

# 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**

**GENIE CIVIL – OPERE CIVILI**

**TUNNEL DE BASE – TUNNEL DI BASE  
SECTION COURANTE COTE ITALIE – SEZIONE CORRENTE LATO ITALIE  
SCENARIOS DE PROJET COTE ITALIE – SCENARI DI PROGETTO LATO ITALIA**

**RAPPORT TECHNIQUE SUR L'AUSCULTATION – RELAZIONE TECNICA DI MONITORAGGIO**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	08/02/2013	Première diffusion / Prima emissione	M. JANUTOLO (BG) E. GARIN (BG)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/10/2016	Première émission PRV – mise à jour méthodes d'excavation et calcul / Prima emissione PRV – aggiornamento metodi di scavo e calcoli	M. JANUTOLO (BG) G. QUESTI (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
B	03/01/2017	Révision suite aux commentaires TELT et passage au statut AP/ Revisione a seguito commenti TELT e passaggio allo stato AP	M. JANUTOLO (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI

CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>A</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>B</b>
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	<b>C3A</b>	<b>//</b>	<b>//</b>	<b>26</b>	<b>19</b>	<b>00</b>	<b>10</b>	<b>05</b>
------------------------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>ECHELLE / SCALA</b>
-



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 .....	4
1.1 Generalità.....	4
1.2 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato.....	4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3. SCAVO TRADIZIONALE .....	5
3.1 Stazioni di monitoraggio.....	5
3.2 Altre misure e rilievi .....	6
3.3 Soglie di attenzione e di allarme.....	6
3.3.1 Generalità .....	6
3.3.2 Sezione S3a .....	7
3.3.3 Sezione S4.....	7
3.3.4 Sezione S11.....	7
3.3.5 Cameroni all'imbocco .....	7
3.3.6 Sezione CS1 .....	7
3.3.7 Sezione CS2.....	7
4. SCAVO MECCANIZZATO (CONCI PREFABBRICATI).....	8
4.1 Stazioni di monitoraggio.....	8
4.2 Altre misure e rilievi .....	8
4.3 Soglie di attenzione e di allarme.....	8

## RESUME/RIASSUNTO

Le présent rapport décrit le plan de surveillance prévu pour la section courante coté Italie du Tunnel de Base de la Nouvelle Ligne Lyon-Turin, c'est-à-dire le tronçon compris entre la frontière d'état italien (pk 48+677 VP) et la tête est du tunnel à Susa (pk 61+076.5 VP).

Les sections de surveillance dépendront de la méthode de creusement (en traditionnel ou mécanisé) et seront de trois types : fondamentales, principales et secondaires, en fonction du nombre et du type des instrumentations. Des levés de front et d'autres types d'investigations sont généralement prévus dans le cas de creusement avec tunnelier.

Les seuils d'attention et d'alarme pour les différents profils types sont définis, en fonction des résultats des simulations et des caractéristiques des matériaux de soutènement et/ou de revêtement (ex. voussoirs).

La presente relazione descrive il piano di monitoraggio previsto per la sezione corrente lato Italia del Tunnel di Base della Nuova Linea Torino-Lione, ovvero per la tratta che va dal confine di stato italiano (pk 48+677 BP) fino all'imbocco Est a Susa (pk 61+076.5 BP).

Le stazioni di monitoraggio dipenderanno dal metodo di scavo (tradizionale o meccanizzato) e saranno di tre tipi: fondamentali, principali e secondarie, che si differenziano per il numero ed il tipo di attrezzature. Si prevedono inoltre rilievi del fronte ed altri tipo di prospezione per scavo meccanizzato.

Vengono definite inoltre le soglie di attenzione e di allarme per le sezioni tipo previste, sulla base dei risultati delle simulazioni e delle caratteristiche dei materiali per i rivestimenti di prima fase e/o definitivi (es. conci).

## 1. Introduzione

### 1.1 Generalità

La presente relazione descrive il sistema di monitoraggio da mettere in opera durante lo scavo della sezione corrente del Tunnel di Base lato Italia e fornisce le soglie di attenzione e di allarme per le diverse sezioni tipo previste lungo il suo sviluppo.

