

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

NODO DI ROMA

PRG DI ROMA TUSCOLANA

OPERE CIVILI

Opere civili Viabilità

Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

NR2E 00 R 78 RH NG0000 001 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|--------------|----------|-------------|----------|--------------|----------|------------------------|
| A | Emissione Esecutiva | M.Vescarelli | Apr-2021 | G. Giustino | Apr-2021 | T. Paolletti | Apr-2021 | D. Tiberti Apr-2021 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Identità
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Danilo Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10878

NR2E.0.0.R.78.RH.NG.00.0.0.001.A

n. Elab.:

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 1 di 43 |

Sommario

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 1.1 | DESCRIZIONE DELL'OPERA | 4 |
| 2 | NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO | 8 |
| 2.1 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 8 |
| 2.2 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 8 |
| 3 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 9 |
| 3.1 | CALCESTRUZZO | 9 |
| 3.1.1 | Calcestruzzo per diaframmi e pali | 9 |
| 3.1.2 | Calcestruzzo fodera interna..... | 10 |
| 3.2 | ACCIAIO | 10 |
| 3.2.1 | Acciaio per cemento armato | 10 |
| 3.2.1 | Acciaio per tubolari | 11 |
| 4 | INQUADRAMENTO GEOTECNICO | 11 |
| 5 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO | 13 |
| 5.1 | VITA NOMINALE E CLASSE D'USO | 13 |
| 5.2 | PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA..... | 14 |
| 6 | CRITERI DI VERIFICA PARATIE | 16 |
| 6.1 | VERIFICHE SLU..... | 16 |
| 6.2 | VERIFICHE GEOTECNICHE SLE | 16 |
| 7 | ANALISI DEI CARICHI PARATIE | 18 |
| 7.1 | SPINTA DEL TERRENO | 18 |
| 7.2 | CARICHI ACCIDENTALI..... | 19 |
| 7.3 | VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA | 19 |
| 8 | ANALISI DEI CARICHI SCATOLARE | 20 |
| 8.1 | PESO PROPRIO (DEAD)..... | 20 |
| 8.2 | SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)..... | 20 |
| 8.3 | SPINTA ORIZZONTALE FALDA | 20 |
| 8.4 | SPINTA DEL TERRENO (SPTSX/SPTDX)..... | 21 |
| 8.5 | CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO | 22 |

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 2 di 43 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 8.6 | SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE (SPACCSX/SPACCDX) | 23 |
| 8.7 | VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA | 24 |
| 9 | COMBINAZIONI DI CARICO..... | 26 |
| 10 | PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALL..... | 27 |
| 10.1 | FASI DI CALCOLO | 28 |
| 10.2 | RISULTATI GEO | 31 |
| 10.3 | RISULTATI STR | 34 |
| 10.4 | STABILITÀ PRESCAVO..... | 37 |
| 11 | PROGETTO E VERIFICA SCATOLARE..... | 38 |
| 11.1 | MODELLAZIONE ADOTTATA..... | 38 |
| 11.2 | CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI..... | 39 |
| 11.3 | VERIFICHE STR..... | 40 |

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 3 di 43 |

1 PREMESSA

Oggetto del presente Progetto di Fattibilità Tecnica Economica è il PRG di Roma Tuscolana, in cui si prevede di dare accesso alle aree del PRG di Tuscolana mediante sottovia che consente il sottoattraversamento ferroviario del fascio di binari. Il sistema di viabilità si compone di un asse principale (denominato Ramo1) e di un asse secondario (denominato Ramo2) come è possibile osservare dai seguenti inquadramenti planimetrici. I due rami si sviluppano all'interno di un sottovia denominato NG01A e NG01B rispettivamente per il ramo 1 e il ramo 2.

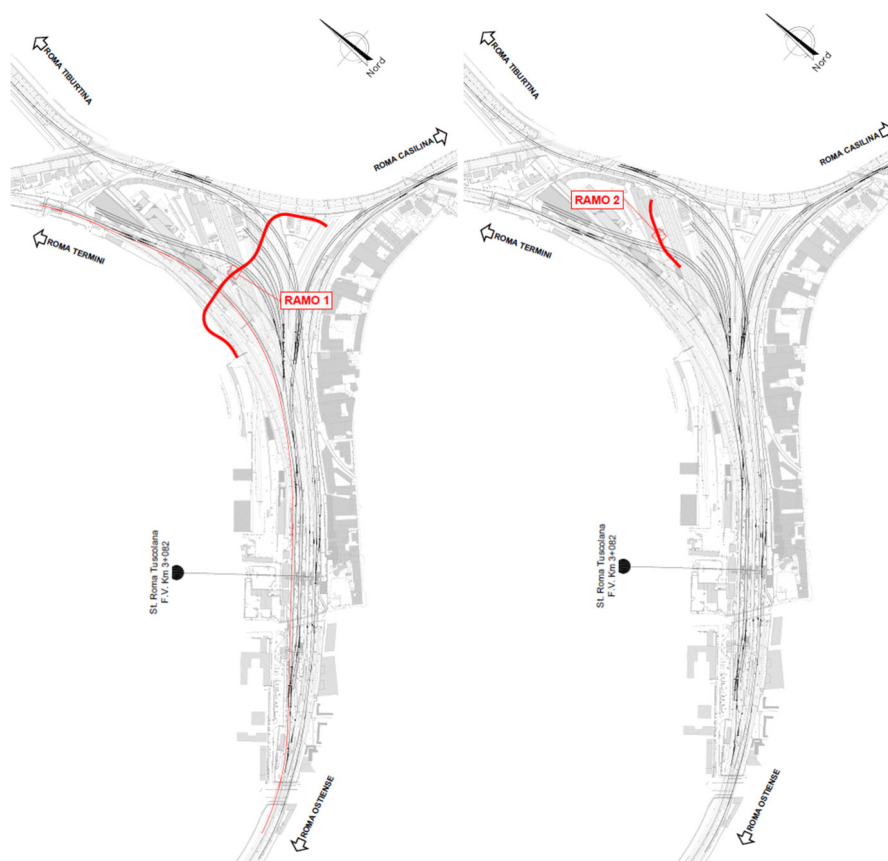


Figura 1 – Planimetria di inquadramento del sottovia NG01.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 4 di 43 |

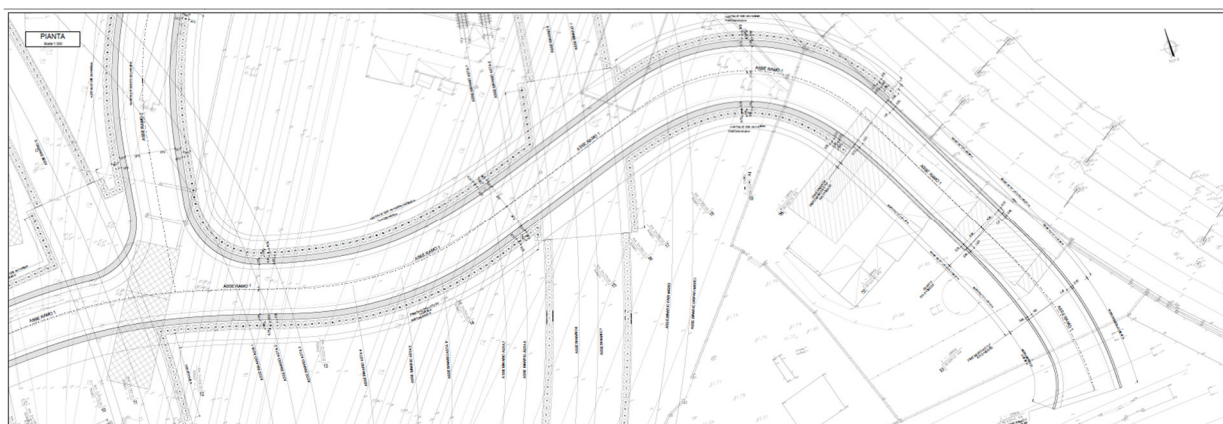
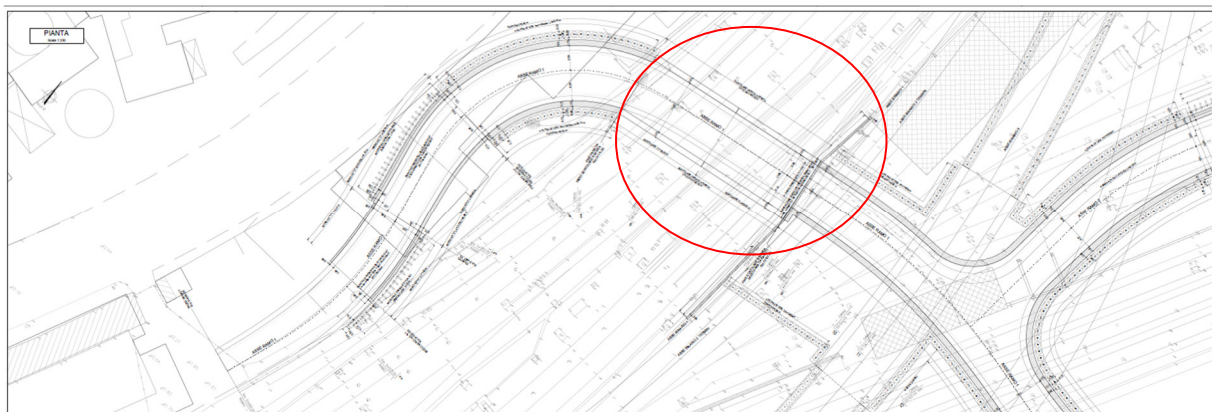
1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il sottovia si estende per una lunghezza di 290 m e transita al di sotto di tutti i fasci di binari presenti, nelle seguenti Figura 2, Figura 3 e Figura 4 si riportano rispettivamente planimetrie, prospetti e sezioni di sottovia e muro a U.

