

INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NELL'AREA A GRAVE RISCHIO EX L.267/98  
CHE INTERESSA IL CENTRO ABITATO DI LOVERE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA ZONA DI VIA  
CORNASOLA - VIA NAZIONALE - VIA DANTE



COMUNE DI LOVERE  
PROVINCIA DI BERGAMO

Fase Progettuale

# PROGETTO DEFINITIVO

Oggetto

Relazione di caratterizzazione geotecnica e sismica

Ing. P. Cancelli  
Ing. G. Bragonzi

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO  
via Sansovino 23 - 20133 Milano  
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005  
Fax: 02 45488726  
E-mail: sca@sca.fastwebnet.it

Collaborazione

Ing. F. Cattaneo  
Ing. L. Tedeschi  
Ing. S. Rozzoni

Prof. Geol. Lamberto Griffini  
Ing. Massimo Griffini



Ing. G. Federici



Elaborato

**B03**

Dott. Geol. F. Baio

**Fabio BAIO \* geologo**

Codice **271D032T18**

Scala **-**

Data	n°	Descrizione	Approvato
25/10/2021	1	Revisione per importo quadro economico	LG
10/09/2021	0	Emissione per consegna	LG



## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
2.1	<i>Normativa .....</i>	<i>4</i>
2.2	<i>Bibliografia .....</i>	<i>4</i>
2.3	<i>Software.....</i>	<i>4</i>
<b>3</b>	<b>ELABORAZIONE PROVE IN SITO E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO .....</b>	<b>5</b>
3.1	<i>Campagna d'indagini 2016.....</i>	<i>5</i>
3.2	<i>Campagna d'Indagini 2021.....</i>	<i>15</i>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....</b>	<b>24</b>
5.1	<i>Classificazione sismica.....</i>	<i>24</i>
5.2	<i>Definizione dei parametri sismici di progetto .....</i>	<i>24</i>
<b>6</b>	<b>ANALISI PROCESSI DEFORMATIVI DI VERSANTE.....</b>	<b>29</b>
6.1	<i>Caratteristiche generali dei cinematismi in atto .....</i>	<i>29</i>
6.2	<i>Monitoraggio geotecnico e topografico .....</i>	<i>30</i>
6.2.1	<i>Sintesi risultati misure inclinometriche .....</i>	<i>31</i>
6.2.2	<i>Sintesi risultati misure piezometriche .....</i>	<i>32</i>
6.2.3	<i>Sintesi risultati misure distometriche.....</i>	<i>34</i>
6.2.4	<i>Sintesi risultati misure topografiche.....</i>	<i>35</i>
6.3	<i>Analisi delle condizioni di stabilità dei processi di deformazione.....</i>	<i>36</i>
6.3.1	<i>Metodo di calcolo .....</i>	<i>36</i>
6.3.2	<i>Risultati delle verifiche di stabilità globale .....</i>	<i>37</i>
	<b>ANNESI .....</b>	<b>41</b>



## 1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatto nell'ambito della progettazione delle opere previste dagli *interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante.*



Figura 1.1: Ubicazione area di studio (da Google Earth)



## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normativa

- [1] Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- [2] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 del Consiglio Sup. LL. PP. – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 Gennaio 2018
- [3] Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio e Urbanistica (sett. 2011) – "Linee di indirizzo per la progettazione delle opere di difesa del suolo in Lombardia"
- [4] Provincia di Bergamo – Comune di Lovere – Piano di Governo del Territorio, approvato con DCC n° 1 del 20.01.2012 – Relazione e Tavole
- [5] Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c.108, lett. D) – DGR n° X/2129 del 11-07-2014

### 2.2 Bibliografia

- [6] Skempton, A. W. (1986), "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation". Geotechnique 36, n°2
- [7] Liao S.C. e Withmann R.V. (1986). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. Journal of GED, ASCE. 112 (3): 373-377
- [8] Schmertmann, J.H. (1975), "Measurement of in situ shear strength, keynote lecture, Proceedings of the conference on in-situ measurement of soil properties", June 1-4, 1975, vol. II, American Society of Civil Engineers
- [9] Berardi R., Lancellotta R., "Stiffness of Granular Soils from Field Performance"; 1991, Geotechnique
- [10] Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) – "New correlations of penetration tests for design practice", Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando
- [11] Cestari F. (2009) – Prove geotecniche in sito", Edizioni Geo-Impianti
- [12] Xin-She Yang, Suash Deb, (2009) Cuckoo Search via Lévy flights – 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC) – Coimbatore India

### 2.3 Software

- [13] SLIDE 2 – Rocscience



### 3 ELABORAZIONE PROVE IN SITO E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle litologie e dei depositi sciolti presente nell'area di interesse, sono state prese in esame le indagini geognostiche e geofisiche eseguite negli anni 2016 e 2021 e in particolar modo sono state prese in considerazione le verticali poste nell'intorno dell'area di interesse.

L'ubicazione dei sondaggi è riportata in **Figura 3.1**

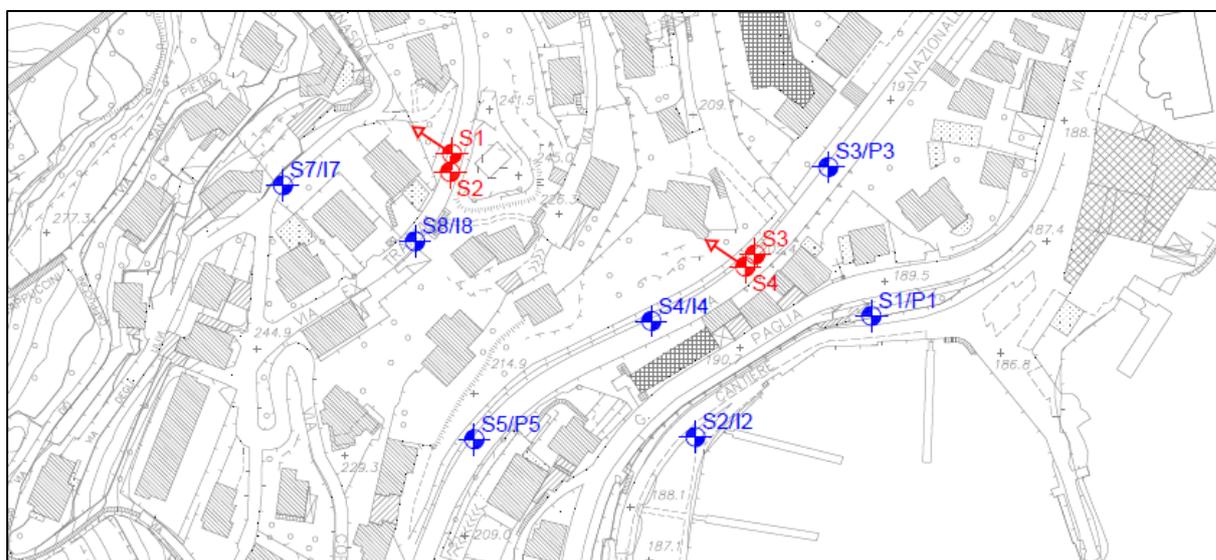


Figura 3.1: Ubicazione dei sondaggi realizzati nella campagna d'indagini del 2016 (in blu) e nel 2021 (in rosso)

In assenza di valori da prove SPT nell'area tra Via Cornasola e Via Ex Tramvia, sono stati utilizzati i dati ottenuti dalle prove di laboratorio geotecnico, mentre nell'area compresa tra Via del Cantiere e Via Nazionale sono stati utilizzati sia i valori ottenuti dalle prove SPT sia quelli ottenuti dalle prove di laboratorio.

#### 3.1 Campagna d'indagini 2016

La campagna d'indagini del 2016 ha visto la realizzazione di n. 16 verticali d'indagine con messa in opera di piezometri a tubo aperto (S2, S3, S5 ed S10), tubi inclinometrici (S2, S4, S8 ed S12) e tubi in PVC per le prospezioni geofisiche (S6 ed S11).

Sono state eseguite prospezioni geofisiche in foro Down Hole realizzate all'interno dei fori di sondaggio (S2, S4, S6, S7, S8, S11 ed S12)

Durante le perforazioni sono stati prelevati campioni sia campioni rimaneggiati sia campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico.



In **Tabella 3.1** si riportano i risultati delle prove di laboratorio geotecnico dei campioni utilizzati per la caratterizzazione geotecnica dei depositi presenti nell'area in esame.

Sulla base dei risultati delle prove di laboratorio geotecnico, sono stati valutati i seguenti parametri geotecnici suddivisi per le zone omogenee di appartenenza:

- Frazioni granulometriche;
- Limiti di consistenza;
- Angolo di resistenza al taglio  $\phi'_{cv}$  stimato sulla base delle correlazioni proposte da Mitchell J.K. (1979);
- Coesione efficace  $c'$  da prove di taglio diretto;
- Angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p$  e residuo  $\phi'_R$  da prove di taglio diretto.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalle prove di laboratorio in funzione della quota. Le sigle fanno riferimento alle diverse unità geotecniche individuate e sono descritte nel capitolo successivo.



Comune di  
Lovere (BG)

**Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante**

Tabella 3.1: Risultati prove di laboratorio geotecnico dei campioni utilizzati per la caratterizzazione geotecnica dell'area in esame

Sondaggio	Area	Sigla campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometrie				Limiti di consistenza			Taglio diretto		
				G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LP	LL	IP	c'	$\phi'$ p	$\phi'$ r
S2 (2016) q 187 m s.m.	Via del Cantiere	CR1	8.1÷8.4	26.0	71.0	3.0	0.0	-	-	-	-	-	-
		CR2	18.5÷18.7	31.0	46.0	17.0	6.0	-	-	-	-	-	-
		CR3	32.4÷32.6	36.0	35.0	20.0	8.0	-	-	-	-	-	-
		CR4	32.0÷32.7	21.0	32.0	30.0	16.0	-	-	-	-	-	-
		CR5	50.0÷55.0	19.0	37.0	27.0	17.0	-	-	-	-	-	-
S4 (2016) q 205 m s.m.	Via Nazionale	CR1	4.4÷4.6	26.0	29.0	24.0	21.0	-	-	-	-	-	-
		CR2	13.4÷13.6	30.0	48.0	15.0	6.0	-	-	-	-	-	-
		CR3	28.4÷28.6	25.0	23.0	38.0	14.0	-	-	-	-	-	-
		CR4	36.3÷36.5	38.0	36.0	18.0	9.0	-	-	-	-	-	-
		CR5	49.4÷49.6	48.0	29.0	15.0	8.0	-	-	-	-	-	-
		CR6	57.7÷58.0	33.0	33.0	20.0	14.0	-	-	-	-	-	-
S7 (2016) q 252 m s.m.	Via Cornasola	CR1	19.0÷19.2	32.0	46.0	15.0	7.0	-	-	-	-	-	-
		CI1	34.4÷35.0	8.0	14.0	60.0	18.0	31.8	36.8	5	51.6	34.4	28.5
		CR2	43.6÷43.8	24.0	37.0	26.0	13.0	-	-	-	-	-	-
		CI2	48.4÷49.0	0.0	8.0	64.0	28.0	17.9	22.8	4.9	-	-	-
		CR3	50.4÷50.6	0.0	2.0	59.0	39.0	-	-	-	-	-	-
S8 (2016) q 244 m s.m.	Via Ex Tramvia	CR4	29.5÷59.7	3.0	8.0	52.0	37.0	-	-	-	-	-	-
		CR1	17.5÷17.7	34.0	35.0	24.0	7.0	-	-	-	-	-	-
		CR2	21.5÷21.7	46.0	32.0	14.0	8.0	-	-	-	-	-	-
		CR3	31.3÷31.5	8.0	63.0	19.0	13.0	-	-	-	-	-	-
		CI1	39.4÷40.0	0.0	14.0	66.0	20.0	25.1	29.3	4.2	45.0	33.4	29.3
		CR4	47.6÷47.8	38.0	28.0	24.0	10.0	-	-	-	-	-	-
		CR5	51.0÷51.2	29.0	31.0	26.0	14.0	-	-	-	-	-	-
		CR6	58.8÷59.0	3.0	41.0	43.0	12.0	14.5	24.4	9.9	-	-	-
CR7	62.8÷63.0	17.0	33.0	37.0	13.0	15.4	24.1	8.70	-	-	-		

**G(%)**= percentuale di ghiaia; **S(%)**= percentuale di sabbia; **L(%)**= percentuale di limo; **A(%)**= percentuale di argilla; **LP**= limite plastico; **LL**= limite liquido; **IP**= indice di plasticità; **c'**= coesione efficace;  **$\phi'$ p**= angolo di resistenza al taglio efficace di picco;  **$\phi'$ r**= angolo resistenza al taglio efficace residuo.



### Frazioni granulometriche

Sulla base delle prove granulometriche, per setacciatura e sedimentazione, eseguite sui campioni prelevati nelle cassette catalogatrici dei sondaggi, è stata ricostruita la distribuzione delle granulometrie lungo le verticali d'indagine.

I risultati delle elaborazioni ed i valori assunti nella caratterizzazione sono mostrati di seguito (da **Figura 3.2** a **Figura 3.5**)

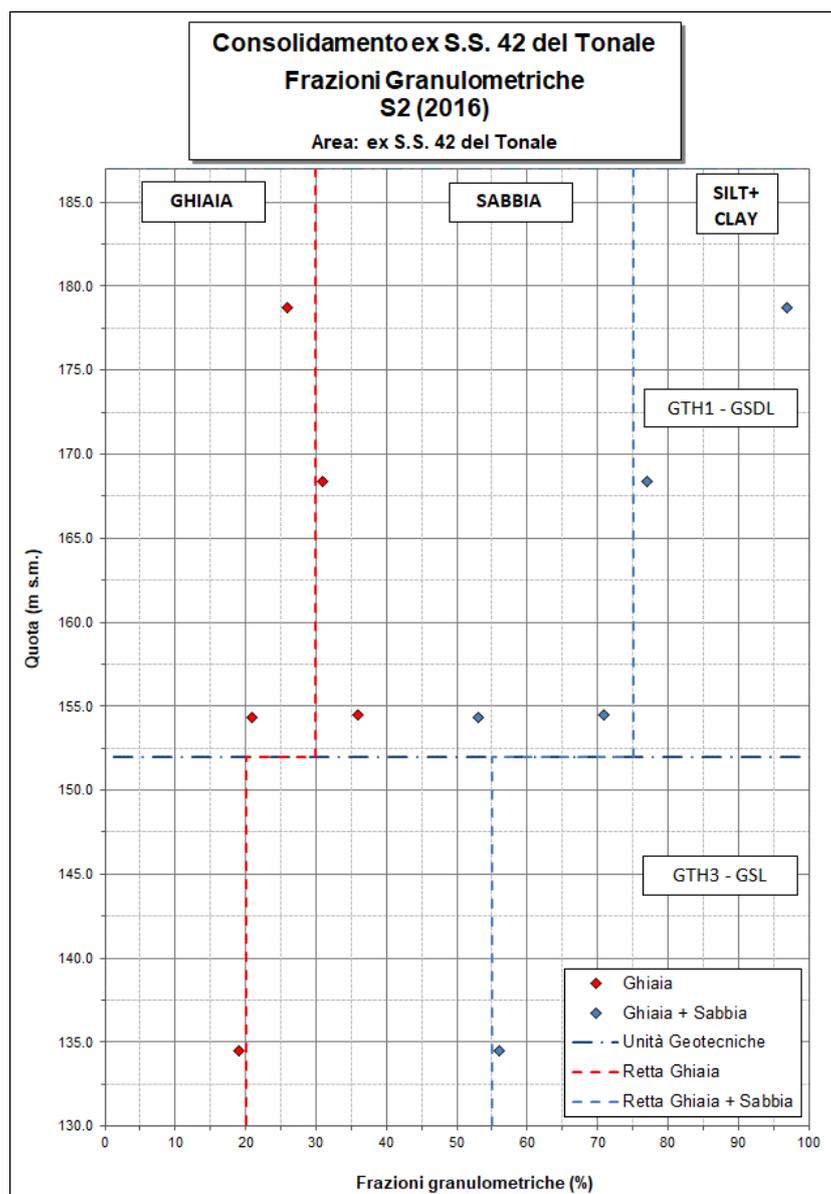


Figura 3.2: Frazioni granulometriche relative ai campioni prelevati nel sondaggio S2 (2016)

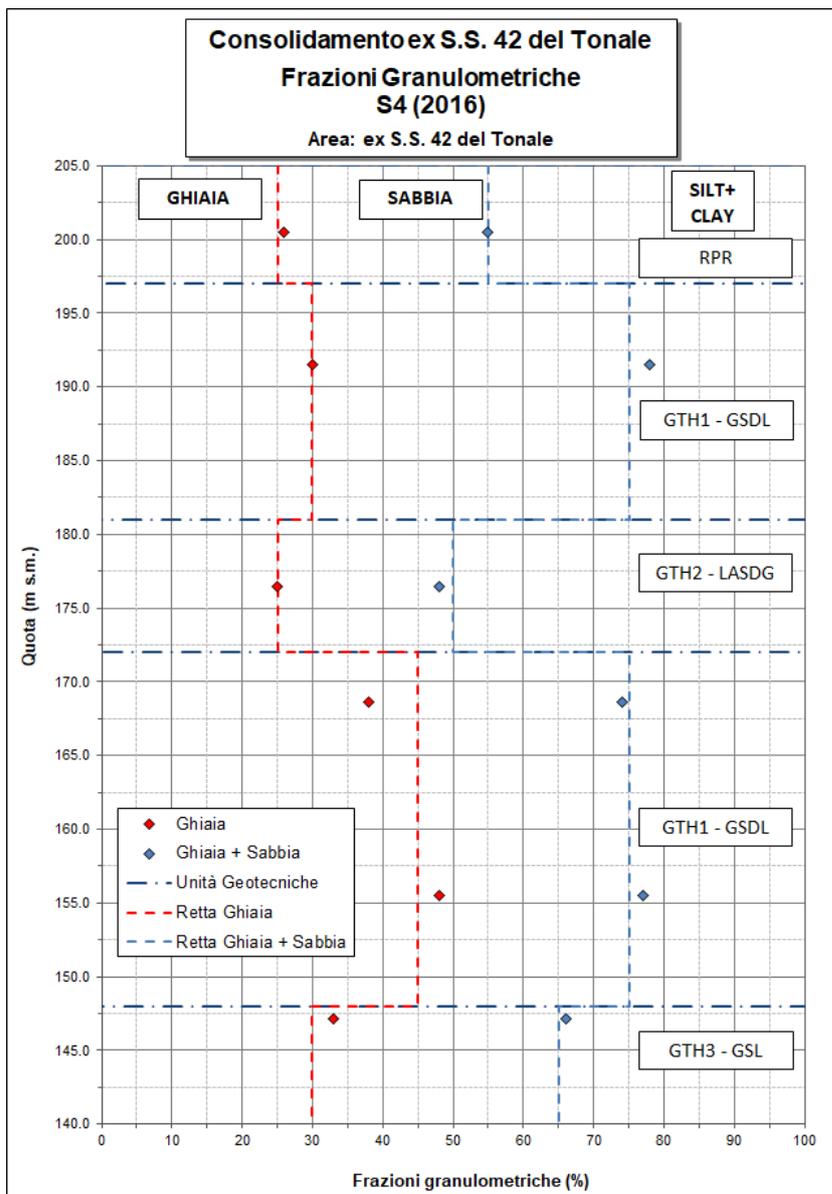


Figura 3.3: Frazioni granulometriche relative ai campioni prelevati nel sondaggio S4 (2016)

