-----------------|------------------------|
| Priorità | Codice indagine |
| ALTA | S73 – S102 – A04 – A12 |
| MEDIA | S101 – |
| BASSA | - A05 |

Obiettivi

- Assetto geologico - strutturale dei settori d'imbocco ovest ed est;
- assetto geologico - strutturale a quota tunnel e valutazione delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso anche in relazione alla presenza delle altre opere sotterranee adiacenti;
- caratterizzazione della circolazione idrica all'interno del massiccio;
- verificare la presenza di rocce verdi e valutare l'eventuale presenza di minerali amiantiferi.

Indagini proposte per la fase 2 –In avanzamento

In fase di esecuzione dei lavori è prevista la realizzazione di un programma di indagini geognostiche proposte ad integrazione di quelle già esistenti, da realizzare durante lo scavo delle opere in sotterraneo.

In linea generale, quindi, il piano indagini è volto a fornire i seguenti dati ed informazioni:

- prevenire e identificare in anticipo la presenza di condizioni critiche in modo da definire e applicare la contromisura più adatta per l'abbassamento del livello di rischio;
- adattare, se e dove necessario, il metodo e le procedure di scavo in funzione delle condizioni attese;
- fornire i dati necessari per prevenire eventuali condizioni geologiche inattese;
- valutare e definire le caratteristiche dell'ammasso nelle tratte da scavare e il possibile comportamento allo scavo;

d'excavation de façon systématique pour mettre à jour les maquettes géologiques et géotechniques ;

- fournir les données nécessaires pour définir le profil géologique "as-built".

En général, le programme de reconnaissance complémentaires à effectuer lors du creusement se base essentiellement sur les activités suivantes :

- des reconnaissances géophysiques en cours d'excavation (profondeur d'investigation: environ 100 m en avant du front de taille) ;
- des forages à partir du front de taille ou au voisinage du tunnel lui-même (longueur: 30-40 m) ;
- levé systématique du front de taille ou des parements du tunnel;
- mesure de la température de la roche;
- analyse systématique des paramètres de l'excavation TBM.

Le type de reconnaissance réellement faisable sera également définie en fonction de la méthode d'excavation dans les différentes sections du tunnel.

Il convient de souligner que l'approche proposée est basée sur l'exécution systématique d'investigations indirectes (géophysique) et directes (forages destructifs et / ou carottés) et, en fonction de la méthode d'excavation, sur l'observation directe et la caractérisation de la roche et sur l'interprétation de l'ensemble des données obtenues.

Caractérisation des matériaux d'excavation / sites de destination

Les reconnaissances prévues ont pour but la caractérisation des matériaux d'excavation et des sites de destination (sites de dépôt). Ce programme de reconnaissances est rédigé conformément à la norme en vigueur.

- définir i litotipi che verranno incontrati in avanzamento per aggiornare in modo sistematico il profilo geologico e geotecnico previsionale;
- fornire i dati necessari per la definizione del profilo geologico "as built".

In linea generale il programma di indagini complementari da eseguire in fase di scavo si basa essenzialmente sulle seguenti attività:

- indagini geofisiche sistematiche in avanzamento (profondità di indagine : 100 m circa in avanzamento al fronte di scavo);
- sondaggi da eseguire al fronte di scavo o nel contorno del cavo stesso (lunghezza : 30-40 m);
- rilievo sistematico del fronte di scavo o dei paramenti del tunnel;
- misure della temperatura della roccia;
- analisi sistematica dei parametri di scavo della TBM.

Il tipo di indagine effettivamente realizzabile sarà anche definito in funzione del metodo di scavo nelle diverse tratte del tunnel.

Va sottolineato che la metodologia proposta si basa sull'esecuzione sistematica di indagini indirette (indagini geofisiche) e indagini dirette (sondaggi a distruzione e/o a carotaggio continuo) nonché, laddove possibile in funzione del metodo di scavo, sull'osservazione diretta e sulla caratterizzazione dell'ammasso e sull'interpretazione congiunta dell'insieme dei dati così ottenuti.

Caratterizzazione dei materiali di scavo / Siti di destinazione

Le indagini previste sono finalizzate alla caratterizzazione dei materiali di scavo e dei siti di destinazione (siti di deposito). Questo piano indagini è redatto in accordo con la normativa vigente.

La caratterizzazione dei siti di produzione e quindi del materiale di

La définition des sites de production et donc des matériaux d'excavation, se fait par la réalisation de forages selon des spécificités techniques établies afin d'empêcher la contamination accidentelle des échantillons prélevés. Les échantillons, représentatifs du matériau extrait, sont prélevés à la cote de creusement des tunnels en projet. Les échantillons sont destinés à des analyses chimiques servant à évaluer d'éventuels dépassements du seuil de contamination des concentrations des paramètres définis au cours des phases précédentes du projet.

Pour caractériser le tronçon de creusement le long de la Vallée Cenischia, il faut prévoir également des échantillonnages et des analyses d'eau de la nappe aquifère.

En ce qui concerne les sites de destination, le programme a été rédigé de manière spécifique. Les études à mener consistent en des forages et forages à la pelle pour prélever des échantillons à analyser de façon similaire à celle faite pour les sites de production. Les études sur les sites de destination incluent des forages et des essais géotechniques in situ et en laboratoire pour la caractérisation géotechnique des terrains. Ces données serviront à vérifier la compatibilité environnementale entre sites de production (matériaux d'excavation) et sites de destination (sites de dépôt) et mettre en place des opérations de réhabilitation environnementale.

Le programme de reconnaissances inclut aussi le programme de caractérisation radiométrique des matériaux d'excavation afin de vérifier leur usage comme matériaux de construction, de compléter les protocoles de gestion des matériaux d'excavation et comme intégration des études à caractère environnemental.

La caractérisation prévoit l'analyse des échantillons prélevés sur les forages environnementaux et des échantillons des carottages déjà prélevés au cours de précédentes campagnes de reconnaissance. Les analyses consistent à mesurer les paramètres suivants:

scavo avviene mediante l'esecuzione di sondaggi eseguiti secondo le specifiche tecniche definite per impedire la contaminazione accidentale dei campioni prelevati. I campioni, rappresentativi del materiale scavato, sono prelevati alla quota di scavo dei tunnel in progetto. I campioni sono destinati ad analisi chimiche per la valutazione di eventuali superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione dei parametri definiti nella fase di progettazione preliminare dell'opera.

Per la caratterizzazione della tratta di scavo in sotterraneo lungo la Valle Cenischia sono da prevedere inoltre campionamenti e analisi di acqua della falda acquifera.

Per i siti di destinazione, viene proposto un set di indagini specifico sulla base della tipologia dei siti stessi. Le indagini da eseguire consistono in sondaggi e pozzetti esplorativi per il prelievo di campioni da analizzare similmente a quanto fatto per i siti di produzione. Le indagini presso i siti di destinazione includono sondaggi e prove geotecniche in sito ed in laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei terreni. Questi dati serviranno alla verifica della compatibilità ambientale tra i siti di produzione (materiale di scavo) e i siti di destinazione (siti di deposito) e alla progettazione degli interventi di recupero ambientale.

Il Piano di Indagini include anche il programma di caratterizzazione radiometrica dei materiali di scavo finalizzata alla valutazione della loro idoneità al reimpiego come materiali da costruzione, al completamento dei protocolli di gestione della attività di scavo e del marino e come integrazione degli studi di carattere ambientale.

La caratterizzazione prevede l'analisi dei campioni prelevati dai sondaggi ambientali e di campioni delle carote già prelevate nel corso di precedenti campagne indagine. Le analisi consistono nella misura dei seguenti parametri:

- misura delle concentrazioni di ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ;

- mesure des concentrations de ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ;
 - calcul de l'Indice d'activité pour vérifier l'adéquation à l'utilisation du marin comme matériau de construction ;
 - gamma-ray log en forage pour les nouveaux forages ;
 - comparaison des mesures en forage avec les analyses en carothèque ;
 - détermination du ratio spécifique d'émanation de radon E (en Bq kg-1 h-1).
- calculo dell'Indice di attività per la valutazione dell'idoneità al reimpiego del marino come materiale per costruzioni;
 - Gamma-ray log in foro per i nuovi sondaggi;
 - confronto delle misure in foro con le analisi in caroteca;
 - determinazione del rateo specifico di emanazione di radon E (in Bq kg-1 h-1).

1. Introduzione

L'attuale fase si inquadra nell'ambito del Progetto di Riferimento in Variante della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione, finalizzata alla progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia a seguito della prescrizione 235 della delibera CIPE 19/2015.

In particolare, la variante sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto a quelli proposti nel precedente Progetto Definitivo Approvato, coinvolgendo nuove aree e determinando la delocalizzazione del punto di attacco dello scavo del lato italiano del Tunnel di Base alla Maddalena di Chiomonte, in precedenza previsto a Susa.

Il Progetto in Variante (PRV) oltre a comportare lo spostamento del principale cantiere da Susa alla Maddalena di Chiomonte, nel settore ove è attualmente presente il cantiere del cunicolo esplorativo della Maddalena, determina anche la necessità di progettare e realizzare nuove opere in sotterraneo, tra le quali la nuova Galleria della Maddalena 2 dalla quale partirà lo scavo del lato italiano del Tunnel di Base che procederà, una volta arrivato alla quota di progetto del tunnel, verso l'imbocco di Susa.

Insieme alla Galleria Maddalena 2 saranno realizzate ulteriori nuove opere quali le Gallerie di Connessione 1 e 2 e la Galleria della Maddalena 1bis, le prime due funzionali dal punto di vista logistico e di ventilazione per la fase di scavo dell'opera principale, la Galleria Maddalena 1bis con funzione di stoccaggio irreversibile delle rocce verdi provenienti dallo scavo del Tunnel di Base.

Il Progetto in Variante prevede anche lo spostamento del Sito di Clarea nel settore compreso tra le Pk (BP) 51+700 – 52+600 del Tunnel di Base.

Relativamente la configurazione dei cantieri, in aggiunta allo spostamento del cantiere principale da Susa alla Maddalena, la Variante Sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto alla fase di Progetto Definitivo Approvato, coinvolgendo aree non interessate in precedenza dalle fasi di costruzione del progetto, tra i quali la realizzazione di un nuovo sito di cantiere nel comune di Salbertrand, l'utilizzo di una piccola area in località Colombera nel comune di Chiomonte.

Infine la variante al progetto determina anche l'eliminazione della Galleria di ventilazione di Clarea e del suo relativo cantiere.

Il programma delle indagini descritto nelle pagine che seguono nasce dalle necessità evidenziate dal Progetto di Variante e costituisce la proposta per la realizzazione delle indagini geognostiche nelle fasi successive a quelle del Progetto di Variante (PRV).

In particolare, l'insieme delle indagini proposte è stato organizzato secondo un approccio che distingue due fasi successive:

- FASE 1: indagini geognostiche che saranno realizzate durante la fase di Progetto Esecutivo. Si tratta di sondaggi geognostici e indagini geofisiche dalla superficie a completamento delle indagini realizzate durante la fase di Progetto Definitivo; questo tipo indagini riguarda l'insieme dei siti che fanno parte del progetto (linea ferroviaria in galleria e a cielo aperto e siti di cantiere) (§ 3);
- FASE 2: indagini in corso d'opera che saranno realizzate durante l'avanzamento degli scavi. Si tratta di indagini realizzate al fronte di scavo differenziate sulla base delle criticità messe in evidenza nel Progetto Definitivo e non superabili attraverso la realizzazione di indagini dalla superficie. Come evidenziato nella Relazione di Analisi

dei Rischi (n° doc. PRV_C3B_0088_00-06_00-10-01), l'esecuzione di indagini sistematiche in avanzamento in fase di scavo va vista come una delle principali misure di mitigazione dei rischi individuati (§ 4).

Le indagini proposte saranno integrate con analisi di tipo ambientale per la caratterizzazione dei materiali di scavo e per verificare la compatibilità dei siti di destinazione. Inoltre, le analisi dovranno essere definite sulla base della normativa in vigore in materia di emissioni di radioattività naturale nei materiali da costruzione (§ 5).

Il presente piano, quindi, illustra la tipologia e l'ubicazione di indagini proposte sulla base degli elementi di criticità e approfondimento emersi sia durante il Progetto Definitivo sia durante le precedenti campagne geognostiche e di rilievo geologico di superficie, dallo studio e analisi della documentazione bibliografica messa a disposizione del Raggruppamento TSE3 da LTF durante gli studi del Progetto Preliminare e dalle informazioni, ad oggi disponibili, relativamente lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena terminato a febbraio 2017.

Per quanto riguarda le indagini previste per la fase 1, il programma comprende sondaggi meccanici geologici e geotecnici corredati da prove in situ, diagrafie e prove di laboratorio e da indagini geofisiche, quali sismica, geoelettrica, gravimetria. Si prevede, inoltre, il monitoraggio della risorsa idrica sotterranea e superficiale implementando le attività in corso e realizzate da LTF.

Le indagini proposte per la Fase 2 sono definite principalmente in funzione di due fattori: i) le incertezze esistenti circa le previsioni geologiche lungo l'asse delle opere e ii) il metodo di scavo previsto (TBM o tradizionale) che determina la tipologia di indagini che è logisticamente e concretamente possibile realizzare.

Il presente piano indagini riguarda il tracciato studiato nel Progetto Definitivo derivante dall'ottemperanza delle prescrizioni del CIPE (punto 1.1 dell'allegato della delibera CIPE del 3/8/2011) che considera il progetto realizzato in più fasi studiato a livello di fattibilità tra il Progetto Preliminare e il Progetto Definitivo e dal successivo aggiornamento per ottemperare, in territorio italiano, alla prescrizione n. 235 della delibera CIPE 19/2015 relativamente alla Variante Sicurezza, per la quale è prevista l'analisi e progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia, coinvolgendo aree non precedentemente interessate dalle fasi di costruzione del progetto e studiando alcune soluzioni alternative per le opere di Progetto Definitivo Approvato.

In particolare, il presente piano indagini si riferisce alla fase 1, ovvero, per la parte italiana, al settore tra la frontiera franco-italiana e l'interconnessione alla linea storica a Bussoleno.

Le indagini proposte sul territorio italiano rispondono alla necessità di verificare tutte le opere in base al DM 14.01.08 anche in riferimento alla normativa in materia di valutazione di azione sismica con misurazione diretta e indiretta delle onde "s".

Nella fase compresa tra il Progetto Definitivo e il Progetto Esecutivo, le indagini sono finalizzate a precisare e a confermare alcuni parametri geotecnici dei terreni e dell'ammasso roccioso, in modo da permettere il miglioramento delle soluzioni progettuali del Progetto Definitivo in riferimento al quadro geotecnico e all'assetto idrogeologico.

L'ubicazione delle indagini è stata definita anche sulla scorta dei risultati delle indagini della fase PP, fase PD e delle prime risultanze del ritorno di esperienza dello scavo del cunicolo della Maddalena

Sulla base dell'insieme dei dati di terreno acquisiti e dei sondaggi realizzati nella fase di PD sono stati pianificati sistemi di monitoraggio geotecnico necessari alla valutazione dei rischi legati a fenomeni franosi, valanghivi e a eventuali cedimenti in superficie in

corrispondenza dei siti di cantiere e di imbocco delle gallerie e delle aree di deposito definitivo (rif. PRV C3B 0123 26-70-01 10-02; PRV C3B 0082 26-47-05 10-01; PRV C3B 0125 33-03-00 10-01; PRV C3B 0045 30-03-20 10-01; PRV C3B 0046 30-03-50 10-01).

Per facilità di localizzazione dei siti di indagine e per le tematiche affrontate, il piano indagini è stato suddiviso secondo la distinzione tra i settori del Tunnel di Base, della Piana di Susa e della galleria e della tratta di interconnessione e dei siti di deposito.

Inoltre le nuove aree relative al cantiere di Salbertrand, l'area di Colombera e parte del Cantiere della Maddalena rappresentano settori in cui sono necessarie una serie di indagini dedicate.

In generale i siti di indagine sono stati identificati in modo che risultino i più appropriati per gli aspetti geologici da studiare adattando dal punto di vista logistico dell'indagine (accesso della macchina, etc.).

Sinteticamente, il programma è stato finalizzato per:

1. la caratterizzazione del basamento roccioso a quota tunnel: assetto litostratigrafico e andamento di elementi strutturali (zone di fratturazione e di faglia, master joint) che potrebbero essere intercettati dalle opere sotterranee e la loro caratterizzazione idrodinamica e geomeccanica;
2. la ricostruzione dell'interfaccia basamento/depositi quaternari per i settori in cui le opere sono caratterizzate da basse coperture (imbocchi dei tunnel e zone di pianura);
3. la caratterizzazione e parametrizzazione geotecnica e idrogeologica dei terreni in cui è prevista la realizzazione di opere all'aperto come il ponte sulla Dora a valle della galleria d'interconnessione e della realizzazione degli imbocchi dei tunnel.
4. Caratterizzazione geotecnica dei siti di destinazione e caratterizzazione ambientale dei terreni dei siti prescelti per la redazione Piano di Utilizzo dei Materiali di scavo.

Per quanto attiene la risorsa idrica sotterranea e di superficie, si ritiene che il monitoraggio in corso sia adeguato alle necessità di progetto e permette la caratterizzazione idrogeochimica e idrodinamica (e.g. livello di falda) degli acquiferi che potrebbero essere coinvolti nelle fasi di realizzazione delle opere di progetto. I punti di misura (attualmente fanno parte della rete di monitoraggio complessivamente 163 punti di misura, 142 della rete totale e 21 della rete Maddalena) potranno comunque essere implementati inserendo nel piano di monitoraggio i sondaggi previsti e attrezzati per la misurazione della falda.

2. Criticità da indagare durante le prossime fasi di progetto e realizzazione delle opere

Le criticità emerse dalla consultazione della documentazione esistente e dai rilievi geologici di superficie, risultano essere specifiche per ogni singola tratta. Per questo motivo le indagini proposte sono state differenziate settore per settore.

Sulla Figura 3, di seguito riportata, si richiama il contesto geologico.