Laddove in fase di esecuzione non c'è interferenza con i binari della linea Roma-Pisa di esercizio per la realizzazione del sottovia sono previste delle paratie di pali di diametro 1200 mm e interasse di 1.40 m, con lunghezze di 20 m e lo scavo fino alla quota necessaria per la successiva realizzazione dello scatolare interno.

L'altezza di scavo massima è di 13.5 m, tuttavia per la realizzazione dell'opera si considera un prescavo di 4 m, pertanto lo scavo effettivo è pari a 9.5 m.

Mentre nella zona in cui c'è interferenza con i binari in esercizio cerchiata in rosso nella seguente figura si realizza un sottovia a spinta con platea di varo lato piazzale interno al PRG e con sostegno dei binari con Sistema Essen e spinta mediante due concetti di spinta giuntati nella zona non interferente con i binari esistenti. Il sottovia viene realizzato a spinta in quanto nelle prime macrofasi permette il passaggio sui binari esistenti della linea Roma Pisa e della linea FL1.



OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 5 di 43 |

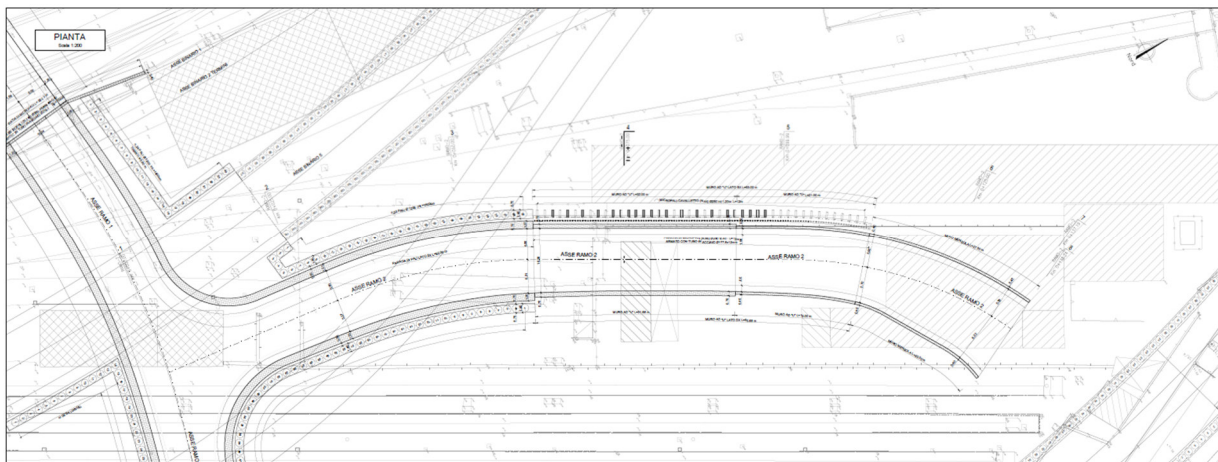


Figura 2 – Planimetria del sottovia.

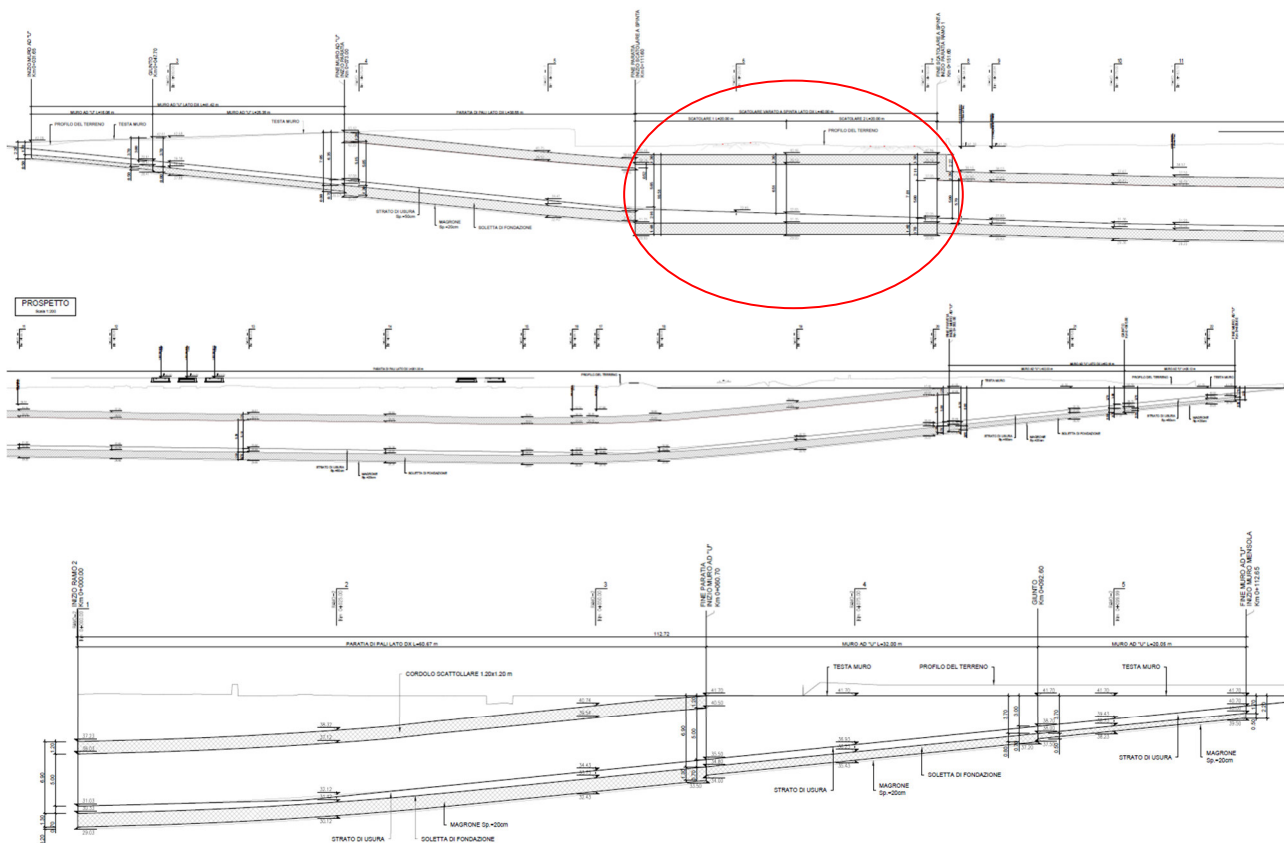


Figura 3 – Prospetto del sottovia.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 6 di 43 |

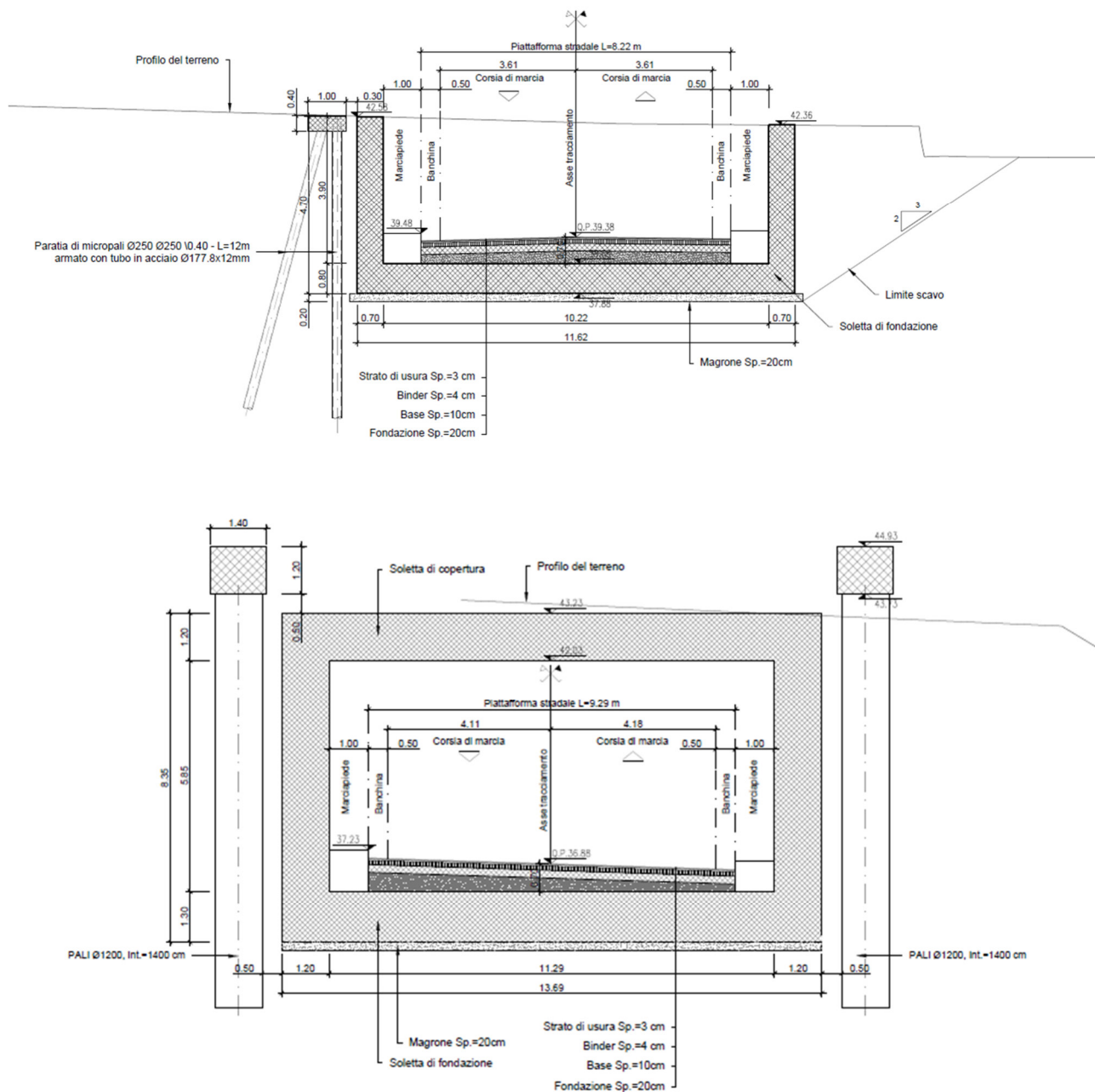


Figura 4 - Sezioni NG01.