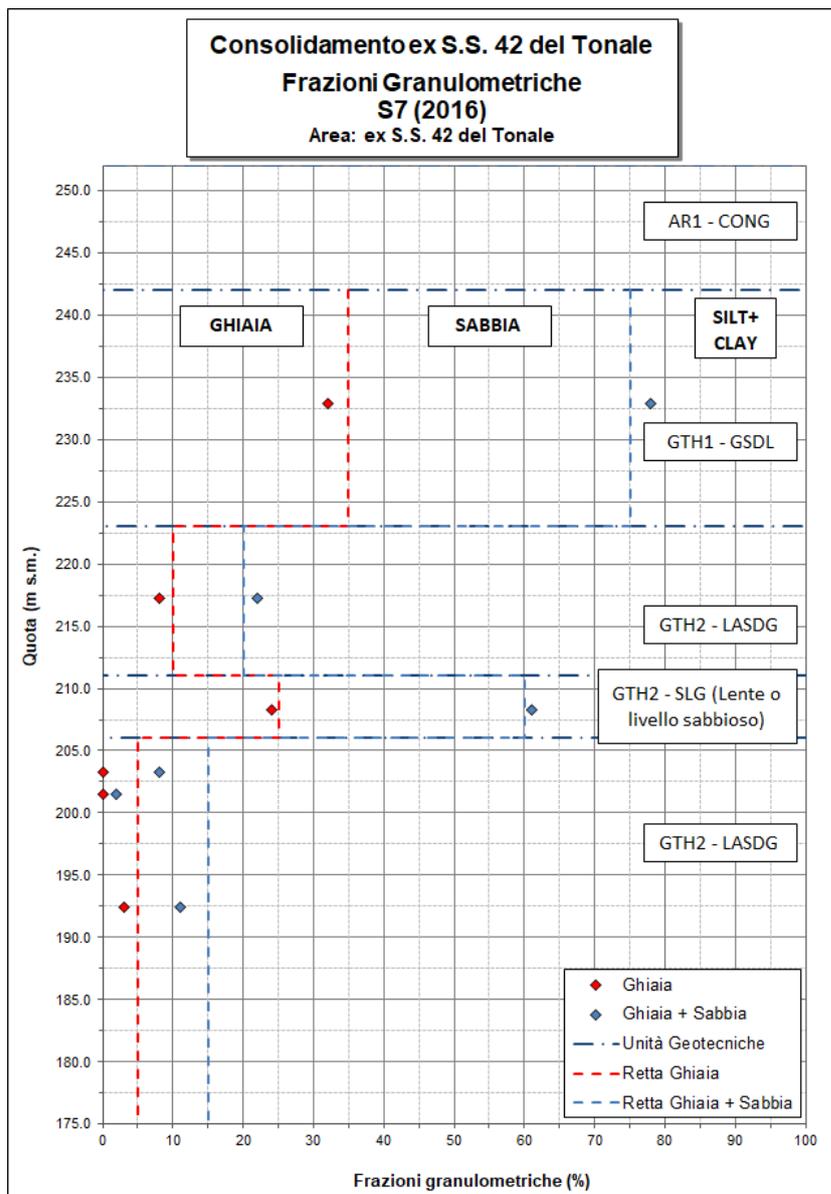


Figura 3.4: Frazioni granulometriche relative ai campioni prelevati nel sondaggio S7 (2016)

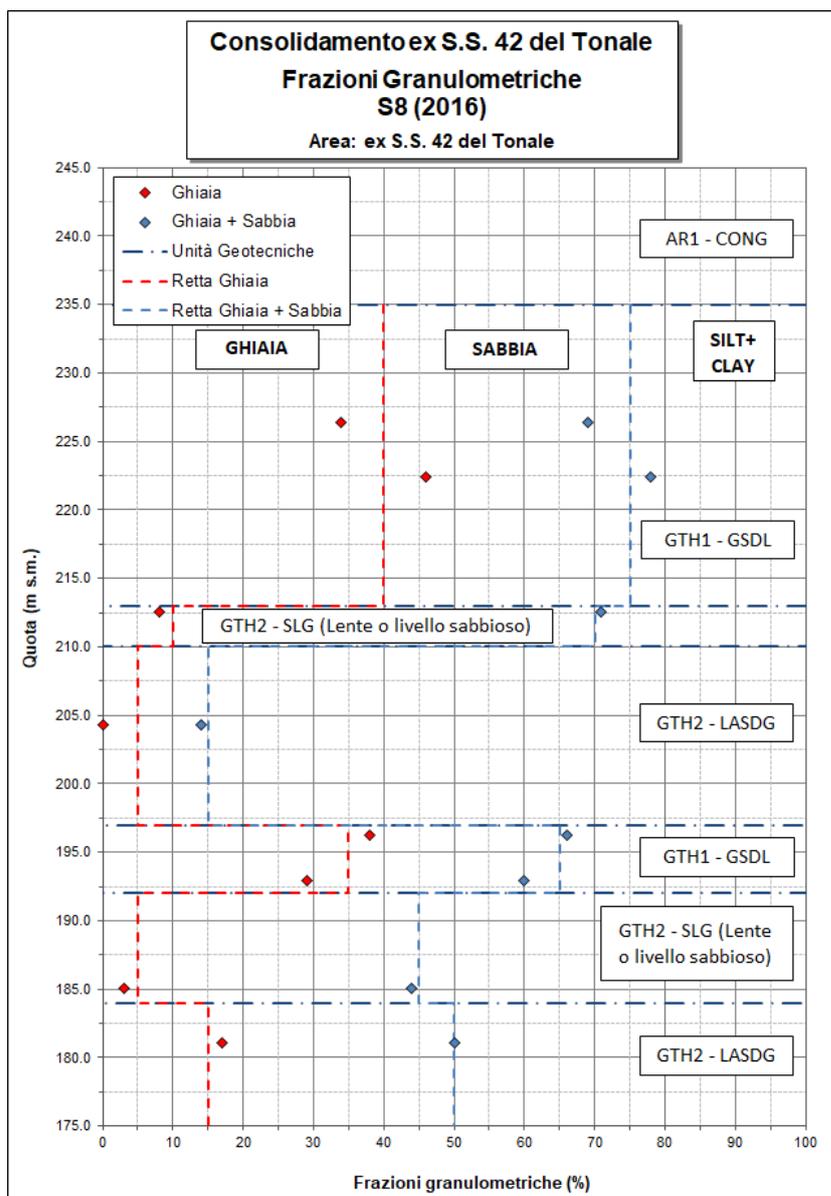


Figura 3.5: Frazioni granulometriche relative ai campioni prelevati nel sondaggio S8 (2016)

### **Limiti di consistenza**

Sulla frazione fine dei campioni analizzati, sono stati definiti i limiti di consistenza (Limiti di Atterberg) definendone il Limiti Plastico, il Limite Liquido e da questi l'Indice di Plasticità.

In **Figura 3.6** sono riportati i risultati dei limiti di consistenza dei diversi campioni analizzati in funzione della quota.

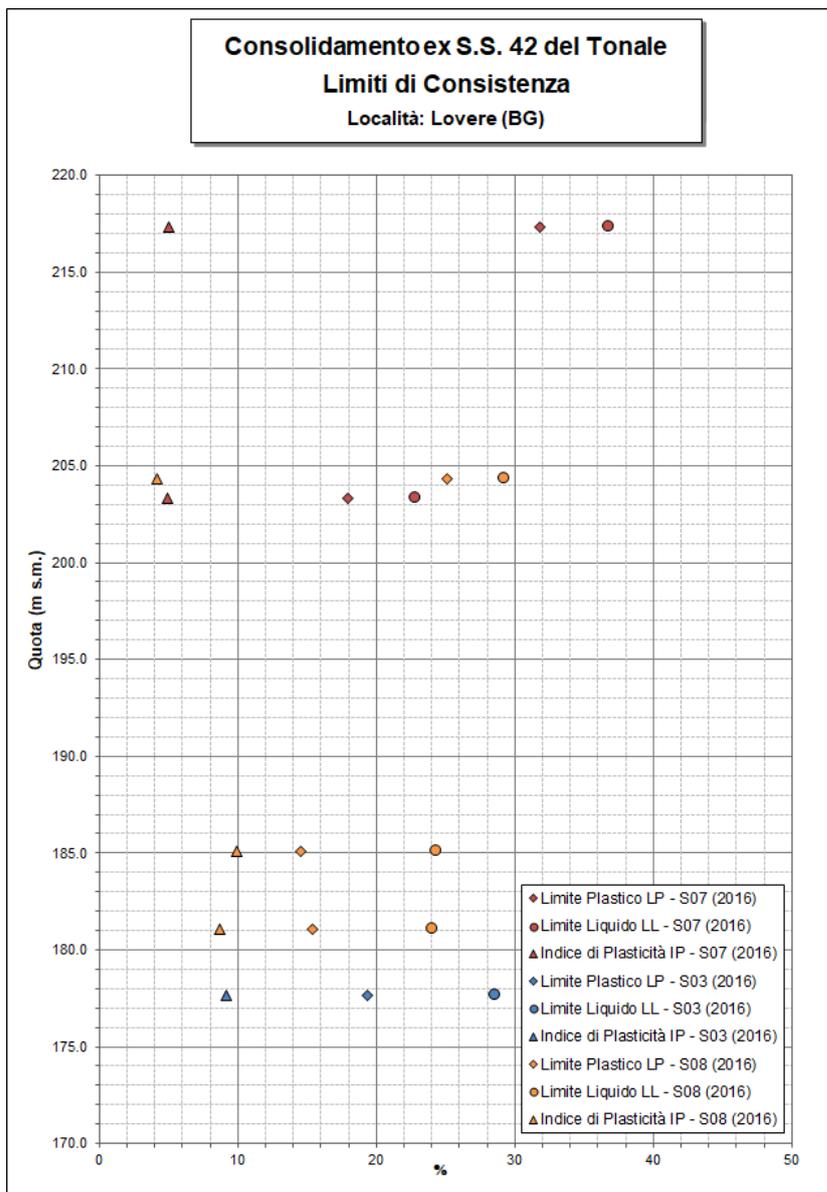


Figura 3.6: Limiti di consistenza

### **Angolo di resistenza al taglio $\varphi'_{cv}$ di Mitchell (1979)**

In **Figura 3.7** sono riportati i valori di angolo di resistenza al taglio ottenuti mediante la formulazione proposta da Mitchell (1979) partendo dai valori dell'Indice di Plasticità (IP) ottenuti dai limiti di consistenza.

Di seguito la formulazione proposta da Mitchell (1979):

$$\text{sen}\varphi'_{cv} = 0.8 - 0.094 \ln(IP)$$

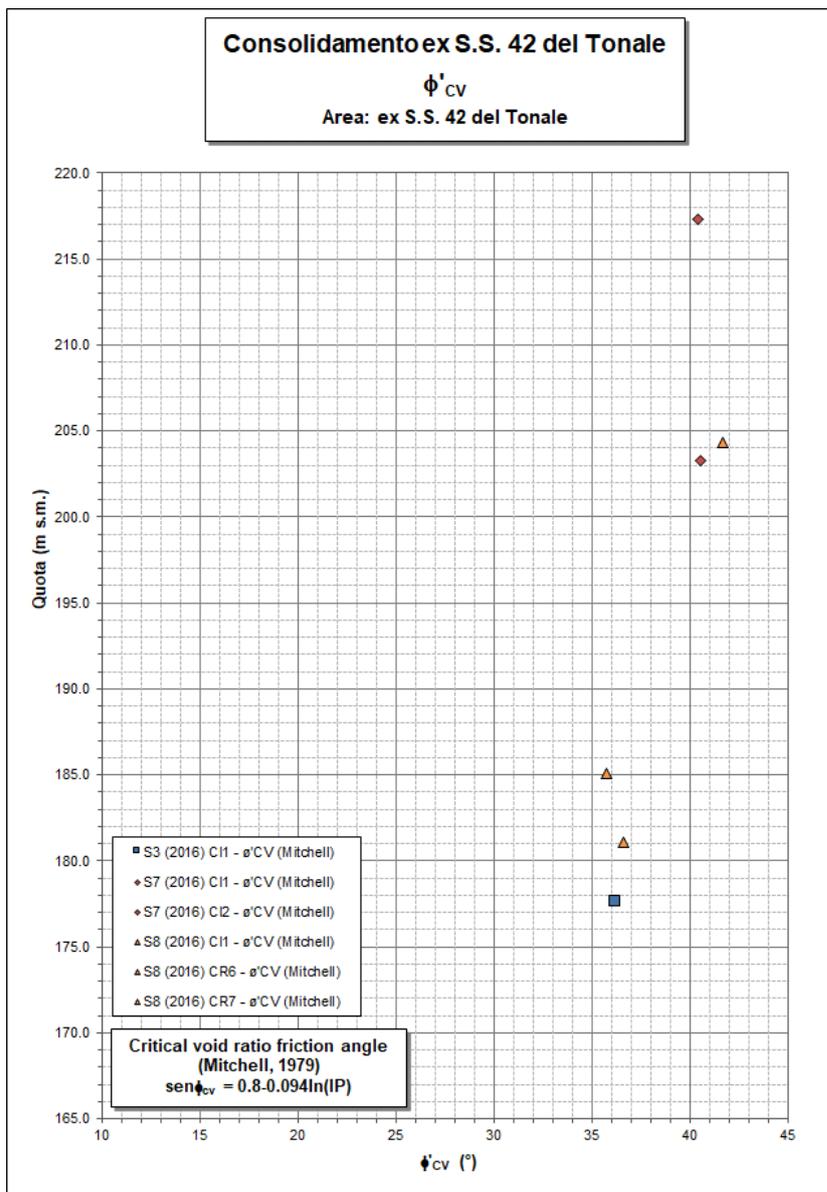


Figura 3.7: Definizione del  $\phi'_{cv}$  (Mitchell, 1979)

**Coesione efficace  $c'$ , angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p$  e residue  $\phi'_r$  da prove di taglio diretto su campioni indisturbati**

In Figura 3.8 sono riportati i valori di coesione efficace, angolo di resistenza al taglio di picco e residuo ottenuti mediante prove di taglio diretto su campioni indisturbati.

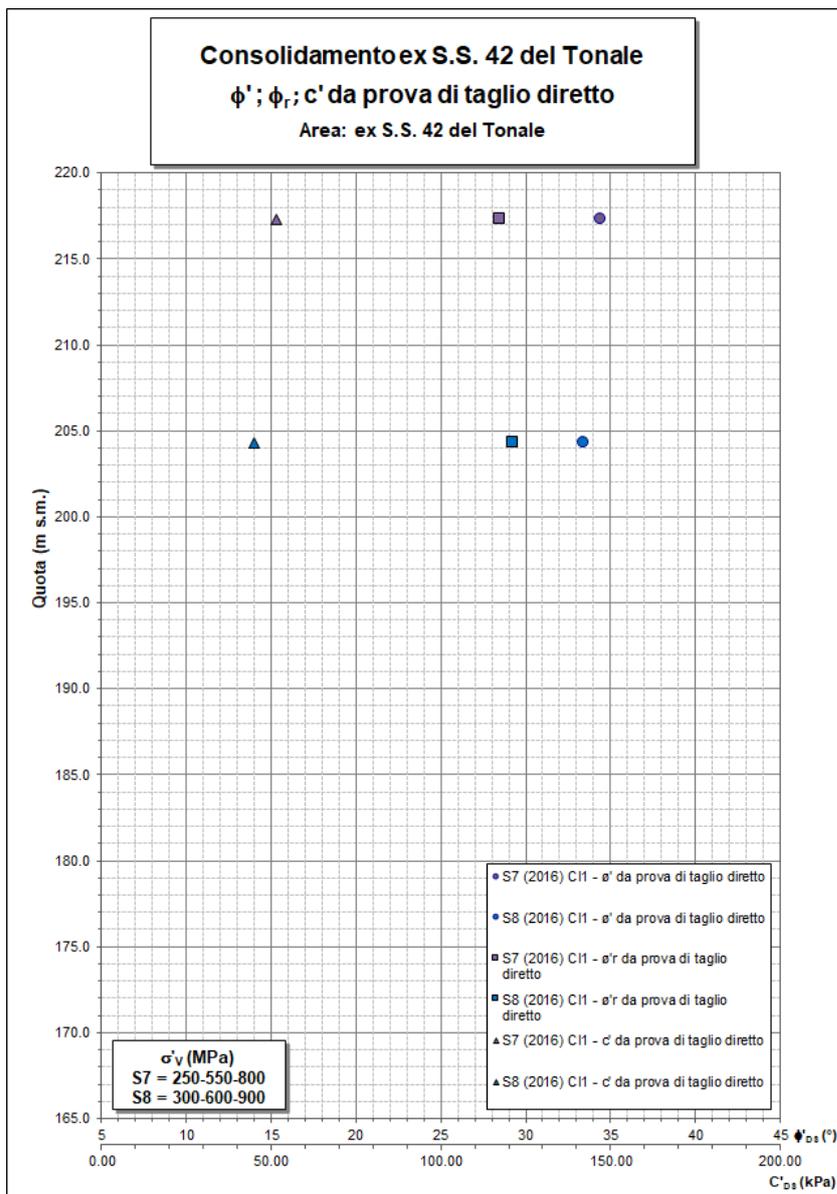


Figura 3.8: Definizione di  $c'$ ,  $\phi'_p$  e  $\phi'_R$



### 3.2 Campagna d'Indagini 2021

La campagna d'indagini del 2021 ha visto la realizzazione di n. 4 sondaggi a carotaggio continuo di cui due verticali (S2 ed S4) e, in prossimità di quest'ultimi, due inclinati (S1 ed S3) inclinati rispettivamente di 14° e 28° rispetto l'orizzontale.

Durante le fasi di avanzamento sono state eseguite n. 22 prove SPT equamente ripartite nei fori di sondaggio S2 ed S4. Nel primo il numero di colpi ha sempre raggiunto il rifiuto della prova (n.50 colpi in 15 cm di avanzamento) indice di depositi grossolani, cementati o ben addensati. Per il secondo, invece, in **Tabella 3.2** si riportano i risultati ottenuti espressi in numero di colpi per un avanzamento di 15 cm.

In **Figura 3.9** si riportano i valori di  $N_{SPT}$  ottenuti per ciascun sondaggio e suddivisi in base alle zone omogenee interessate dalle opere e precedentemente definite.

Sulla base dei risultati delle prove penetrometriche e delle prove di laboratorio geotecnico, sono stati valutati i seguenti parametri geotecnici suddivisi per le zone omogenee di appartenenza:

- Numero di colpi normalizzati  $N1_{60}$
- Densità relativa  $D_r$ ;
- Angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p$ ;
- Modulo elastico secante per piccole deformazioni,  $E_{01}$ ;
- Modulo elastico secante per un grado di mobilitazione della resistenza ultima del 25%,  $E_{25}$ ;
- Frazioni granulometriche;
- Limiti di consistenza;
- Angolo di resistenza al taglio  $\phi'_{cv}$  stimato sulla base delle correlazioni proposte da Mitchell J.K. (1979) e  $\phi'$  da prove di taglio diretto su campioni ricostituiti.