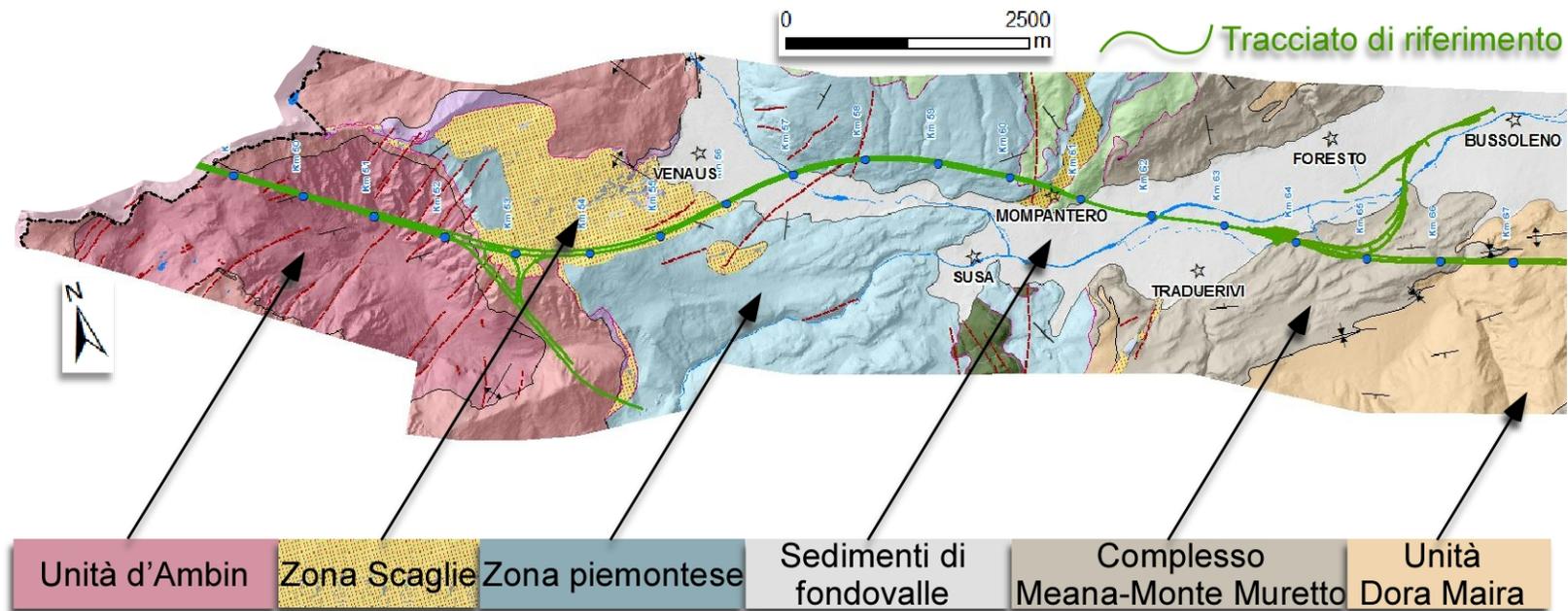


Figura 3 - Inquadramento geologico del nuovo tracciato in territorio italiano. (ZST: Zona a Scaglie Tettoniche)

ZST

2.1 Tunnel di base – Lato Italia

Il settore del tunnel di base è stato oggetto di studi e approfondimenti molto dettagliati, che hanno permesso di definire il modello geologico di riferimento generale con un grado di affidabilità coerente con le reali possibilità di indagare la quota del tunnel a causa delle elevate coperture topografiche (anche maggiori di 2000 m) e della limitata possibilità di accesso dei luoghi (contesto alpino). Le principali criticità, emerse durante le precedenti fasi progettuali sono connesse ai seguenti elementi:

1. la scarsa conoscenza dell'assetto geologico a quota tunnel del tratto di interfaccia tra gli gneiss aplitici dell'Unità dell'Ambin e la Zona a Scaglie Tettoniche (ZST) nell'intorno della pk 55, del cui andamento non si hanno prove certe.
2. caratterizzazione della Zona a Scaglie Tettoniche alla quota del piano delle gallerie che, si trovano a passare a una quota inferiore rispetto alle gallerie dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux benché in posizione traslata verso nord; le criticità di tipo idrogeologico sono fortemente connesse all'interazione tra gli scavi del tunnel e le venute in galleria. In particolare non si conosce l'attuale geometria della falda ospitata in roccia e drenata dalle opere della centrale idroelettrica di Pont Ventoux che a distanza di tempo avrà raggiunto un nuovo equilibrio idrodinamico.
3. l'attraversamento in sotterraneo dell'alveo del T. Cenischia con un lungo tratto di galleria, tra le pk 56 e 57, impostato in depositi sciolti rappresenta un elemento di criticità in relazione a diversi problemi:
 - a. l'esatta posizione dell'interfaccia roccia/alluvioni;
 - b. lo stato di saturazione dei depositi quaternari;
 - c. effetto di sbarramento (effetto diga) del deflusso idrico sotterraneo;
 - d. effetto di cedimenti in seguito allo scavo in terreni sciolti saturi;
 - e. la possibile presenza di livelli alluvionali limosi e/o di depositi glaciali di fondo a bassa permeabilità, che potrebbero confinare verso l'alto delle falde in pressione;
 - f. l'ubicazione di un'opera sotterranea in un contesto fortemente antropizzato.
4. Relativamente alla zona d'imbocco est del tunnel di base, le criticità maggiori sono connesse sia alla caratterizzazione geotecnica e geomeccanica dell'ammasso sia alla definizione del rischio legato alla presenza di rocce amiantifere. Il settore d'imbocco è posizionato in corrispondenza del contatto tettonico tra i calcescisti della Zona Piemontese e le coperture del Basamento Dora Maira tra cui sono intercalate le rocce basiche afferenti alle unità di pertinenza oceanica (Rocce Verdi).
5. Per quanto attiene alle criticità connesse ai rischi naturali in superficie, si segnala le condizioni di instabilità del versante dovuta alla caduta massi e crolli in parete del settore di Urbiano (versante destro del rio Giandola).

Lo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena è terminato a febbraio 2017, tuttavia al momento della stesura di questo elaborato i dati a disposizione relativamente al ritorno di esperienza della Maddalena fanno riferimento ai primi 5500 m di cunicolo. Lo scavo ha quindi permesso di raccogliere molte informazioni utili relativamente alla prima parte del tracciato del Tunnel di Base nel Massiccio di Ambin, in particolar modo nei litotipi della Serie di Clarea. Rimangono ancora da verificare le incertezze correlate allo scavo della tratta tra la Val Clarea e il Confine di Stato, che saranno analizzate una volta a disposizione le

informazioni complete provenienti dallo scavo e comunque nella per la redazione del Progetto Esecutivo, tra queste incertezze vi sono:

- la presenza di fasci di fratturazione subverticali tipo Master Joint, proiezione alla quota galleria, comportamento sotto elevate coperture, caratteristiche delle eventuali zone di faglia, presenza di acqua;
- il comportamento dell'ammasso roccioso sotto una copertura che supera i 2000 m.

Si sottolinea tuttavia che, sebbene non ancora analizzato nel dettaglio come i primi 5500 m, anche lungo l'ultimo tratto di cunicolo non vi sono state notizie di importanti criticità o problematiche coinvolgenti lo scavo. Per tale settore inoltre, anche dove le informazioni derivanti dallo scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena non dovessero essere sufficienti a identificare alcune delle criticità descritte, si ritiene che queste siano in gran parte affrontabili e superabili attraverso le indagini in corso di scavo.

2.2 Galleria Maddalena 2 e Cantiere della Maddalena

Le criticità connesse alla realizzazione della galleria Maddalena 2, delle gallerie di connessione 1 e 2., della Galleria della Maddalena 1 Bis e al sito di Clarea sono legate principalmente, al pari del settore del tunnel di base che sarà realizzato sotto elevate coperture all'interno dei litotipi del massiccio d'Ambin, alla definizione delle condizioni geomeccaniche e idrogeologiche al fronte di scavo. In questo caso i dati derivanti dalla realizzazione della galleria esplorativa della Maddalena permettono di caratterizzare con maggior precisione il tipo di comportamento dell'ammasso roccioso durante gli scavi e di definire con maggior dettaglio le indagini che saranno realizzate in corso di scavo.

Analogamente a quanto previsto per il Tunnel di Base, non sono previste indagini da realizzare a partire dalla superficie soprattutto a causa delle elevate coperture topografiche e della scarsa possibilità di accesso ai siti di indagine.

È unicamente previsto un sondaggio sub-orizzontale a carotaggio all'imbocco della Galleria Maddalena 2 allo scopo di caratterizzare i primi metri di scavo e ubicare con precisione il passaggio tra i depositi e il substrato roccioso.

Per quanto riguarda l'area di cantiere della Maddalena il sito è in buona parte coincidente con l'attuale cantiere che serve lo scavo della galleria esplorativa, in parte già indagato. Pertanto, in questo settore, sono state previste alcune indagini integrative nei settori ove si prevede di allargare l'attuale perimetro del cantiere necessarie alla caratterizzazione geotecnica e idrogeologica dei siti delle opere di cantiere e delle infrastrutture connesse all'impianto di ventilazione.

2.3 Area di Colombera

L'area di Colombera, di limitate dimensioni (circa 3000 m²), sarà destinata al solo uso di parcheggi. Sarà quindi necessario eseguire delle indagini necessarie per poter caratterizzare il sito dal punto di vista geotecnico e idrogeologico e in generale i terreni che si prevede di occupare.

2.4 Cantiere di Salbetrand

In quest'area di cantiere le principali lavorazioni e destinazioni d'uso dei terreni, riguardano lo stoccaggio temporaneo dei materiali di scavo provenienti dagli scavi delle gallerie e dal Tunnel di Base lato Italia in attesa della loro valorizzazione, l'impianto per la valorizzazione dei materiali lo stoccaggio temporaneo dei materiali valorizzati e l'impianto di prefabbricazione dei conci. È anche prevista la realizzazione di un ponte provvisorio sulla

Dora a supporto del cantiere. Sarà pertanto necessario eseguire delle indagini necessarie alla caratterizzazione geotecnico e idrogeologico del sito.

2.5 Piana di Susa

Durante le precedenti fasi di progetto di Revisione del PP e del PD, sono stati eseguiti 8 sondaggi geognostici con misurazione dei principali parametri geotecnici, 4 durante la revisione del PP (S65, S66, S67 e S72) e 4 nell'ambito della revisione del PD (S68, S68/2, S69 e S71). Sette di essi (S65, S66, S67, S68, S68/2, S69 e S71) sono ubicati nell'area dell'autoporto di Susa. In particolare:

- i sondaggi S65, S66 e S67 sono stati realizzati in corrispondenza della Stazione Internazionale di Susa;
- i sondaggi S68/2 e S68 in corrispondenza, rispettivamente, della spalla nord e sud del ponte sulla Dora;
- i sondaggi S69 e S71 in corrispondenza della Stazione di Sicurezza

Il sondaggio S72, al di fuori dell'autoporto, è stato realizzato in prossimità del cantiere dell'imbocco Traduerivi della galleria d'interconnessione.

Nella stessa Piana di Susa e di Bussoleno è stata realizzata, inoltre, un'importante campagna di indagini geofisiche di tipo MASW per la determinazione dei parametri sismici (V_{s30}) dei terreni in corrispondenza delle opere principali.

I dati disponibili, quindi, permettono una ricostruzione fedele della stratigrafia dei terreni di fondazione delle opere non correnti in progetto e la loro caratterizzazione geotecnica e sismica.

Io monitoraggio mensile in corso relativo alle misure della soggiacenza della falda ha permesso di ricostruire la geometria e struttura della falda superficiale e i rapporti idrodinamici tra la falda superficiale e il corso della Dora (cfr. Figura 4). Sarà comunque necessario continuare il monitoraggio della falda nei sondaggi realizzati in modo da verificare le variazioni stagionali e le eventuali interazioni con le quote di fondazione.

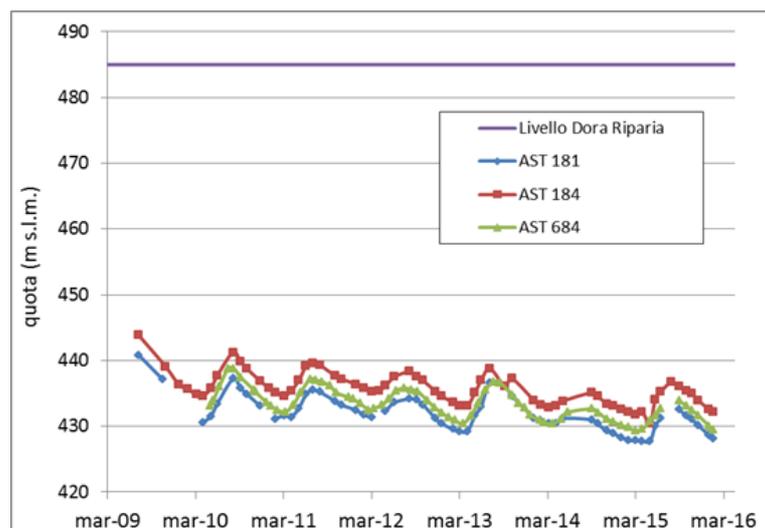


Figura 4 – Andamento della falda freatica nella Piana di Susa.

2.6 Interconnessione di Bussoleno

Il settore delle opere di interconnessione con la linea storica nel nodo ferroviario di Bussoleno è composta da una tratta in galleria di circa 2 km e da una tratta all'aperto di circa 1,2 km.

2.6.1 Galleria d'interconnessione

I dati disponibili utilizzati per la definizione del Progetto Definitivo derivano dalla consultazione della documentazione relativa allo scavo della galleria autostradale Prapontin e della galleria ferroviaria Tanze i cui tracciati si sviluppano parzialmente in prossimità o adiacenza delle due canne delle gallerie di interconnessione.

Per questo, è di primaria importanza ricostruire l'assetto geometrico dei corpi rocciosi affioranti, tenendo in considerazione, i seguenti elementi di criticità:

1. L'effetto di sovrapposizione tra le morfostrutture dovute a fasi plicative successive e all'azione d'erosione glaciale nel substrato roccioso con formazione di spillway channel (osservabili nei settori di Meana e Mattie) potrebbe costituire un elemento di criticità nei settori di imbocco dove la presenza di una marcata morfologia a gradoni può far presupporre la presenza di vallecole riempite da depositi quaternari che potrebbero essere intercettati nei primi 200 metri circa della galleria determinando una condizione di fronte di scavo misto con terreni sciolti e roccia.
2. La scistosità rilevata in superficie, in media è orientata con immersione verso NNW e inclinazione media di circa 40°. Tale giacitura dovrebbe essere mantenuta anche alla quota del tunnel, ove non sono da escludersi locali fenomeni di spalling (flambage de bancs) caratterizzati da crolli localizzati lungo i reni e i paramenti all'interno della galleria.
3. Sono invece state osservate fasce di fratturazione con orientazione N - S formate da giunti lisci, subverticali, a persistenza ettometrica (detti master joint). L'estensione laterale di queste fasce è di circa 50 m. Un esempio è presente più a est nei pressi del Rio Gerardo. Queste strutture, qualora dovessero essere presenti anche nel settore delle gallerie d'interconnessione, potrebbero avere un ruolo da un punto di vista idrogeologico.
4. In questo settore le criticità legate alla presenza di Rocce Verdi sono estremamente ridotte e circoscritte alla presenza di lenti e boudins basici e ultrabasici di potenza da metrica a decametrica associati ai calcemicascisti di copertura del Complesso Meana – M.te Muretto. Inoltre l'analisi al microscopio ottico di campioni prelevati in affioramento ha evidenziato l'assenza di minerali amiantiferi al loro interno (doc. PP2/C3B/TS3/0037/A).

Le indagini proposte sono definite in modo da permettere la parametrizzazione geomeccanica e la caratterizzazione idrodinamica dell'ammasso a quota tunnel e il ruolo idrogeologico dei sistemi di discontinuità osservati sul terreno. La caratterizzazione dell'ammasso roccioso sarà determinante, inoltre, per verificare il suo comportamento geomeccanico anche in relazione al fatto che le gallerie di interconnessione saranno realizzate in un settore in cui la presenza delle gallerie autostradali e ferroviarie esistenti può costituire una criticità costruttiva.

Per i settori d'imbocco delle due canne della galleria d'interconnessione è prevista la realizzazione di indagini geofisiche che permettano la ricostruzione del contatto tra il basamento roccioso e i depositi quaternari soprattutto in funzione della possibile presenza di vallecole sepolte (spillway channel).

2.6.2 Tratta d'interconnessione a cielo aperto

Per quanto riguarda la tratta d'interconnessione all'aperto, le criticità maggiori sono connesse alla caratterizzazione geotecnica delle rocce e dei terreni. In particolare, la caratterizzazione geotecnica è necessaria per dimensionare le opere dell'imbocco delle gallerie, dei ponti Dora 2 e dei rilevati necessari a mantenere la livelletta del tracciato fino al sito di Bussoleno.

Durante la fase di progettazione definitiva è stata realizzata una campagna di indagini geofisiche di tipo MASW che ha permesso la caratterizzazione sismica (V_s30) dei terreni alluvionali ai fini delle NTC2008 in vigore. In particolare gli stendimenti sono stati realizzati nella tratta di rilevato di raccordo tra il ponte sulla Dora (a valle dell'imbocco Bussoleno della galleria d'interconnessione) e il nodo ferroviario di Bussoleno.

Inoltre, questo settore presenta una forte antropizzazione che dovrà essere presa in considerazione sia per la scelta delle indagini da svolgere.

3. Programma delle indagini di fase 1 – Progetto Esecutivo

Nelle tabelle che seguono sono elencati e dettagliati i siti di indagine previsti per la fase di progettazione esecutiva. Queste saranno realizzate dalla superficie.

Come per le fasi precedenti, anche per le prossime, ad ogni indagine proposta, sia essa un sondaggio o una indagine geofisica, è stato associato un livello di priorità secondo la scala ALTA, MEDIA e BASSA.

L'attribuzione del livello di priorità è stata eseguita seguendo i seguenti criteri:

- a) Tipologia dell'indagine in relazione alla criticità da investigare. Per esempio, per la definizione dell'assetto idrogeologico della Val Cenischia, la realizzazione di un piezometro è prioritario rispetto a una stesa geoelettrica.
- b) Tempi di realizzazione dell'indagine in relazione ai tempi del PE. Indagini che prevedono tempi di realizzazione prolungati (sondaggi in roccia profondi) hanno priorità minore rispetto a quelli i cui tempi di realizzazione sono ridotti. In questo caso si ribadisce l'importanza delle indagini in corso d'opera che permettono un dettaglio maggiore in funzione dell'analisi dei rischi realizzata in fase di PD.
- c) Presenza di dati pregressi: per esempio, nei settori in cui non esistono dati pregressi i sondaggi hanno priorità più elevata di quelli ubicati nei settori dove è possibile ricavare informazioni affidabili da indagini già eseguite anche nell'ambito di altre opere presenti nel territorio. In questo senso, rimangono di priorità elevata le indagini previste nel settore della galleria d'interconnessione dove, se pur disponibili i dati as-built delle gallerie autostradali e ferroviarie, l'affidabilità del modello resta bassa.

I dati caratteristici di ciascun indagine proposta sono dettagliati nella Tabella 1 e nella Tabella 2 a cui si rimanda per la consultazione delle profondità di indagine previste, dell'inclinazione e dell'orientazione dei sondaggi meccanici e della lunghezza e orientazione delle indagini geofisiche nonché del grado di priorità.