Per la realizzazione del sottovia vengono realizzati due modelli:

- il modello 1 tiene conto della configurazione provvisoria: si esegue un prescavo di 4 m e si realizzano paratie di pali di diametro 1200 mm e interasse 1.4 m con lunghezze di 18 m. Prima di eseguire lo scavo fino alla quota necessaria viene



**PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA'
TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA -
OPERE CIVILI**

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 7 di 43 |

inserito un puntone provvisionale in testa all'opera che sarà successivamente rimosso solamente al termine della realizzazione dello scatolare interno (condizioni definitive). Trattandosi di un'opera provvisionale viene applicata a favore di sicurezza l'azione sismica con una vita nominale di 35 anni;

- il modello 2 tiene conto della configurazione definitiva: viene eseguito un predimensionamento dello scatolare di altezza interna 5.85 m e larghezza 11.29 m con soletta inferiore di spessore 1.30 m e piedritti e soletta superiore di spessore 1.20 m. In testa all'opera vengono applicati i carichi corrispondenti allo spessore del rilevato ferroviario di 4 m e i carichi ferroviari agenti.

| | | | | | | |
|--|--|-------------|------------------|--------------------------|-----------|-------------------|
|  | PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA – OPERE CIVILI | | | | | |
| OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale | COMMESSA NR2E | LOTTO 00 | CODIFICA R 78 | DOCUMENTO RHNG0000001 | REV. A | FOGLIO 8 di 43 |

2 **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- [N.1] D.M. del 20.02.2018: “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- [N.2] C.M. del 12.02.2019: “Istruzioni per l’esecuzione delle Nuove Norme per le Costruzioni di cui al D.M. 20/02/2018”.

2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- [D.1.] Manuale di progettazione delle opere civili – Documento RFIDTCSIPSMIAIFS001E dicembre 2020
- [D.2.] Delibera della giunta regionale Regione Lazio n.793 del 5 novembre 2020

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|---------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 9 di 43 |

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel presente capitolo vengono riportate le principali caratteristiche dei materiali utilizzati per la realizzazione delle strutture.

3.1 CALCESTRUZZO

3.1.1 Calcestruzzo per diaframmi e pali

- Classe di resistenza C25/30:
- Copriferro 60 mm
- $R_{ck} = 30$ MPa Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.9$ N/mm² Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 14.11$ N/mm² Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.55$ N/mm² Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79$ N/mm² Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19$ N/mm² Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.03$ N/mm² Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 2.68$ N/mm² Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.9$ N/mm² Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 31447.16$ N/mm² Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 13.69$ N/mm² Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 5.64$ N/mm² Tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 10 di 43 |

3.1.2 Calcestruzzo fodera interna

- Classe di resistenza C30/37:
- Copriferro 40 mm
- $R_{ck} = 37 \text{ MPa}$ Resistenza cubica caratteristica a compressione
- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$ Resistenza caratteristica a compressione;
- $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 17.40 \text{ N/mm}^2$ Resistenza di calcolo a compressione del cls;
- $f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)} = 2.94 \text{ N/mm}^2$ Resistenza media a trazione del cls;
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.05 \text{ N/mm}^2$ Resistenza caratteristica a trazione del cls;
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37 \text{ N/mm}^2$ Resistenza di calcolo a trazione del cls.
- $f_{bk} = 2.25 \eta \cdot f_{ctk} = 4.63 \text{ N/mm}^2$ Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls.
- $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3.08 \text{ N/mm}^2$ Resistenza di calcolo di aderenza del cls.
- $f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ N/mm}^2$ Resistenza media cilindrica a compressione del cls;
- $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 33019.43 \text{ N/mm}^2$ Modulo elastico del calcestruzzo
- $\sigma_c < 0.55 \cdot f_{ck} = 16.89 \text{ N/mm}^2$ Tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;
- $\sigma_c < 0.40 \cdot f_{ck} = 6.96 \text{ N/mm}^2$ Tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm

3.2 ACCIAIO

3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- acciaio B450C
- tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
- tensione caratteristica di rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;
- resistenza di calcolo a trazione $f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$;
- modulo elastico $E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2$;
- tensione massima di esercizio per l'acciai $\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 337,50 \text{ N/mm}^2$.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

 Relazione tecnico descrittiva opere civili
 sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 11 di 43 |

3.2.1 Acciaio per tubolari

- Acciaio S275
- Tensione di snervamento f_y 275 N/mm²
- Tensione ultima a rottura f_u 275 N/mm²

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire uno stralcio del citato profilo e la tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo. La falda si trova ad una profondità di circa 12 m da piano campagna, quindi per la maggior parte dell'estensione degli scavi non risulta interferente con lo scavo. Laddove ci siano zone interferenti con la falda durante l'esecuzione dello scavo, perlopiù relativo ad un battente di 1m circa, si prevederà l'utilizzo di un sistema di pompe di aggotamento.

| Unità | Profondità da p.c. (m) da - a | Descrizione | γ (kN/m ³) | c' (kPa) | φ' (°) | E_{op} (MPa) |
|-------|----------------------------------|---|-------------------------------|------------|----------------|----------------|
| UG1-a | 0-5 | Piroclastite alterata sabbiosa con ghiaie poligeniche | 18 | 0 | 30 | 30 |
| UG1-b | 5-24 | Piroclastite semi-litoide sabbiosa medio-fine, limosa | 18 | 0 | 36 | 150 |
| UG2-a | 24-36 | Argille e limo | 18.5 | 30 | 25 | 160 |
| UG2-b | 36-42 | Ghiaia con sabbia | 19 | 0 | 40 | 250 |
| UG3 | 42-50 | Limi argillosi | 19 | 0 | 40 | 500 |

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 12 di 43 |

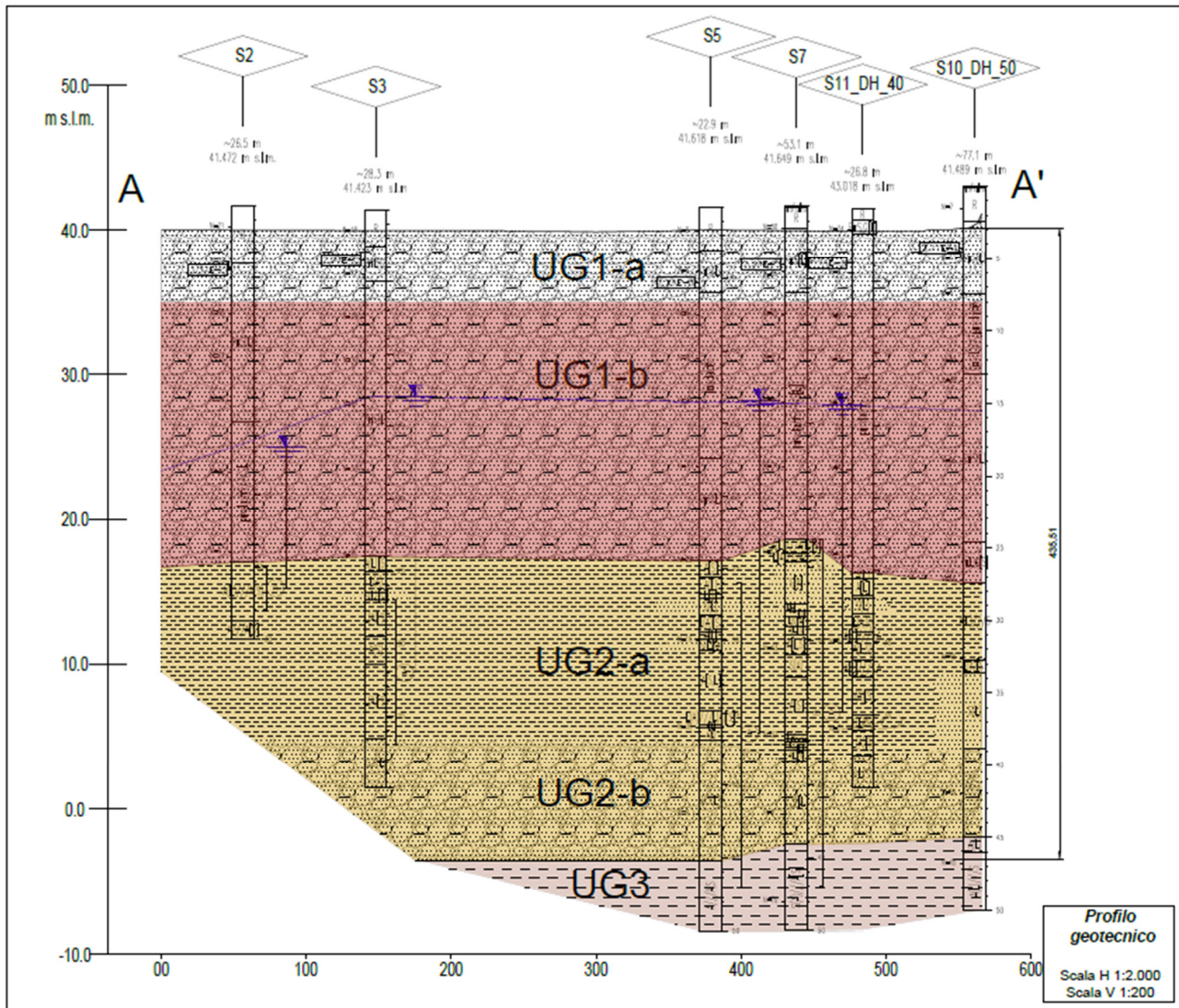


Figura 5 – Profilo geotecnico.

| | | | | | | |
|--|--|-------------|------------------|--------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA - OPERE CIVILI | | | | | |
| OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale | COMMESSA NR2E | LOTTO 00 | CODIFICA R 78 | DOCUMENTO RHNG0000001 | REV. A | FOGLIO 13 di 43 |

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

5.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale (V_N), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso (C_U).