Tabella 3.2: Risultati delle prove SPT eseguite in fase di realizzazione del sondaggio S4 (2021)

Sondaggio	Area	Profondità	N1	N2	N3	NSPT
		(m da p.c.)				
S4 (2021)	Ex S.S. 42 del Tonale	3.00÷3.45	8	5	5	10
		6.00÷6.45	5	6	7	13
		9.00÷9.45	10	16	35	51
		12.00÷12.45	9	8	8	16
		15.00÷15.45	7	10	16	26
		18.00÷18.45	8	6	17	23
		21.00÷21.45	8	6	14	20
		24.00÷24.45	5	6	8	14
		27.00÷27.45	7	10	11	21
		30.00÷30.45	12	8	13	21
33.00÷33.45	14	17	32	49		

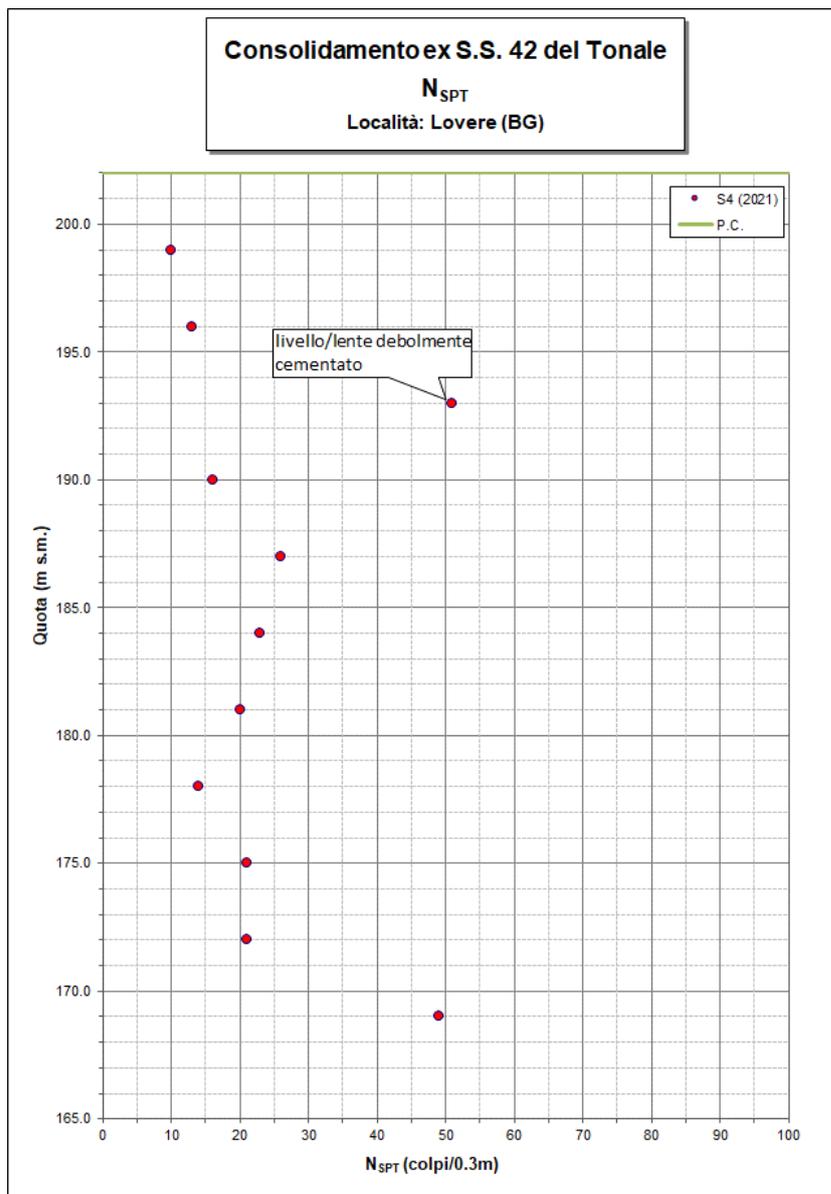


Figura 3.9: N<sub>SPT</sub> sondaggio S4 (2021)



### **N<sub>160</sub>**

I valori ottenuti in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e delle caratteristiche granulometriche generali dei terreni (**Figura 3.10**), secondo la seguente equazione:

$$N_{1(60)} = N_{60} \times C_N$$

dove:

$$N_{60} = N_{SPT} \times \frac{E_R}{60} \times C_B \times C_S \times C_R \quad (\text{Skempton, 1986})$$

e:

- $N_{1(60)}$ : valore di resistenza normalizzato;
- $N_{60}$ : valore di resistenza in rapporto ad un'energia di riferimento pari al 60% ( $E_R/60$ ), al diametro del foro ( $C_B$ ), al campionatore ( $C_S$ ) ed alla lunghezza delle aste ( $C_R$ );
- $C_N$ : fattore di correzione in funzione della granulometria del terreno (Liao & Whitmann, 1986).

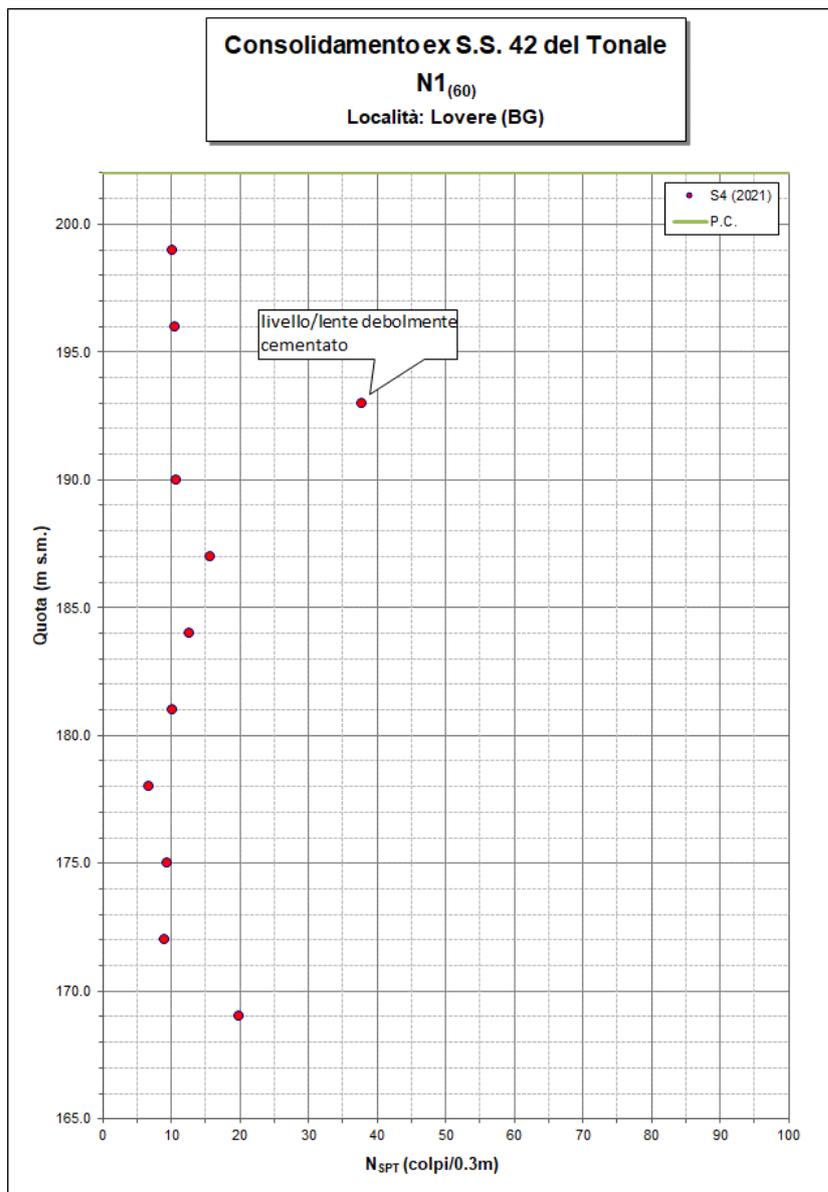


Figura 3.10: Risultati prove penetrometriche dinamiche SCPT normalizzati



### Densità relativa

Il valore di densità relativa ( $D_r$ ) è stato ricavato applicando l'equazione proposta da Skempton (1986) sulla base del valore della resistenza normalizzata  $N1_{(60)}$ :

$$D_R(\%) = \left[ \frac{N_{SPT} \times \left( \frac{9.81}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}}{60} \right]^{0.5}$$

I risultati delle elaborazioni sono mostrati in **Figura 3.11**.

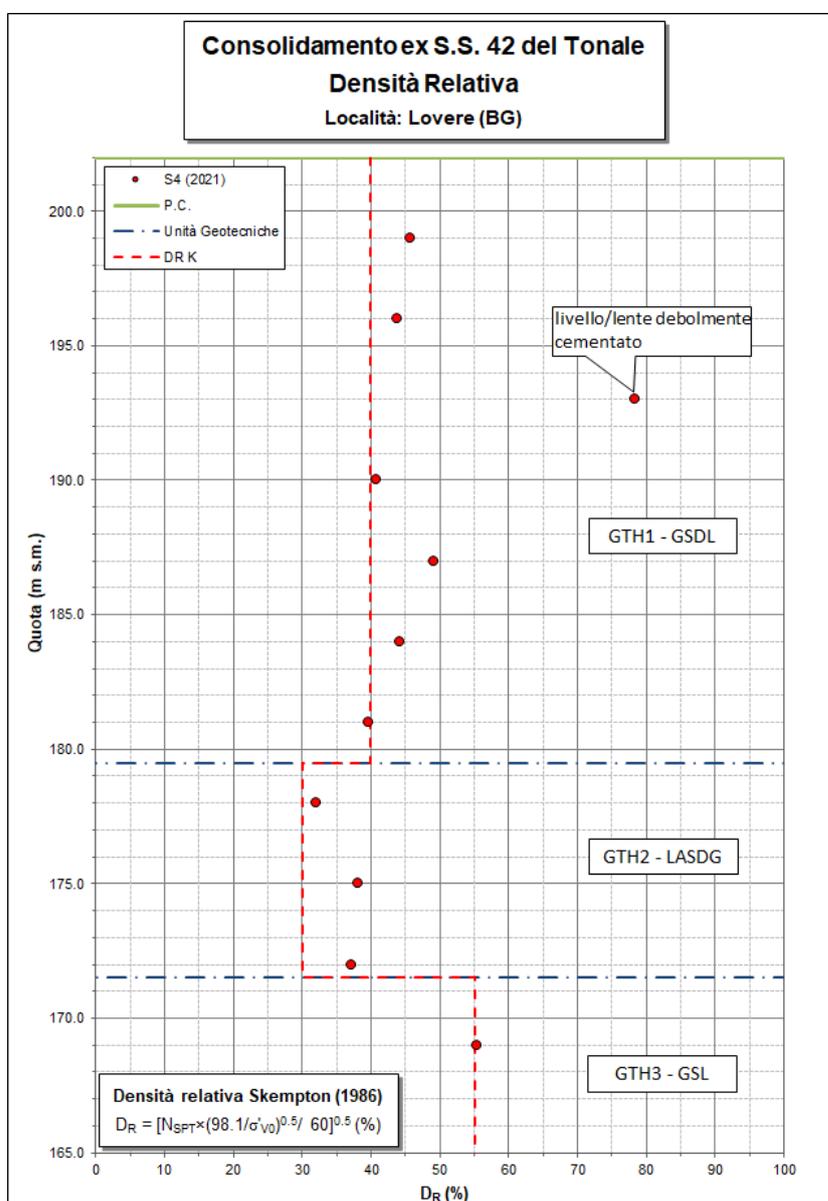


Figura 3.11: Definizione dei valori di densità relativa ( $D_r$ ) dai risultati delle prove penetrometriche



### Angolo di resistenza al taglio di picco $\phi'_p$

Per la definizione dell'angolo di resistenza al taglio di picco dei depositi prevalentemente granulari, sono state utilizzate le formulazioni proposte da Schmertmann (1975), di cui si riportano per completezza le equazioni:

- $\phi'_p = 28 + 0.14 \times D_R$  (sabbia fine uniforme)
- $\phi'_p = 31.5 + 0.115 \times D_R$  (sabbia media uniforme/sabbie fini ben gradate)
- $\phi'_p = 34.5 + 0.10 \times D_R$  (sabbia grossa uniforme/sabbia media ben gradata)
- $\phi'_p = 38 + 0.08 \times D_R$  (ghiaietto uniforme/sabbie e ghiaie poco limose)

I risultati delle elaborazioni svolte, in termini di angolo di resistenza al taglio di picco, sono mostrati in **Figura 3.12**.

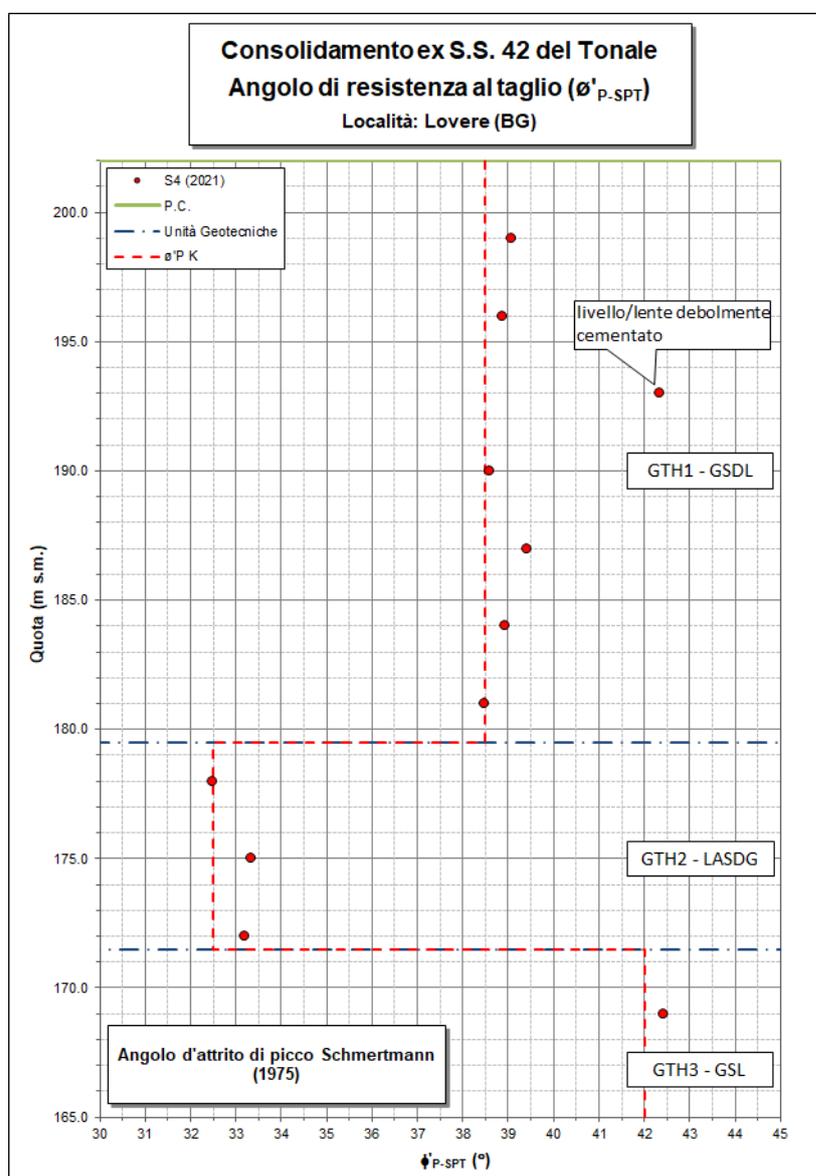


Figura 3.12: Definizione dei valori di angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'_p$  dai risultati delle prove SPT



### Modulo elastico secante operativo $E'_{01-SPT}$

Il modulo elastico secante per piccole deformazioni è stato stimato utilizzando la correlazione proposta da *Berardi & Lancellotta (1991)* relativo al caso di terreni normal consolidati:

$$E'_{01-SPT} = K_E \times p_a \times \left( \frac{\sigma'_{v0}}{100} \right)^{0.5}$$

I risultati delle elaborazioni ed i valori assunti nella caratterizzazione sono mostrati in **Figura 3.13**.

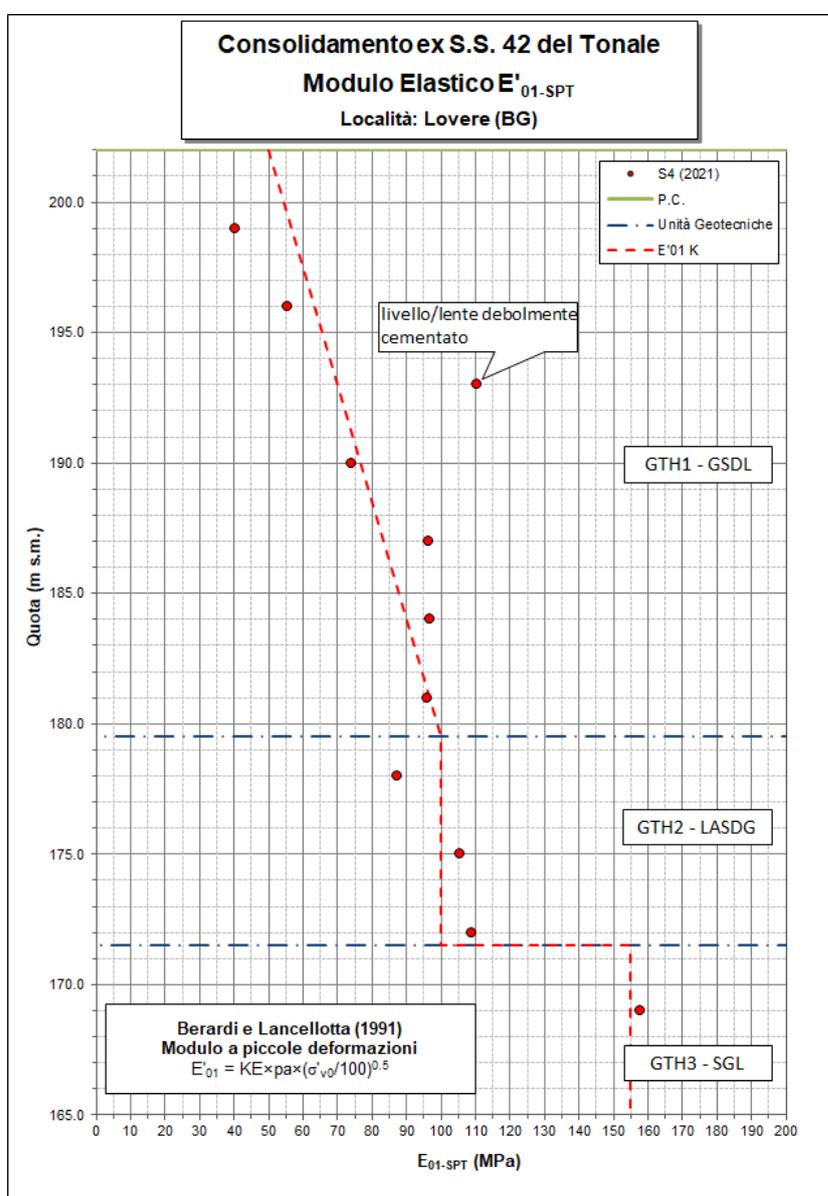


Figura 3.13: Modulo elastico secante per piccole deformazioni (*Berardi & Lancellotta, 1991*)



### Modulo elastico secante operativo $E'_{25-SPT}$

Il modulo elastico secante per un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25% è stato stimato utilizzando la correlazione proposta da Jamiolkowsky (1988) relativo al caso di terreni normal consolidati:

$$E'_{25-SPT} = 0.0981 \times (10.5 - 3.5 \times D_R) \times N_{SPT}$$

I risultati delle elaborazioni ed i valori assunti nella caratterizzazione sono mostrati in **Figura 3.14**