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

| Sondaggio | | Lunghezza | Inclinazione | Opera | Settore | Comune | | Sito | Proprietà | Obiettivo di caratterizzazione e definizione | |
|-----------|----------|-----------|--------------|-----------------------------|--|-------------|--|-----------------|-------------------|---|---|
| [n] | [codice] | [m] | [°vert] | | | | | | | Indagini geologiche-geomeccaniche-geotecniche | Indagini ambientali |
| 1 | S060 | 600 | 30 | tunnel di base | Zona a Scaglie | Giaglione | SS25 Moncenisio / Imbocco Finestra 4 | | ANAS / IREN | interfaccia Unità Ambin/Zona a scaglie di Venaus - proprietà geomeccaniche rocce a quota tunnel | caratterizzazione radiometrica valutazione eventuali contaminazioni o valori del fondo naturale superiori alle CSC |
| 2 | S061 | 120 | verticale | tunnel di base | Val Cenischia | Venaus | Uffici IREN | | IREN | assetto litostratigrafico e idrogeologico | valutazione eventuali contaminazioni o valori del fondo naturale superiori alle CSC nel sottosuolo e nella falda |
| 3 | S062 | 120 | verticale | tunnel di base | Val Cenischia | Venaus | Circonvallazione - Fraz. Berno | strada comunale | | assetto litostratigrafico e idrogeologico - caratterizzazione geotecnica | valutazione eventuali contaminazioni o valori del fondo naturale superiori alle CSC nel sottosuolo e nella falda |
| 4 | S062/2 | 120 | verticale | tunnel di base | Val Cenischia | Venaus | Sito ENEL | | ENEL | piezometria falda acquifera di fondovalle Cenischia | |
| 5 | S062/3 | 120 | verticale | tunnel di base | Val Cenischia | Venaus | sito manutenzione IREN | | IREN | piezometria falda acquifera di fondovalle Cenischia | |
| 6 | S094 | 500 | orizzontale | tunnel di base | Imbocco Susa-Mompantero | Susa | C. Vazone | | nd | assetto geologico strutturale e riconoscimento di minerali asbestiformi | |
| 7 | S100 | 30 | verticale | tunnel di base | Imbocco Susa-Mompantero | Susa | C. Vazone | | nd | assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 8 | S070 | 120 | verticale | Piana di Susa | Cantiere imbocco Traduerivi gallerie di interconnessione | Susa | Loc. Traduerivi | | Scuola elementare | piezometria conoide Rio Scaglione | |
| 9 | S101 | 300 | orizzontale | gallerie d'interconnessione | Imbocco Traduerivi | Susa | Loc. Traduerivi | | nd | strutturazione fragile e geomeccanica rocce di basamento nel settore d'imbocco | caratterizzazione radiometrica valutazione eventuali contaminazioni o valori del fondo naturale superiori alle CSC |
| 10 | S073 | 50 | verticale | gallerie d'interconnessione | binario dispari | Mattie | Galleria Prapontin A32 | | SITAF | strutturazione fragile e geomeccanica rocce di basamento a quota tunnel | caratterizzazione radiometrica valutazione eventuali contaminazioni o valori del fondo naturale superiori alle CSC |
| 11 | S102 | 150 | orizzontale | gallerie d'interconnessione | Imbocco Bussoleno | Bussoleno | Imbocco Est galleria ferroviaria Tanze | | RFI ? | strutturazione fragile e geomeccanica rocce di basamento nel settore d'imbocco | caratterizzazione radiometrica valutazione eventuali contaminazioni o valori del fondo naturale superiori alle CSC |
| 12 | S103 | 30 | verticale | interconnessione all'aperto | Ponte interconnessione | Susa | Spalla Sud Ponte Dora | | ANAS ? | assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 13 | S104 | 30 | verticale | interconnessione all'aperto | Ponte interconnessione | Susa | Spalla Nord Ponte Dora | | ANAS ? | assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 14 | S105 | 30 | verticale | interconnessione all'aperto | nodo ferroviario Bussoleno | Bussoleno | Sito RFI | | RFI | assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 15 | S1_PRV | 30 | verticale | area di Colombera | Area di Colombera | Chiomonte | Cantiere TELT | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 16 | S2_PRV | 30 | verticale | area di Colombera | Area di Colombera | Chiomonte | Cantiere TELT | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 18 | S3_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Cantiere Salbertrand | Salbertrand | area Gorlier e Itinera | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 19 | S4_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Cantiere Salbertrand | Salbertrand | area Gorlier e Itinera | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 20 | S5_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Cantiere Salbertrand | Salbertrand | area Gorlier e Itinera | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 21 | S6_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Cantiere Salbertrand | Salbertrand | area Gorlier e Itinera | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 22 | S7_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Cantiere Salbertrand | Salbertrand | area Gorlier e Itinera | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 23 | S8_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Cantiere Salbertrand | Salbertrand | area Gorlier e Itinera | | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

| | | | | | | | | | | |
|----|----------------|-----|-------------|----------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------|--|--|
| 24 | S09_PRV | 30 | verticale | Galleria Maddalena 2 | Cantiere Maddalena | Chiomonte | Cantiere TELT | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 25 | S10_PRV | 30 | verticale | Galleria Maddalena 2 | Cantiere Maddalena | Chiomonte | Cantiere TELT | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 26 | S11_PRV | 150 | orizzontale | Galleria Maddalena 2 | Imboco Maddalena 2 | Chiomonte | Cantiere TELT | | Sondaggio orizzontale al portale Maddalena 2, ubicazione interfaccia depositi/roccia | |
| 27 | S12_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Ponte Cantiere Salbertrand | Chiomonte | Spalla Nord Ponte Dora | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica Ponte provvisorio su Dora Riparia | |
| 28 | S13_PRV | 30 | verticale | Cantiere Salbertrand | Ponte Cantiere Salbertrand | Chiomonte | Spalla Sud Ponte Dora | | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | |
| 29 | S14_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 30 | S15_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 31 | S16_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 32 | S17_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 33 | S18_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 34 | S19_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 35 | S20_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 36 | S21_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 37 | S22_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 38 | S23_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Torrazza Piemonte | Torrazza Piemonte | Cava in località Cascina Goretta | COGEFA SPA | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 39 | S24_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Caprie | Caprie | Cava in località Truc Le Mura | ING. ROTUNNO SRL | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 40 | S25_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Caprie | Caprie | Cava in località Truc Le Mura | ING. ROTUNNO SRL | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 41 | S26_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Caprie | Caprie | Cava in località Truc Le Mura | ING. ROTUNNO SRL | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 42 | S27_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Caprie | Caprie | Cava in località Truc Le Mura | ING. ROTUNNO SRL | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |
| 43 | S28_PRV | 10 | verticale | Sito di deposito | Caprie | Caprie | Cava in località Truc Le Mura | ING. ROTUNNO SRL | Assetto litostratigrafico e caratterizzazione geotecnica/sismica | Caratterizzazione ambientale del sito e verifica della compatibilità tra materiale di scavo da mettere a deposito ed il sito, determinazione dei valori del fondo naturale |

Indice di priorità

 ALTA
 MEDIA
 BASSA

Tabella 1 - Elenco dei sondaggi meccanici proposti per la fase di Progetto Esecutivo. Per ogni sondaggio è indicato il livello di priorità

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

| | Indagine geofisica | Lunghezza / Area investigata | Opera | Settore | Comune | Sito | Obiettivo di caratterizzazione e definizione |
|-----|--------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------------|--|--|
| [n] | [codice] | [tipo] | [m / kmq] | | | | |
| 1 | A01 | sismica ibrida | 250 m | tunnel di base | Val Cenischia | Venaus Fondovalle Cenischia | interfaccia basamento/depositi quaternari |
| 2 | A02 | gravimetria | 0,5 kmq | tunnel di base | Val Cenischia | Venaus Fondovalle Cenischia | assetto litostratigrafico fondovalle Cenischia |
| 3 | A18 | sismica ibrida | 3x200 m | tunnel di base | Imbocco Susa | Susa / Mompantero Imbocco est Tunnel di Base | strutturazione fragile e geomeccanica rocce di basamento nel settore d'imbocco |
| 4 | A04 | sismica ibrida | 3x150 m | galleria d'interconnessione | Imbocco Traduerivi | Susa Imbocco ovest Galleria Intercon. / Tunnel Orsiera | strutturazione fragile e geomeccanica rocce di basamento nel settore d'imbocco |
| 5 | A05 | sismica a riflessione | 800 m | galleria d'interconnessione | nodo Orsiera | Mattie Strada comunale | andamento discontinuità strutturali (i.e faglie/giunti) |
| 6 | A12 | sismica ibrida | 3x150 m | galleria d'interconnessione | Imbocco Bussoleno | Bussoleno Imbocco Est galleria ferroviaria Tanze | strutturazione fragile e geomeccanica rocce di basamento nel settore d'imbocco |
| 7 | A01_PRV | sismica a rifrazione | 110 m | - | Area di Colombera | Chiomonte Cantiere TELT | Assetto litostratigrafico e interfaccia basamento/depositi quaternari |
| 8 | A02_PRV | sismica a rifrazione | 200 m | - | Cantiere di Salbertrand | Salbertrand Cantiere TELT | Assetto litostratigrafico e interfaccia basamento/depositi quaternari |
| 9 | A03_PRV | sismica a rifrazione | 160 m | - | Cantiere di Salbertrand | Salbertrand Cantiere TELT | Assetto litostratigrafico e interfaccia basamento/depositi quaternari |
| 10 | A04_PRV | sismica a rifrazione | 250 m | - | Cantiere di Salbertrand | Salbertrand Cantiere TELT | Assetto litostratigrafico e interfaccia basamento/depositi quaternari |
| 11 | MASW03_PRV | MASW | 180 m | - | Cantiere di Salbertrand | Salbertrand Cantiere TELT | Caratterizzazione sismica |
| 12 | MASW04_PRV | MASW | 155 m | - | Cantiere di Salbertrand | Salbertrand Cantiere TELT | Caratterizzazione sismica |
| 13 | MASW01_PRV | MASW | 100 m | Galleria Maddalena 2 | Cantiere della Maddalena | Chomonte Cantiere TELT | Caratterizzazione sismica |
| 14 | MASW02_PRV | MASW | 90 m | Galleria Maddalena 2 | Cantiere della Maddalena | Chomonte Cantiere TELT | Caratterizzazione sismica |
| 15 | A05_PRV | sismica a rifrazione | 120 m | Galleria Maddalena 2 | Cantiere della Maddalena | Chiomonte Cantiere TELT | Assetto litostratigrafico e interfaccia basamento/depositi quaternari |
| 16 | A06_PRV | sismica a rifrazione | 80 m | Galleria Maddalena 2 | Cantiere della Maddalena | Chiomonte Cantiere TELT | Assetto litostratigrafico e interfaccia basamento/depositi quaternari |

Indice di priorità

| | |
|--|-------|
| | ALTA |
| | MEDIA |
| | BASSA |

Tabella 2 - Elenco delle indagini geofisiche proposte per la fase di Progetto Esecutivo. Per ogni indagine è indicato il livello di priorità

3.1 Tunnel di Base - Settore dell'Ambin

Questo settore risulta già indagato durante le precedenti fasi di progetto: in particolare i dati geologici in profondità sono stati acquisiti con la realizzazione dei sondaggi Alpetunnel S1, S5, S4 e S6bis.

Tuttavia, rimangono criticità residue che saranno indagate soprattutto in fase di scavo tramite indagini in avanzamento. Per la fase di Progetto Esecutivo è proposta la realizzazione di un sondaggio profondo (S60) di cui, di seguito, sono descritti gli obiettivi e le caratteristiche tecniche.

La presenza di altri sondaggi nello stesso settore e la possibilità di realizzare indagini in corso di scavo, determina la priorità bassa di questo sondaggio.

3.1.1 Obiettivi delle indagini

I sondaggi non forniscono dati specifici per la previsione delle condizioni geologiche alla quota delle opere e in un tratto di transizione tra contesti geologici, geomeccanici e idrogeologici differenti.

Gli obiettivi da perseguire tramite la perforazione del sondaggio S60 sono:

- a) Verificare la potenza della Zona a Scaglie di Venaus e l'andamento di zone di taglio connesse al contatto tettonico;
- b) Eseguire la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso a quota tunnel in una formazione in cui si presenterà il rischio di scavo in rocce molto dure e abrasive (gneiss aplitici d'Ambin) e con livello di rischio Rockburst medio (coperture comprese tra 600 e 850 metri);
- c) Determinare il grado di permeabilità e di carico idraulico presente all'interno del massiccio a quota tunnel e nella parte soprastante e di verificare la variazione di permeabilità con la profondità. In particolare, la realizzazione del sondaggio permetterebbe di verificare i carichi idraulici all'interno della Zona a Scaglie Tettoniche che si ipotizzano perturbati dal drenaggio delle opere sotterranee connesse alla centrale idroelettrica di Pont Ventoux;

Gli obiettivi delle indagini, qualora non realizzate, saranno comunque perseguiti in fase di scavo con sondaggi in avanzamento.

3.1.2 Caratteristiche delle indagini

Il sondaggio (S60) ha profondità di circa 600 metri e sarà realizzato lungo il versante orientale del Massiccio dell'Ambin. Esso è localizzato nel territorio comunale di Giaglione all'interno delle proprietà della società Iren e in prossimità dell'imbocco della galleria "Finestra 4" facente parte delle opere della centrale idroelettrica di Pont Ventoux. Si tratta del medesimo sito nel quale era stato realizzato il sondaggio S6 il quale, però, non raggiunge la quota attuale del Tunnel di Base (Figura 4); il sondaggio si è fermato in corrispondenza di un livello di carniole.

Le caratteristiche del sondaggio S60 sono elencate nella Tabella 1.

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

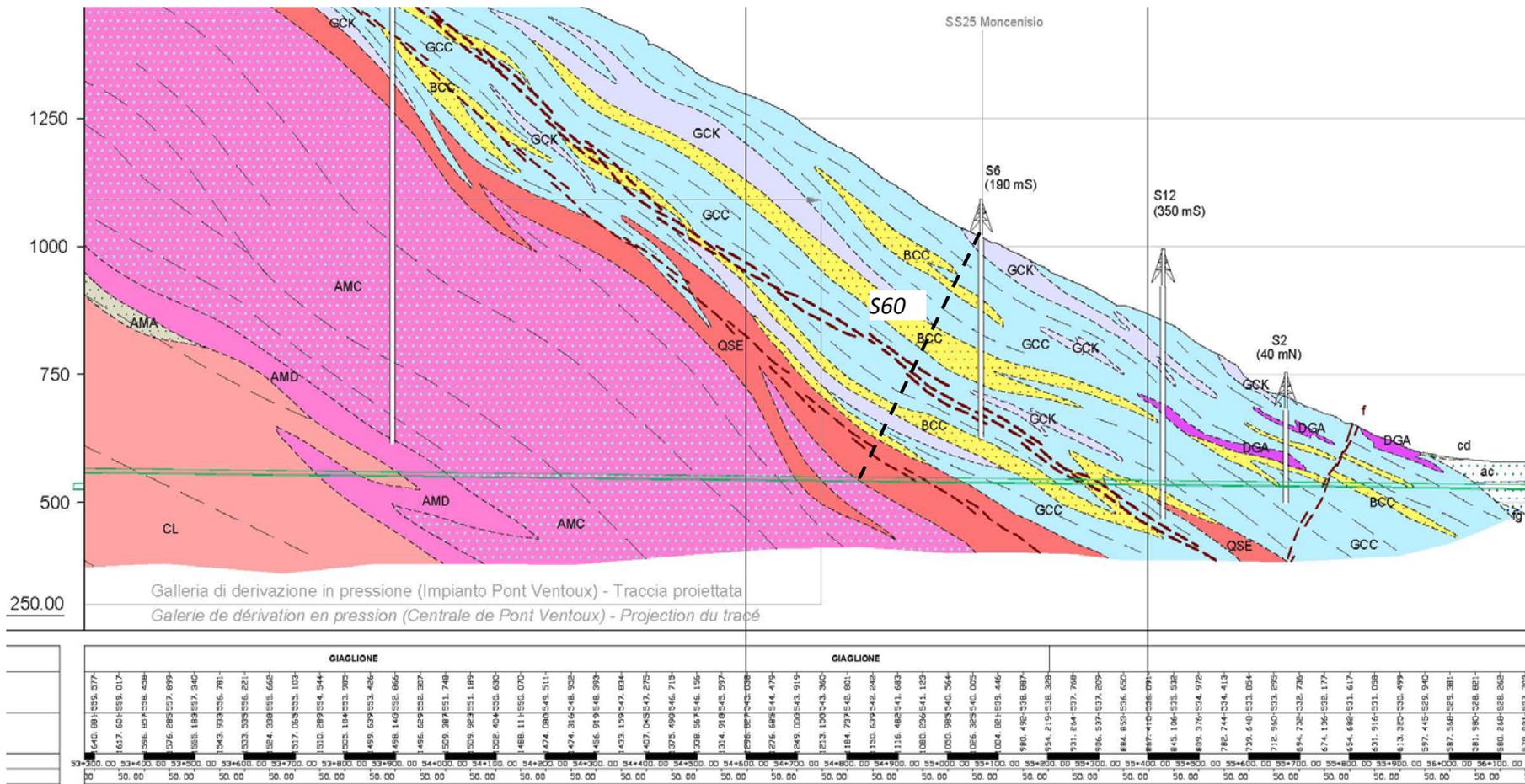


Figura 5 – La traiettoria ie la posizione indicativa del sondaggio S60 lungo il profilo geologico in asse al tunnel di base è indicata dalla linea tratteggiata nera.

Il sondaggio dovrà essere a carotaggio continuo e predisposto per la realizzazione di prove in foro, di diagrafie e di misure piezometriche (equipaggiamento con tubo piezometrico, finestrato in corrispondenza dei livelli acquiferi). Bisogna inoltre prevedere l'intercettazione di più livelli acquiferi anche in pressione. In tal caso, sarebbe opportuno isolare le singole venute d'acqua e predisporre l'installazione di celle piezometriche che siano in grado di misurare le variazioni piezometriche di ciascun livello. È auspicabile l'installazione di sonde in grado di misurare in continuo, oltre che il livello piezometrico, la conducibilità elettrica delle venute d'acqua isolate.

La misurazione del livello della falda in continuo permette, in fase ante operam, di verificare le variazioni dell'acquifero in condizioni non perturbate dallo scavo e quindi di verificarne il regime idrogeologico e l'origine dei flussi. In fase di costruzione sarà possibile verificare in superficie le interazioni tra lo scavo, le eventuali venute d'acqua intercettate e la falda in roccia.

3.2 Tunnel di Base – Settore di Venaus-Cenischia

Nel tratto di attraversamento in sotterraneo del fondovalle Cenischia, le indagini saranno principalmente finalizzate alla caratterizzazione idrodinamica dell'acquifero di fondovalle e serviranno a costituire la rete di monitoraggio idrogeologico per verificare eventuali variazioni piezometriche durante lo scavo del tunnel di base.

3.2.1 Obiettivi delle indagini

Le indagini sono volte a descrivere:

1. caratterizzazione dell'acquifero di fondovalle Cenischia e dei carichi idraulici da attendersi durante lo scavo della galleria.
2. l'andamento dell'interfaccia basamento / depositi quaternari e a caratterizzare il comportamento dei terreni attraversati;
3. verificare l'intersezione del tracciato del tunnel di base con gli stessi depositi di fondovalle e con strutture fragili come la faglia di Venaus; questo al fine di determinare l'esatta lunghezza di scavo nei depositi sciolti e per definire la geometria della base dell'acquifero per le valutazioni di tipo idrogeologico

3.2.2 Caratteristiche delle indagini

Si prevede di realizzare (in fase di PE) una stesa di sismica a riflessione o ibrida (A01) con direzione perpendicolare al versante e al tracciato e centrata sul punto di transizione con la pianura. Tale indagine ha priorità bassa (Tabella 1).

I risultati della sismica, sarebbero accoppiati ai dati ottenuti con la realizzazione di due sondaggi a carotaggio continuo (S61 e S62; vedere Figura 7). Essi sono ubicati nella piana alluvionale della Valle Cenischia in asse al tracciato. L'S61 è ubicato in destra orografica all'interno degli spazi esterni prospicienti gli uffici di IREN. La priorità di tale sondaggio è alta per l'esecuzione delle analisi idrogeologiche previste e per la verifica delle modalità di scavo della tratta definite nel PD. Il sondaggio S62, invece, è ubicato in posizione più assiale della valle e la sua priorità è media per la sua posizione prossima al Torrente Cenischia che influenza la qualità dei dati di tipo idrogeologico.

I sondaggi che verranno strumentati a piezometri (codici S62/2 e S62/3) sono ubicati rispettivamente 1 km a nord del tracciato e 600 metri circa a sud del tracciato. La loro posizione è stata proposta anche in funzione della logistica per la loro realizzazione.

Entrambi, infatti si trovano su terreni di proprietà di ENEL e IREN. La priorità è alta per il sondaggio S62/3 (piezometro di valle) e media per l'S62/2 in funzione delle informazioni che possono fornire per le analisi idrogeologiche (vedere Tabella 1).