Per il modello 1 si considera una vita nominale $V_N = 35$ anni, essendo un'opera provvisoria, mentre per il modello 2 si considera una vita nominale: $V_N = 75$ anni.

Riguardo invece la Classe d'Uso, all'opera in oggetto corrisponde una Classe III a cui è associato un coefficiente d'uso pari a (NTC – Tabella 2.4.II): $C_U = 1.5$.

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutati in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a:

- $V_R = 35 \times 1.5 = 52.5$ anni modello 1

- $V_R = 75 \times 1.5 = 112.5$ anni modello 2.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 14 di 43 |


5.2 PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica / V_R) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.


- Categoria sottosuolo C.


I valori delle caratteristiche sismiche (a_g , F_0 , T^*c) per gli stati limite di normativa per il modello 1 e il modello 2 sono rispettivamente:

Stati limite

 Classe Edificio


III. Affollamento significativo... ▼


 Vita Nominale 35 ▼

 Interpolazione Media ponderata ▼

CU = 1.5

| Stato Limite | Tr [anni] | a_g [g] | F_0 | T^*c [s] |
|--|-----------|-----------|-------|------------|
| Operatività (SLO) | 32 | 0.046 | 2.518 | 0.259 |
| Danno (SLD) | 53 | 0.058 | 2.495 | 0.271 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 498 | 0.132 | 2.613 | 0.291 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 1024 | 0.167 | 2.588 | 0.298 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 52.5 | | | |

 Cat. Sottosuolo C ▼

 Cat. Topografica T1 ▼

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,50 | 1,50 | 1,49 | 1,44 |
| CC Coeff. funz categoria | 1,64 | 1,62 | 1,58 | 1,57 |
| ST Amplificazione topografica | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] ↔ 0.6

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh | 0.041 | 0.051 | 0.115 | 0.141 |
| kv | -- | -- | -- | -- |
| Amax [m/s ²] | 0.679 | 0.859 | 1.922 | 2.352 |
| Beta | 0.612 | 0.612 | 0.612 | 0.612 |

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 15 di 43 |

Stati limite



Classe Edificio

III. Affollamento significativo...



Vita Nominale

75



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1.5

| Stato Limite | Tr [anni] | a_g [g] | F_0 | T_c^* [s] |
|--|-----------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO) | 68 | 0.065 | 2.484 | 0.276 |
| Danno (SLD) | 113 | 0.079 | 2.516 | 0.281 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 1068 | 0.169 | 2.586 | 0.299 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 2193 | 0.208 | 2.556 | 0.309 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 112.5 | | | |



Cat. Sottosuolo

C



Cat. Topografica

T1

SLO SLD SLV SLC

| | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,50 | 1,50 | 1,44 | 1,38 |
| CC Coeff. funz categoria | 1,61 | 1,60 | 1,56 | 1,55 |
| ST Amplificazione topografica | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

0.6

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh | 0.000 | 0.056 | 0.092 | 0.000 |
| kv | -- | 0.028 | 0.046 | -- |
| Amax [m/s ²] | 0.958 | 1.168 | 2.381 | 2.821 |
| Beta | -- | 0.470 | 0.380 | -- |

a_g → accelerazione orizzontale massima del terreno, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

F_0 → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

S → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T).

| | | | | | | |
|--|--|--------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA – OPERE CIVILI | | | | | |
| OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale | COMMESSA NR2E | LOTTO 00 | CODIFICA R 78 | DOCUMENTO RHNG0000001 | REV. A | FOGLIO 16 di 43 |

6 CRITERI DI VERIFICA PARATIE

6.1 VERIFICHE SLU

Le verifiche delle paratie sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1), mentre per le verifiche strutturali l'analisi è stata condotta con la combinazione 1 (A1+M1+R1). È stata altresì considerato anche il caso sismico.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus2018, un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da una paratia e permette di valutare il comportamento delle pareti durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Al fine di rispettare le richieste della Normativa in merito al modello geometrico di riferimento (§6.5.2.2 DM 17/01/2018) nel caso di opere in cui la funzione di sostegno è affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle è diminuita della quantità prevista, per opere vincolate:

$$\Delta h = \min (0.5; 10\% \Delta t)$$

in cui Δt è la differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo. Nel caso specifico dal livello inferiore del vincolo al fondo scavo sono 9m, per cui il Δh considerato è 0.5m.

La verifica strutturale è stata condotta in maniera speditiva, per assicurarsi il corretto funzionamento dell'elemento strutturale. Tali verifiche sono cautelative e conservative, in quanto non si è considerato il contributo delle pareti interne.

6.2 VERIFICHE GEOTECNICHE SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione [6.2.7] delle NTC 2018:

$$E_d \leq C_d$$

essendo E_d e C_d rispettivamente il valore di progetto dell'effetto delle azioni e il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni (spostamenti, rotazioni, distorsioni, ecc.).

In particolare, dovranno essere valutati gli spostamenti delle opere di sostegno e del terreno circostante per verificarne la compatibilità con la funzionalità delle opere stesse e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti.

Per le sezioni che lo richiedessero, si è proceduto alla valutazione dei cedimenti indotti sui binari in esercizio, verificando il valore dello sghembo stimato.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

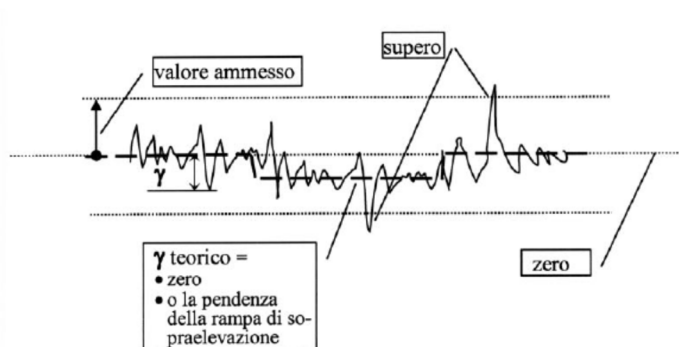
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 17 di 43 |

In particolare, tali cedimenti sono valutati applicando la correlazione di Boone & Westland (2006), implementata nel codice di calcolo Paratie Plus, che consente di stimare i cedimenti verticali per diverse configurazioni di opera di sostegno con una serie di equazioni in forma chiusa.

Lo sghembo γ è l'inclinazione espressa in % relativa di una fila di rotaia rispetto all'altra, calcolata come rapporto tra la differenza di livello trasversale XL fra due sezioni di binario poste a una distanza data, che è la base di misura dello sghembo, e la base stessa.

Sul grafico si valutano i valori dalla linea dello zero ai picchi superiori o inferiori come da grafico di seguito; i superi sono gli scostamenti rispetto allo zero che eccedono il valore ammesso.



Il valore ammesso si applica rispetto allo zero, lo sghembo effettivo è comprensivo della pendenza dell'eventuale rampa di sopraelevazione.

Di seguito si riportano i valori limite per i quali deve essere istituito un rallentamento secondo quanto riportato nel documento "Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h "RFI TCAR ST AR 01 001".

| | γ base 3 m | γ base 9 m |
|--|--|--|
| Se la velocità del tratto di linea è $200 < V \leq 300$ km/h | se $\gamma_{3m} \geq 5$ $V_{ral} \leq 200$ km/h | se $\gamma_{9m} \geq 3,5$ $V_{ral} \leq 200$ km/h |
| Valori limite di esercizio In caso di superamento, interruzione della circolazione e ripristino solo dopo correzione | $\gamma_{3m} = 6,5$ | $\gamma_{9m} = 4,5$ |
| ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla I.r.s. ATTENZIONE ai deviatori inseriti in curva | | |

|  | PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA – OPERE CIVILI | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|-------------|----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|----------|
| OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR2E</td> <td>00</td> <td>R 78</td> <td>RHNG0000001</td> <td>A</td> <td>18 di 43</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 18 di 43 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 18 di 43 | | | | | | | | |

7 ANALISI DEI CARICHI PARATIE

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio ed in presenza dell'evento sismico.

Tutti i carichi elementari si riferiscono all'unità di sviluppo dell'opera, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

7.1 SPINTA DEL TERRENO

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo Paratie Plus, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' , e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0,NC} \cdot (OCR)^m$$

Dove

- $K_{0,NC} = 1 - \tan \phi'$ è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$),

- OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

| | | | | | | |
|--|--|-------------|------------------|--------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA - OPERE CIVILI | | | | | |
| OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale | COMMESSA NR2E | LOTTO 00 | CODIFICA R 78 | DOCUMENTO RHNG0000001 | REV. A | FOGLIO 19 di 43 |

7.2 CARICHI ACCIDENTALI

Si considera un carico accidentale a monte dell'opera pari a 10 kPa generato dai macchinari di cantiere presenti in fase di realizzazione

7.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Per l'opera in esame si è considerata una vita nominale di 35 anni e una classe d'uso III, con $C_U = 1.5$, pertanto si ottiene una vita di riferimento pari a $V_R = 52.5$ anni.

Considerando una Categoria di sottosuolo C e una categoria topografica pari a T1, si ottengono i parametri sismici riportati al Paragrafo 5.2, quindi con $a_{max} = a_g * S = 0.132 * 1.49 = 0.196$ g.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), con riferimento alla sola configurazione finale dell'opera. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono pari all'unità. Si adotta il metodo pseudo-statico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale secondo le prescrizioni della normativa (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$$

In cui α è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e β è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Considerando le opere in entrambi i modelli come strutture che non ammettono spostamenti, l'incremento di spinta del terreno dovuto all'azione sismica è stato calcolato attraverso la trattazione di Wood valida per pareti che accettano piccoli spostamenti e come una sollecitazione uniformemente distribuita:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H^2$$

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 20 di 43 |

8 ANALISI DEI CARICHI SCATOLARE

8.1 PESO PROPRIO (DEAD)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso dell'unità di volume del calcestruzzo armato pari a $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

8.2 SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM)

Il ricoprimento è caratterizzato da rilevato ferroviario e ha uno spessore di 4 m, pertanto si assegna alla soletta superiore un carico di 80 kN/m^2 .