**Occorre sottolineare che tale piano di monitoraggio e tali soglie sono state fissate sulla base delle attuali conoscenze geologiche e geomeccaniche dell'ammasso e che in fase esecutiva sarà necessaria una definizione più accurata basata su sondaggi complementari e sull'esperienza acquisita durante lo scavo della galleria stessa.**

Con il monitoraggio del comportamento della sezione scavata e provvista di sostegno si verificano le ipotesi ed i criteri che sono stati definiti durante la fase di progettazione. Nel caso di differenze fra il comportamento incontrato e quello previsto, i parametri ed i criteri usati per la determinazione del comportamento allo scavo ed il sistema di sostegno devono essere rivisti. Nel caso in cui le convergenze e le sollecitazioni sui rivestimenti di prima fase o definitivi siano maggiori di quelli previsti, è necessaria un'indagine dettagliata sui motivi del differente comportamento. Se necessario, sono da eseguire ulteriori indagini. Se invece il comportamento del sistema è migliore di quello previsto, sono comunque utili delle analisi per capirne le motivazioni ed i risultati devono essere usati per calibrare il modello.

Il piano di indagini della galleria corrente si propone essenzialmente i seguenti obiettivi:

- Verifica tridimensionale dell'evoluzione deformativa della cavità in relazione sia al fattore tempo ed al progressivo allontanamento del fronte, sia alle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche dell'ammasso, quando possibile;
- Controllo 3D dello sviluppo della fascia plastica in avanzamento, quando possibile;
- Verifica dell'interazione ammasso-sistema di supporto;
- Analisi dello stato di sollecitazione nelle strutture di sostegno, con particolare attenzione ad eventuali condizioni di anisotropia tensionale.

Il sistema di monitoraggio proposto ed illustrato nel dettaglio nel seguito è stato definito rispettando le attività minime di monitoraggio del capitolato costruzioni opere civili RFI ed anche sulla base delle raccomandazioni AFTES GT19R2F1 "Méthodes d'auscultation des ouvrages souterrains".

Il monitoraggio è molto importante per scavo con metodo tradizionale al fine di controllare le convergenze ed il comportamento dei sostegni. Nel caso di scavo con TBM aperta, data la presenza della trave principale e delle attrezzature per l'installazione dei sostegni, risulta difficoltoso installare delle stazioni di monitoraggio. Si propone dunque per questo metodo solo dei sistemi di prospezione indiretta. Nel caso di TBM scudate, lo scopo principale del monitoraggio è quello di controllare lo stato tensionale e deformativo dei conci.

### 1.2 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato

Il documento è stato aggiornato rispetto al Progetto Definitivo Approvato con riferimento agli aspetti seguenti:

- Metodi di scavo e sezioni tipo applicate lungo il TdB
- Ritorno di esperienza della galleria geognostica della Maddalena
- Nuove verifiche e calcoli effettuati in fase PRV.

Le misure di monitoraggio da mettersi in opera per ciascun metodo di scavo previsto sono state mantenute invariate rispetto al Progetto Definitivo Approvato.

## 2. Documenti di riferimento

- PRV\_C3A\_3949\_26-19-00 Relazione tecnica e di calcolo
- PRV\_C3A\_3950\_26-19-00 Relazione di calcolo del rivestimento con conci prefabbricati
- PD2\_C3A\_da 3983 a 3993\_26-19-20 Scavo tradizionale – Sezioni tipo da S1 a S9
- PRV\_C3A\_3969\_26-19-20 Allarghi in corrispondenza degli imbocchi - 1/5
- PRV\_C3A\_7477\_26-19-20 Allarghi in corrispondenza degli imbocchi – 2/5
- PRV\_C3A\_3972\_26-19-20 Allarghi in corrispondenza degli imbocchi – 3/5
- PRV\_C3A\_3970\_26-19-20 Allarghi in corrispondenza degli imbocchi - 4/5
- PRV\_C3A\_7478\_26-19-20 Allarghi in corrispondenza degli imbocchi – 5/5
- PRV\_C3A\_3996\_26-19-20 Sezione di allargo per montaggio/smontaggio TBM – sezione tipo CS1
- PRV\_C3A\_3997\_26-19-20 Sezione di allargo per montaggio/smontaggio TBM – sezione tipo CS2
- PD2\_C3A\_4001\_26-19-20 Stazioni di monitoraggio
- PD2\_C3A\_3981\_26-19-30 Sezioni tipo di monitoraggio con indicazione dell'ubicazione.