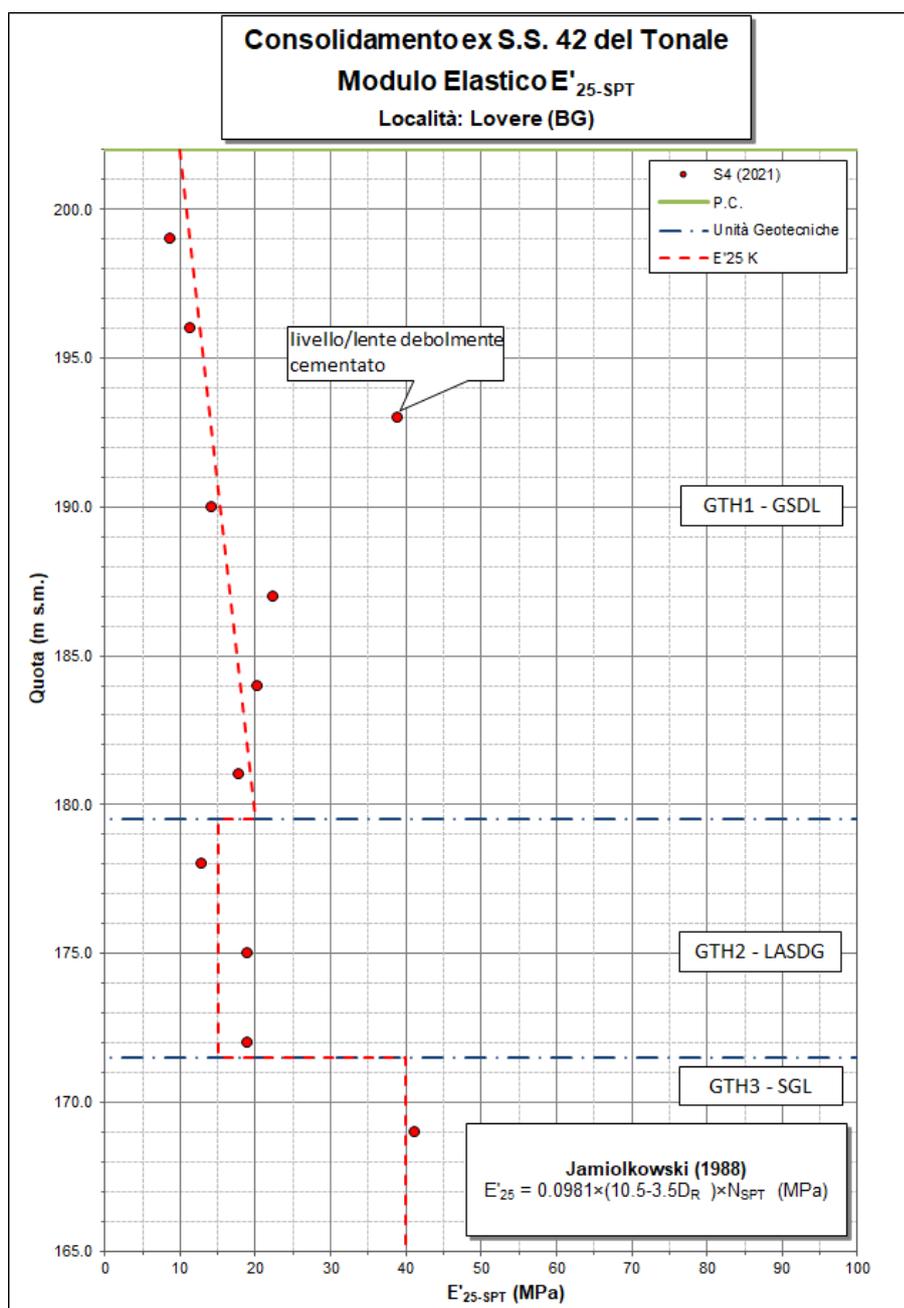


Figura 3.14: Modulo elastico secante per un grado di mobilitazione della resistenza ultima del 25% (Jamiolkowsky, 1988)



## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il Modello Geotecnico di Riferimento per l'area in esame è stato definito a partire dalle informazioni riportate nel Modello Geologico di Riferimento, dalle indagini geofisiche eseguite, dai dati ottenuti con le indagini geognostiche effettuate in sito e dalle prove di laboratorio geotecnico integrate con dati bibliografici relativi ai siti prossimi a quello in oggetto e/o depositi analoghi per caratteristiche granulometriche e di addensamento.

Sulla base di quanto sopra, sono state definite le diverse unità geotecniche presenti in sito:

Unità	Descrizione	Peso di volume secco	Peso di volume saturo	Densità relativa	Angolo di resistenza al taglio di picco	Coesione efficace	Modulo elastico per piccole deformazioni	Modulo elastico operativo	Coefficiente di Poisson	Angolo di resistenza al taglio $\phi_{cvk}$	Resistenza a compressione UNX
		$\gamma_N$	$\gamma_{SAT}$	Dr	$\phi'_{pk}$	$c'_k$	$E'_{01}$	$E'_{25}$	$\nu$	$\phi'_{cvk}$	$\sigma$
		kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	°	kPa	MPa	MPa	-	°	MPa
AR1	Conglomerato ben cementato	22.0		-	42	500	-	3800	0.25	-	12.0
GTH1	Ghiaia con sabbia con lenti e livelli cementati	18.0	21.0	40	38	0	60	20	0.30	31	-
GTH2	Limi argillosi sabbiosi deb. ghiaiosi in lenti e/o livelli	18.5	21.0	30	32.5	10	100	15	0.25	35	-
GTH3	Ghiaia e sabbia con limo	18.5	21.0	55	42	0	155	40	0.30	33÷37	-
RPR	Riperti antropici	18.5	21.0	40	40	0	90	30	0.25	-	-



## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

### 5.1 Classificazione sismica

La stima della pericolosità sismica locale è definita in base al D.M. 14 gennaio 2008 aggiornato dal DM 17.01.2018 mediante un approccio "sito dipendente". L'azione sismica di progetto, funzione dello stato limite da considerare, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito.

Il D.g.r. n. 2129/2014 della Regione Lombardia ha provveduto all'aggiornamento della zonazione sismica regionale; secondo tali aggiornamenti il comune di Lovere ricade in Zona sismica 3 con  $a_{gMax}$  pari a 0,111621.

### 5.2 Definizione dei parametri sismici di progetto

La definizione dei parametri sismici di progetto è stata eseguita, direttamente per il sito in esame, a partire dai parametri fondamentali per le opere in progetto.

#### **Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento delle opere**

In accordo al disciplinare di incarico posto a base di gara dalla Committenza, per la definizione delle azioni sismiche si è fatto riferimento ai seguenti parametri:

Tipo di costruzione:	Cat. 2
Vita nominale:	50 anni
Classe d'uso:	III
Coefficiente $C_u$ :	1.5

#### **Pericolosità sismica**

I parametri di pericolosità sismica sono stati elaborati a partire dalle coordinate (ED50) del sito di riferimento:

Latitudine:	45.811598° N
Longitudine:	10.068323° E



Sulla base di tali parametri di ingresso si ottengono i seguenti valori di pericolosità sismica:

Parametri stati limite	U.M.	SLD	SLV
Probabilità di superamento $P_{VR}$	(%)	63	10
Tempo di ritorno $T_R$	(anni)	75	712
Accelerazione orizzontale massima (su suolo rigido) $a_g$	(g)	0.051	0.125
Valore massimo fattore amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale $F_0$	(-)	2.457	2.476
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale $T_C^*$	(s)	0.235	0.285

### **Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche**

Come evidenziato dalle elaborazioni delle indagini geofisiche di tipo Down-Hole eseguite nel corso della campagna d'indagine del 2016, e nello specifico quelle eseguite nei fori di sondaggio S2, S4, S7 ed S8 (**Figura 5.1**). Le elaborazioni indicano un valore di  $V_{s,30}$  compreso tra 294.64÷452.26 m/s rispettivamente nelle verticali S4 ed S7 e un profilo delle velocità di taglio a cui corrisponde la categoria di sottosuolo simico C per il primo e B per il secondo.

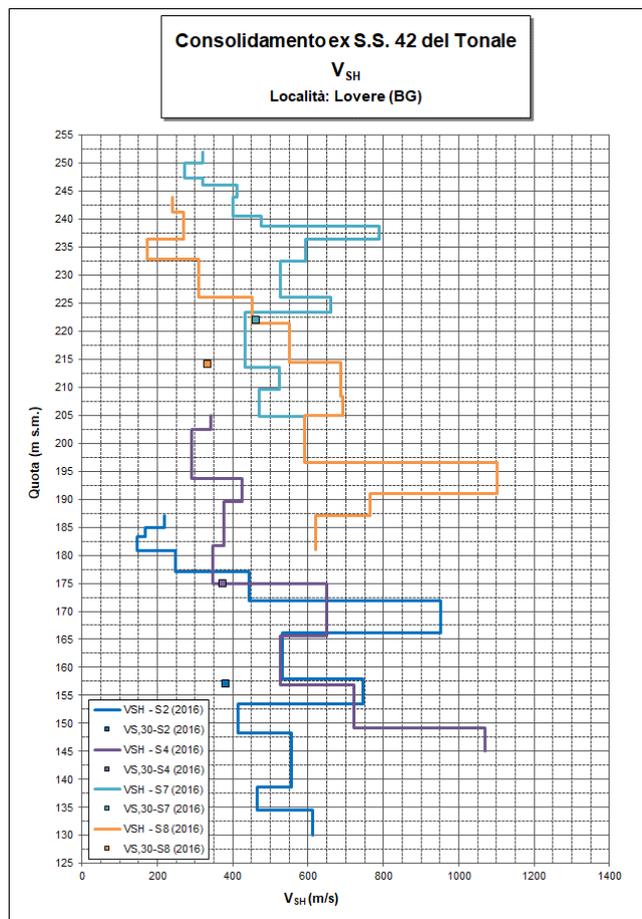


Figura 5.1: Profili delle velocità di taglio dei sondaggi S2, S4, S7 ed S8 da prove Down Hole

Per la caratterizzazione in esame, considerata la distribuzione delle velocità con la profondità, si è adottata come rappresentativa la categoria di sottosuolo B che ai sensi delle NTC2018, Tab. 3.2. Il viene così descritta:

Categoria di sottosuolo: B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

A tale categoria di sottosuolo corrispondono i seguenti coefficienti di amplificazione stratigrafica:

SLD: 1.20

SLV: 1.20

Le opere in progetto sono ubicate a fondovalle in prossimità del lago, dove la pendenza del pendio risulta minore di 15° ( $i < 15^\circ$ ); si assume quindi categoria topografica T1:



Categoria Topografica: T1 – Superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

### **Azione sismica di progetto**

In definitiva, in base a tutte le analisi sopra descritte i parametri sismici di progetto elastici risultano:

Coefficienti sismici	SLD	SLV
$S_s$	1.20	1.20
$C_c$	1.470	1.414
$S_T$	1.00	1.00
$a_{max}$ (g)	0.062	0.150

Gli spettri di progetto elastici all'SLD e all'SLV, definiti in accordo alle NTC2018 sia per la componente orizzontale che per quella verticale del sisma sono riportati da **Figura 5.2** e **Figura 5.3**.

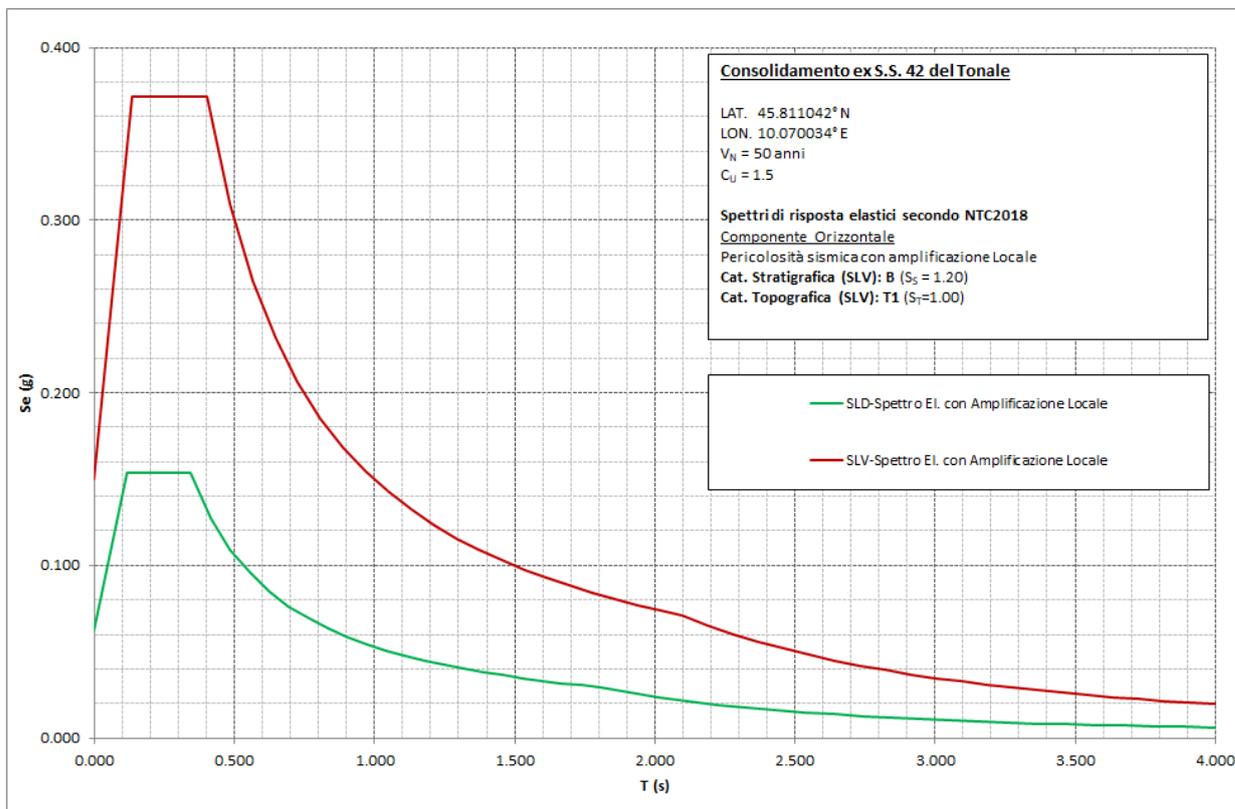


Figura 5.2: Spettri elastici di progetto – Componente Orizzontale

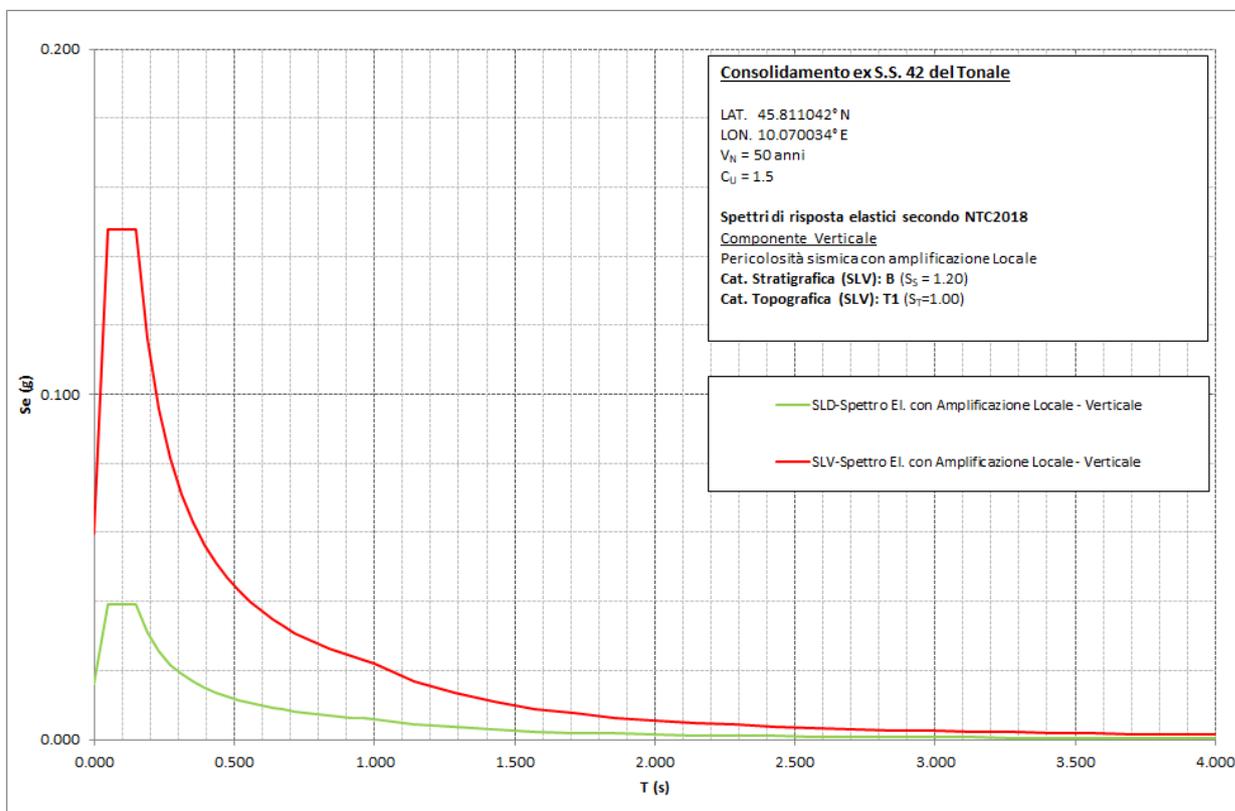


Figura 5.3: Spettri elastici di progetto – Componente Verticale



## 6 ANALISI PROCESSI DEFORMATIVI DI VERSANTE

### 6.1 Caratteristiche generali dei cinematismi in atto

Nell'area di Cornasola è riconoscibile un quadro complesso di elementi che concorrono alla formazione dei dissesti.

Uno degli aspetti caratteristici è connesso alle caratteristiche stratigrafiche che presentano un esteso corpo conglomeratico, localmente a scarsa cementazione, che poggia su depositi sciolti ghiaioso-sabbiosi con percentuali variabili di frazione fine (limi e argille).

Questo assetto comporta la presenza di un "piastrone" rigido poggiante su materiale molto più deformabile, che provoca due aspetti peculiari:

- il conglomerato, a causa dei cedimenti differenziali del deposito sciolto sottostante, tende a subire fratturazioni fragili con la formazione delle cosiddette *lache*, fratture a componenti verticale dominante, che concorrono a cinematismi di espansione laterale;
- mentre nel suo complesso, il piastrone conglomeratico tende a "scivolare" come corpo "rigido" secondo una fascia di deformazione che si sviluppa al tetto del corpo di depositi sciolti sottostanti; questo cinematismo è sostanzialmente di tipo viscoso lento.

I depositi sciolti sottostanti, a loro volta sono caratterizzati dalla presenza di alcuni corpi, prevalentemente lentiformi, con un contenuto in materiali fini limosi o limoso-argillosi rilevante, variabile tra il 50% e l'80%; il corpo limoso-argilloso si trovano a profondità di circa 15÷20 m al di sotto del letto dell'unità conglomeratica (20÷30 m da p.c.). I corpi lentiformi limoso-argillosi sono molto estesi e sostengono un acquifero non confinato che si trova all'interno e alla base del sovrastante deposito ghiaioso-sabbioso. Questo assetto facilita la formazione di fasce di deformazione per taglio con processi di scivolamento traslazionale di tipo rotazionale all'interno del deposito sciolto sovrastante; queste bande di deformazione non sono pienamente sviluppate e, anch'esse, si evolvono secondo cinematismi molto lenti.

A questi due scenari si somma l'elevato grado di antropizzazione dell'area, con la presenza di strade, muri, edifici realizzati, scavi e riporti che hanno variato sensibilmente l'assetto originario e provocato variazioni dello stato tensio-deformativo non sempre adeguatamente controllate. Il versante è occupato da opere di terrazzamento con riporti di terreni sciolti prevalentemente sabbioso-ghiaiosi che mostrano in molti casi processi di scivolamento rotazionale locale, con risentimenti evidenti nei muri di sostegno e cedimenti negli edifici.



## 6.2 Monitoraggio geotecnico e topografico

L'area di Cornasola è stata ed è tutt'ora oggetto di un sistema di monitoraggio geotecnico e topografico che fornisce dati rilevanti ai fini della comprensione dei cinematismi che interessano il versante.