Nel settore di fondovalle Cenischia, la realizzazione di un'indagine gravimetrica (A02) è prevista in fase PE con priorità alta al fine di raccogliere maggiori informazioni riguardo l'assetto stratigrafico dei depositi quaternari di fondovalle. I risultati di questo tipo di indagine saranno accoppiati ai dati stratigrafici dei sondaggi di nuova realizzazione e già esistenti in questo settore (S18, S19 e S20).

I sondaggi hanno una lunghezza tale da raggiungere il basamento roccioso al di sotto dei depositi di fondovalle e devono essere attrezzati con tubo piezometrico per la misura del livello della falda freatica. Nel caso dell'intercettazione di livelli acquiferi profondi in pressione, sarà necessario isolare tali livelli e predisporre l'installazione di sonde piezometriche per il loro monitoraggio.

Le caratteristiche dei sondaggi sono specificate nella Tabella 1.

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

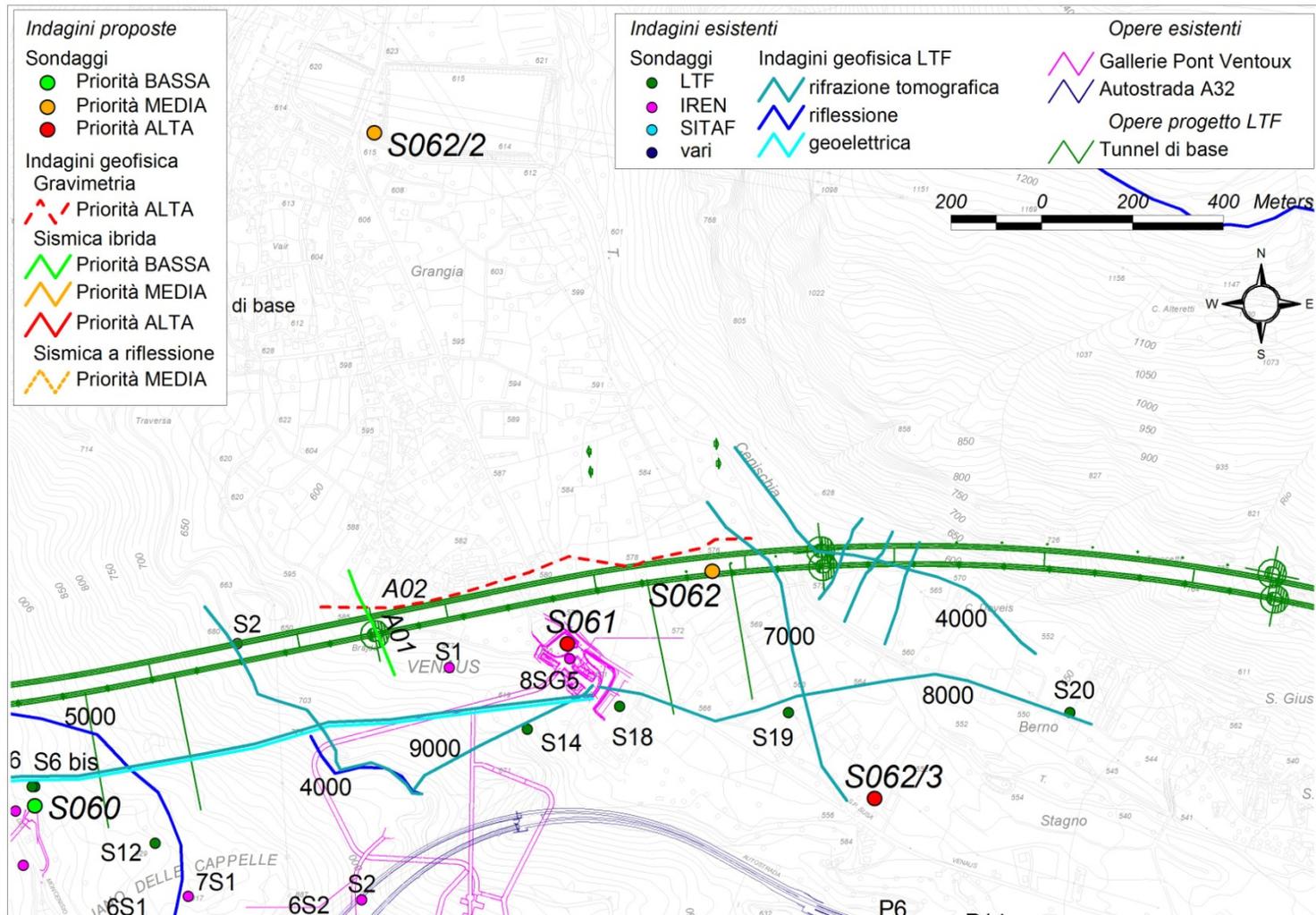


Figura 7 - Indagini previste nel settore del Cenischia. Sono indicate anche le indagini già realizzate e utilizzate nel corso del PD.

3.3 Tunnel di Base – Settore di Mompantero

La soluzione di tracciato scelta determina la necessità di indagare il settore d'imbocco di valle ubicato in territorio comunale di Susa in prossimità di C. Vazone.

3.3.1 Obiettivi delle indagini

Dal punto di vista geologico, il sito è caratterizzato dalla presenza di rocce basiche e ultrabasiche (sequenza ofiolitica) appartenenti al complesso delle unità oceaniche, o Rocce Verdi.

Gli studi precedenti hanno messo in evidenza come in alcuni campioni di roccia prelevati in superficie siano state riconosciute mineralizzazioni contenenti amianto con caratteristiche asbestiformi. Le specie mineralogiche amiantifere sono costituite da tremolite, attinolite e crisotilo e il carattere asbestiforme è particolarmente elevato all'interno delle zone di taglio (doc. PRV C3B 0086 00-04 03-10-03).

L'assetto geologico - strutturale di questo settore, presuppone la realizzazione di indagini puntuali (sondaggi) e areali (rilievi di terreno e geofisica) al fine di valutare la possibilità di attraversare, durante lo scavo della galleria, tratte caratterizzate dalla presenza di minerali asbestiformi. Benchè il Progetto Definitivo abbia considerato la tratta geologicamente omogenea e abbia disposto metodologie di scavo e gestione dei materiali di scavo considerando l'intera tratta compresa tra l'imbocco del tunnel e la pk 60+688 (cioè tra 350-400 metri) scavata in materiali potenzialmente amiantiferi, la finalità principale di queste indagini è quella di definire con precisione la lunghezza del tratto che sarà realizzato effettivamente all'interno delle Rocce Verdi.

3.3.2 Caratteristiche delle indagini

In particolare, si propone la realizzazione delle seguenti indagini dirette e indirette:

- Studio geologico - strutturale e petrografico in asse all'opera
- Sondaggio carotato orizzontale (lunghezza di almeno 200 m e almeno fino a oltrepassare il tratto delle Rocce Verdi ovvero 500 m al massimo)
- Indagine geofisica con stese di sismica mista (riflessione + rifrazione)

3.3.3 Studio petrografico

Sulla base del riconoscimento di fibre asbestiformi di minerali di amianto avvenuto nel corso dello studio petrografico eseguito da LTF nelle fasi precedenti di studio, si propone l'esecuzione preventiva di un ulteriore studio petrografico. Tale studio è finalizzato ad estendere anche in asse e in posizione più prossima al tracciato l'analisi mineralogica e morfologica sulle specie di amianto su campioni in roccia prelevati in superficie.

Lo studio petrografico dovrà quindi prevedere l'esecuzione delle seguenti attività e analisi:

- Studio geologico - strutturale di dettaglio al fine di individuare i siti più idonei al campionamento e alla ricostruzione delle strutture geologiche lungo le quali è sviluppata la formazione di fibre di amianto; contestualmente sarà eseguito il campionamento del materiale lapideo per l'esecuzione delle analisi al microscopio ottico;
- Preparazione delle sezioni sottili. Queste saranno realizzate per l'analisi al microscopio ottico polarizzato secondo modalità classica per l'analisi della roccia intatta (preparazione di sezioni di roccia con spessore 30 micron) e per l'analisi diretta delle fibre isolate (separazione manuale direttamente sul terreno o in

laboratorio tramite macinazione meccanica del campione intatto e preparazione di vetrini con utilizzo di olii ad indice di rifrazione noto); in quest'ultimo caso, le fibre sono immerse in olii a indice di rifrazione specifica per la loro caratterizzazione mineralogica e morfologica;

- Analisi microscopica tramite utilizzo di microscopio ottico polarizzato;
- Analisi quantitativa della presenza di amianto.

Qualora possibile, quest'ultimo passaggio, potrà essere eseguito tramite la determinazione dell'Indice di Rilascio (IR) secondo la normativa vigente. Tuttavia, sarà opportuno verificare la compatibilità di tale procedura con le condizioni di dispersione delle fibre che si prevedono in fase di scavo dell'opera. Infatti, sarà necessario valutare, oltre che alla presenza di fibre libere, la formazione di fibre asbestiformi nel caso in cui la roccia sia sottoposta a stress meccanici (macinazione e abrasione in fase di scavo). Per ogni analisi per la determinazione dell'indice IR i campioni prelevati sul terreno devono essere di almeno 0,5 kg.

3.3.4 Sondaggio meccanico S94

Il sondaggio previsto deve essere realizzato a carotaggio continuo e corredato di prove utili alla caratterizzazione geomeccanica e petrografia del massiccio roccioso. La priorità attribuita a questo sondaggio è media poiché si è già stabilito di trattare la tratta in rocce verdi come interamente potenzialmente contenente minerali d'asbesto.

L'orientazione del sondaggio deve essere scelta, oltre che in funzione dell'orientazione del tracciato (ipoteticamente in direzione N300°E) tenendo in considerazione l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso e la conformazione del versante. In questo settore la scistosità principale ha direzione di immersione circa N295°E con angolo di immersione che aumenta progressivamente entrando nel versante da circa 50 a 70° mentre il versante è esposto verso SW. E' quindi consigliato, tenendo fisso il punto di attacco del sondaggio in corrispondenza dell'asse del tracciato, di prevedere una direzione di perforo compresa tra N300°E e N360°E.

In sintesi, il contesto suggerisce che l'opzione del sondaggio orizzontale con orientazione parallela alla direzione di scavo resta quella privilegiata.

La lunghezza del sondaggio dipenderà dalla lunghezza del tratto nelle Rocce Verdi ; la lunghezza stimata è di 200 - 400 metri ma potrà raggiungere anche 500 metri in modo da investigare una porzione di massiccio sufficientemente rappresentativa al fine di poter dimensionare le strutture per lo scavo del tratto d'imbocco e per lo stoccaggio e lo smaltimento del materiale di smarino.

3.3.5 Ubicazione del sondaggio

La realizzazione del sondaggio orizzontale prevede l'installazione del cantiere nell'area pianeggiante prospiciente al versante a quota di circa 490 m slm e il sito d'attacco del sondaggio deve essere posizionato in corrispondenza o in prossimità dell'imbocco del tunnel di base.

Il sito ottimale per la realizzazione del sondaggio è localizzato ai piedi del versante in corrispondenza dei terreni retrostanti alla casa di riposo in località S. Giacomo. La posizione del punto d'attacco del sondaggio potrà essere spostato verso ovest (fino a 500 metri dal punto indicato per l'imbocco del Tunnel di Base) ma sempre alla base del pendio.

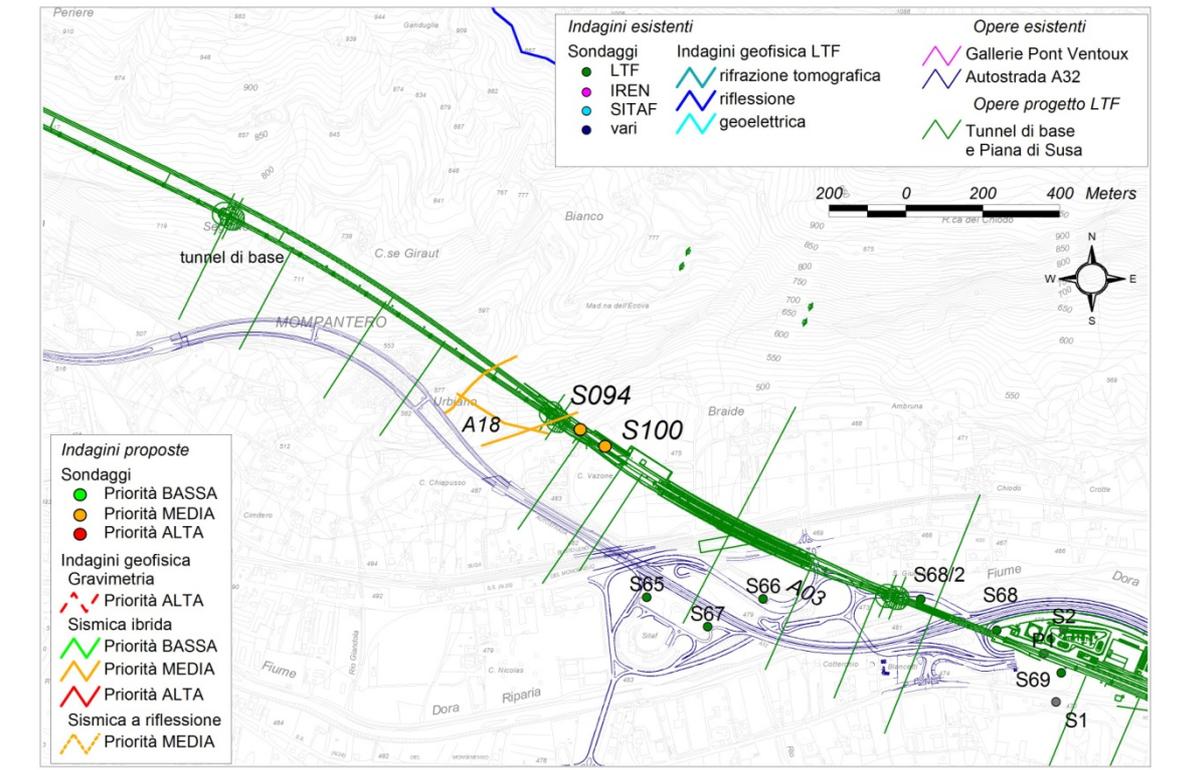


Figura 8 – Ubicazione delle indagini previste in prossimità dell'imbocco del tunnel di base.

3.3.6 Indagini finalizzate al riconoscimento di minerali asbestiformi

Il sondaggio deve essere realizzato a carotaggio continuo in modo da poter realizzare le analisi necessarie al riconoscimento delle fibre asbestiformi. Il campionamento deve infatti permettere la definizione dell'indice di occorrenza e i tenori di fibra amiantifera (in %) e l'indice di rilascio (IR) secondo quanto richiesto dalla norma vigente (DM 14/5/96).

A tale scopo si dovrà prevedere il campionamento della roccia per la realizzazione delle analisi petrografiche e di laboratorio necessarie del tutto simili a quelle descritte per lo studio petrografico di superficie (cfr. § 2 degli allegati). I campioni di roccia devono essere almeno di 0,5 kg.

L'intervallo di campionamento dovrà essere tale da garantire la rappresentatività del campione da analizzare rispetto al volume di materiale scavato di 1000 m³ così come prescritto dalla normativa vigente. Considerando il fronte di scavo medio pari a 90 m² per ciascuna canna, a seconda della litologia attraversata sarà necessario mantenere un passo di campionamento variabile tra 1 e 5 metri.

3.3.7 Cantierizzazione dell'area per la realizzazione del sondaggio

La realizzazione di questo sondaggio deve prevedere la messa in opera di alcuni dispositivi atti alla soluzione delle problematiche connesse ai seguenti temi:

- Tutela del lavoratore
- Stoccaggio e smaltimento dei campioni
- Smaltimento delle acque di lavorazione
- Monitoraggio della concentrazione delle fibre aeree disperse

Le soluzioni che saranno predisposte devono essere realizzate in accordo alla normativa vigente (D.lgs 81/08).

3.3.8 Tavolo tecnico con ARPA

Per la complessità tecnica e procedurale di realizzazione di tale sondaggio, è consigliata la predisposizione di un tavolo tecnico in cui siano coinvolte le autorità competenti quali l'ARPA e la Provincia di Torino che rappresentano gli enti gestori in materia di prevenzione e tutela ambientale.

3.3.9 Sondaggio geotecnico S100

Le indagini nella zona d'imbocco del tunnel di base sono in questa fase completate dalla realizzazione di un sondaggio geotecnico verticale con profondità di almeno 30 metri. La sua finalità è fondamentalmente la caratterizzazione geotecnica dell'area prospiciente l'imbocco del tunnel, area in cui è prevista la realizzazione di una parte di galleria in artificiale e dove è prevista l'installazione delle strutture necessarie al trattamento del materiale potenzialmente amiantifero per il loro stoccaggio all'interno di appositi contenitori e l'invio via treno verso specifici siti di destinazione di Caprie e Torrazza P.te.

Il sondaggio, in priorità media, sarà corredato da specifiche prove in sito e in laboratorio, come indicato in allegato 1.

3.3.10 Indagini geofisiche

La realizzazione di stese sismiche miste (A18) permette di individuare e interpolare i dati di superficie nel sottosuolo soprattutto nel caso di strutture con geometria planare come contatti geologici e fasce di fratturazione. Inoltre, l'accoppiamento con i risultati del sondaggio meccanico permette di estrapolare la continuità laterale delle strutture attraversate dallo stesso sondaggio.

Si propone quindi di realizzare un reticolo di stese sismiche lungo il sondaggio orizzontale. L'orientazione delle stese sismiche deve essere trasversale rispetto alle strutture geologiche riconosciute in superficie e nel sondaggio (p.es. contatti geologici e faglie). Nella fattispecie le stese sismiche dovranno poter individuare le fasce di deformazione e fratturazione che sono orientate circa N60°E in corrispondenza delle quali è potenzialmente più probabile trovare minerali asbestiformi. I risultati dell'indagine sismica saranno tarati rispetto ai dati ottenuti con il sondaggio meccanico.

La lunghezza delle stese è determinata in funzione della profondità di indagine che nel caso specifico varia indicativamente da 20 metri (in corrispondenza del piede del versante ovvero dell'imbocco del tunnel di base) a 150 metri a circa 300 metri dall'imbocco del tunnel.

3.4 Tunnel di base: settore esterno di Mompantero

Gli studi di dettaglio di tipo geomorfologico condotti nell'ambito del Progetto Definitivo (n° doc. PRV C3B 0123 26-70 01-10-02), hanno messo in luce le criticità connesse alla presenza di fenomeni d'instabilità naturale dei versanti del rio Giandula a monte dell'abitato di Urbiano (Figura 9) connessi alla presenza di massi instabili e crolli che potrebbero essere innescati durante le fasi di scavo.