Oltre al ricoprimento vi è il carico uniformemente distribuito generato dallo spessore di ballast, pari a 14.4 kN/m^2 .

In totale agisca un carico permanente uniformemente distribuito pari a 94.4 kN/m^2 .

L'azione del ballast genera anche un carico uniformemente distribuito lungo i pilastri, pari al prodotto del carico per k_0 (5.94 kN/m^2). Oltre al carico suddetto, viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 4 (per la SPTSX) e 2 e 3 (per la SPTDX), la parte di spinta del ballast esercitata su $1/2$ spessore della soletta superiore e su $1/2$ spessore della soletta inferiore.

$F_{1,2} \text{ (kN/m)}$ 3.56 forza concentrata semi-spessore soletta superiore

$F_{3,4} \text{ (kN/m)}$ 3.86 forza concentrata semi-spessore soletta inferiore

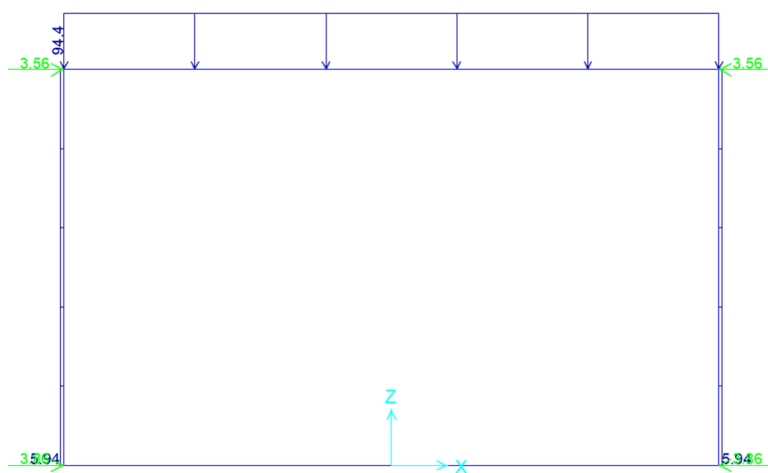


Figura 6 – Carico permanente.

8.3 SPINTA ORIZZONTALE FALDA

La falda si trova ad una quota di circa 13 m dal piano campagna, pertanto non produce alcuna spinta sull'opera.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 21 di 43 |

8.4 SPINTA DEL TERRENO (SPTSX/SPTDX)

La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo con:

γ_t (kN/m³) 18 peso di volume terreno ai lati
 φ' (°) 36 angolo di attrito terreno ai lati
 k_0 0.412 coefficiente di spinta a riposo

Tali parametri si traducono ad un diagramma di pressioni trapezoidale ($p = k_0 \cdot \gamma \cdot z$) da applicare sui piedritti dello scatolare con valori di:

p_1 (kN/m²) 29.68 pressione all'estradosso soletta superiore
 p_2 (kN/m²) 34.13 pressione in asse soletta superiore
 p_3 (kN/m²) 84.22 pressione in asse soletta inferiore
 p_4 (kN/m²) 89.04 pressione all'intradosso soletta inferiore

La spinta del terreno agisce con forma trapezoidale in quanto si tiene conto della spinta esercitata del ricoprimento di 5 m al di sopra dello scatolare.

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 4 (per la SPTSX) e 2 e 3 (per la SPTDX), la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

$F_{1,2}$ (kN/m) 19.14 forza concentrata semi-spessore soletta superiore
 $F_{3,4}$ (kN/m) 56.31 forza concentrata semi-spessore soletta inferiore

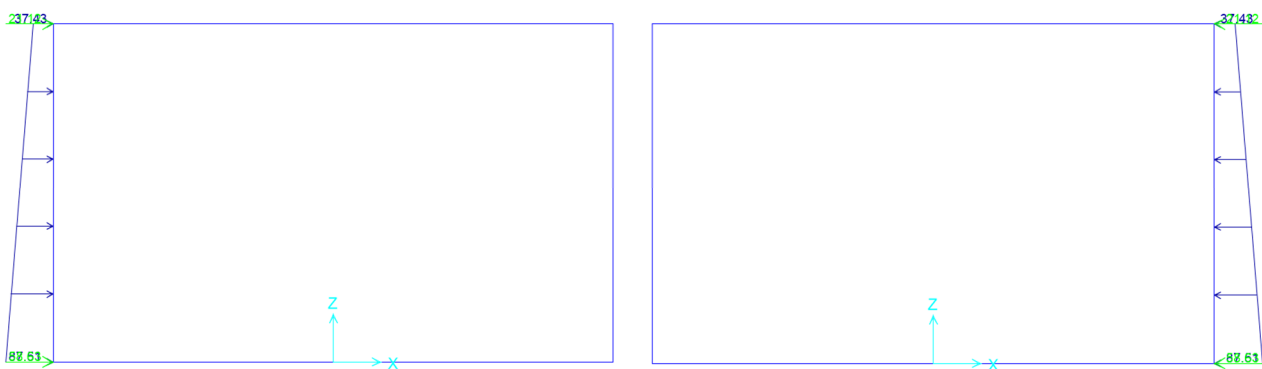


Figura 7 – Spinta terreno in sinistra e in destra.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 22 di 43 |

8.5 CARICHI MOBILI DA TRAFFICO FERROVIARIO

Solamente per il modello 2, si applica il carico verticale dovuto al treno di carico SW2 uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano campagna. Il treno di carico SW2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Il treno di carico SW2 è schematizzato nella figura seguente.

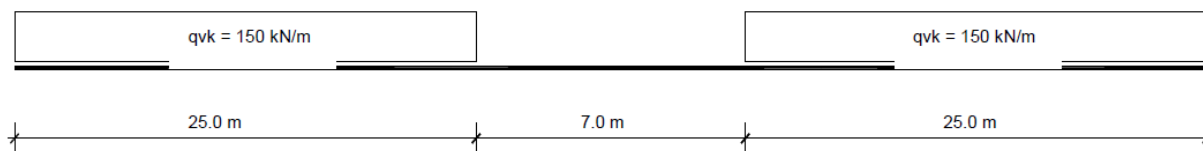


Figura 8 – Treno di carico SW2.

Per la ripartizione si considera la larghezza della traversina (2.4 m) sommata alla ripartizione attraverso lo spessore del ballast (0.80 m), lo spessore dello strato di rilevato ferroviario (4 m) e il semispessore della soletta superiore (1.20/2 m):

$$B_t = 2.40 + 2 \times 0.8/4 + 2 \cdot 4 \cdot \text{tg}(38^\circ) + 2 \cdot 1.20/2 = 10.25 \text{ m.}$$

I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente α che deve assumersi come da tabella seguente:

| MODELLO DI CARICO | COEFFICIENTE " α " |
|-------------------|---------------------------|
| LM71 | 1.1 |
| SW/0 | 1.1 |
| SW/2 | 1.0 |

Figura 9 – Coefficienti α per modelli di carico.

Considerando il treno di carico SW2, con un coefficiente dinamico di 1.35, si ha:

$$Q = 150 \text{ kN}$$

$$q_{\text{var}} = (150/10.25 \text{ m}) \cdot 1.0 \cdot 1.35 = 19.75 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{var}} \approx 20 \text{ kN/m}^2$$

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 23 di 43 |

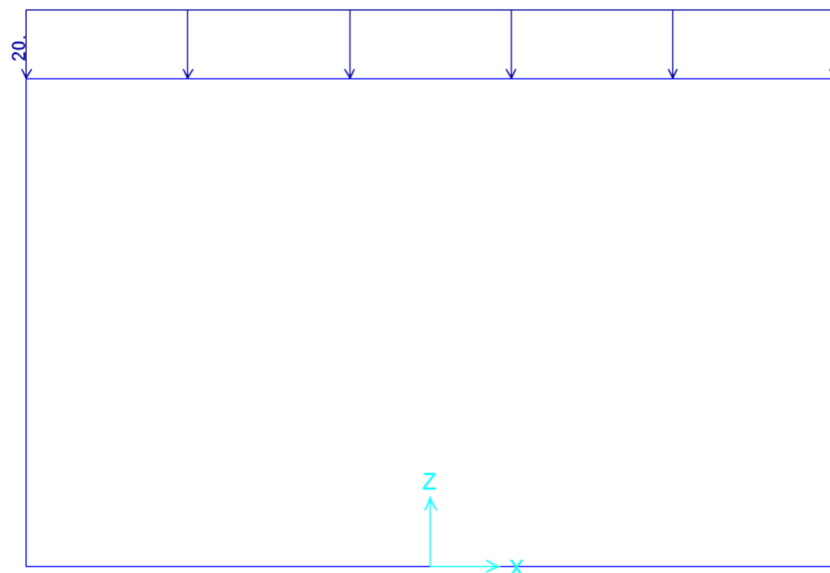


Figura 10 – Carico accidentale.

8.6 SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE (SPACCSX/SPACCDX)

Il carico accidentale sul rilevato a ridosso del piedritto ha intensità pari a $q * k_0 = 8.24$ kPa.