La rete di monitoraggio geotecnico è attualmente costituita da:

- n. 4 assi inclinometrici (I<sub>2</sub>, I<sub>4</sub>, I<sub>7</sub> ed I<sub>8</sub>) disposti lungo un allineamento che da via Cornasola (Inclinometro I<sub>7</sub> – q. 254 m s.m.) scende sino a lago (inclinometro I<sub>2</sub> - q. 188 m s.m.) circa secondo la massima pendenza del versante;
- n. 3 tubi piezometrici a tubo aperto installati uno (P<sub>1</sub>) su via del Cantiere, circa a q. 188 m s.m.) ed un secondo su via Nazionale a q. 207 m s.m. circa.
- n. 3 fessurimetri lungo la via Nazionale (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> ed F<sub>3</sub>) installati a cavallo di fratture sul muro di sostegno in ca della pista pedonale
- n. 26 chiodi-caposaldo di riferimento numerati progressivamente da 101 a 126, lungo la via Nazionale con misura dei cedimenti



Figura 6.1: Ubicazione verticali inclinometri e piezometriche area di Cornasola

Le caratteristiche principali delle verticali di monitoraggio sono riportate nella tabella che segue **Tabella 6.1**.



Tabella 6.1: Caratteristiche principali sistema di monitoraggio inclinometrico e piezometrico area Cornasola

#Verticale	Tipologia	Q. boccaforo [m s.m.]	Profondità [m da p.c.]	Data installazione
I2	Inclinometrico	187	Interrotto a -13 m	Dicembre 2016
I4	Inclinometrico	205	60	Dicembre 2016
I7	Inclinometrico	252	55	Dicembre 2016
I8	Inclinometrico	245	63	Dicembre 2016
P1	Tubo piezometrico	187	n.a.	Dicembre 2016
P3	Tubo piezometrico	202	50	Dicembre 2016
P5	Tubo piezometrico	209	50	Dicembre 2016

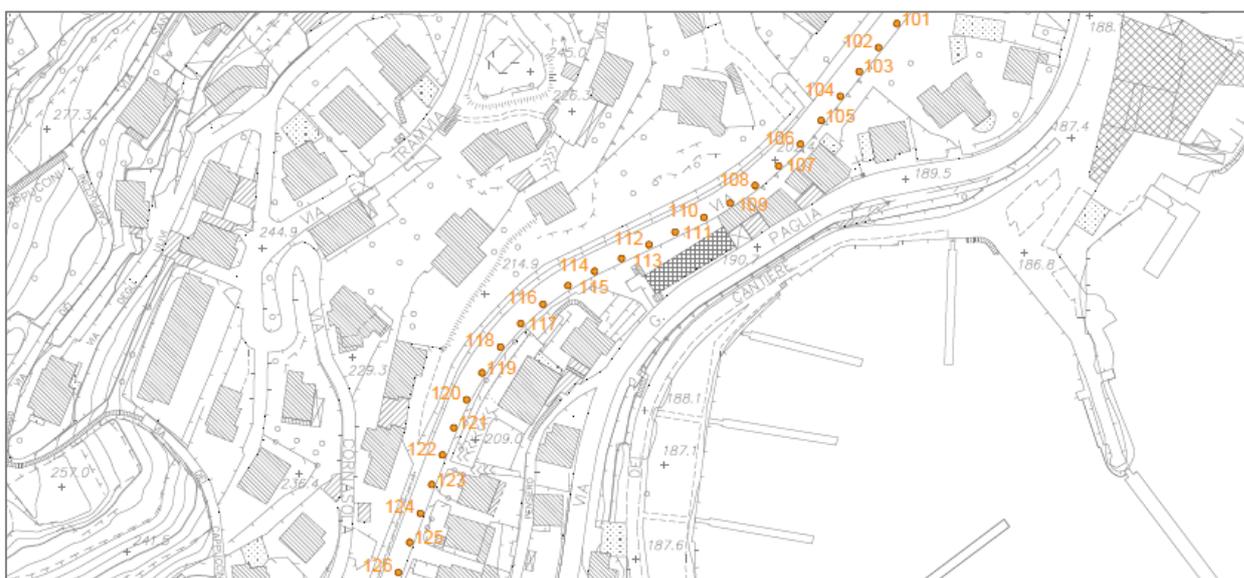


Figura 6.2: Punti di monitoraggio topografico lungo via Nazionale

### 6.2.1 Sintesi risultati misure inclinometriche

L'analisi degli spostamenti misurati lungo le verticali inclinometriche mostra alcuni elementi significativi.

L'inclinometro I2 è stato realizzato nel luglio 2016 lungo la via del Cantiere alla base del versante a q. 187 m s.m.; Fin dalla prima campagna di misure di "zero" eseguite dalla soc. Hortus s.r.l. nel dicembre 2016 il tubo è risultato interrotto a circa 13 m di profondità; a questa profondità la stratigrafia del sondaggio eseguito per l'installazione della verticale inclinometrica, indica la presenza di un deposito sciolto costituito da sabbia con ghiaia e rari ciottoli con alternanza di strati con limo tra -10 e -15 m da p.c. e le fotografie delle cassette mostrano proprio tra 12 e 13 m da p.c. un livello di limo e limo argilloso che certamente può costituire un piano preferenziale di debolezza.

Le successive campagne di misura effettuate periodicamente da dicembre 2018 sino al maggio 2021, negli inclinometri I4 (via Nazionale, m 205 m s.m.), I8 (via Tramvia, q. 245 m s.m.) e I7 (via Cornasola, m 252 m s.m.) mostrano spostamenti molto contenuti



e senza picchi evidenti tranne in 14 dove a -16 m da p.c. si osserva un leggero picco di spostamento, come riportato nella tabella che segue.

#Inclinometro	Spostamento massimo in testa			Spostamento lungo piano di taglio			
	Σ Spostamenti in testa [mm] Da 06.12.2016 a 05.05.2021	Azimut [°]	Velocità media mm/anno	Profondità [m da p.c.]	Σ Spostamento massimo da 06.12.2016 a 05.05.2021	Azimut	Velocità media mm/anno
14	12.83	193	5.3	16	13.34	191	5.5
18	9.77	195	4.0	Deformazione progressiva			
17	16.23	98	6.7	Deformazione progressiva			

### 6.2.2 Sintesi risultati misure piezometriche

Dal gennaio 2021 le misure piezometriche sono state automatizzate e i dati misurati sono resi disponibili su un'apposita piattaforma web. I dati relativi alla Cornasola si riferiscono a due piezometri (rif. **Figura 6.1**):

- P3 a q. 202 m s.m. lungo via Nazionale nei pressi dell'Hotel Continental;
- P5 a q. 209 m s.m. sempre lungo la via Nazionale.

Nel grafico riportato di seguito sono rappresentati gli andamenti della soggiacenza del livello rispetto a p.c. raffrontati con le precipitazioni giornaliere misurate alla stazione Costa Volpino-via Nazionale.

Come si può osservare le variazioni di livello sono contenute entro un'escursione massima di circa 1 m per P3 e di 0.60 m per P5; si osserva una scarsa correlazione sia con le precipitazioni giornaliere sia con le precipitazioni cumulate su un periodo più lungo (3 gg consecutivi); questo aspetto indica e conferma che l'alimentazione della falda avviene in zone distali e arriva in zona Cornasola attraverso un percorso sotterraneo esteso e complesso.

I dati misurati manualmente nelle medesime verticali piezometriche a partire dal mese di ottobre 2017 indicano valori di soggiacenza di 3.0÷4.0 m da p.c. per P3, mentre la soggiacenza risulta di circa 7.8÷8.4 m da p.c. per P5 (rif. **Figura 6.3** e **Figura 6.4**); questi valori non concordano con quelli degli anni precedenti per i quali la soggiacenza risultava di circa 11.0-12.0 m da p.c. per P3 e di circa 6.5-7.5 m da p.c. per P5.

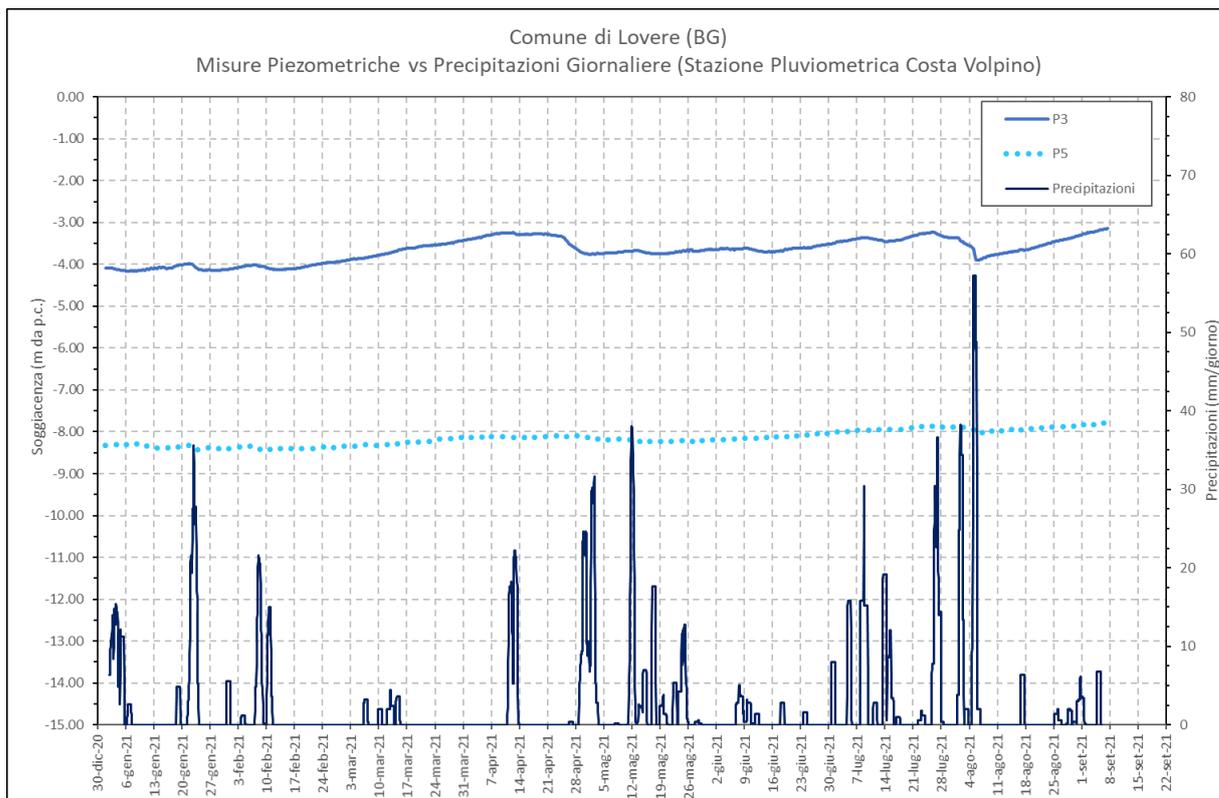


Figura 6.3: Misure piezometriche P3 e P6 raffrontate alle precipitazioni giornaliere

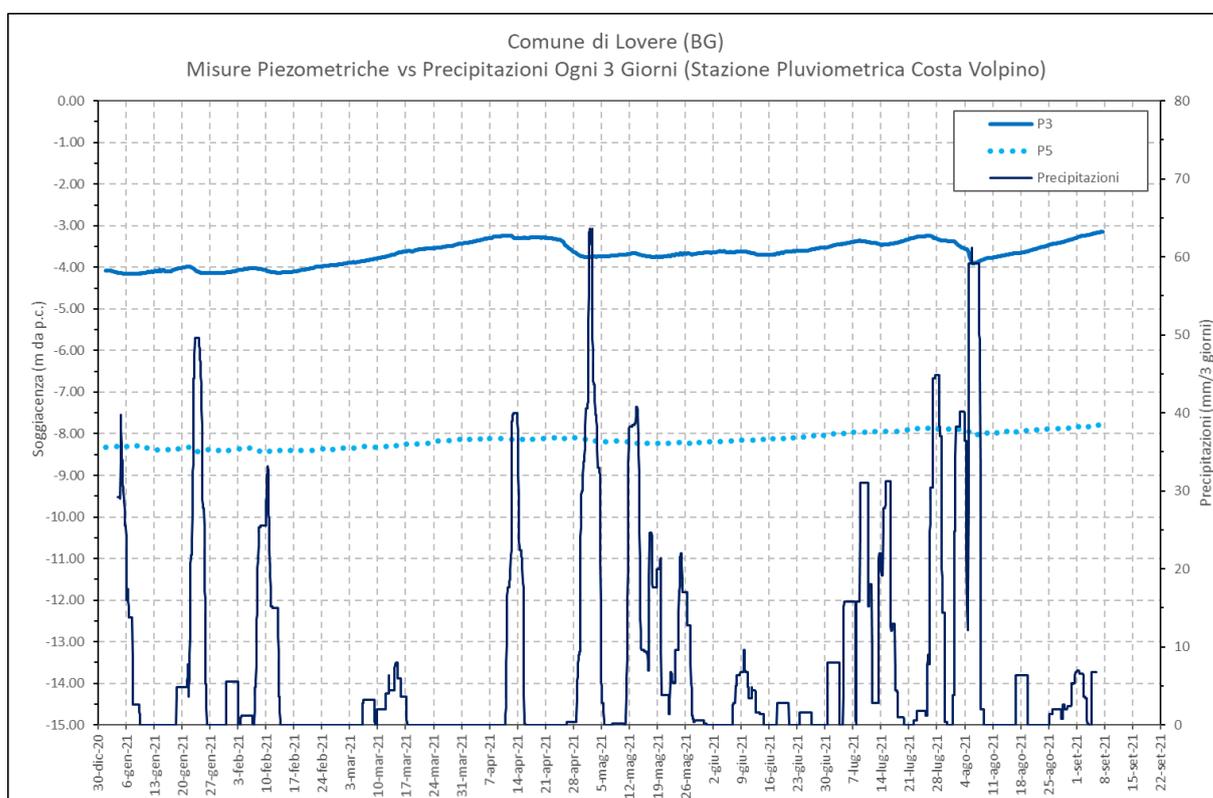


Figura 6.4: Misure piezometriche P3 e P6 raffrontate alle precipitazioni cumulate su 3 gg consecutivi



### 6.2.3 Sintesi risultati misure distometriche

Le misure effettuate ai tre fessurimetri installati lungo via Nazionale sono anch'esse automatizzate e riportate su piattaforma web.

Le misure indicano che negli ultimi mesi il trend deformativo per tutti i tre sensori risulta di lieve entità e con valori che rimangono entro il limite di +/- 2 mm riferibile alle variazioni termiche stagionali, indicando al momento una stasi nel processo deformativo che ha causato le fessurazioni nelle strutture.

Nel grafico di **Figura 6.5** è riportato l'andamento delle misure nel periodo febbraio 2020 – gennaio 2021.

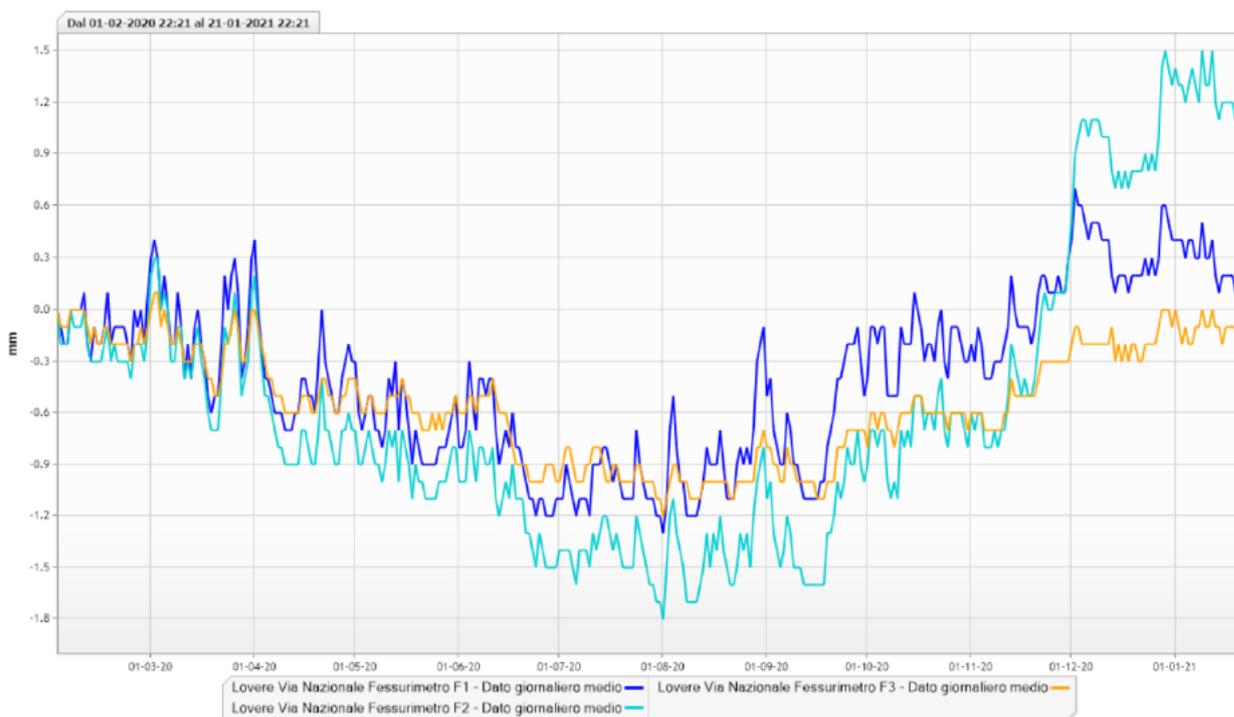


Figura 6.5: Grafico misure distometriche dei fessurimetri installati lungo via Nazionale.



#### 6.2.4 Sintesi risultati misure topografiche

L'attività di monitoraggio topografico lungo la via Nazionale è stata avviata nel 2017, lettura di "zero" in data 14.02.2017, con lo scopo di verificare eventuali cedimenti del piano stradale in un tratto circa 250 m attrezzato con 26 chiodi topografici di riferimento, numerati da 101 a 126, come indicato in **Figura 6.2**. Le misure vengono effettuate con una stazione totale robotizzata tipo Leica TCPR 1205R che permette misure di precisione comunque con un errore millimetrico.

Le misure effettuate indicano spostamenti verticali massimi da inizio letture pari a circa 4 mm in gran parte accumulati nel primo anno di letture; successivamente gli spostamenti, sia positivi che negativi, sono sempre risultati inferiori a 2 mm cumulati negli ultimi due anni di misure. In ogni caso si tratta di scostamenti millimetrici che rientrano ampiamente nel range dell'errore strumentale e che vengono fatti risalire dallo stesso topografo che esegue le misure, ad errori strumentali insiti nel sistema.

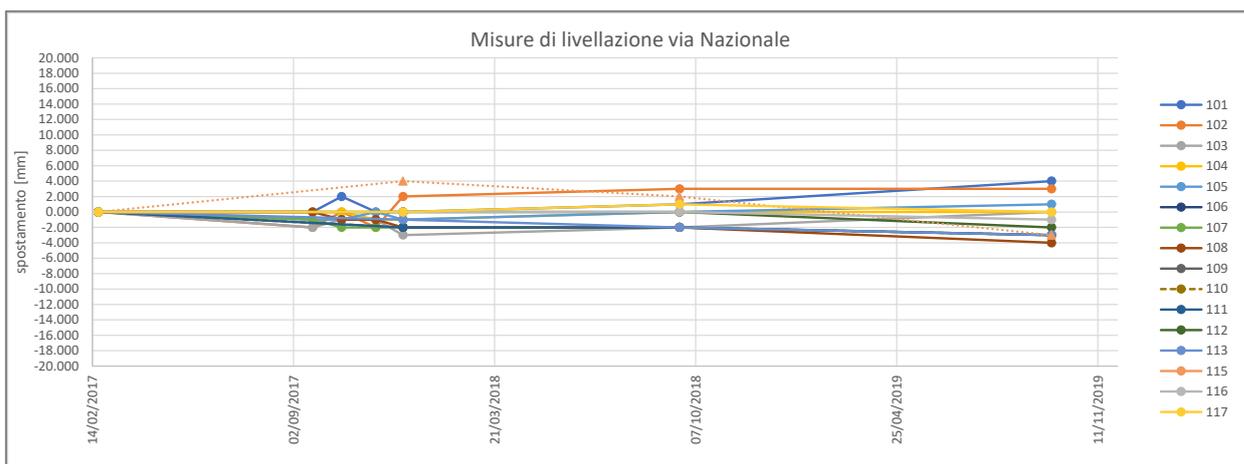


Figura 6.6: Misure di livellazione lungo la via Nazionale



### **6.3 Analisi delle condizioni di stabilità dei processi di deformazione**

L'analisi delle condizioni di stabilità ha considerato gli scenari di movimento rilevati ed accertati dalle misure di monitoraggio e dai rilievi ed osservazioni appositamente eseguiti, ossia:

- A. SCIVOLAMENTO PROFONDO: scivolamento traslazionale di tipo rotazionale profondo, con fascia di taglio all'interno dei depositi sciolti sottostanti i conglomerati;
- B. SCIVOLAMENTO SUPERFICIALE ZONA VIA NAZIONALE: Processo di scivolamento nei terreni di riporto superficiali;
- C. SCIVOLAMENTO LINEARE CORPO CONGLOMERATICO: movimenti di scivolamento planare di corpo rigido (piastrone conglomeratico) al contatto con i sottostanti depositi ghiaioso-sabbiosi.