## 3. Scavo tradizionale

### 3.1 Stazioni di monitoraggio

Vi sono tre tipi di stazioni di monitoraggio: fondamentali, principali e secondarie. Tali stazioni dovranno funzionare almeno fino al getto del rivestimento e la lettura dovrà avvenire almeno con frequenza variabile nel tempo sino all'installazione del rivestimento definitivo. Allo scopo di apprezzare in modo adeguato l'effetto tempo ed allontanamento dal fronte nei primi metri, nel primo giorno dall'installazione si effettuerà una lettura ogni 4 ore e nei successivi 3 giorni una lettura ogni 12 ore.

Le stazioni fondamentali comprendono:

- 6 mire ottiche rimovibili per misurare gli spostamenti/ deformazioni del cavo
- 5 estensimetri multibase di lunghezza non inferiore a 12-18 m (in funzione dell'estensione del raggio plastico) per la misura delle deformazioni e dell'estensione della fascia plastica
- 2 celle di carico idrauliche installate al di sotto del piede delle centine (eventuali, ovvero solo nel caso di sezioni tipo con centine)
- 5 celle di pressione radiali, da installare nel cls proiettato
- 1 eventuale sondaggio a carotaggio continuo in avanzamento, di lunghezza almeno pari a 60 m.

Le stazioni fondamentali saranno installate almeno ogni 1000 m. Le misure saranno effettuate per tutta la durata del cantiere.

Le stazioni principali comprendono:

- 6 mire ottiche rimovibili

Rapport technique sur l'auscultation TdB / Relazione tecnica di monitoraggio TdB

- 5 estensimetri multibase di lunghezza non inferiore a 12-18 m (in funzione dell'estensione del raggio plastico)
- 2 celle di carico idrauliche installate al di sotto del piede delle centine (naturalmente solo nel caso di sezioni tipo con centine)
- 5 celle di pressione radiali.

La distanza tra le stazioni principali varia tra 50-100 m a seconda delle condizioni geologiche ed il comportamento del sostegno.

Le stazioni secondarie comprendono solo 6 mire ottiche rimovibili. La distanza tra le stazioni secondarie varia tra 20 e 30 m a seconda delle condizioni geologiche e del comportamento del sostegno.

Se la direzione lavori in fase di esecuzione lo ritiene necessario, il capitolato RFI prevede che, nei tratti superficiali e/o di imbocco, possono essere installati dei piezometri dalla superficie fino a quota tunnel per determinare il livello dell'acqua.

Le mire devono essere posizionate a distanza non superiore a 100 cm dal fronte di scavo e la lettura di "zero" deve essere immediata. Le mire installate sui piedritti devono essere poste ad una quota non superiore ad 1 m sopra la quota dei piani dei centri.

Per maggiori dettagli sul sistema di monitoraggio si veda il capitolato RFI.

Le distanze tra le stazioni di monitoraggio saranno comunque adattate in funzione delle condizioni geologiche e del comportamento del sostegno. In particolare, dovrà essere prevista una stazione fondamentale in corrispondenza di cambiamenti litologici e di faglie o zone fratturate.

Tali stazioni sono rappresentate nell'elaborato PD2\_C3A\_TS3\_4001\_26-19-20 con riferimento alla sezione corrente (dalla pk 53+417 BP/ 53+650 BD alla pk 52+598 BP). Saranno anche disposte delle stazioni secondarie ed eventualmente principali (in zone più fratturate o di faglia) nelle sezioni allargate in corrispondenza degli imbocchi (per la canna BP, dalla pk 61+076.5 alla pk 61+021.5 e, per la canna BD, dalla pk 61+076.5 alla pk 60+934.5) e nelle caverne di montaggio/smontaggio (dalla pk 53+690 alla pk 53+650 e dalla pk 51+680 alla pk 51+640).

Per maggiori dettagli sul sistema di monitoraggio si veda il capitolato RFI.

## 3.2 Altre misure e rilievi

Oltre alle stazioni di monitoraggio, è necessario eseguire un rilievo del fronte di scavo ad ogni avanzamento.