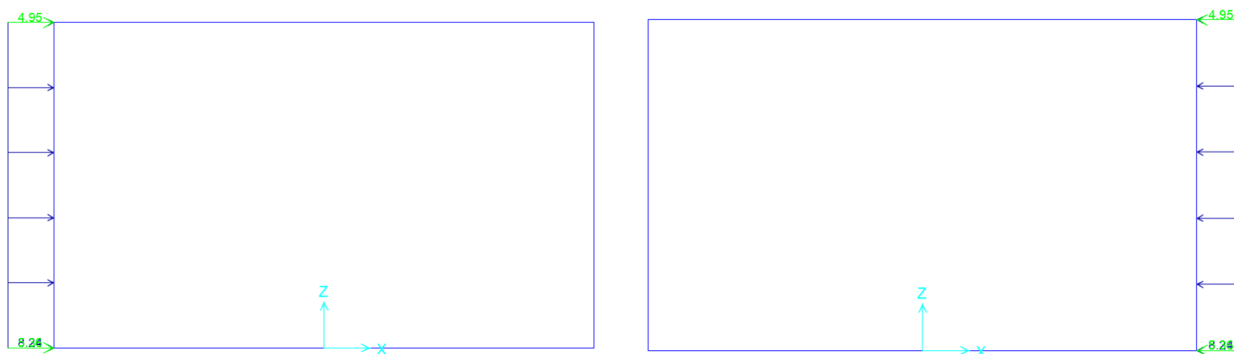


Figura 11 – Sovraccarico accidentale.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 24 di 43 |

8.7 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Sulla base di quanto riportato nel paragrafo 5.2, l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti ed applicate nei rispettivi baricentri.

| | | |
|----------------------------|-------|--|
| F_1 (kN/m ²) | 30.27 | inerzia orizzontale permanenti soletta superiore |
| F_2 (kN/m ²) | 7.3 | inerzia orizzontale soletta superiore per SLV |
| F_3 (kN/m ²) | 7.3 | inerzia orizzontale piedritti per SLV |

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

| | | |
|----------------------------|-------|--|
| F_1 (kN/m ²) | 15.14 | inerzia verticale permanenti soletta superiore |
| F_2 (kN/m ²) | 3.65 | inerzia verticale soletta superiore per SLV |
| F_3 (kN/m ²) | 3.65 | inerzia verticale piedritti per SLV |

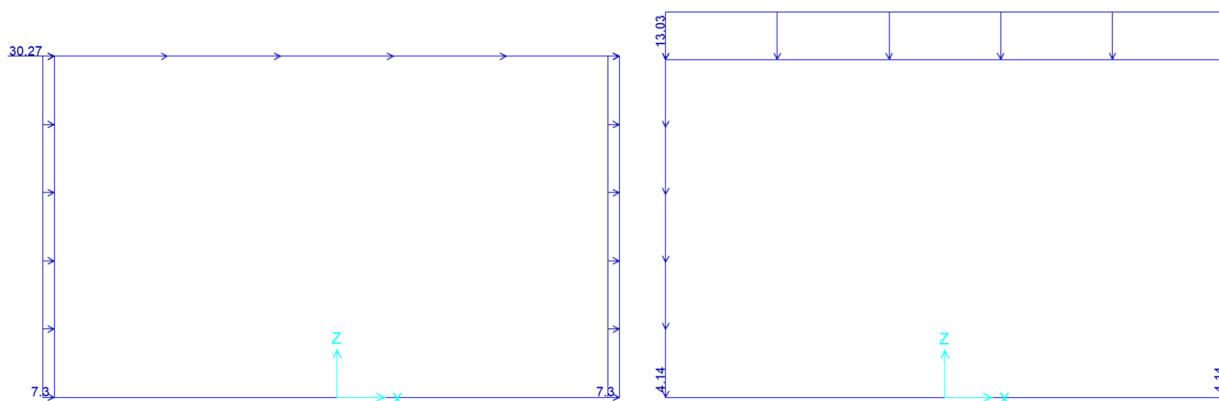


Figura 12 – Inerzia sismica.

|  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA - OPERE CIVILI</p> | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|-------------|----------|-----------|------|--------|------|----|------|-------------|---|----------|
| <p>OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR2E</td> <td>00</td> <td>R 78</td> <td>RHNG0000001</td> <td>A</td> <td>25 di 43</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 25 di 43 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 25 di 43 | | | | | | | | |

La sovra-spinta sismica delle terre (SPSSX), considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti, può essere calcolata attraverso la trattazione di Wood, che nel caso specifico diventa:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{\text{tot, scavo}}^2$$

con $h_{\text{tot,scavo}}$ altezza complessiva dello scavo, e va a sommarsi alle condizioni statiche valutate in condizioni di spinta a riposo. Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto $h_{\text{scat}}/2$, con h_{scat} l'altezza dello scatolare.

Essendo ΔF_E la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare.

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| h_{tot} (m) | 12 | altezza da P.C. di progetto a fondazione |
| h_{scat} (m) | 8 | altezza totale dello scatolare |
| Δp_E (kN/m ²) | 52.57 | incremento sismico di pressione (secondo Wood) per SLV |

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 1 e 4, la parte di sovraspinta esercitata su 1/2 spessore della soletta superiore e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

| | | |
|---------------------------|-------|--|
| $\Delta F_{1,2,E}$ (kN/m) | 31.54 | ΔF dovuto all'incremento sismico di pressione semispessore soletta superiore per SLV |
| $\Delta F_{3,4,E}$ (kN/m) | 34.17 | ΔF dovuto all'incremento sismico di pressione semispessore soletta inferiore per SLV |

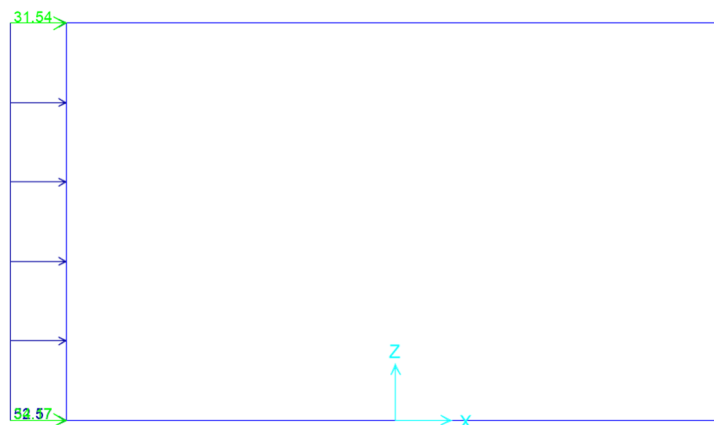


Figura 13 – Sovraspinta sismica.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 26 di 43 |

9 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Per le verifiche si deve tenere conto dei coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze.

| | Effetto | Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E) | EQU | (A1) | (A2) |
|--------------------------------|-------------|---|-----|------|------|
| Carichi permanenti G_1 | Favorevole | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevole | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti $G_2^{(1)}$ | Favorevole | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili Q | Favorevole | γ_{Q} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 1 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
|--|--|-------------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | γ_γ | 1,0 | 1,0 |

Tabella 2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Come da NTC18 al par 2.5.3, le combinazioni sismiche sono effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con gli opportuni coefficienti parziali γ_R .

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 27 di 43 |

10 PROGETTO E VERIFICA PARATIA DI PALI

La paratia di pali è costituita da pali di diametro pari a 1200 mm e interasse 1.40 m, con lunghezza di 20 m.



I principali dati di input sono riassunti nella tabella seguente nella quale si evidenzia anche il valore dell'altezza di scavo di calcolo H_1 che tiene conto delle indicazioni di normativa sull'incremento da assumere secondo il par. 6.5.2.2., è stato inoltre adoperato un valore $\delta = \varphi/2$.

| | |
|---|---|
| Tipologia struttura di sostegno | Paratia di pali $D = 1200$ mm, $i = 1.40$ m |
| Altezza totale diaframma | $H_{tot} = 20$ m |
| Altezza di scavo | $H = 9$ m |
| Altezza di scavo di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2) (da estradosso cordolo) | $H_1 = H + \min [0.5; 10\% \Delta t] = 9.5$ m |
| Inclinazione del piano campagna a monte | 0° |
| Inclinazione del piano campagna a valle | 0° |
| Sovraccarichi permanenti destra | $g = 0$ kPa |
| Sovraccarichi permanenti sinistra | $g = 0$ kPa |
| Sovraccarichi accidentali destra | $q = 0$ kPa |
| Sovraccarichi accidentali sinistra | $q = 10$ kPa (cantiere) |

Tabella 3 – Caratteristiche generali relative all'opera.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

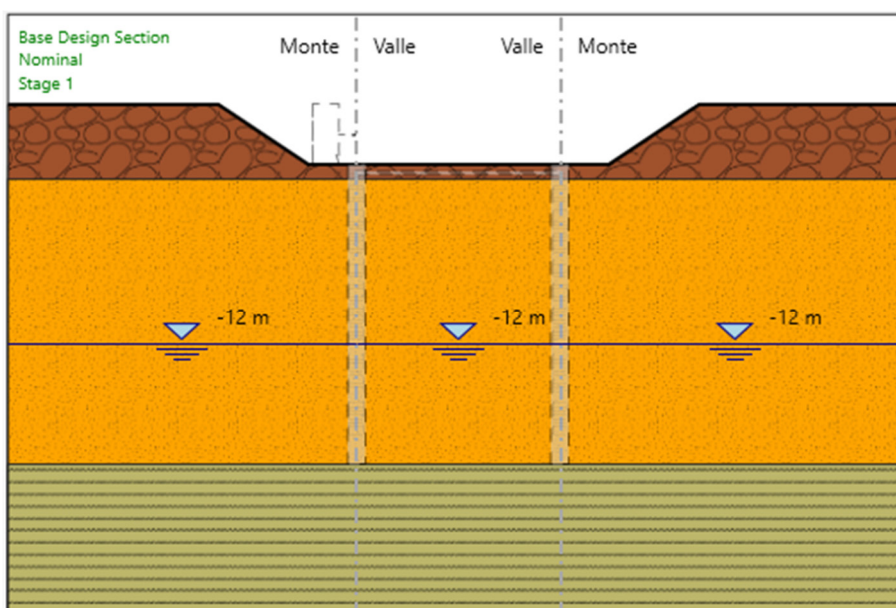
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 28 di 43 |