#### **6.3.1 Metodo di calcolo**

Le analisi di stabilità globale del versante sono state condotte mediante verifica all'equilibrio limite delle sezioni di interesse sino a trovare le fasce di deformazione che presentano il minor rapporto tra la resistenza a taglio disponibile e la sollecitazione di taglio agente per ciascuno degli scenari analizzati.

Le analisi, come detto, sono state condotte con un approccio all'equilibrio limite secondo il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato su una procedura di risoluzione iterativa che consente di soddisfare sia l'equilibrio alla rotazione sia quello alla traslazione orizzontale, tenendo conto delle forze normali e delle forze di taglio trasmesse tra i conci in cui il pendio viene discretizzato.

L'analisi è stata condotta secondo la sezione A-A' (vedi tav. B02 di progetto) disposta in asse alla zona soggetta alle deformazioni e agli scivolamenti gravitativi che interessano l'area di Cornasola, utilizzando il codice di calcolo SLIDE 2 ([13]), in grado di effettuare la ricerca automatica delle superfici di scivolamento caratterizzate dai valori minimi del "fattore di sicurezza"; le analisi sono state svolte sia con ipotesi di superfici di movimento pseudo-cilindriche sia nell'ipotesi di superfici di scivolamento non circolari.

La falda freatica è stata posta alla minima soggiacenza misurata al sistema di monitoraggio e con sviluppo coerente con la topografia locale e con il livello del lago che costituisce il livello di base del sistema di circolazione idrogeologica locale.

Le analisi sono state condotte sia in condizioni statiche SLU Geo che in condizioni sismiche SLV calcolando per ogni scenario e per ciascun stato limite il "fattore di sicurezza" valutato come rapporto tra azioni resistenti e azioni instabilizzanti e verificando se tale rapporto sia maggiore o uguale del coefficiente  $\gamma_R$  minimo di normativa.

In accordo con quanto riportato al §6.3.4 delle vigenti NTC2018, le verifiche di stabilità sono state eseguite utilizzando i valori caratteristici di resistenza delle unità



geotecniche presenti in sito, così come definiti nella presente relazione geotecnica (si veda § 4) applicando i coefficienti parziali di riduzione delle resistenze ove previsto.

Le analisi in condizioni sismiche sono state condotte con approccio pseudostatico utilizzando i coefficienti sismici riportati al precedente §5 e con i parametri di resistenza caratteristici, senza applicazione dei coefficienti parziali, così come previsto dalla normativa vigente (NTC2018).

### **6.3.2 Risultati delle verifiche di stabilità globale**

Le analisi di stabilità globale dei tre scenari di movimento analizzati hanno confermato le osservazioni al sistema di monitoraggio e delle analisi preliminari che possono essere sintetizzati come segue. Nella **Tabella 6.2** sono riportati i risultati numerici delle analisi svolte per ciascun scenario e per ciascuna combinazione di stato, in annesso sono riportati i grafici dei risultati delle medesime analisi.

- A) **SCIVOLAMENTO PROFONDO:** Lo scivolamento profondo si sviluppa secondo una fascia di deformazione per taglio con profondità massima di circa 25 m e profondità in corrispondenza dell'inclinometro I2 (attualmente non più operativo) pari a circa 10-12 m congruente con la posizione del piano di taglio formatosi nell'inclinometro subito dopo la sua installazione. L'emersione della fascia di taglio ("superficie di scivolamento") al coronamento si trova circa a 235 m s.m. in corrispondenza del minor spessore di conglomerato cementato. I valori del rapporto delle azioni resistenti rispetto a quelle instabilizzanti  $\gamma_R$  (altrimenti, Fattore di Sicurezza  $F_s$ ) è risultato sempre superiore all'unità e superiore anche al valore  $\gamma_R = 1.2$  considerato come valore minimo per le condizioni sismiche nello stato di fatto ante-operam.
- B) **SCIVOLAMENTO SUPERFICIALE ZONA VIA NAZIONALE:** In questo caso i risultati indicano condizioni di stabilità limite ( $\gamma_R = F_s = 1.158$ ) in condizioni statiche e con l'utilizzo dei parametri caratteristici; mentre sia in condizioni SLU (applicando i coefficienti parziali di riduzione dei parametri di resistenza dei materiali geotecnici) sia in condizioni SLV di azione sismica di progetto, i valori di  $\gamma_R$  ( $=F_s$ ) risultano in entrambi i casi minori del valore minimo indicato da normativa ( $\gamma_R = 1.1$  allo SLU e  $\gamma_R = 1.2$  all'SLV), e inferiore all'unità in condizioni SLU indicando condizioni di instabilità per quegli stati. Questi risultati ben si accordano con la presenza delle fratture dislocate che interessano i muri di sostegno di via Nazionale. Questi movimenti, attualmente, appaiono in fase di stasi ma indicano il persistere di condizioni limite dei terreni sciolti presenti a monte di via Nazionale.
- C) **SCIVOLAMENTO LINEARE CORPO CONGLOMERATICO:** si tratta di un cinematismo molto lento che comporta una "scivolamento" sub-planare di un corpo rigido, rappresentato dal "piastrone" di conglomerato al tetto dei



depositi sciolti, che si deformano lungo una fascia di spessore indefinito ma stimabile come metrica. Questo cinematismo è confermato anche dalle misure inclinometriche che non mostrano alcun picco di spostamento alle quote di contatto tra conglomerati e depositi sciolti e neppure in un intorno significativo. I risultati delle analisi all'equilibrio limite indicano sempre valori di  $\gamma_R (=F_s)$  significativamente maggiori dell'unità ( $F_s = 2.031$  in condizioni statiche e parametri caratteristici;  $F_s = 1.592$  allo SLU Geo;  $F_s = 1.967$  all'SLV).



Tabella 6.2: Tabella riassuntiva dei risultati delle Analisi di Stabilità Globale

Scenario	Analisi	Parametri Geotecnici		Unità Geotecniche					Coeff. di amplificazione sismica		Sovraccarichi [kN/m <sup>2</sup> ]			FoS
				AR1	GTH1	GTH2	GTH3	RPR			Via Nazionale	Via G. Paglia	Via del Cantiere	
Scivolamento Profondo	Parametri k	$\gamma_{DRY}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	-		20.0	20.0	10.0	<b>1.577</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	-	21.0	21.0	21.0	21.0						
		$\phi'$	[°]	42.0	38.0	32.5	42.0	40.0						
		$c'$	[kPa]	500.0	0.0	10.0	0.0	0.0						
	SLU	$\gamma_{DRY}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	-		26.0	26.0	13.0	<b>1.268</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	-	21.0	21.0	21.0	21.0						
		$\phi'$	[°]	36.0	32.0	27.0	36.0	34.0						
		$c'$	[kPa]	400.0	0.0	8.0	0.0	0.0						
	SLV +kv	$\gamma_{DRY}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	kh	0.0058	-	-	-	<b>1.542</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	-	21.0	21.0	21.0	21.0	+kv	0.0029				
	SLV -kv	$\phi'$	[°]	42.0	38.0	32.5	42.0	40.0	kh	0.0058	-	-	-	<b>1.526</b>
		$c'$	[kPa]	500.0	0.0	10.0	0.0	0.0	-kv	-0.0029				
Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale	Parametri k	$\gamma_{DRY}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	-		20.0	20.0	10.0	<b>1.158</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	-	21.0	21.0	21.0	21.0						
		$\phi'$	[°]	42.0	38.0	32.5	42.0	40.0						
		$c'$	[kPa]	500.0	0.0	10.0	0.0	0.0						
	SLU	$\gamma_{DRY}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	-		26.0	26.0	13.0	<b>0.927</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	-	21.0	21.0	21.0	21.0						
		$\phi'$	[°]	36.0	32.0	27.0	36.0	34.0						
		$c'$	[kPa]	400.0	0.0	8.0	0.0	0.0						
	SLV +kv	$\gamma_{DRY}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	kh	0.0058	-	-	-	<b>1.146</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m <sup>3</sup> ]	-	21.0	21.0	21.0	21.0	+kv	0.0029				
	SLV -kv	$\phi'$	[°]	42.0	38.0	32.5	42.0	40.0	kh	0.0058	-	-	-	<b>1.146</b>
		$c'$	[kPa]	500.0	0.0	10.0	0.0	0.0	-kv	-0.0029				



Comune di  
Lovere (BG)

**Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante**

Scenario	Analisi	Parametri Geotecnici		Unità Geotecniche					Coeff. di amplificazione sismica		Sovraccarichi [kN/m2]			FoS
				AR1	GTH1	GTH2	GTH3	RPR			Via Nazionale	Via G. Paglia	Via del Cantiere	
Scivolamento Lineare Corpo Conglomeratico	Parametri k	$\gamma_{DRY}$	[kN/m3]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	-		20.0	20.0	10.0	<b>2.031</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m3]	-	21.0	21.0	21.0	21.0						
		$\phi'$	[°]	42.0	38.0	32.5	42.0	40.0						
		$c'$	[kPa]	500.0	0.0	10.0	0.0	0.0						
	SLU	$\gamma_{DRY}$	[kN/m3]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	-		26.0	26.0	13.0	<b>1.592</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m3]	-	21.0	21.0	21.0	21.0						
		$\phi'$	[°]	36.0	32.0	27.0	36.0	34.0						
		$c'$	[kPa]	400.0	0.0	8.0	0.0	0.0						
	SLV +kv	$\gamma_{DRY}$	[kN/m3]	22.0	18.0	18.0	18.5	18.5	kh	0.0058	-	-	-	<b>1.967</b>
		$\gamma_{WET}$	[kN/m3]	-	21.0	21.0	21.0	21.0	+kv	0.0029				
SLV -kv	$\phi'$	[°]	42.0	38.0	32.5	42.0	40.0	kh	0.0058	-	-	-	<b>1.967</b>	
	$c'$	[kPa]	500.0	0.0	10.0	0.0	0.0	-kv	-0.0029					



Comune di  
Lovere (BG)

***Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante***

## **ANNESI**



Comune di  
Lovere (BG)

***Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante***

## **RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE – SCIVOLAMENTO PROFONDO**

# Comune di Lovere (BG)

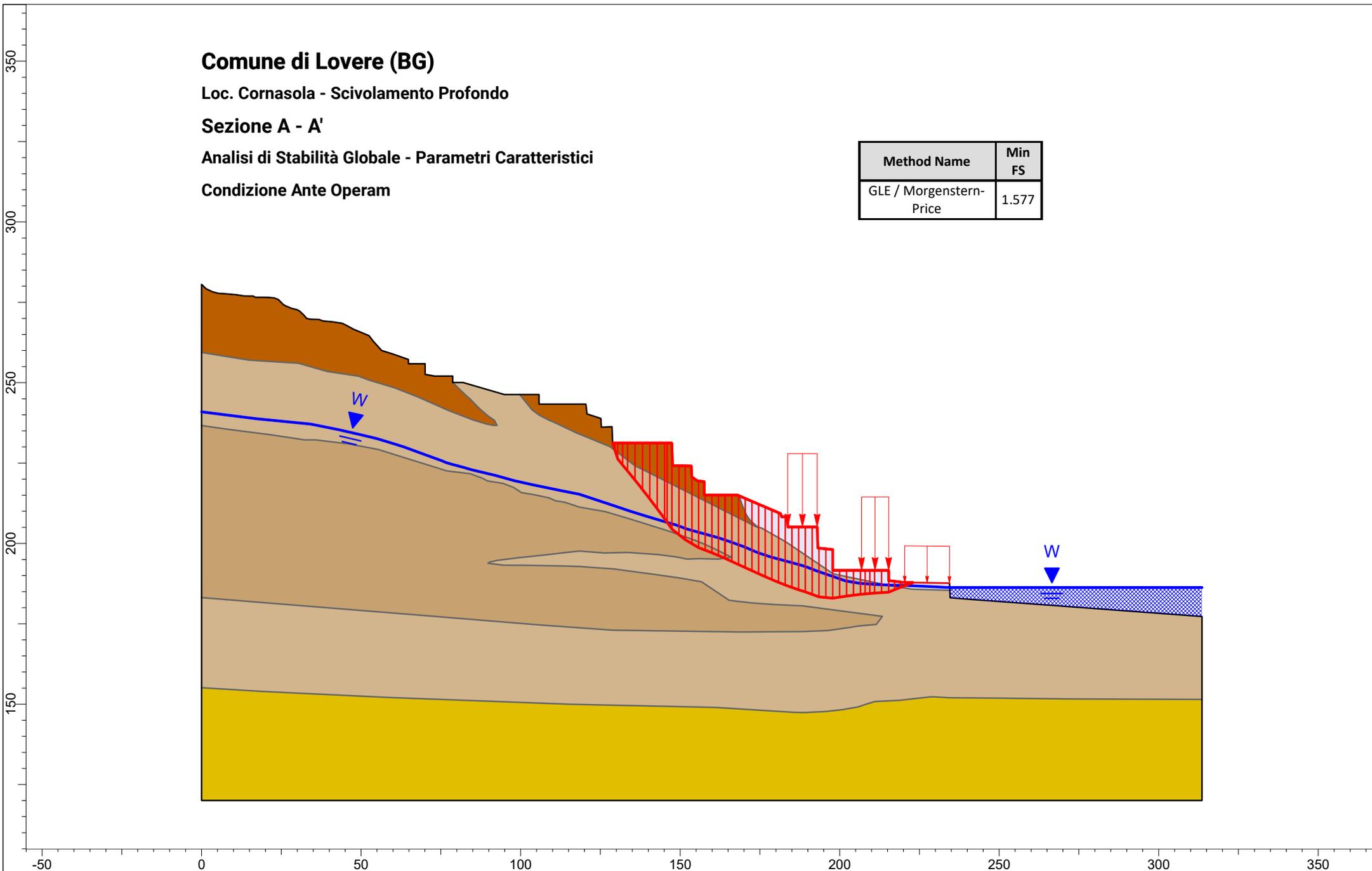
Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - Parametri Caratteristici

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.577



	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

# Comune di Lovere (BG)

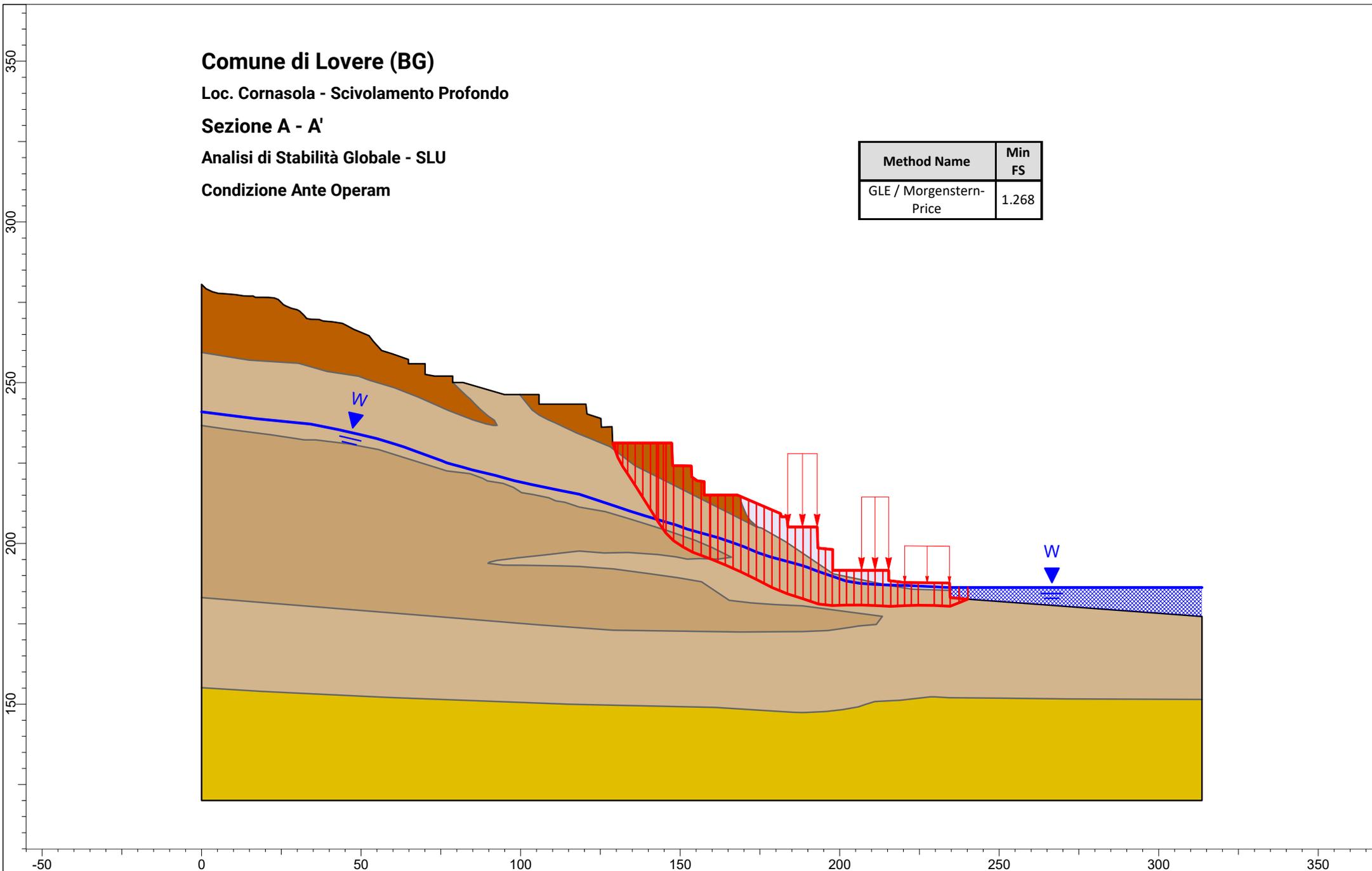
Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLU