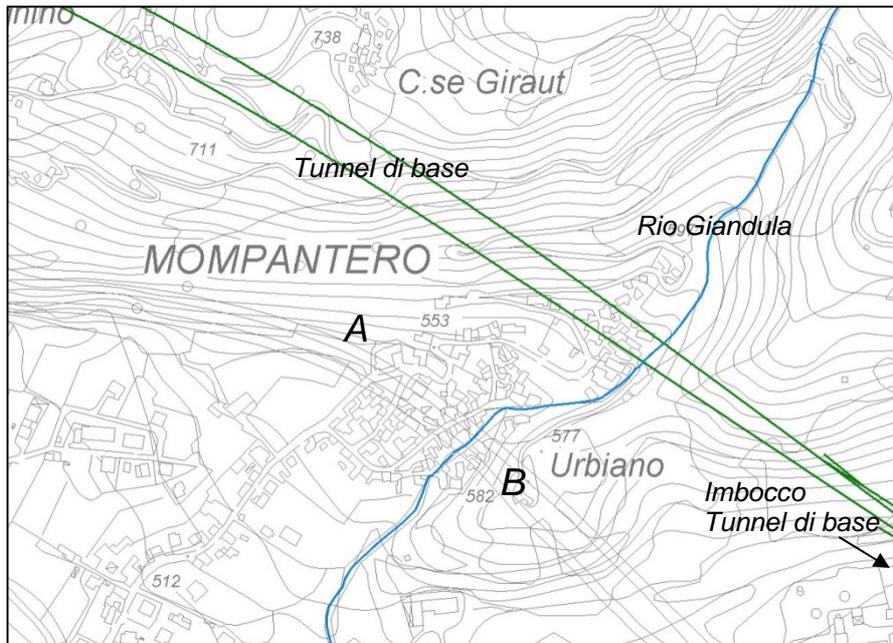


Figura 9 – Stralcio cartografico con indicazione dei versanti che insistono sull'abitato di Urbiano. A: versante destro (esposto a sud), al di sotto del quale lo scavo avverrà con TBM; B: versante sinistro (esposto a nord-ovest), al di sotto del quale lo scavo sarà realizzato con martello pesante. In verde è indicato il tracciato dell'opera in progetto. In azzurro il rio Giandula.

Sulla base dei risultati dello studio per quanto riguarda la progettazione dell'opera oggetto della presente relazione, si fanno le seguenti prescrizioni per le prossime fasi di progetto.

3.4.1 Versante destro del rio Giandula (esposto a sud) al di sotto del quale lo scavo avverrà con TBM

- In via cautelativa, dovranno essere eseguiti interventi di disaggio o chiodatura dei principali massi instabili, la cui ubicazione dovrà essere determinata mediante rilievo topografico di dettaglio e successivo confronto tra la superficie topografica rilevata e la giacitura dei principali giunti presenti nell'ammasso roccioso.
- In sede di Progetto Esecutivo, in corrispondenza di quei massi che non potranno essere rimossi o stabilizzati, dovrà essere installato un sistema di monitoraggio delle vibrazioni in modo da verificare e quantificare le vibrazioni indotte dallo scavo e per rilevare la loro eventuale movimentazione. Tale sistema dovrà essere attivo già durante l'avvicinarsi del fronte di scavo e comunque fin dalle fasi iniziali dello scavo con martellone.
- Dato lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso, caratterizzato in questa zona da fratture aperte, si ritiene necessaria la posa di mire GPS per il monitoraggio di movimenti più profondi. Si propone di inserire i risultati di tale sistema di monitoraggio nella Rete di Monitoraggio dei Fenomeni Franosi di ARPA Piemonte.

3.4.2 Versante sinistro del rio Giandula (esposto a nord-ovest) al di sotto del quale lo scavo sarà realizzato con martello pesante

Lungo il versante sinistro del rio Giandula sono presenti alcune abitazioni. Negli affioramenti presenti al di sopra di queste abitazioni (Figura 10) non sono stati osservati blocchi instabili né porzioni rocciose significativamente fratturate che indichino condizioni di particolare criticità.



Figura 10 – Panoramica presa dalla strada che collega Urbiano a Seghino, verso sud-est. La freccia indica gli affioramenti presenti a monte degli edifici ubicati sulla sponda destra del Giandula.

I risultati dello studio condotto nel presente lavoro sono paragonabili a quelli condotti precedentemente nell'ambito del PRGC di Susa.

In sintesi, considerando che lo scavo del tunnel è previsto con metodologia tradizionale (martello pesante) nella tratta tra l'imbocco Mompantero e il contatto tra unità ofiolitiche e calcescisti filladici, pur considerando improbabile l'insorgere di fenomeni di caduta massi per effetto delle vibrazioni indotte dallo scavo del tunnel sui versanti soprastanti l'abitato di Urbiano, si consiglia l'installazione di pannelli di rete aderente a tergo delle case ubicate sulla sponda sinistra del rio Giandula (settori indicati con le frecce bianche nella Figura 10).

3.5 Imbocco Galleria Maddalena 2 e area di cantiere della Maddalena

La priorità elevata di eseguire indagine geotecniche in corrispondenza del settore d'imbocco della galleria Maddalena 2 e della relativa area di cantiere è determinato dalla necessità di acquisire dati diretti per la parametrizzazione dei terreni di fondazione delle installazioni temporanee di supporto al cantiere e alle opere definitive connesse alla centrale di ventilazione, nonché dalla necessità di ubicare l'interfaccia depositi quaternari-substrato roccioso nella realizzazione dei primi metri di scavo del portale.

3.5.1 Obiettivi delle indagini

Per l'imbocco della Galleria Maddalena 2 è proposto di realizzare un sondaggio geotecnico sub-orizzontale di lunghezza di circa 150 m, finalizzato alla caratterizzazione dei depositi di versante e fondovalle e l'ubicazione del loro contatto con il substrato roccioso.

Per l'area di cantiere è proposto di realizzare una serie di indagini dirette (sondaggi) e indirette (geofisiche) per caratterizzare i depositi di fondovalle da un punto vista geotecnico, idrogeologico e sismico per integrare i dati delle indagini già presenti.

3.5.2 Caratteristiche delle indagini

Si prevede la realizzazione di un sondaggio (S11_PRV) di lunghezza di circa 150 metri in corrispondenza del sito d'imbocco.. La priorità di realizzazione del sondaggio è alta in quanto

necessario per confermare il dimensionamento delle opere di imbocco e della prima parte di scavo in tradizionale previste nel Progetto di Riferimento di Variante (PRV).

Il sondaggio dovrà essere a carotaggio continuo, suborizzontale, si dovranno prelevare campioni su eseguire prove geotecniche di laboratorio.

Nell'area di cantiere della Maddalena si prevede la realizzazione di n. 2 sondaggi carotati (S09_PRV e S10_PRV) ciascuno della profondità di 30 m nei quali sarà predisposta la realizzazione di prove in foro tipo Nspt, prove di permeabilità e prove dilatometriche/pressiometriche attrezzati a piezometro (con tubo piezometrico finestrato) per le misure piezometriche della falda dei depositi quaternari di fondovalle.

Le caratteristiche dei sopra indicati sondaggi sono elencate nella Tabella 1. Inoltre saranno eseguite tutte le prove in sito e in laboratorio come descritto in Allegato 1.

Sempre nell'area di cantiere della Maddalena sono previste delle indagini geofisiche di tipo sismico, in particolare due linee sismiche a rifrazione (A05_PRV e A06_PRV) rispettivamente nell'area del previsto portale della Maddalena 2, due indagini sismiche MASW (MASW01_PRV e MASW02_PRV) rispettivamente uno nel settore in destra e uno in quello di sinistra del Torrente Clarea.

Le caratteristiche delle indagini geofisiche sono elencate nella Tabella 2.

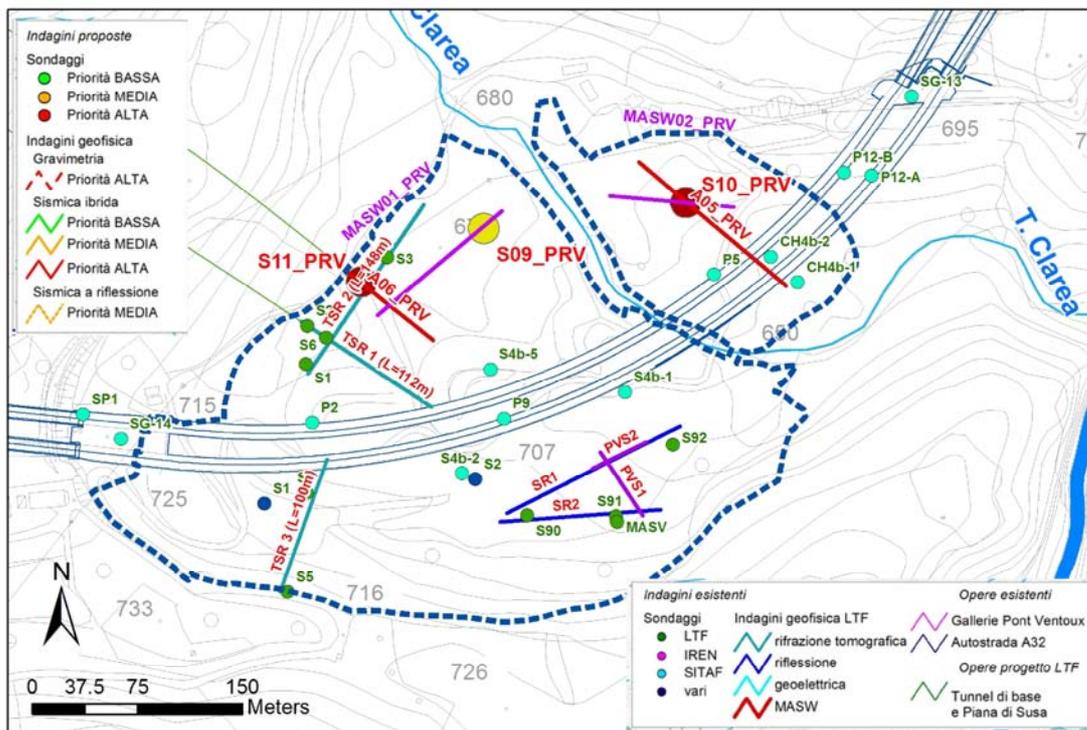


Figura 11 - Indagini previste all'imbocco della galleria Maddalena 2 e nell'area di Cantiere della Maddalena Sono indicati anche le indagini esistenti.

3.5.3 Interventi proposti per la mitigazione dei rischi naturali

I rischi naturali connessi con l'opera in questione sono quelli relativi alla potenziale caduta massi sul cantiere della Maddalena in relazione alla frana a grossi blocchi presente lungo il versante a monte dell'imbocco, inoltre un altro potenziale rischio è quello connesso con i fenomeni legati alla dinamica torrentizia del Torrente Clarea. In generale i rilievi di terreno di dettaglio hanno portato a una migliore definizione dei rischi naturali e dell'influenza degli

stessi sull'opera in progetto; per la caduta massi e l'evoluzione idraulica del Torrente Clarea è stata inoltre realizzata una modellazione numerica che hanno permesso definire gli interventi di monitoraggio, le misure di mitigazione del rischio e le opere di protezione, i cui progetti sono dettagliati negli elaborati specifici a cui si rimanda.

3.6 Area di Colombera

La priorità elevata per l'esecuzione delle indagini geotecniche in quest'area è determinata dalla mancanza di indagini pregresse e dalla necessità di acquisire dati diretti per la parametrizzazione dei terreni di fondazione. Si sottolinea tuttavia che si prevede di utilizzare è di limitate dimensioni (circa 6000 m²) e sarà destinata al solo uso di parcheggi.

3.6.1 Obiettivi delle indagini

Nell'area di Colombera si è proposto di realizzare n.2 indagini dirette (sondaggi) e n.1 indirette (geofisiche) con la finalità di caratterizzare i depositi ivi presenti (naturali e antropici) da un punto vista geotecnico, idrogeologico e sismico.

3.6.2 Caratteristiche delle indagini

Si prevede la realizzazione di n. 3 (S1_PRV e S2_PRV) ciascuno della profondità di 30 m nei quali sarà predisposta la realizzazione di prove in foro tipo Nspt, prove di permeabilità e prove dilatometriche/pressiometriche e attrezzati a piezometro (con tubo piezometrico finestrato) per le misure piezometriche della falda dei depositi quaternari di fondovalle.

Le caratteristiche dei sopra indicati sondaggi sono elencate nella Tabella 1. Inoltre saranno eseguite tutte le prove in sito e in laboratorio come descritto in Allegato 1.

Sempre nell'area di Colombera è prevista un'indagine geofisica di tipo sismico, in particolare una linea sismica a rifrazione (A01_PRV) all'incirca allineata sui due previsti sondaggi.

Le caratteristiche dell'indagine geofisica è descritta nella Tabella 2.

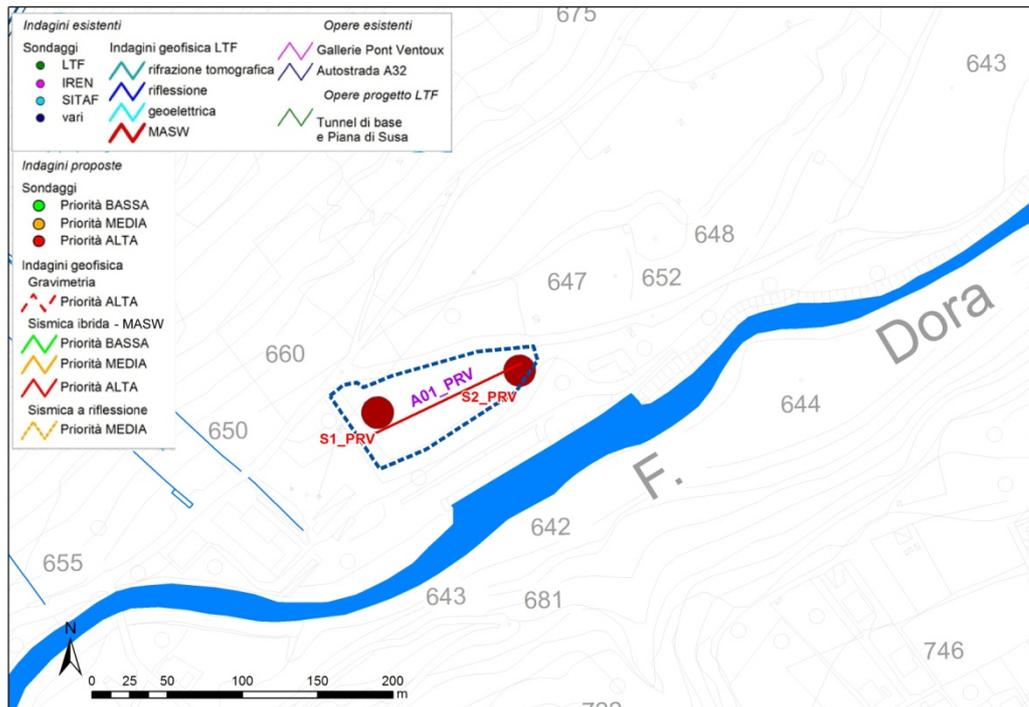


Figura 12 - Indagini previste nell'area di Colombera

3.7 Area di Cantiere di Salbertrand

La priorità elevata per l'esecuzione delle indagini geotecniche in quest'area è determinata dalla limitatezza delle conoscenze in quanto all'interno del perimetro del cantiere sono presenti solo due sondaggi dei quali si hanno a disposizione soltanto dati parziali. Pertanto, sia in considerazione delle limitate informazioni, sia per l'essenzialità dell'area e delle previste destinazioni d'uso, si rende necessario acquisire dati diretti per la parametrizzazione dei terreni di fondazione delle installazioni di cantiere e della progettazione del ponte provvisorio sulla Dora Riparia.

3.7.1 Obiettivi delle indagini

Nell'area di Salbertrand si è proposto di realizzare una serie di indagini dirette (sondaggi) e indirette (geofisiche) con la finalità di caratterizzare da un punto di vista geotecnico idrogeologico i depositi di fondovalle ivi presenti.

3.7.2 Caratteristiche delle indagini

Si prevede la realizzazione di n. 8 (S3_PRV, S4_PRV e S5_PRV, S6_PRV, S7_PRV, S8_PRV, S12_PRV e S13_PRV) ciascuno della profondità di 30 m nei quali sarà predisposta la realizzazione di prove in foro tipo Nspt, prove di permeabilità e prove dilatometriche/pressiometriche e attrezzati a piezometro (con tubo piezometrico finestrato) per le misure piezometriche della falda dei depositi quaternari di fondovalle.

Le indagini saranno eseguite nelle aree in cui è previsto il maggior carico dal punto di vista delle opere di cantiere o delle destinazioni d'uso a supporto delle lavorazioni. In particolare nell'area in cui sarà stoccato il materiale di risulta degli scavi in attesa di essere valorizzato (S3_PRV e S4_PRV), nell'area ove è previsto l'impianto di valorizzazione dei materiali (S5_PRV), nel settore di produzione dei conci prefabbricati (S6_PRV), nell'area destinata allo stoccaggio dei materiali valorizzati in attesa di essere inviati alle aree di utilizzo (S7_PRV e

S8_PRV) e sulle spalle del ponte provvisorio sulla Dora Riparia ad uso del cantiere (S12_PRV e S13_PRV).

Le caratteristiche dei sopra indicati sondaggi sono elencate nella Tabella 1. Inoltre saranno eseguite tutte le prove in sito e in laboratorio come descritto in Allegato 1.

Sempre nell'area di Salbertrand, in aggiunta ai sondaggi sopra citati, sono previste n. 5 indagini geofisiche di tipo sismico, in particolare n.3 linee sismiche a rifrazione (A02_PRV, A03_PRV e A04_PRV), ciascuna linea sismica è allineata a una coppia dei sondaggi precedenti e n.2 indagini sismiche di tipo MASW.

Le caratteristiche delle indagini geofisiche sono elencate nella Tabella 2.

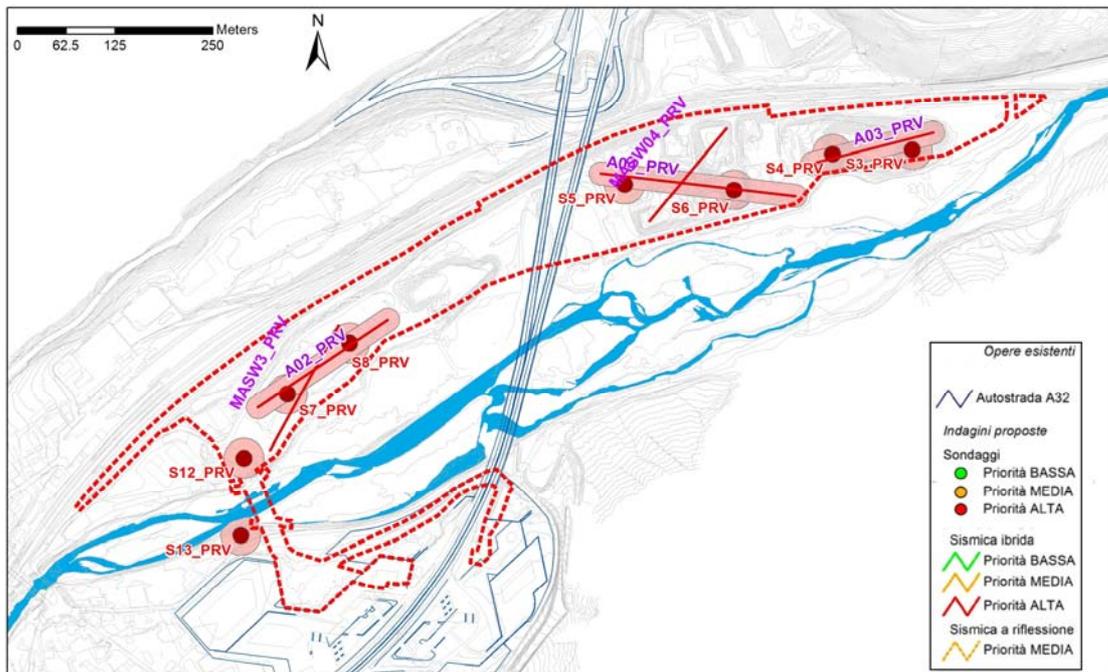


Figura 13 - Indagini previste nell'area del cantiere di Salbertrand

3.8 Piana di Susa

Durante la fase di Progetto Definitivo sono stati realizzati 4 sondaggi geotecnici (S68, S68/2, S69 e S71) oltre che diverse stese sismiche di tipo MASW che hanno permesso di caratterizzare il settore della Piana di Susa.