## 3.3 Soglie di attenzione e di allarme

### 3.3.1 Generalità

Le soglie di attenzione e di allarme riguardano le misure delle convergenze (spostamenti radiali) e degli sforzi sulle centine. Non si forniscono valori di pressione nel cls proiettato in quanto più difficili da definire a priori dato che l'introduzione del dispositivo di misura ne può modificare lo stato iniziale di sollecitazione.

Le soglie sono state definite in funzione del comportamento dell'ammasso roccioso sulla base delle simulazioni effettuate nella relazione di calcolo (documento PRV\_C3A\_3949\_26-19-00) e della capacità resistente dei sostegni.

Rapport technique sur l'auscultation TdB / Relazione tecnica di monitoraggio TdB

---

Generalmente la soglia di attenzione è stata fissata pari all'80 %/100% del valore di spostamento (considerando lo spostamento dietro al fronte) o di sollecitazione effettiva calcolata (senza coefficienti maggiorativi) mentre la soglia di allarme al 120 %/150 % di tali valori.

### **3.3.2 Sezione S3a**

Con riferimento agli spostamenti calcolati nella relazione di calcolo PRV\_C3A\_3730\_26-46-20\_10-01 per la sezione considerata equivalente alla sezione S3a, ossia la sezione E-E S1 (il comportamento dell'ammasso dovrebbe essere migliore o al massimo uguale), si fissa a 1.5 cm la soglia di attenzione e a 2.5 cm la soglia di allarme.

### **3.3.3 Sezione S4**

Coerentemente con i domini di resistenza previsti nella relazione tecnica e di calcolo (documento PRV\_C3A\_3949\_26-19-00\_10-02), si fissa a 3 cm la soglia di attenzione e a 4 cm la soglia di allarme.

### **3.3.4 Sezione S11**

Con riferimento agli spostamenti calcolati nella relazione di calcolo PRV\_C3A\_3730\_26-46-20\_10-01 per la sezione considerata equivalente alla sezione S11, ossia la sezione E-E S4 (il comportamento dell'ammasso dovrebbe essere migliore o al massimo uguale), si fissa a 3 cm la soglia di attenzione e a 4 cm la soglia di allarme.

### **3.3.5 Cameroni all'imbocco**

Si considera la sezione A, ma i valori sono validi anche per la sezione C.

Sulla base dei calcoli effettuati nella relazione tecnica e di calcolo (documento PRV\_C3A\_3949\_26-19-00\_10-02), i valori di spostamento saranno millimetrici ed al massimo centimetrici. Si fissa a 1 cm la soglia di attenzione e a 2 cm la soglia di allarme.

Per le sollecitazioni di sforzo normale sulle centine HEB220, sulla base dei valori di sollecitazione ottenuti dai calcoli e della capacità resistente delle centine rispetto alla capacità resistente del sistema centine+cls proiettato, si fissa pari a 280 kN la soglia di attenzione e pari a 400 KN la soglia di allarme.

### **3.3.6 Sezione CS1**

Sulla base dei calcoli effettuati per l'area di sicurezza di Clarea per la sezione B-B S1 (documento PRV\_C3A\_3730\_26-46-20\_10-01), si fissa la soglia di attenzione a 2.5 cm e la soglia di allarme a 4 cm.

### **3.3.7 Sezione CS2**

Sulla base dei calcoli effettuati ed il tipo di sostegno (sulla base dei calcoli effettuati per l'area di sicurezza di Clarea per la sezione B-B S3, documento PRV\_C3A\_3730\_26-46-20\_10-01), si fissa la soglia di attenzione a 4.5 cm (misure in calotta e piedritto) e a 6.5 cm la soglia di allarme (si può consentire ulteriore deformazione durante lo scavo della calotta).

Lo sforzo normale nelle centine HEB220 è fissato pari a 1150 kN per la soglia di attenzione e a 1750 kN per la soglia di allarme.