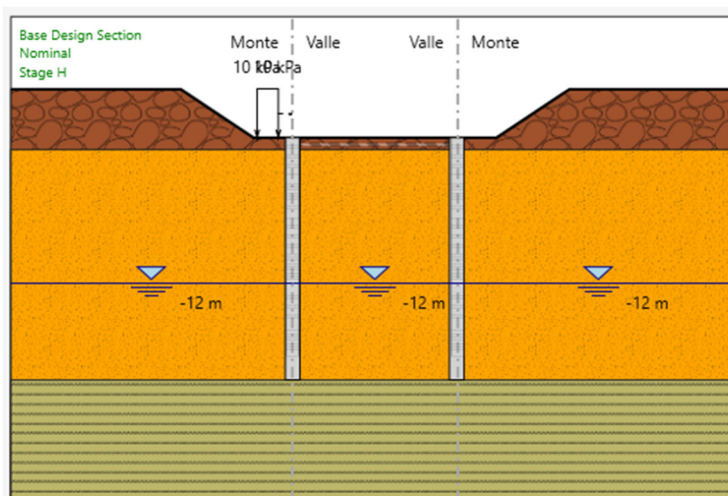
10.1 FASI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo vengono brevemente descritte e indicate in forma grafica le fasi assunte nel calcolo, nella fattispecie gli step prevedono:

a) Condizioni iniziali;



b) Applicazione del sovraccarico dovuto alla presenza di macchinari da cantiere (10 kPa) e realizzazione dei pali ϕ 1200 interasse 1.40 m e lunghezza $L = 20$ m;

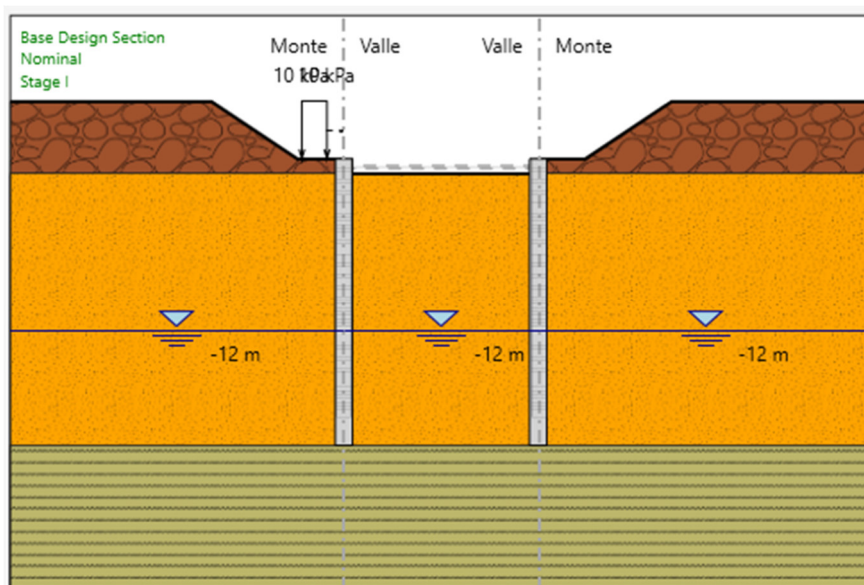


OPERE CIVILI VIABILITÀ

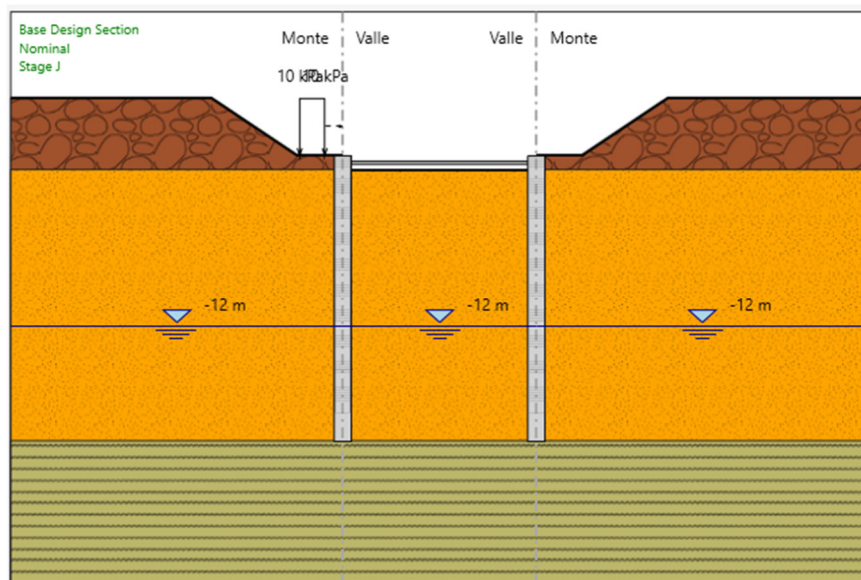
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 29 di 43 |

c) Scavo fino a quota -1 m da p.c.;



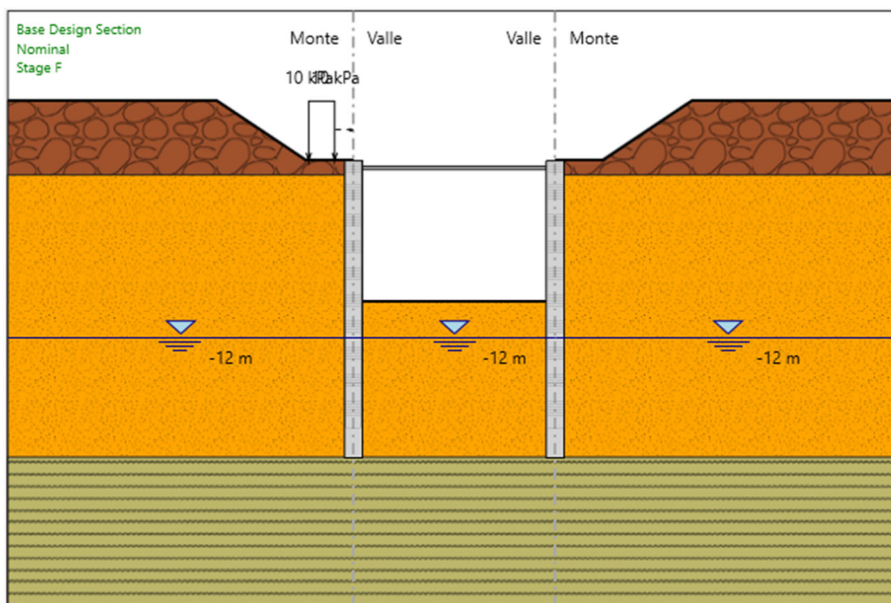
d) Realizzazione puntone provvisorio in acciaio a una quota -0.5 m da p.c.;



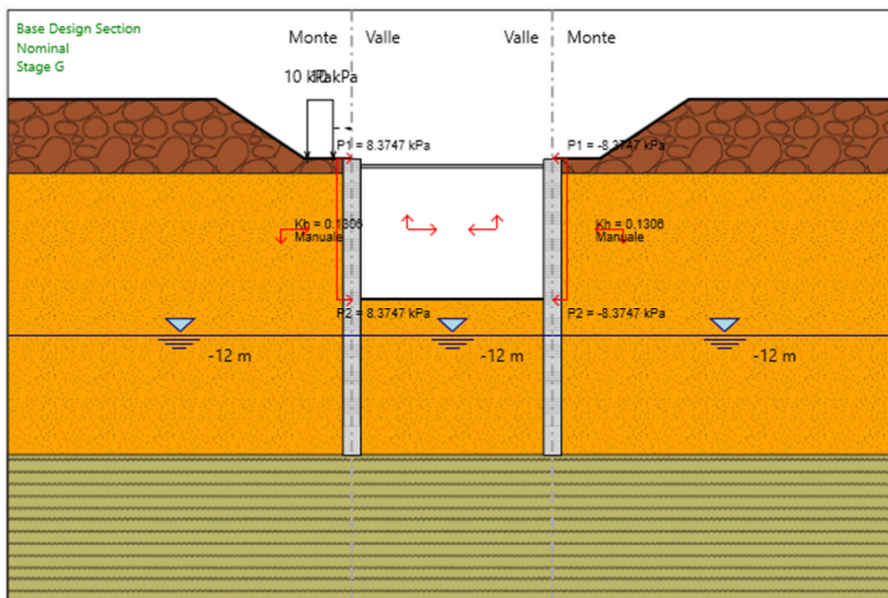
OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 30 di 43 |

e) Scavo fino a quota fondo scavo ($H_1 = 9.5$ m);



f) Applicazione azione sismica



OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 31 di 43 |

10.2 RISULTATI GEO

Nelle figure che seguono si riportano i grafici delle sollecitazioni di maggior interesse ottenuti nelle fasi di calcolo più significative.

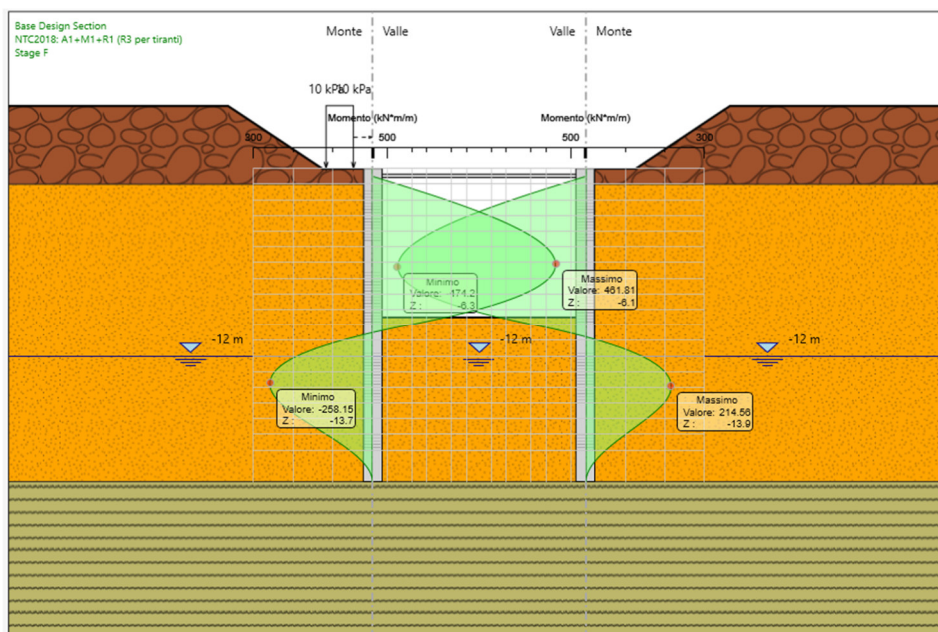


Figura 14 – Momento SLU – Stage e.