Il piano indagini per la fase di PE, si limiterebbe alla realizzazione di un sondaggio attrezzato a piezometro nel settore del conoide del Rio Scaglione per verificare le possibili interazioni tra le aree di cantiere e i flussi idrici impostati all'interno dello stesso conoide. Si sottolinea che il sondaggio attrezzato a piezometro S70 ha priorità bassa (Tabella 1).

Nella figura seguente è rappresentata l'ubicazione del sondaggio S70 unitamente ai sondaggi già realizzati nel settore della Piana di Susa.



Figura 14 – Ubicazione delle indagini da realizzare nella Piana di Susa e delle indagini già realizzate nelle precedenti fasi di progetto.

3.9 Gallerie d'interconnessione di Bussoleno

Il presente piano indagini rappresenta il primo livello di raccolta di dati in profondità tramite indagini geognostiche dirette e indirette. Esso è stato elaborato esclusivamente sulla base dei rilievi di terreno eseguiti durante le fasi di studio precedenti e dettagliati durante il Progetto Definitivo.

Bisogna tuttavia tenere in considerazione che il settore interessato è attraversato dalla galleria autostradale Prapontin e dalla galleria ferroviaria Tanze; l'acquisizione dei nuovi dati sarà quindi confrontata con i dati che derivano dalle esperienze di scavo di suddette gallerie.

I settori d'imbocco presentano criticità specifiche: l'imbocco ovest prevede lo scavo dei cameroni d'imbocco del futuro Tunnel dell'Orsiera; l'imbocco est si troverà affiancato all'imbocco della galleria ferroviaria Tanze il cui tracciato corre per circa 250 metri con uno scarto inferiore ai 50 metri rispetto all'asse della canna del binario pari.

3.9.1 Contesto geologico

Le gallerie d'interconnessione si svilupperanno interamente all'interno dei litotipi del basamento cristallino dell'unità Dora Maira. In particolare, lo scavo interesserà esclusivamente i calcemicascisti delle coperture Dora Maira (Complesso di Meana - M.te Muretto).

Le osservazioni di superficie hanno messo in evidenza la presenza di intercalazioni di rocce verdi nelle quali è potenzialmente possibile che si trovino minerali amiantiferi. Si tratta di ridotte e circoscritte lenti e boudins basici e ultrabasici di potenza da metrica a decametrica associati ai calcemicascisti di copertura del Complesso Meana – M.te Muretto. L'analisi al microscopio ottico di campioni prelevati in affioramento durante la campagna di rilievo di

terreno 2008 (n° doc. PP2 C3B 0037 00-02-02 10-01 Relazione geologica di sintesi) ha evidenziato l'assenza di minerali amiantiferi al loro interno.

Lo scavo della tratta d'imbocco lato Traduerivi avviene con coperture ridotte (5-10 metri) in un settore in cui l'ammasso roccioso si presenta alterato su almeno i primi 2-3 metri. Inoltre, la presenza di depositi sciolti di riempimento dei canali di erosione glaciale potrebbe determinare condizioni di scavo con fronte misto (roccia / depositi sciolti) sui primi 300 metri.

L'imbocco est verso Bussoleno presenta condizioni simili a quelle dell'imbocco ovest (Traduerivi) anche se le coperture aumentano più rapidamente sui primi 300 metri (da 5 a 30 metri).

In corrispondenza degli imbocchi non sono previsti piani di monitoraggio nella fase di Progetto Esecutivo. I monitoraggi in corso d'opera dovranno invece prevedere misure in superficie per valutare possibili cedimenti che potrebbero verificarsi in relazione allo scavo delle tratte a basse coperture.

3.9.2 Obiettivi delle indagini

1. Assetto geologico - strutturale dei settori d'imbocco ovest ed est;
2. assetto geologico - strutturale a quota tunnel e valutazione delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso anche in relazione alla presenza delle altre opere sotterranee adiacenti;
3. caratterizzazione della circolazione idrica all'interno del massiccio;
4. verificare la presenza di rocce amiantifere

3.9.3 Caratteristiche delle indagini

- Sondaggi
- Indagini geofisiche

I sondaggi previsti sono volti ad indagare il massiccio a quota tunnel. Sono previsti 3 sondaggi (S101, S73 e S102) variamente inclinati e con lunghezza compresa tra 50 e 300 metri. I sondaggi hanno tutti priorità alta tranne il sondaggio S101 con priorità media (vedere Tabella 1). I sondaggi S101 e S102, realizzati in corrispondenza degli imbocchi hanno inclinazione orizzontale e sono diretti in asse alle gallerie. Essi sono accoppiati alla realizzazione di stese sismiche di tipo ibrido (o misto) che permetterà di estendere le osservazioni dei sondaggi al settore interessato dallo scavo degli imbocchi.

Il sondaggio S73, verticale, è previsto a partire da un by-pass della galleria Prapontin il cui tracciato si trova altimetricamente al di sopra delle gallerie d'interconnessione binario dispari di circa 25 metri.

I sondaggi dovranno essere a carotaggio continuo e predisposti per la realizzazione di prove in foro, delle diagrafie e delle misure piezometriche (equipaggiamento con tubo piezometrico finestrato in corrispondenza dei livelli acquiferi). Bisogna inoltre prevedere l'intercettazione di più livelli acquiferi anche in pressione. In tal caso, sarebbe opportuno isolare le singole venute d'acqua e predisporre l'installazione di celle piezometriche che siano in grado di misurare le variazioni piezometriche di ciascun livello. È auspicabile l'installazione di sonde in grado di misurare in continuo il livello piezometrico e la conducibilità elettrica delle venute d'acqua isolate.

I dati dei sondaggi saranno compendati dalla realizzazione di indagini sismiche miste (A04, zona d'imbocco ovest, e A12 zona d'imbocco est) e da una stesa sismica a riflessione (A05)

opportunamente orientate rispetto alle strutture individuate in superficie e alla loro proiezione in profondità.

L'indagine A04 è ubicata nel tratto d'imbocco ovest e consiste in 3 profili paralleli con orientazione circa N - S. La stessa configurazione può essere utilizzata per le stese dell'indagine A12.

Nel tratto di pianura prospiciente all'imbocco di monte, è invece prevista la realizzazione di stese di sismica tipo MASW per la misura del parametro Vs30. I dati stratigrafici per la loro interpretazione potranno essere riferiti a quanto osservato nel sondaggio S72 realizzato nella precedente fase di PP.

Nel tratto di valle, invece, sono disponibili i risultati dell'indagine MASW realizzata durante il Progetto Definitivo (Figura 15).

L'ubicazione delle indagini é indicata in Figura 15.

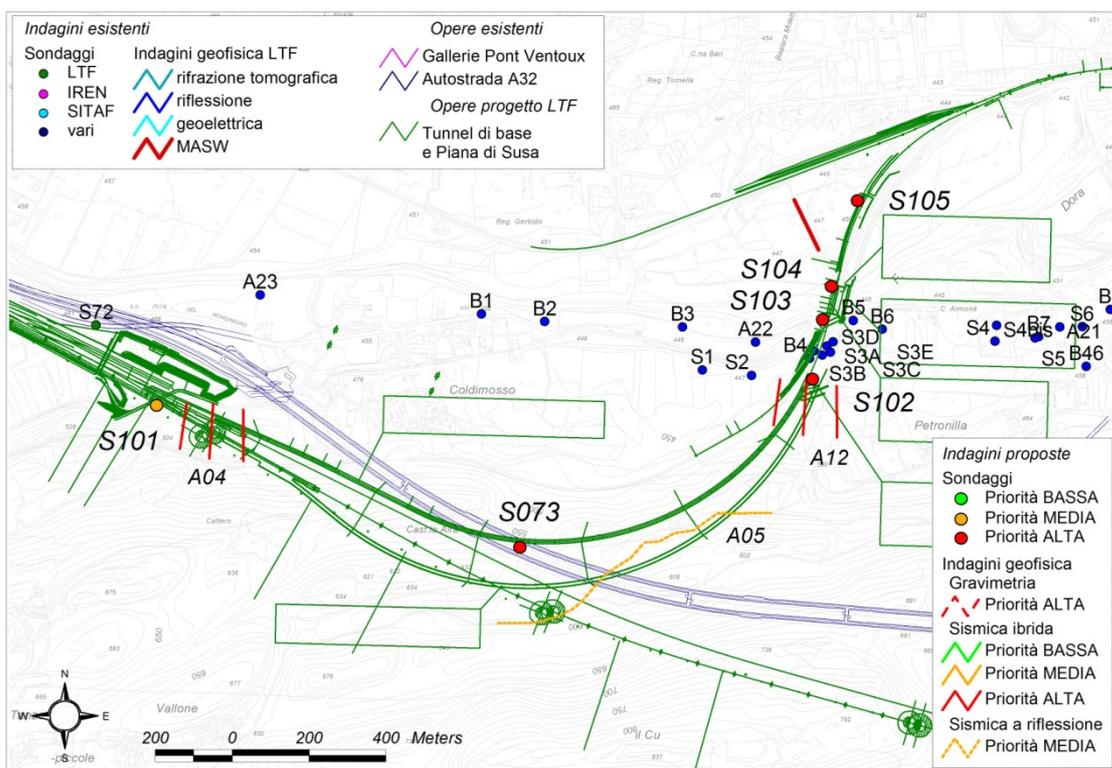


Figura 15 – Ubicazione delle indagini previste per il settore d'interconnessione di Bussoleno.

3.10 Interconnessione a cielo aperto

A valle delle gallerie d'interconnessione è prevista la realizzazione del Ponte Dora 2 che permetterà al tracciato d'immettersi lungo la linea storica a Bussoleno.

In corrispondenza del ponte sulla Dora, il piano indagini prevede un sondaggio geotecnico per ogni spalla del ponte stesso. Si tratta di due sondaggi (S103 e S104, vedere Figura 15 e Tabella 1) finalizzati alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione. La loro profondità dovrà essere di almeno 30 metri e saranno eseguite al loro interno le prove geotecniche necessarie a valutare, oltre che l'assetto litostratigrafico, la capacità portante del terreno e i parametri sismici, in complemento della sismica MASW realizzata nel dicembre 2012.

Un terzo sondaggio (S105) dello stesso tipo è previsto nel tratto più a valle in cui il tracciato prevede la realizzazione della linea su rilevato (Figura 15).

4. Programma delle indagini di fase 2 – Fase di esecuzione

In fase di esecuzione dei lavori è prevista la realizzazione di un programma di indagini geognostiche integrative da realizzare durante lo scavo delle opere in sotterraneo, indagini in avanzamento. La distribuzione lungo il tracciato delle opere delle indagini in corso d'opera è rappresentata lungo il profilo dei rischi geologici alla scala 1:25'000 (n° doc. PRV C3B 0089 00-06-00 40-01). Tale programma deve rispondere a due tipi di esigenze principali:

- Come evidenziato nella Relazione di Analisi dei Rischi Geologici (n° doc. PRV C3B 0088 00-06-00 10-01), in un contesto geologico-strutturale complesso e caratterizzato da zone ad elevata copertura e di difficile accesso, il metodo più efficace in termini di costi / benefici per implementare il modello geologico e aumentare l'effettiva conoscenza delle condizioni geologiche lungo l'opera consiste nell'eseguire un programma sistematico di indagini in avanzamento durante la fase di scavo piuttosto che eseguire ulteriori indagini (sondaggi e/o indagini geofisiche) a partire dalla superficie. Ciò anche in considerazione delle difficoltà logistiche e di accesso per l'esecuzione di tali indagini nonché considerando la necessità di elevate profondità di indagine in condizioni di coperture elevate;
- L'esecuzione di un programma di indagini in avanzamento rappresenta anche una delle più importanti misure di mitigazione dei rischi geologici durante la fase di scavo in quanto permettono di ridurre le incertezze residue che sono la fonte del rischio. Il risultato principale dell'analisi dei rischi, espresso dal registro dei rischi, corrisponde all'identificazione delle criticità di natura geologica e geotecnica che possono portare a difficoltà durante le operazioni di scavo con conseguente aumento del livello di rischio. Il registro dei rischi fornisce quindi l'elenco delle criticità lungo il tracciato e la loro posizione presunta sulla base del livello attuale delle conoscenze, ovvero l'insieme delle condizioni critiche che si possono incontrare durante lo scavo con un margine di incertezza residuo circa la loro posizione e la loro estensione reale. L'esecuzione sistematica delle indagini in avanzamento deve quindi permettere di identificare in anticipo e caratterizzare con maggior precisione le criticità individuate lungo il tracciato (nonché eventuali criticità la cui posizione non può essere ad oggi definita in dettaglio) e di applicare tempestivamente le contromisure più adeguate per un'effettiva riduzione del livello di rischio.

In linea generale, quindi, il piano indagini descritto nel seguito è volto a fornire i seguenti dati ed informazioni:

- definire i litotipi che verranno incontrati in avanzamento per aggiornare in modo sistematico il profilo geologico e geotecnico previsionale e permettere di effettuare previsioni circa le condizioni attese nelle tratte da scavare;
- valutare e definire le caratteristiche dell'ammasso nelle tratte da scavare e il possibile comportamento allo scavo;
- prevenire e identificare in anticipo la presenza di condizioni critiche in modo da definire e applicare la contromisura più adatta per l'abbassamento del livello di rischio;
- adattare, se e dove necessario, il metodo e le procedure di scavo in funzione delle condizioni attese;
- fornire i dati necessari per prevenire eventuali condizioni geologiche inattese;

- fornire i dati necessari per la definizione del profilo geologico “as built”.

In linea generale il programma di indagini complementari da eseguire in fase di scavo si basa essenzialmente sulle seguenti attività:

- indagini geofisiche sistematiche in avanzamento ;
- sondaggi da eseguire al fronte di scavo o nel contorno del cavo stesso;
- rilievo sistematico del fronte di scavo o dei paramenti del tunnel;
- misure della temperatura della roccia;
- analisi sistematica dei parametri di scavo della TBM.

Il tipo di indagine effettivamente realizzabile sarà anche definito in funzione del metodo di scavo nelle diverse tratte del tunnel, come descritto nel seguito.

Va sottolineato che la metodologia proposta si basa sull'esecuzione sistematica di indagini indirette (indagini geofisiche) e indagini dirette (sondaggi a distruzione e/o a carotaggio continuo) nonché, laddove possibile in funzione del metodo di scavo, sull'osservazione diretta e sulla caratterizzazione dell'ammasso e sull'interpretazione congiunta dell'insieme dei dati così ottenuti.

Vista la complessità geologico-strutturale dell'ammasso interessato dallo scavo si ritiene infatti che nessuno dei metodi di indagine definiti, da solo, possa permettere di fornire previsioni affidabili circa le condizioni attese in avanzamento e ridurre le incertezze residue che sono alla base dei rischi identificati. I metodi descritti nel seguito vanno quindi intesi come parti di un unico programma strutturato da realizzare nel suo complesso; ciò al fine di meglio combinare i dati e le informazioni forniti da mezzi con profondità di indagine elevata (indagini geofisiche che permettono una profondità di indagine di circa 100 m o superiore) e mezzi con profondità più ridotta (sondaggi in avanzamento con profondità di indagine dell'ordine di circa 30-60 m e rilievi del fronte) e per implementare il processo di interpretazione dei dati col procedere delle operazioni di scavo. Tale principio è illustrato graficamente nella figura seguente.

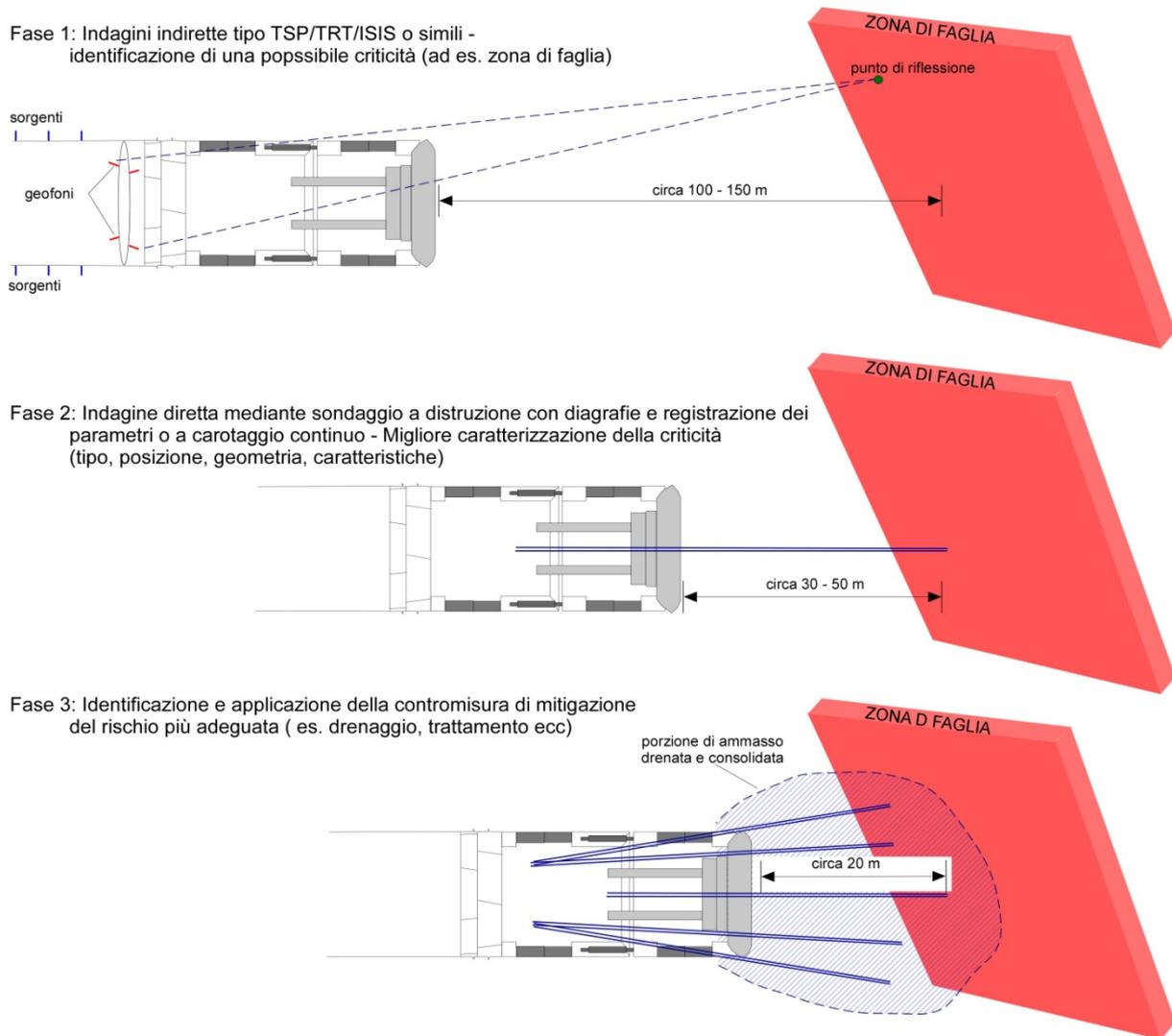


Figura 16 – Esempio di applicazione dei diversi metodi di indagine in avanzamento al fine di identificare e caratterizzare una possibile criticità e definire la contromisura più adeguata di mitigazione del rischio (l'esempio è relativo a scavo meccanizzato mediante TBM scudata)

4.1 Indagini in avanzamento

Le indagini in avanzamento da realizzare in modo sistematico includono indagini indirette (indagini geofisiche) e indagini dirette.