## 4. Scavo meccanizzato (conci prefabbricati)

### 4.1 Stazioni di monitoraggio

Anche in questo caso, si sono previste delle stazioni principali e delle stazioni secondarie. Nel caso delle stazioni principali, i conci sono strumentati con 6 estensimetri a corda vibrante fissati alle gabbie d'armatura lato intradosso ed estradosso in direzione tangenziale e 6 mire topografiche fissate ai conci. Nel caso delle stazioni secondarie si prevedono solo delle mire topografiche.

La distanza minima tra stazioni principali è di 500 m e tra stazioni secondarie di 250 m. Saranno comunque adattate in funzione della geologia e si prevede una stazione principale ad ogni cambiamento litologico o zona di faglia incontrata.

La frequenza di lettura è variabile nel tempo in funzione dell'avanzamento della macchina e quindi della distanza dal fronte di scavo. Questa può essere eseguita 4-5 volte al giorno nei primi giorni di installazione (quando il fronte è vicino), poi ogni giorno ed infine ogni settimana quanto il fronte dista 200 m e l'ammasso non presenta fenomeni dipendenti dal tempo.

Le stazioni sono rappresentate nell'elaborato PD2\_C3A\_3981\_26-19-30.

### 4.2 Altre misure e rilievi

Nel caso di scavo meccanizzato (sia per TBM aperta che scudata) è inoltre indispensabile analizzare i parametri operativi della macchina ed eventualmente ricorrere a sistemi di prospezione indiretti (indagini geosismiche a rifrazione e geoelettriche), nonché all'analisi del materiale di scavo o il volume del materiale di riempimento, per poter controllare l'avanzamento della macchina in funzione del comportamento e delle caratteristiche dell'ammasso e scegliere i rivestimenti da porre in opera. Questo riveste più importanza per le TBM scudate, dove l'ammasso roccioso può essere osservato solo tramite finestre al fronte o negli scudi. Si eseguiranno inoltre dei sondaggi a distruzione in avanzamento, descritti per quanto riguarda gli interventi eccezionali (vedere relazione PRV\_C3A\_3949\_26-19-00 ed elaborati ad essa connessi).

Inoltre, per la TBM aperta si deve prevedere un rilievo geologico-geotecnico dei paramenti, mentre per la TBM scudata un'ispezione regolare dell'ammasso roccioso dalle finestre.

Si deve inoltre prevedere regolarmente un'ispezione del fronte con rilievo ad ogni fermo della macchina per manutenzione della testa (dove si lascia un'intercapedine tra testa fresante ed ammasso).

### 4.3 Soglie di attenzione e di allarme

Coerentemente con i domini di resistenza previsti nella relazione di calcolo (documento PRV\_C3A\_3950\_26-19-00), si sono definiti i seguenti valori soglia di attenzione e di allarme:

- Soglia di attenzione: 850  $\mu\epsilon$  per TM45 (ovvero corrispondente a tensioni  $\sigma$  di circa 30 MPa) e 800  $\mu\epsilon$  per TM40 (ovvero corrispondente a tensioni  $\sigma$  di circa 28 MPa)
- Soglia di allarme: 1100  $\mu\epsilon$  per TM 45 (ovvero corrispondente a tensioni  $\sigma$  di circa 40 MPa) e 1000  $\mu\epsilon$  per TM 40 (ovvero corrispondente a tensioni  $\sigma$  di 35 MPa)

Per quanto riguarda gli spostamenti radiali, a partire dalle deformazioni si possono fissare i seguenti valori:

Rapport technique sur l'auscultation TdB / Relazione tecnica di monitoraggio TdB

---

TM40, TM45 scavo con modalità aperta (roccia):

- Soglia di attenzione: 6 mm
- Soglia di allarme: 8 mm.

TM45 scavo in modalità chiusa (depositi alluvionali Val Cenischia)

- Soglia di attenzione: 25 mm
- Soglia di allarme: 30 mm.

Tali soglie sono comunque da verificare durante lo scavo in funzione delle condizioni geomeccaniche effettivamente incontrate e dell'effettivo comportamento dell'intasamento a tergo (specie per le convergenze radiali, in quanto un intasamento non disposto correttamente può portare a traslazioni dell'anello).

I valori di spostamento radiale sono relativi alla sezione corrente del Tunnel di Base e non in corrispondenza dell'intersezione con i rami in cui, specie in fase provvisoria, si possono avere valori notevolmente superiori.