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.268



	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

# Comune di Lovere (BG)

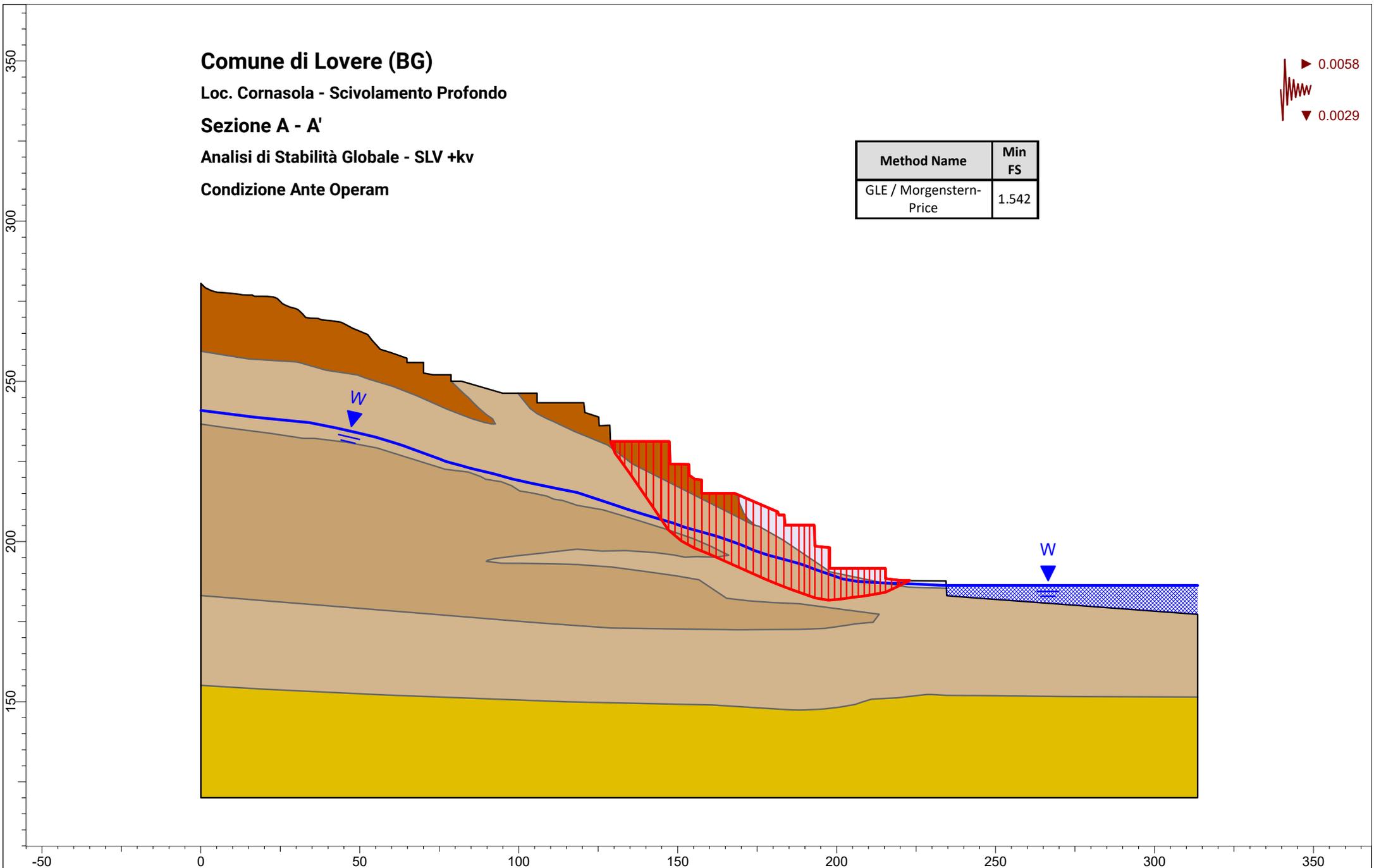
Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLV +kv

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.542



 Studio Griffini S.R.L.	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)	
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam	
	Eseguita da:	Nigro G.	Società: Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File: Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

# Comune di Lovere (BG)

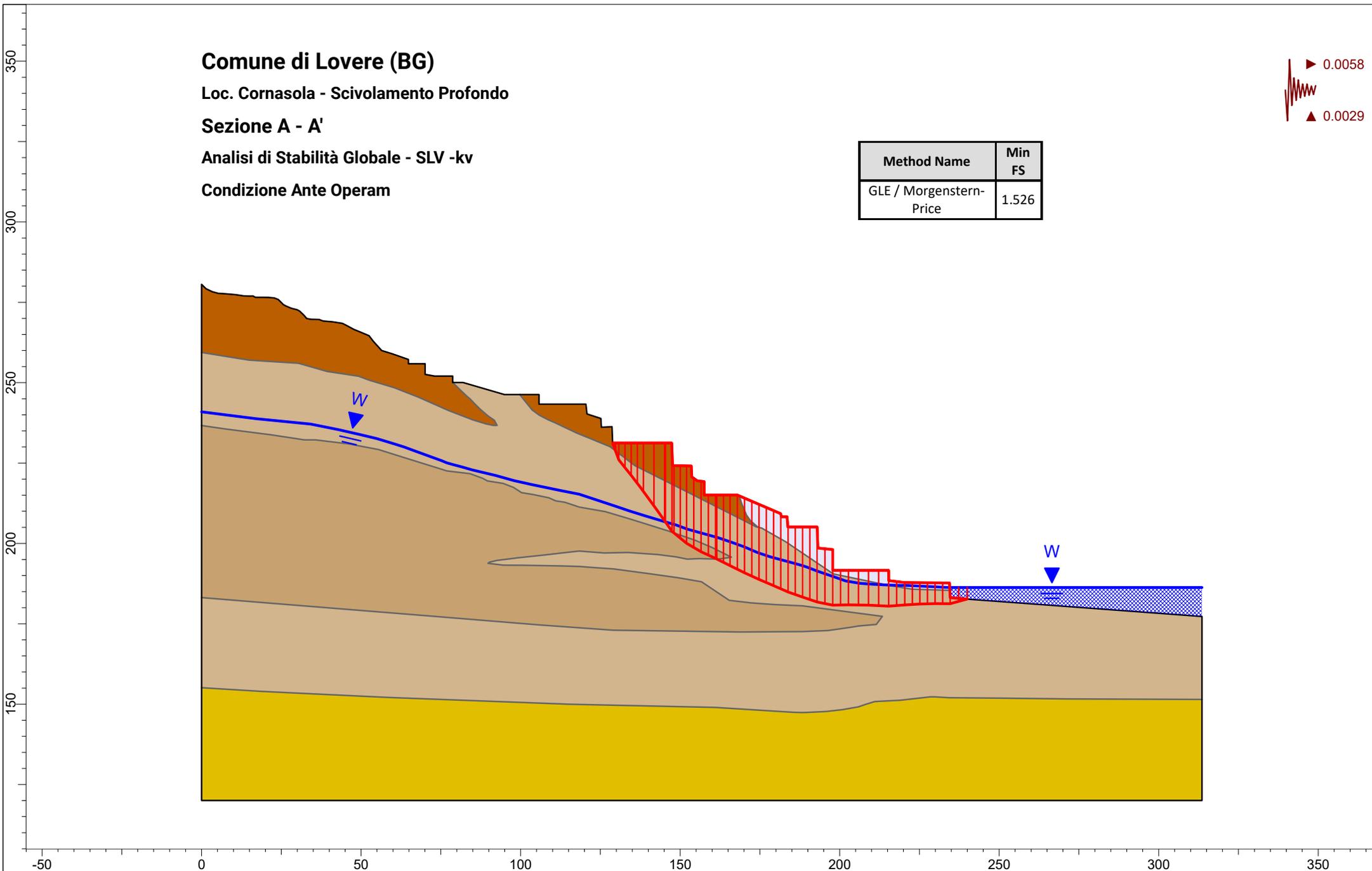
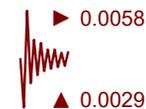
Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLV -kv

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.526



 Studio Griffini S.R.L.	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Profondo



Comune di  
Lovere (BG)

***Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante***

## **RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE – SCIVOLAMENTO SUPERFICIE ZONA VIA NAZIONALE**

# Comune di Lovere (BG)

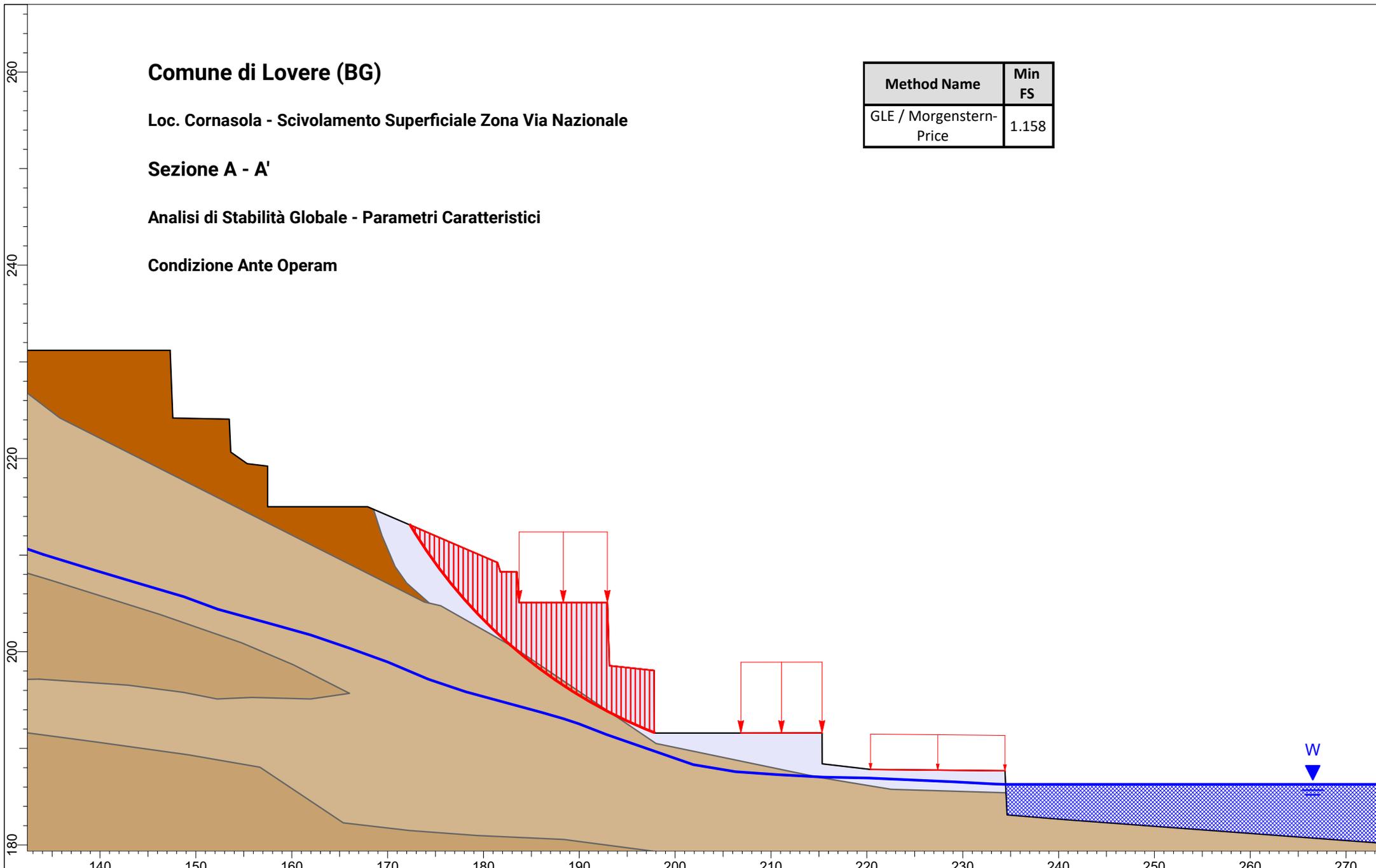
Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - Parametri Caratteristici

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.158



 SLIDEINTERPRET 9.019 Studio Griffini S.R.L.	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

# Comune di Lovere (BG)

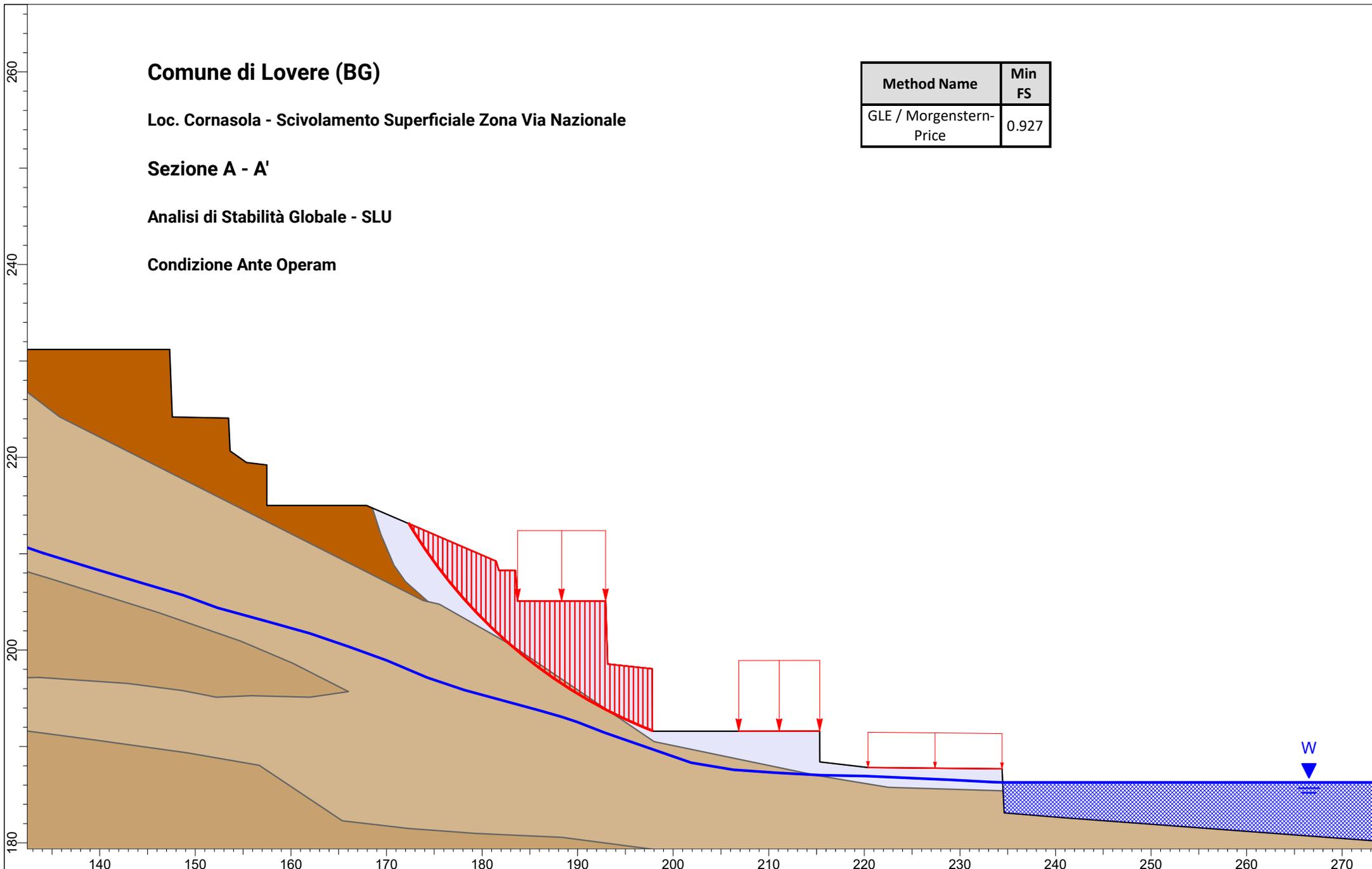
Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLU

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	0.927



 SLIDEINTERPRET 9.019 Studio Griffini S.R.L.	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

# Comune di Lovere (BG)

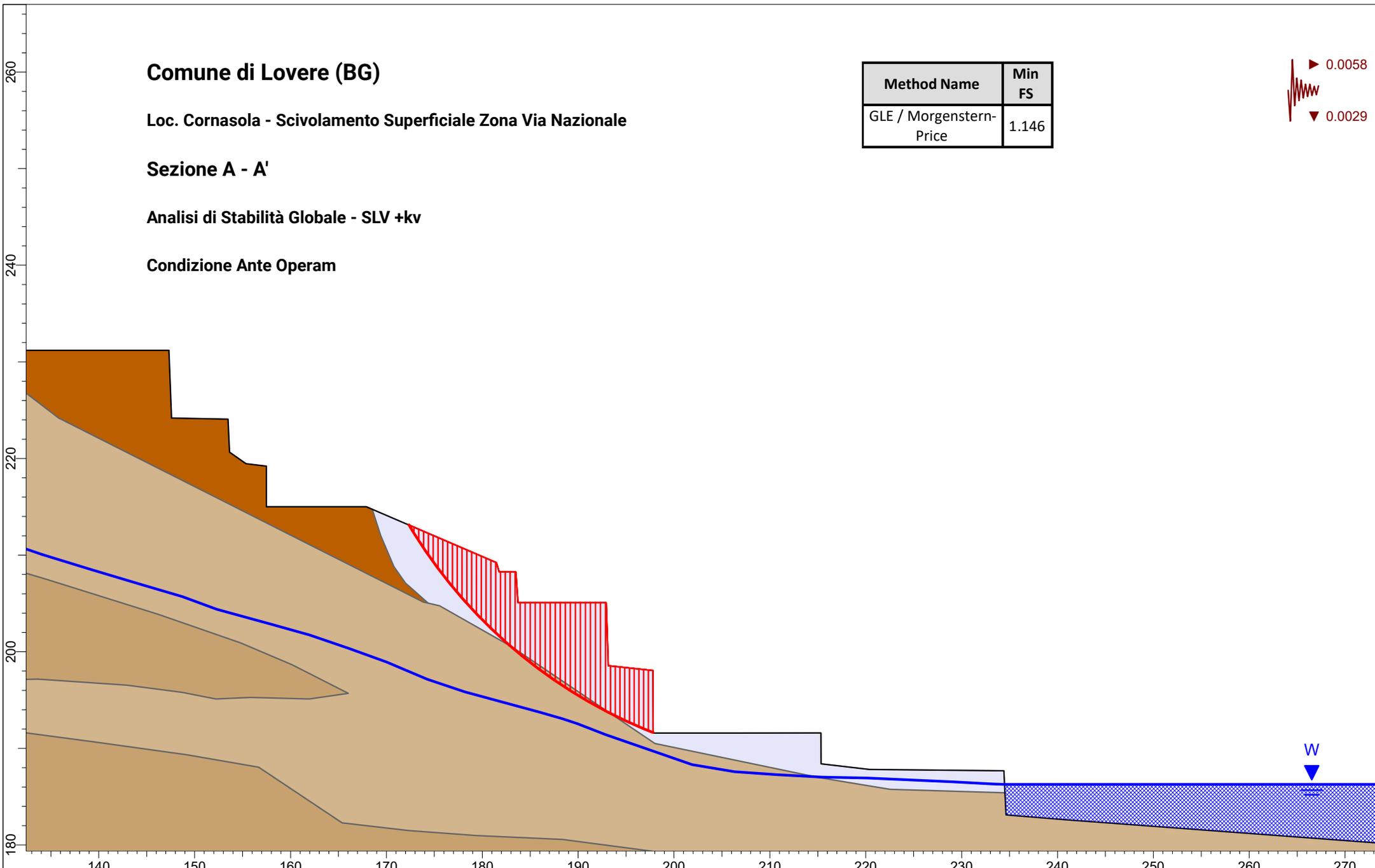
Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLV +kv