Per quanto riguarda le indagini geofisiche, la loro esecuzione è indipendente dal metodo di scavo in quanto realizzabili sia con scavo in tradizionale sia con scavo meccanizzato e con le diverse tipologie di TBM ad oggi previste (TBM aperta e TBM scudata, tipo Mix-Shield).

Per quanto riguarda l'esecuzione di sondaggi, questa sarà agevolata nel caso di scavo in tradizionale tuttavia, con gli opportuni accorgimenti e procedure, è possibile eseguire tale attività in modo sistematico anche durante lo scavo con TBM aperta o scudata.

4.1.1 Indagini geofisiche in avanzamento

L'esecuzione sistematica di indagini geofisiche in avanzamento è finalizzata a fornire un quadro del contesto geologico su una distanza di circa 100 m o superiore in avanzamento rispetto al fronte di scavo. Ad oggi sono disponibili diversi metodi di indagine, che forniscono informazioni simili e sono caratterizzati da simili profondità di indagine. L'elenco delle

metodologie riportate sul “Profilo di Analisi dei Rischi e Piano Indagini complementari in fase di scavo” è puramente indicativo e metodologie che forniscano informazioni analoghe e che presentino le stesse profondità di indagine possono essere valutate. Va peraltro sottolineato, nella scelta della metodologia, che in alcuni casi il metodo è applicabile sia allo scavo meccanizzato che allo scavo in tradizionale (TSP o TRT) mentre altre metodologie sono specifiche per lo scavo meccanizzato (ISIS). E' questo un fattore di cui è opportuno tener conto nella scelta e definizione del metodo utilizzato, in modo da evitare l'uso di metodi di indagine diversi in diverse tratte del tunnel, approccio che non permetterebbe di implementare realmente il processo di analisi e interpretazione dei dati.

- **Tunnel Seismic Prediction (TSP)** : si tratta di un metodo di indagine basato sulla sismica a riflessione con posizionamento dei geofoni lungo l'asse della galleria e segnali prodotti mediante uso di esplosivo in fori di lunghezza limitata eseguiti sui paramenti. La profondità di indagine è funzione del tipo di roccia e può essere compresa tra circa 100 e 150-200 m. la metodologia TSP può essere applicata sia con scavo tradizionale che con scavo meccanizzato con TBM aperta o scudata con posa di conci prefabbricati. Questo tipo di prospezione è stata utilizzata nello scavo del cunicolo esplorativo della Maddalena, tuttavia il ritorno di esperienza sul suo utilizzo lungo il settore dei litotipi del Massiccio di Ambin non sembra avere dato buoni risultati nelle previsioni oltre il fronte di scavo. Tale fatto può essere dovuto alla modesta differenza nella risposta sismica tra strutture fragili e ammasso più sano. Tuttavia si ritiene che lungo il tracciato del Tunnel di Base, nei settori caratterizzati da forti anisotropie (esempio la Zona a Scaglie) è verosimile che questo tipo di prospezione sismica possa essere maggiormente efficace.
- **Tunnel Reflection Tomography (TRT)**: la metodologia TRT è simile, come principio, alla TSP e si basa anch'essa sull'uso della sismica a riflessione. La differenza principale, rispetto al metodo precedente, è legata alla configurazione e al tipo di sorgente che nel caso della TRT può essere rappresentata da un sistema magneto-restrittivo rappresentato da un cilindro appoggiato direttamente alla roccia e capace di produrre segnali con frequenza compresa tra 300 e 3000 Hz. La profondità di indagine è compresa tra i 50 e i 150 m circa in funzione del tipo di roccia attraversata;
- **Integrated Seismic Imaging System (ISIS)**: il metodo ISIS è molto simile ai precedenti ma utilizza come sorgente di energia un martello installato direttamente sulla TBM. A differenza dei metodi sopra descritti può essere utilizzato solo con scavo meccanizzato (TBM aperta o scudata).

I metodi fin qui analizzati permettono di eseguire indagini durante lo scavo in materiali rocciosi e dovrebbero permettere di evidenziare eventuali variazioni legate a cambiamenti nelle caratteristiche dell'ammasso (in termini di durezza, resistenza o grado di fratturazione) e alla presenza di superfici di discontinuità importanti quali possono essere le zone di faglia.

Diverse sono invece le problematiche che possono essere incontrate durante lo scavo meccanizzato in depositi sciolti, come l'attraversamento dei depositi alluvionali del torrente Cenischia tra le Pk 56 e 57 circa: in questo caso, come già evidenziato nell'ambito dell'Analisi dei rischi, una delle criticità principali può essere rappresentata dalla presenza di grossi blocchi di dimensioni metriche o plurimetriche.

Nella tratta all'interno dei depositi alluvionali del torrente Cenischia viene quindi proposto l'uso della metodologia **Sonic Softground Probing (SSP)**: nel caso della metodologia SSP sia la fonte energizzante, rappresentata da un martello, che i recettori sono installati sulla testa

fresante. La profondità di indagine non è molto elevata, generalmente inferiore ai 50 m ma il metodo è particolarmente adatto all'individuazione di blocchi di roccia immersi in una matrice sabbiosa e ghiaiosa.

E' importante sottolineare l'importanza dell'esecuzione sistematica delle indagini geofisiche in quanto la capacità di affinare interpretazione dei dati e di fornire previsioni sempre più affidabili può essere sviluppata solo mediante un confronto continuo tra i profili sismici previsionali e le condizioni realmente incontrate durante il procedere dello scavo. Inoltre, vista la profondità di indagine relativamente elevata, i risultati delle indagini geofisiche devono permettere di meglio pianificare l'esecuzione delle indagini dirette, in termini di posizione, inclinazione, numero e tipologia di sondaggi da eseguire.

Per quanto riguarda l'esecuzione delle indagini geofisiche, e con riferimento alle indicazioni fornite sul Profilo di Analisi dei Rischi e Piano Indagini Proposte (n° doc. PRV C3B 0089 00-06-00 40-01), si possono fornire le seguenti indicazioni:

- Per la tratta del Tunnel di Base scavata verso est a partire dalla Francia, per cui è previsto l'impiego di TBM aperte, possono essere applicati i metodi TSP, TRT, ISIS o metodi che forniscano indicazioni analoghe e con analoghe profondità di indagine ;
- Per la tratta del Tunnel di Base all'interno delle rocce verdi nel settore di Mompantero così come per la galleria d'interconnessione, possono essere applicati i metodi TSP o TRT o metodologie simili;
- Per la tratta di Tunnel di Base compresa tra circa le Pk 52+000 e 61+000, tranne la tratta all'interno dei depositi alluvionali, è previsto l'uso dei metodi TSP, TRT, ISIS o simili;
- Per la tratta di Tunnel di Base all'interno dei depositi alluvionali del torrente Cenischia è invece proposto l'uso del metodo SSP.

4.1.2 Esecuzione di sondaggi in avanzamento

L'esecuzione sistematica di sondaggi in avanzamento è prevista per le diverse tratte del Tunnel di Base e per la galleria d'interconnessione, indipendentemente dal metodo di scavo adottato.

Due tipologie di sondaggi sono previste:

1. Sondaggi a distruzione con registrazione dei parametri: si tratta della metodologia di indagine diretta da eseguire in modo sistematico. I sondaggi dovranno avere una lunghezza compresa tra 30 e 50 metri circa. E' opportuno effettuare un'analisi dei fanghi di perforazione (*cuttings*) al fine di fornire valutazioni circa la composizione litologica dell'ammasso attraversato e quindi evidenziare i cambiamenti litologici. Tale tipo di indagine in avanzamento è stata eseguita in modo sistematico nel corso dello scavo del Cunicolo esplorativo della Maddalena ed è risultato di grande utilità si aper tarare le informazioni provenienti dalle indagini geofisiche, sia l'addove gli stessi non riescano ad indagar efficacemente oltre il fronte di scavo

Durante l'esecuzione dei sondaggi i seguenti parametri dovranno essere registrati in modo continuo:

- Velocità di avanzamento istantanea;
- Pressione sull'utensile di perforazione;
- Coppia di rotazione;

- Energia riflessa;
- Percussione riflessa.

Sarà effettuato in maniera sistematica un complemento di indagine mediante esecuzione di diagrafie nel foro di sondaggio. Ciò al fine di raccogliere dati ed informazioni aggiuntive senza dover ricorrere all'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo. Le seguenti misure dovranno essere fornite:

- Radioattività naturale con misura dei raggi γ . Tale misura fornisce indicazioni principalmente circa la composizione litologica;
- Temperatura;
- Diagrafie soniche con misura del campo sonico totale, finalizzate principalmente ad evidenziare il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso.

In caso di venuta d'acqua nel sondaggio, l'acqua dovrà essere prelevata alla testa del sondaggio e dovranno essere misurati i seguenti parametri: portata, temperatura, conducibilità elettrica e pH della venuta alla testa del sondaggio.

2. Sondaggi a carotaggio continuo dovranno essere previsti in tutte quelle situazioni e condizioni in cui le indagini geofisiche e/o i sondaggi a distruzione hanno evidenziato una possibile criticità e in cui si ritiene opportuno avere indicazioni più precise circa la posizione e la natura dell'evento critico. I sondaggi a carotaggio continuo potranno altresì essere adoperati per poter effettuare un campionamento dell'ammasso roccioso al fine di definire con maggiore dettaglio le caratteristiche dell'ammasso (composizione, grado di fratturazione, caratteristiche geomeccaniche delle discontinuità) e/o di effettuare prove di laboratorio su campioni di roccia intatta. Nel caso di esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo, le seguenti informazioni minime dovranno essere raccolte lungo tutto il sondaggio:

- Percentuale di recupero;
- RQD;
- Descrizione della composizione litologica e definizione sia grafica che descrittiva della stratigrafia del sondaggio;
- Indicazioni circa la scistosità e le principali discontinuità osservate sia in termini geometrici che in termini di parametrizzazione geomeccanica;
- Fotografie delle carote prelevate;
- Indicazioni circa eventuali anomalie registrate durante l'esecuzione del sondaggio;
- Posizione degli eventuali campioni prelevati per prove di laboratorio;
- Posizione e risultati delle eventuali prove in foro effettuate.

In entrambi i casi di sondaggi a distruzione o a carotaggio continuo, inoltre, le seguenti misure e informazioni complementari dovranno necessariamente essere fornite:

- Posizione, natura e portata stimata delle eventuali venute d'acqua incontrate durante l'esecuzione del sondaggio;
- Eventuali perdite dei fluidi di perforazione con indicazione della posizione rilevata;

- Portata, pressione, temperatura, conduttività elettrica e pH delle venute d'acqua a seguito del completamento del sondaggio.

Vista la presenza di elevate coperture per buona parte del tracciato delle opere in sotterraneo si potrà rendere necessaria l'esecuzione dei sondaggi, sia a distruzione che a carotaggio continuo, previa installazione di un preventer ovvero di un dispositivo atto a evitare l'ingresso incontrollato in galleria di quantità d'acqua a forte pressione. Le caratteristiche e le specifiche tecniche dei preventer potranno essere definite in dettaglio durante la fase di progettazione esecutiva in base alle pressioni e alle portate stimabili lungo le diverse tratte dei tunnel.

La scelta tra i due differenti metodi di esecuzione dei sondaggi dovrà essere quindi fatta in fase di esecuzione dei lavori e in funzione del contesto reale e delle reali necessità di indagine e di raccolta di nuovi dati.

Si ricorda anche che i sondaggi in avanzamento permetteranno di valutare la qualità del materiale di scavo rispetto alla sua potenziale valorizzazione ulteriore, sia come inerti per cls, sia come materiale per rilevati, sia come materiale da mettere a deposito.

Con riferimento al metodo di scavo lungo le diverse tratte delle opere in sotterraneo, vengono fornite alcune considerazioni:

- Per lo scavo della galleria d'interconnessione e per l'ultima parte del Tunnel di Base verso l'uscita di Mompantero, in cui è previsto l'uso del metodo convenzionale, i sondaggi in avanzamento potranno essere effettuati al fronte di scavo e direttamente all'interno della sezione del tunnel senza vincoli particolari di tipo logistico; per la tratta di Mompantero dovranno essere messi in atto tutte le cautele connesse alla realizzazione di un sondaggio in rocce potenzialmente amiantifere (rocce verdi);
- Per lo scavo della tratta del Tunnel di Base con scavo meccanizzato, i sondaggi potranno essere effettuati sia al fronte, all'interno della sezione di scavo e attraverso fori opportunamente progettati all'interno della testa fresante (come ad esempio eseguito nello scavo del Cunicolo esplorativo della Maddalena con esecuzione del sondaggio in chiave di calotta), sia nell'immediato contorno del cavo laddove per motivi logistici non sia possibile effettuare i sondaggi all'interno della sezione del tunnel. In ogni caso è raccomandato l'uso di aste di alluminio durante le perforazioni al fine di evitare qualunque inconveniente durante le fasi successive di scavo del tunnel;
- Nessun sondaggio in avanzamento è previsto lungo la tratta all'interno dei depositi alluvionali del torrente Cenischia in cui è previsto lo scavo meccanizzato con confinamento del fronte.

Va inoltre sottolineato che, in funzione dei dati e delle osservazioni raccolte durante lo scavo dei tunnel principali e delle eventuali criticità incontrate, potrà rendersi necessaria l'esecuzione di sondaggi aggiuntivi in corrispondenza dei punti in cui è prevista l'esecuzione dei by-pass di collegamento tra le due canne dei tunnel di base e di interconnessione. Questo al fine di poter investigare direttamente la porzione di ammasso interessata dai bypass e con lo scopo di ridurre l'impatto di eventuali incertezze di natura geologica e/o geotecnica.

4.2 Rilievo del fronte di scavo o dei paramenti del tunnel

Il rilievo geologico e geomeccanico del fronte di scavo dovrà essere effettuato sistematicamente in corrispondenza delle seguenti tratte:

- Lungo la galleria d'interconnessione per la quale è previsto lo scavo con metodo convenzionale. In questo caso sarà possibile effettuare un rilievo sia del fronte di scavo che dei paramenti e della calotta mantenendo le condizioni di sicurezza per il personale incaricato;
- Lungo il tunnel di base nella tratta per cui è previsto lo scavo meccanizzato con impiego di TBM aperta. In questo caso i rilievi potranno riguardare i paramenti del tunnel nei settori già scavati e dovranno precedere l'installazione dei supporti temporanei previsti. Tali rilievi, come confermato da quanto eseguito nel corso dello scavo del Cunicolo esplorativo della Maddalena, rappresentano un insieme di dati di grande utilità per la ricostruzione dell'assetto geologico, la verifica in continuo del Modello Geologico di Riferimento e l'eventuale previsione anticipata di un peggioramento delle condizioni strutturali e geomeccaniche dell'ammasso a tergo della testa fresante.

Nel caso di TBM scudata con messa in opera di conci, il terreno potrà essere visualizzato durante le fasi di cambiamento dei dischi.

Il fine dei rilievi geologici del fronte e dei paramenti del tunnel è quello di fornire le seguenti indicazioni:

- Il contesto geologico, idrogeologico e geomeccanico in cui procedono gli scavi;
- Caratterizzare l'ammasso dal punto di vista geomeccanico al fine di confermare o meno le sezioni di rivestimento previste;
- Offrire un quadro di riferimento per una migliore interpretazione delle indagini in avanzamento;
- Permettere le scelte più adeguate circa l'esecuzione delle indagini in avanzamento in termini di tipologia di indagine (ad es. sondaggio a distruzione o a carotaggio continuo), di posizionamento ecc.
- Aggiornare il modello geologico e geotecnico dei tunnel.

Le informazioni minime che dovranno essere raccolte durante l'esecuzione dei rilievi sono descritte nel seguito:

- Descrizione geologica del fronte o dei paramenti e identificazione dei litotipi presenti;
- Misura delle principali discontinuità osservate (scistosità, famiglie di giunti ecc) mediante definizione della direzione e dell'angolo di immersione;
- Caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità e descrizione dei seguenti parametri: spazatura, persistenza, apertura, natura del riempimenti, alterazione, condizioni idrauliche;
- Definizione delle classi RMR, GSI e Q di pertinenza per la porzione di ammasso esposta;
- Definizione delle condizioni idrogeologiche del fronte e dei paramenti, con indicazione della posizione, natura e portata delle venute d'acqua e misura dei parametri chimico-fisici principali (conduttività elettrica, temperatura, pH);
- Eventuali criticità sorte a seguito dello scavo e l'eventuale comportamento a breve termine dell'ammasso a seguito dello scavo;

- Eventuali osservazioni circa i risultati di interventi precedentemente effettuati (trattamenti, iniezioni, consolidamenti ecc);
- Eventuali anomalie riscontrate;
- La classe di valorizzazione prevista e quella proposta per la roccia in esame.

4.3 Analisi dei parametri di scavo della TBM

Per le tratte in cui è previsto lo scavo meccanizzato, sia con TBM aperta che scudata, si dovrà procedere ad un'analisi sistematica dei parametri di scavo della fresa. I seguenti parametri minimi dovranno essere registrati in modo automatico e analizzati:

- Spinta della TBM sui martinetti (kN) ;
- Spinta totale sulla testa fresante (kN);
- Coppia di rotazione (N/m) ;
- Penetrazione istantanea (mm/min) ;
- Velocità di avanzamento (m/giorno).

L'analisi sistematica di tali parametri ed eventualmente l'applicazione di modelli previsionali (quali ad esempio il modello della Colorado School of Mines o dell'Università Norvegese di Scienze e Tecnologia di Trondheim) permette di effettuare un controllo circa le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso interessato dallo scavo e, in alcuni casi, di anticipare possibili criticità legate al comportamento a medio e lungo termine dell'ammasso a seguito dello scavo.

5. Caratterizzazione dei materiali di scavo / siti di destinazione

Le indagini indicate nel presente piano sono definite in base alle prescrizioni della normativa vigente in tema utilizzo dei materiali di scavo e di emissioni di radioattività naturale nei materiali da costruzione:

- DM n°161 del 10 agosto 2012
- EC (European Commission), Radiation protection 112 – radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection (1999).
- EC (European Commission), Radiation protection 122 – Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption

5.1 Finalità delle indagini

Le indagini descritte sono riferite alla fase di progetto esecutivo e sono volte ad approfondire il quadro di riferimento definito con la presente fase progettuale.

Le indagini saranno eseguite durante le fasi di scavo e realizzazione delle opere e condotte sui materiali scavati o su campioni prelevati alle quote di scavo con apposite indagini in avanzamento.

In relazione al piano utilizzo dei materiali di scavo le indagini proposte sono volte alla caratterizzazione ambientale dei seguenti aspetti:

- Caratterizzazione dei siti di produzione
- Caratterizzazione dei siti di destinazione

Nel progetto definitivo della NLTL i materiali di scavo sono gestiti in modo da permettere una tempestiva caratterizzazione ambientale, così da permetterne l'impiego per la realizzazione delle opere in progetto o l'eventuale invio ai siti di destinazione. Per maggiori dettagli sulle modalità di gestione si rimanda al documento PRVC3BTS30084.

La caratterizzazione dei siti definisce i seguenti aspetti:

1. Inquadramento generale dei siti (rif. PRVC3BTS30084)
2. Inquadramento urbanistico (rif. PRVC3BTS30084)
3. Inquadramento geologico ed idrogeologico (rif. PRVC3BTS30084)
4. Descrizione delle attività svolte sul sito per l'individuazione di fenomeni di contaminazione pregressi (rif. PRVC3BTS30084)
5. Piano di campionamento e analisi

5.2 Caratterizzazione dei siti di produzione

Le seguenti specifiche sono riferite ai sondaggi finalizzati anche alla caratterizzazione ambientale ed integrano quanto già definito per caratterizzazione geologica degli ammassi rocciosi e dei terreni interessati dal tracciato in sottterraneo. I riferimenti alle analisi su campioni di acqua sotterranea, per gli idrocarburi si dovrà fare riferimento alla concentrazione degli idrocarburi totali espressi come n-esano.

5.2.1 Modalità di esecuzione sondaggi

- I sondaggi saranno eseguiti, per quanto possibile (e comunque per un tratto tale da non determinare la contaminazione dei campioni destinati ad analisi chimiche), mediante

carotaggio continuo a rotazione/rotopercussione a secco, utilizzando un carotiere di diametro idoneo ed evitando fenomeni di surriscaldamento.

- Prima dell'inizio delle operazioni di scavo, in particolare delle operazioni che interessano il carotaggio lungo il quale è previsto il prelievo di campioni, tutto il materiale impiegato deve essere opportunamente decontaminato con acqua le cui analisi chimiche ne abbiano certificato l'idoneità all'impiego. Le operazioni di decontaminazione non devono determinare la presenza di umidità nella strumentazione di carotaggio. E' pertanto da valutare la possibilità di impiego di due carotieri da usare alternativamente. Il materiale non decontaminabile deve essere sostituito ad ogni indagine.
- I macchinari e tutti gli utensili impiegati per le operazioni di scavo dovranno essere gestiti in modo tale da non determinare perdite di oli, lubrificanti e altre sostanze. Eventuali anomalie dovranno essere riportate in apposito verbale di documentazione delle attività.

5.2.2 Prelievo dei campioni

- Il prelievo dei campioni è previsto alla quota di scavo, con il recupero di tre incrementi per sondaggio, a formare il campione rappresentativo; in ogni caso dovrà essere effettuato un campionamento ad ogni variazione significativa di litologia.
- I campioni prelevati dovranno essere disposti in apposite cassette che permettano il mantenimento della disposizione stratigrafica. Il recipiente dovrà essere di materiale idoneo ad evitare la contaminazione dei campioni prelevati, preferibilmente polietilene (PE)
- Ad ogni prelievo di campioni, il materiale dovrà essere descritto mediante scheda descrittiva e documentazione fotografica.
- Nei sondaggi di nuova realizzazione le operazioni che saranno svolte per il campionamento delle matrici ambientali, il prelievo, la formazione, il trasporto e la conservazione del campione e per le analisi di laboratorio dovranno essere documentate con verbali quotidiani.
- Dovrà inoltre essere riportato l'elenco e la descrizione dei materiali e delle principali attrezzature utilizzate.
- Ogni campione sarà suddiviso in due aliquote, una per l'analisi da condurre ad opera dei soggetti privati, una per archivio a disposizione dell'ente di controllo. I campioni saranno opportunamente sigillati ed etichettati e dovranno essere registrati su apposita scheda descrittiva.
- Per la tratta di scavo in Valle Cenischia dove gli scavi interessano la porzione satura del terreno, per ciascun sondaggio oltre ai campioni sopra elencati sarà necessario acquisire un campione delle acque sotterranee, preferibilmente e compatibilmente con la situazione locale, con campionamento dinamico.
- Il campionamento delle acque sotterranee deve essere preceduto da installazione di piezometro, misurazione del livello statico della falda, spurgo del pozzo di monitoraggio.

5.2.3 Analisi chimiche da eseguire sui campioni

- Le analisi chimiche devono essere condotte presso un laboratorio certificato.

- I campioni da destinare ad analisi chimiche devono permettere la misura delle concentrazioni coerentemente con le disposizioni dell'Allegato 2, al Titolo V della Parte IV del D. Lgs. 152/96 e s.m.i. – *Criteri generali per la caratterizzazione dei siti contaminati*;
- I parametri di cui misurare la concentrazione con le analisi chimiche sono indicati in Tabella 3;
- Test di cessione ai sensi del DM 05/02/1998 e s.m.i. per i parametri indicati nell'allegato 3 del decreto.

5.2.4 Ubicazione dei siti di indagine

I siti di indagine sono scelti tra i punti di indagine indicati alla Tabella 1 del presente documento. Nello specifico le indagini ambientali dovranno essere eseguite per i seguenti sondaggi meccanici:

- S60: (affinamento delle conoscenze sui materiali di scavo generati dalla realizzazione del Tunnel di Base);
- S61, S62: acquisizione dati ambientali per la caratterizzazione dei materiali di scavo derivanti dalla realizzazione del Tunnel di Base per il tratto lungo la Valle Cenischia;
- S73, S101, S102: affinamento delle conoscenze sui materiali di scavo generati dalla realizzazione delle Gallerie di Interconnessione;
- S12_PRV: affinamento delle conoscenze sui materiali di scavo generati dalla realizzazione della Galleria Maddalena 2.

5.2.5 Determinazione del valore del fondo naturale

Nel caso in cui le analisi chimiche dovessero rilevare concentrazioni dei parametri superiori alla Concentrazioni Soglia di Contaminazione riconducibili a fenomeni naturali saranno attivate le disposizioni specificate nel documento PRV C3B 0084 00-04-03 10-01 "Piano di utilizzo dei materiali di scavo" e secondo quanto previsto dalla normativa vigente. In ambito di valutazione del fondo naturale, le attività di esecuzione sondaggi, pozzetti esplorativi e prelievo dei campioni seguiranno le prescrizioni definite nel presente Piano di Indagini.

5.3 Caratterizzazione dei siti di destinazione

Nel presente paragrafo viene illustrato il set di indagini tipo da condurre per la caratterizzazione dei siti di destinazione. Le indagini descritte sono volte alla caratterizzazione geologico-geotecnica, idrogeologica e geologico-ambientale dell'area indagata.

Le indagini ambientali sono finalizzate alla valutazione ambientale dei siti di destinazione e alla verifica della compatibilità tra materiale di scavo ed il sito.

5.3.1 Indagini in situ

- Sondaggi a carotaggio continuo
 - *Sito di Torrazza P.te*: esecuzione di 10 sondaggi a carotaggio continuo secondo le specifiche pocanzi descritte, spinti ad una profondità di 10 m.
 - *Sito di Caprie*: esecuzione di 5 sondaggi a carotaggio continuo secondo le specifiche pocanzi descritte, spinti ad una profondità di 10 m.
 - Installazione di un piezometro per ciascun foro di sondaggio.

- Esecuzione di prove SPT in foro: (1° prova -1 m.; 2° prova -5 m; 3° prova -7,5 m).
- Esecuzione di prove CPT (da eseguire nel caso siano presenti rilevanti quantità di livelli di terreno fine).
- Prelievo di campioni per l'esecuzione di analisi chimiche (secondo le specifiche pocanzi descritte) e geotecniche, mediante impiego di carotiere di diametro idoneo alla finalità delle attività di campionamento.
 - Sito di Caprie: prelievo di campioni di roccia per analisi chimiche dai fronti della cava: prelievo di 30 campioni di roccia secondo una maglia quadrata di 50 m di lato.
- Esecuzione di pozzetti esplorativi per il prelievo di campioni da destinare alle analisi chimiche (secondo le specifiche pocanzi descritte) per la caratterizzazione ambientale dei siti di destinazione. Il campionamento sarà condotto secondo la norma UNI 10802.
 - Per il sito di Torrazza P.te sono da prevedersi circa 40 pozzetti esplorativi spinti alla profondità di 1 m dal p.c. I pozzetti saranno realizzati con maglia quadrata di 100 m di lato.
 - Per il sito di Caprie sono da prevedersi circa 30 pozzetti esplorativi spinti ad una profondità di 1 m da p.c. (o comunque fino al substrato affiorante se posto a profondità inferiore) e saranno realizzati con maglia quadrata di 50 m.
 - Per i siti di destinazione della Piana di Susa: 52 pozzetti spinti a profondità di 1 m secondo una maglia quadrata di lato pari a 250 m
 - Per i siti di destinazione nel settore di Bussoleno: 16 pozzetti spinti a profondità di 1 m secondo una maglia quadrata di lato pari a 250 m.

5.3.2 *Analisi di laboratorio*

- Analisi chimiche: le analisi chimiche da condurre sui campioni prelevati dovranno considerare il set di parametri definito per la caratterizzazione dei materiali di scavo indicato in Tabella 3. Le analisi devono consentire una valutazione circa le interazioni ambientali possibili tra il materiale di scavo ed i terreni dei siti di destinazione
- Analisi per la caratterizzazione geotecnica dei terreni: la caratterizzazione geotecnica dei materiali è propedeutica alla progettazione degli interventi di recupero ambientale dei siti di destinazione di Caprie e Torrazza P.te. Le analisi geotecniche di laboratorio saranno le seguenti:
 - esecuzione di prove edometriche (per terreno fine);
 - esecuzione di prove di taglio diretto;
 - esecuzione di analisi granulometriche e determinazioni aerometriche;
 - determinazione dei limiti di Atterberg per la frazione fine;
 - esecuzione di prove triassiali.

5.4 *Analisi radiometriche*

La caratterizzazione radiometrica è finalizzata alla determinazione della concentrazione di isotopi radioattivi ed il conseguente tasso di emissione di gas radon dei materiali che saranno scavati per valutare i seguenti aspetti:

- valutazione dell'idoneità del loro reimpiego come materiali da costruzione, o per interventi di rimodellamento morfologico;

- completare il quadro utile alla definizione dei protocolli delle attività di scavo e di gestione del marino;
- fornire elementi di supporto agli studi progettuali di carattere ambientale.

Al fine di determinare la concentrazione di radioisotopi nelle rocce interessate dalle operazioni di scavo, nell'ambito della campagna di indagini ambientali sarà condotto uno studio analogo a quello già eseguito dal Politecnico di Torino (Patrucco et al., 2005) e da LTF nel corso della fase di progetto definitivo. Le analisi condotte nello studio citato sono le seguenti:

- misura delle concentrazioni di ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ;
- calcolo dell'Indice di attività per la valutazione dell'idoneità al reimpiego del marino come materiale per costruzioni;
- Gamma-ray log in foro per i nuovi sondaggi;
- confronto delle misure in foro con le analisi in caroteca;
- determinazione del rateo specifico di emanazione di radon E (in $\text{Bq kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Plan des investigations proposées côté Italie – Programma delle indagini proposte lato Italia

| Composti inorganici | | | | Altre sostanze |
|--|---|--------------------------------|--|---|
| Antimonio | Cadmio * | Tallio | Stagno | Amianto * |
| Argento | Cobalto * | Nichel * | Vanadio | |
| Arsenico * | Cromo VI * | Piombo * | Zinco * | |
| Bario | Cromo totale * | Rame * | Cianuri liberi | |
| Berillio | Mercurio * | Selenio | Fluoruri | |
| Composti organici | | | | |
| Alifatici clorurati cancerogeni | Clorobenzeni | Fenoli e clorofenoli | Micronquinanti organici policlorurati | Idrocarburi policiclici Aromatici (IPA)* |
| Cloruro vinile | 1,2-diclorobenzene | 2-clorofenolo | Sommatoria OCDD, PCDF | Benzo(a)antracene |
| 1,2-dicloroetano | Esaclorobenzene | 2,4-diclorofenolo | PCB | Benzo(a)pirene |
| Triclorometano | Monoclorobenzene | 2,4,6-triclorofenolo | 1,4-diclorobenzene | Benzo(b)fluoratene |
| Diclorometano | 1,2,4,5-tetraclorobenzene | Pentaclorofenolo | | Benzo(k)fluoratene |
| 1,1-dicloroetano | 1,2,4-triclorobenzene | Fenolo | | Dibenzo(a)pirene |
| 1,1,2- tricloroetano | | | | Inedo(1,2,3-c,d)pirene |
| 1,1,2,2-tetracloroetano | | | | |
| 1,2-dicloropropano | | | | |
| Nitrobenzeni | Composti organici aromatici | Pesticidi e fitofarmaci | | |
| 1,2-dinitrobenzene | BTEX (Benzene, Toluene, Etilbenzene, Xilene); Stirene * | Alaclor | Aldrin Atrazina DDD, DDT, DDE | |
| 1,3-dinitrobenzene | Idrocarburi C>12 * | | | |
| Cloronitrobenzeni | | | | |
| Nitrobenzene | | | | |
| Altri parametri | | | | |
| Conducibilità elettrica | CSC | Ca, Mg, Na, K | | |
| pH | TOC | CaCO ₃ | | |

Tabella 3 - Tabella dei parametri da analizzare, *parametri indicati dal DM 161 del 10 agosto 2013

Allegato 1a

Caratteristiche generali dei sondaggi meccanici

Il perforo avverrà preferenzialmente con tecnica tradizionale con doppio o triplo calibro di rivestimento (220 – 178 - 152 mm) e carotieri di diametro maggiorato (131 mm) almeno nei terreni sciolti; in roccia il diametro del campionatore può essere ridotto anche a 101 - 116 mm. Per l'esecuzione delle prove pressiometriche, si dovrà utilizzare un carotiere con diametro di 63 mm per la creazione della camera di prova, dopodiché il foro sarà alesato ai diametri maggiori a prova realizzata.

Programma delle prove in situ e in laboratorio

Per le indagini tramite sondaggio meccanico, sono previsti vari tipi di prove da eseguire sia in situ che in laboratorio. È dunque prevista la raccolta di campioni di roccia, terreni e acqua nei sondaggi.

Il programma tecnico prevede le seguenti prove da calibrare in funzione dei terreni attraversati e della tipologia di sondaggio:

- **Analisi sulle carote**
 - Rilievo geologico dettagliato (litologie, strutture, ecc).
 - Studio strutturale su carote orientate (tratti in roccia) e comparazione con l'analisi attraverso BHTV.

- **Prove in situ.** Dovranno essere scelte sulla base del tipo di terreno da indagare:
 - Controllo del diametro, dell'orientazione e inclinazione del foro.
 - Diagrafie in foro (gamma ray, onde soniche Full Wave, BHTV, conducibilità elettrica, temperatura).
 - Misura dell'RQD.
 - Prove dilatometriche nella parte profonda del foro; sono previste da 2 a 5 prove se le condizioni del foro lo permettono (tenuta delle pareti e diametro regolare); di norma bisogna prevedere prove con 4 cicli di carico e scarico.
 - Prove pressiometriche nei terreni sciolti con intervallo tra 1 e 5 metri; per tali prove è necessario prevedere la tenuta delle pareti del foro e l'utilizzo di appositi carotieri (diametro 63 mm) o la realizzazione di sondaggi appositi di diametro adeguato.
 - SPT nei terreni sciolti con intervallo tra 1 e 5 metri; per tali prove è necessario prevedere la tenuta delle pareti del foro; verificare l'opportunità di realizzare tali prove in terreni ciottolosi e argilloso/limosi che potrebbero inficiare l'efficacia di tale prova.
 - Prove sismiche down-hole sui primi 30 - 50 m per la misura delle onde S e la parametrizzazione Vs30 in ottemperanza alle norme in materia di caratterizzazione sismica. Queste prove potranno essere sostituite dalle diagrafie soniche Full Wave dal momento che le onde S sono incluse con la misura delle diagrafie.
 - Prove idrauliche Lefranc nei terreni sciolti e Lugeon in roccia; le prove possono essere realizzate in avanzamento per tratti di 5 m;

- Prove di pompaggio nelle zone di pianura o mediante la registrazione del flusso con il micromulinello.
- La permeabilità in roccia potrà essere valutata con l'esecuzione di slug test in produzione e/o iniezione. Le prove si realizzeranno tra packer.
- Prove di fratturazione idraulica nella parte profonda del foro (ultimi 200 m); sono previste da 3 a 5 prove per sondaggio.

- Prove in laboratorio
 - I campioni da analizzare saranno scelti sulla base del rilevamento delle carote e almeno uno per ogni litotipo significativo.
 - La scelta e l'esecuzione delle prove in laboratorio dovranno permettere la valutazione del metodo di scavo più appropriato in funzione delle caratteristiche dei terreni e delle rocce in cui saranno realizzate le opere. Inoltre, le prove di laboratorio devono comprendere le tipologie necessarie alla valutazione della Gestione e Valorizzazione del Materiale di Scavo (GVMS). Tali prove devono essere in grado di rilevare i seguenti parametri:
 - Caratteristiche geomeccaniche e di abrasività / frantumabilità della roccia;
 - Tenore dei componenti mineralogici impropri (miche e asbesti) e degli ioni aggressivi (solfuri, solfati e cloruri);
 - Valutazione del rischio alcali – reazione (RAG);
 - Caratteristiche fisiche del pietrisco e della ghiaia (coefficiente Los Angeles e di forma) e della sabbia (modulo di finezza).
 - Le seguenti prove sono previste per la caratterizzazione geotecnica:
 - Per i tratti in roccia:
 - Prove meccaniche di resistenza alla compressione tipo UCS e PLT;
Prove di compressione triassiali;
 - Prove di resistenza alla trazione (p.es. prova brasiliana);
 - Prove di taglio lungo giunto;
 - Analisi di frantumabilità e abrasività (Cerchar Abrasivity Index);
 - Per i tratti in terreni sciolti:
 - Determinazione del contenuto in acqua e dei pesi specifici (della sola frazione solida e del campione totale reale e apparente);
 - Analisi granulometrica e limiti di Atterberg;
 - Prove edometriche;
 - Prove triassiali drenate e non drenate;
 - Prove di taglio (p.es. scatola di Casagrande);

- Caratterizzazione mineralogica:
 - Determinazione della composizione mineralogica, della tessitura e del fabric mineralogico;
 - Difrattometria a raggi X;
 - Analisi petrografia al microscopio ottico con riconoscimento e caratterizzazione dei minerali fibrosi.
- Analisi di laboratorio sui campioni d'acqua prelevati
 - Analisi chimica (ioni principali);
 - Analisi isotopica delle acque (^{18}O , D, T, ^{34}S , ^{238}U , ^{226}Ra e ^{222}Rn).

Allegato 1b

Caratteristiche generali delle indagini sismiche

Stese sismiche a riflessione

Le stese sismiche a riflessione o a rifrazione devono essere orientate in modo da ridurre gli effetti 3D della struttura da investigare. L'orientazione ottimale è quindi perpendicolare alla struttura stessa. La sorgente di vibrazione può essere scelta tra la massa battente e l'esplosivo (microcariche) con preferenza per quest'ultimo per l'utilizzo del quale sarà necessario verificare le normative in vigore.

MASW

Le stese sismiche per la valutazione del parametro Vs30 (tipo MASW) dovranno essere realizzate in modo da poter ottenere la velocità delle onde di taglio verticali che si propagano in profondità in accordo all'assetto litostratigrafico del sito di misura. È importante quindi che la loro esecuzione sia accompagnata dalla realizzazione di un sondaggio per la ricostruzione della sequenza litostratigrafica dei primi 30 metri al di sotto del piano di fondazione.

Indagini di gravimetria

La gravimetria è una tecnica passiva che consiste nel misurare molto accuratamente (fino a una parte su un miliardo) le variazioni relative del campo gravitazionale terrestre. Variazioni minime della gravità sono dovute a variazioni della densità dei materiali sotterranei.

Lo strumento utilizzato è il gravimetro relativo che misura la differenza di gravità esistente fra due punti. Gli stendimenti sono costituiti da una serie di misure puntuali che possono essere allineate secondo intervalli prefissati o distribuite nello spazio in modo da ottenere una mappatura areale delle discontinuità gravimetriche.

I risultati delle campagne gravimetriche sono presentati sotto forma di profili, di carte a colori convenzionali e/o di isolinee dei dati corretti secondo le tecniche appropriate.