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.146



	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

# Comune di Lovere (BG)

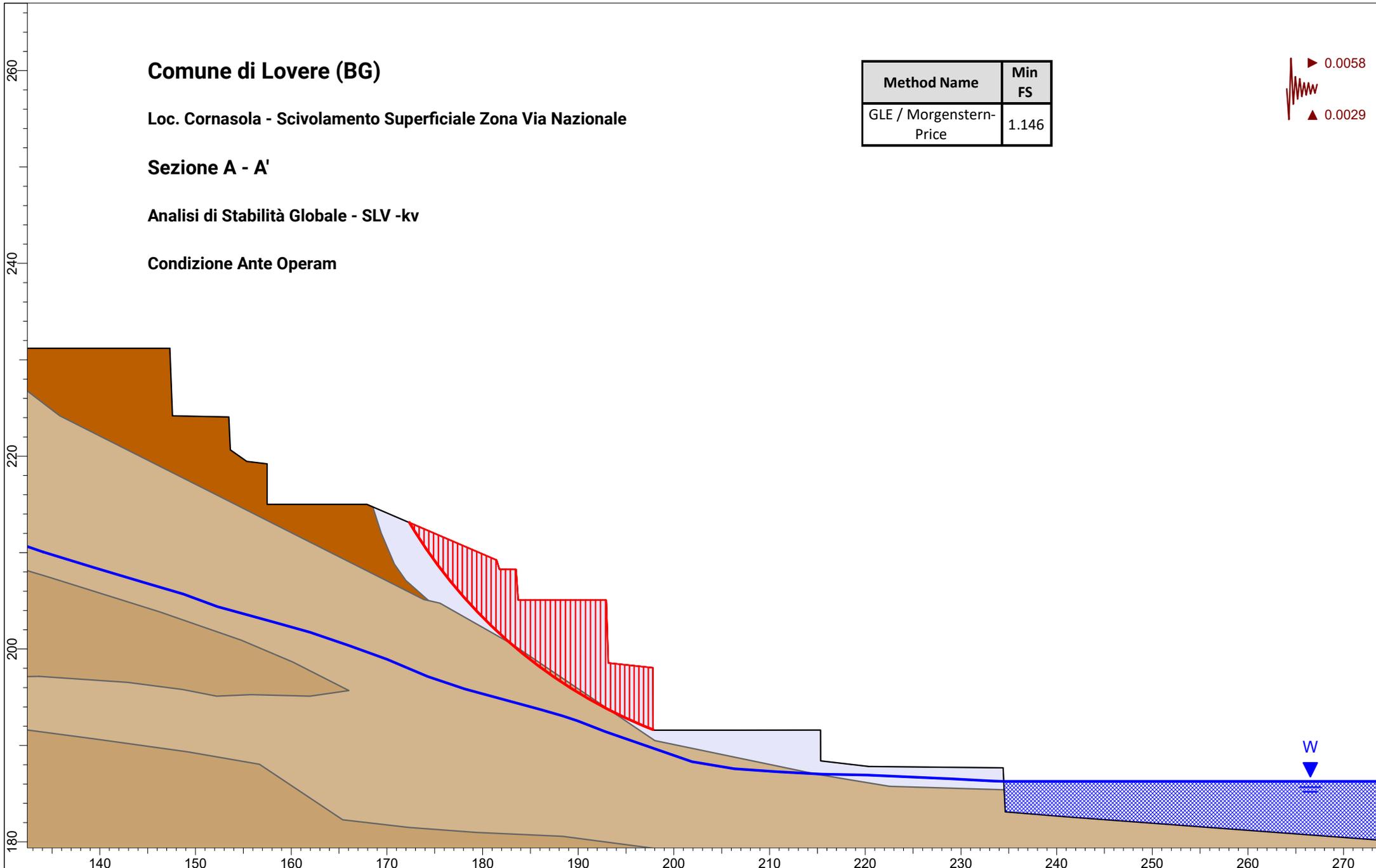
Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLV -kv

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.146



 SLIDEINTERPRET 9.019 Studio Griffini S.R.L.	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)	
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam	
	Eseguita da:	Nigro G.	Società: Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File: Loc. Cornasola - Scivolamento Superficiale Zona Via Nazionale



Comune di  
Lovere (BG)

***Interventi di mitigazione del rischio idrogeologico nell'area a grave rischio ex L.267/98 che interessa il centro abitato di Lovere con particolare riferimento alla zona di via Cornasola - via Nazionale - via Dante***

## **RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE – SCIVOLAMENTO PROFONDO**

# Comune di Lovere (BG)

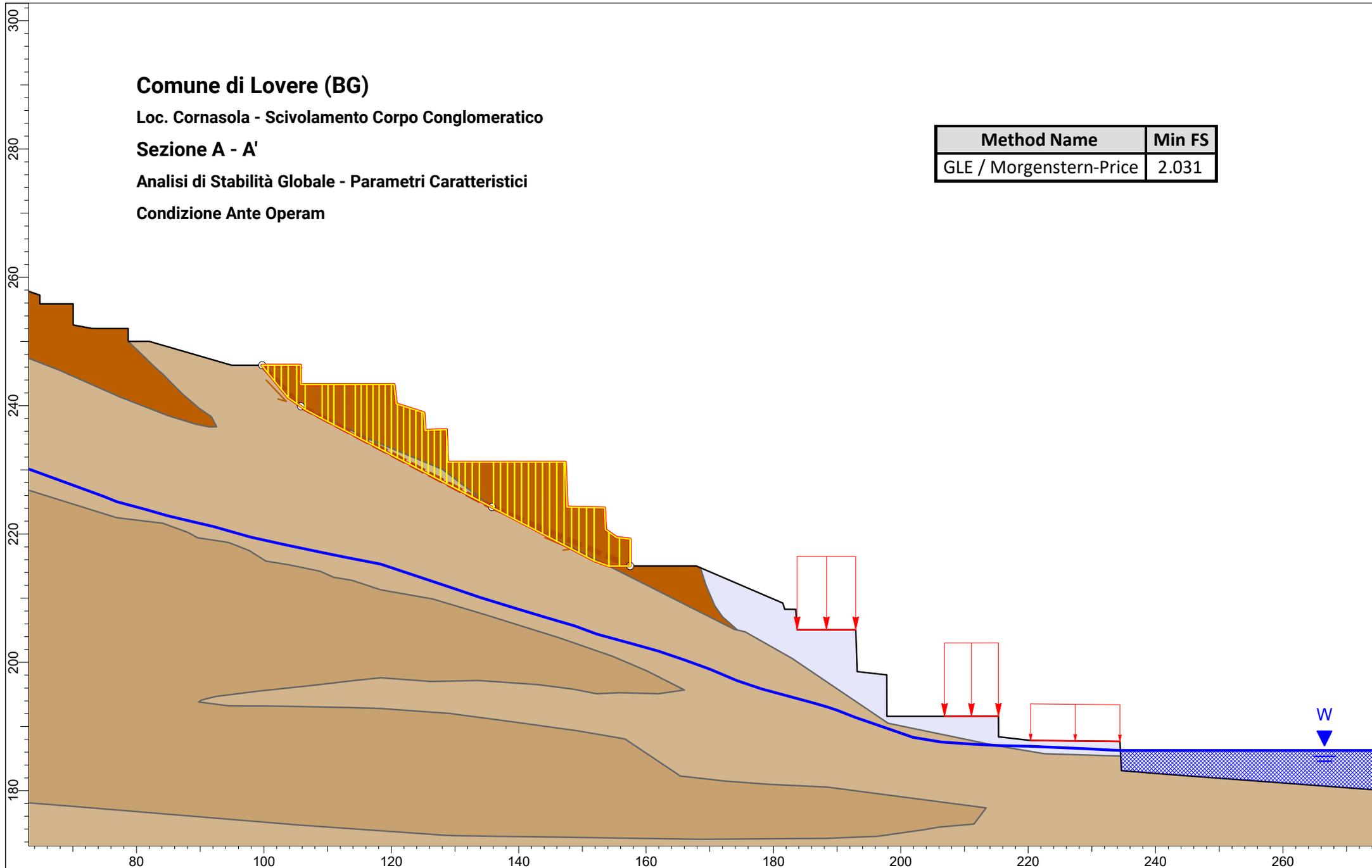
Loc. Cornasola - Scivolamento Corpo Conglomeratico

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - Parametri Caratteristici

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	2.031



 STUDIO GRIFFINI S.R.L. GEOLOGIA GEOTECNICA STRUTTURE	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Carpo Conglomeratico

# Comune di Lovere (BG)

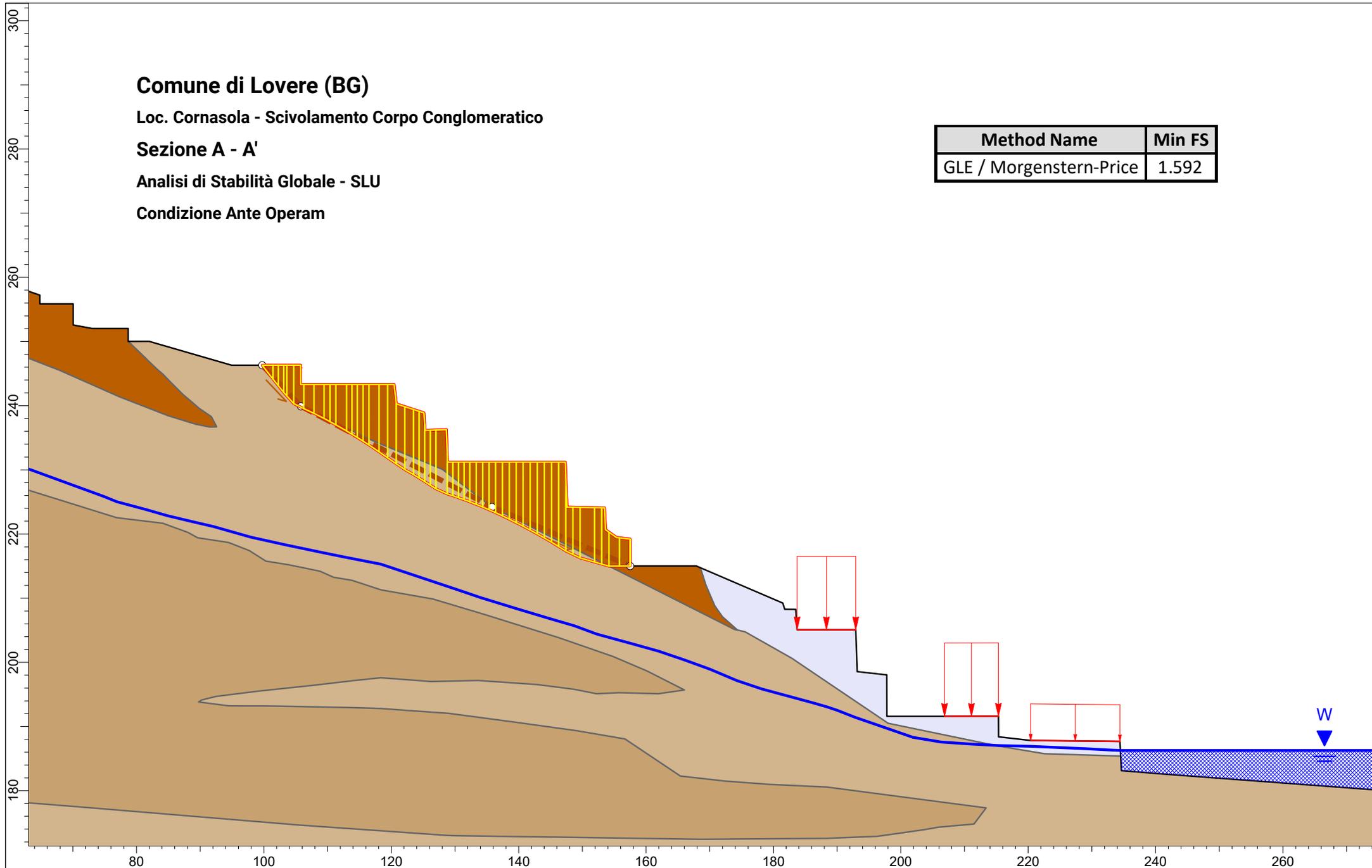
Loc. Cornasola - Scivolamento Corpo Conglomeratico

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLU

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.592



 STUDIO GRIFFINI S.R.L. GEOLOGIA GEOTECNICA STRUTTURE	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)		
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam		
	Eseguita da:	Nigro G.	Società:	Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File:	Loc. Cornasola - Scivolamento Carpo Conglomeratico

# Comune di Lovere (BG)

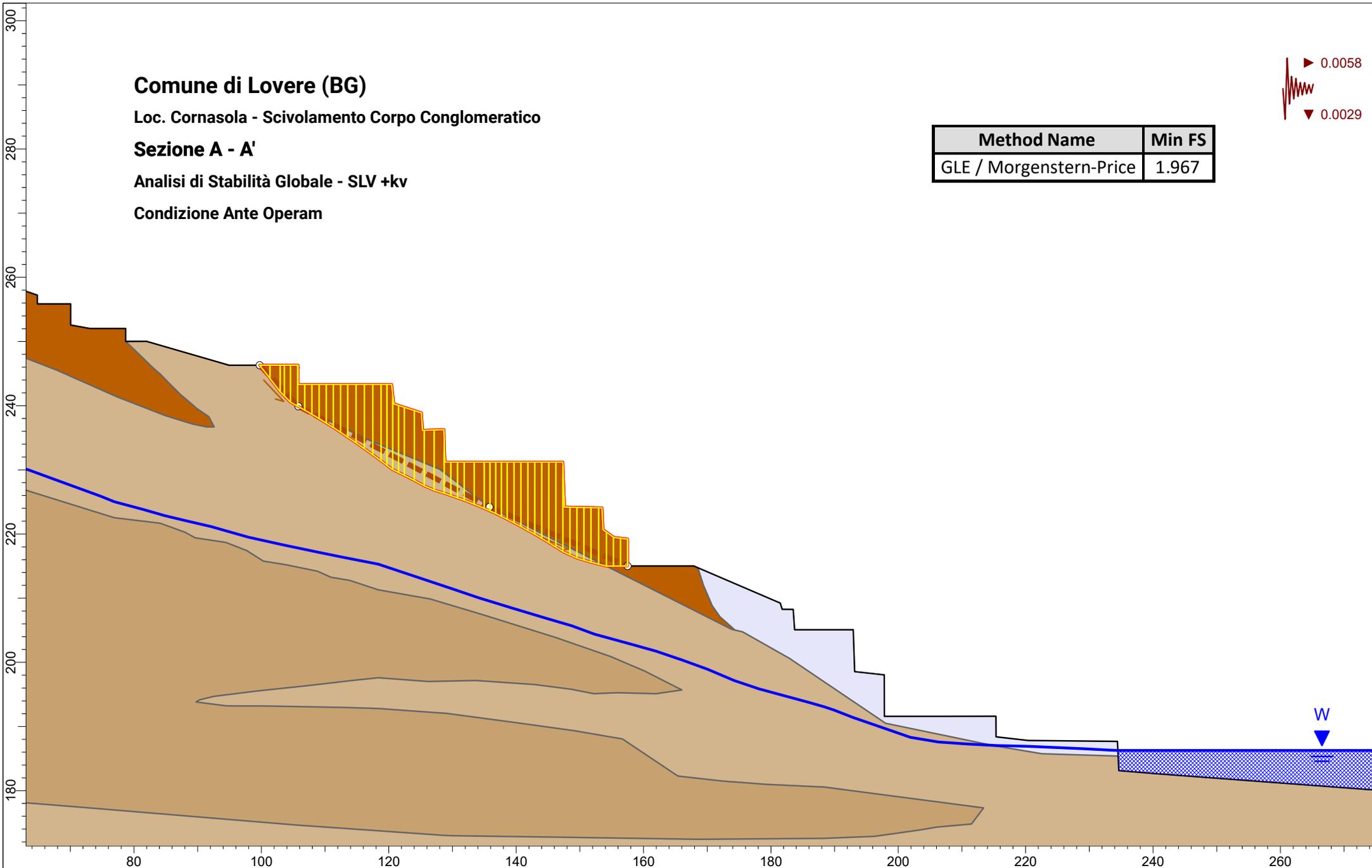
Loc. Cornasola - Scivolamento Carpo Conglomeratico

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLV +kv

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.967



 STUDIO GRIFFINI S.R.L. GEOLOGIA GEOTECNICA STRUTTURE	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)	
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam	
	Eseguita da:	Nigro G.	Società: Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File: Loc. Cornasola - Scivolamento Carpo Conglomeratico

# Comune di Lovere (BG)

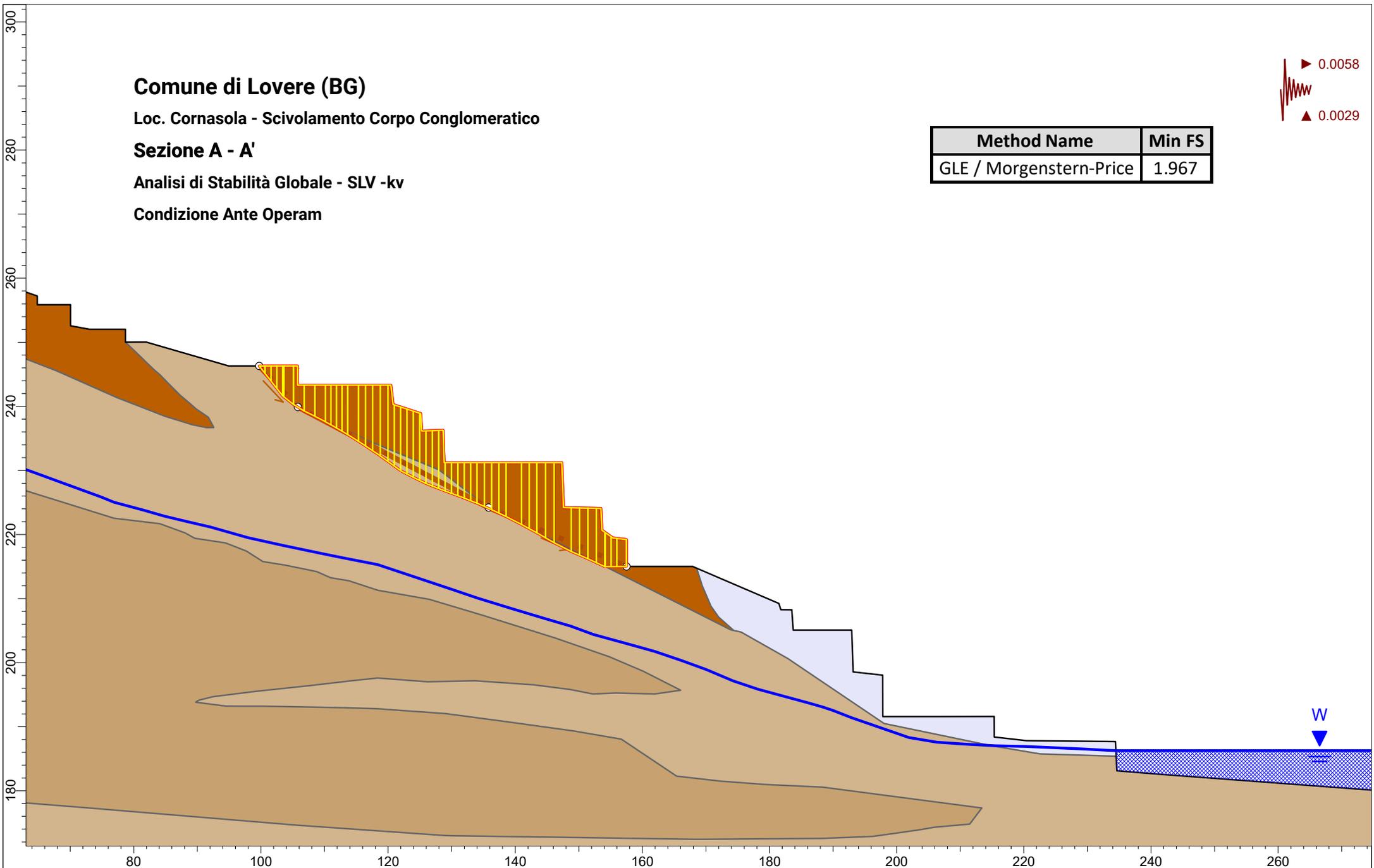
Loc. Cornasola - Scivolamento Carpo Conglomeratico

## Sezione A - A'

Analisi di Stabilità Globale - SLV -kv

Condizione Ante Operam

Method Name	Min FS
GLE / Morgenstern-Price	1.967



 STUDIO GRIFFINI S.R.L. GEOLOGIA GEOTECNICA STRUTTURE	Commessa:	363 - Mitigazione rischio idrogeologico - Lovere (BG)	
	Tipo di analisi:	Analisi di Stabilità Globale - Ante Operam	
	Eseguita da:	Nigro G.	Società: Studio Griffini S.r.l.
	Data:	12 ottobre 2021	File: Loc. Cornasola - Scivolamento Carpo Conglomeratico