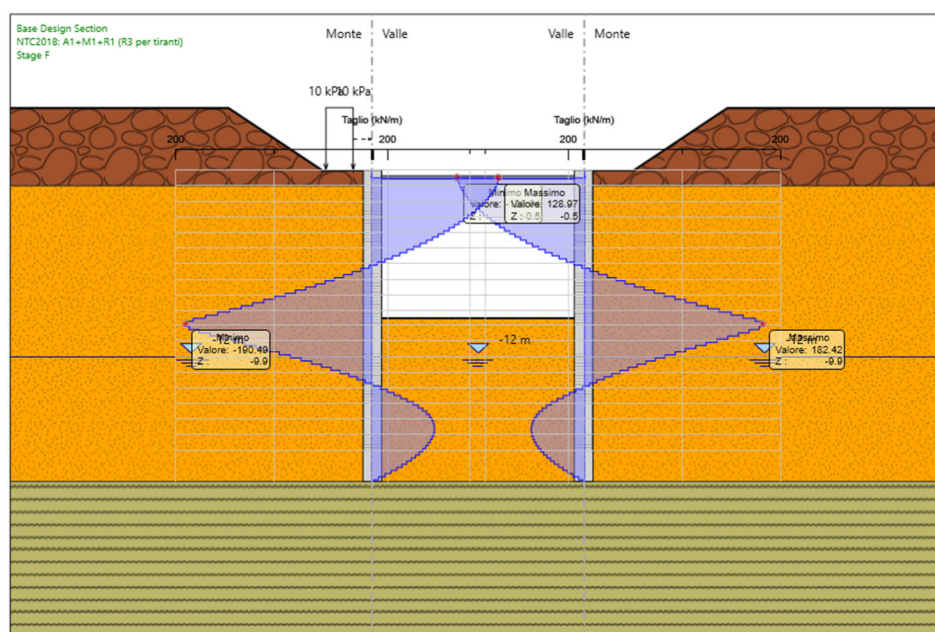


Figura 15 – Taglio SLU – Stage e.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 32 di 43 |

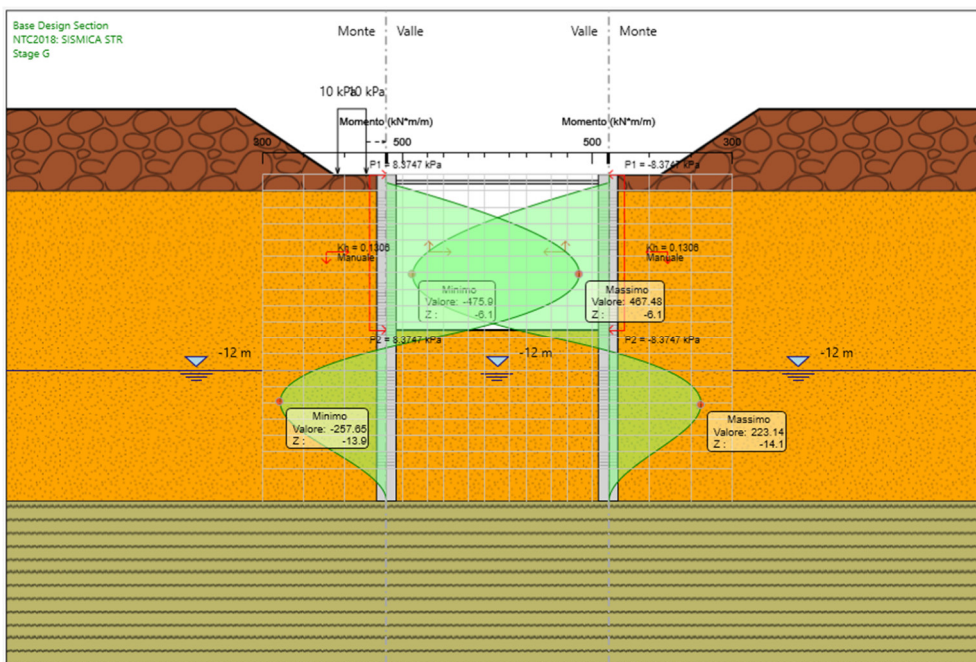


Figura 16 – Momento SLV – Stage f.

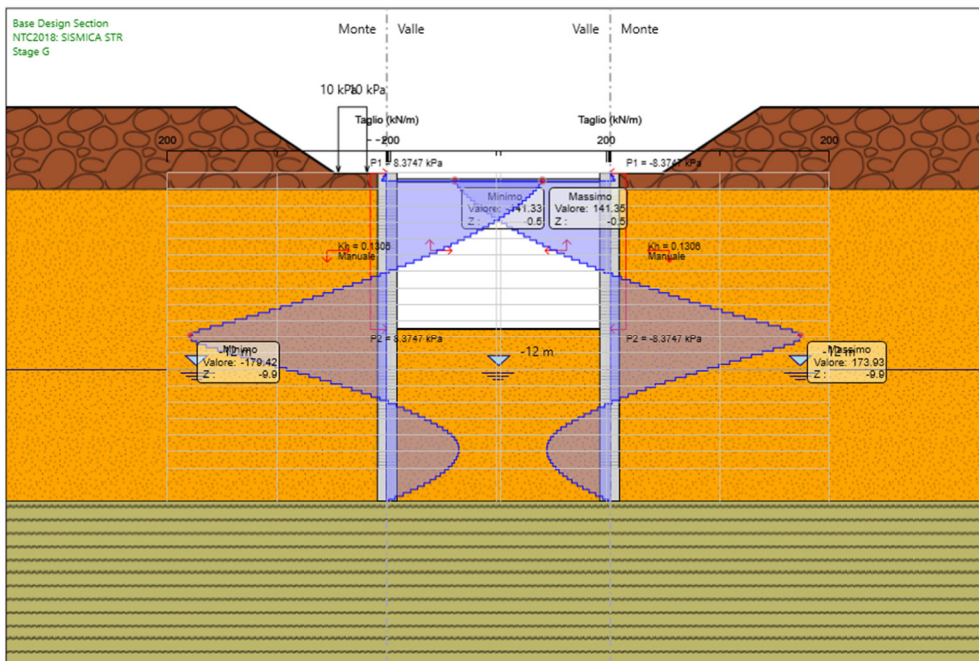


Figura 17 – Taglio SLV – Stage f.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 33 di 43 |

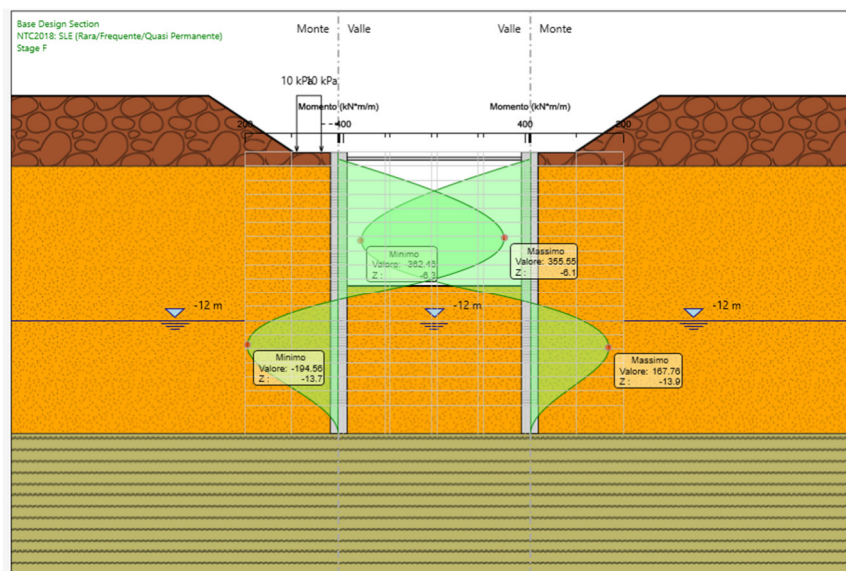


Figura 18 – Momento SLE – Stage e.

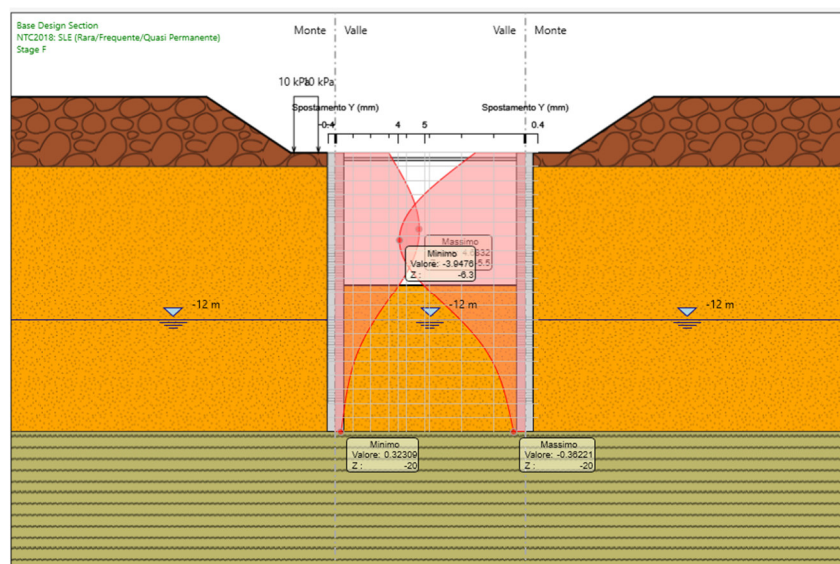


Figura 19 – Spostamento SLE – Stage h.

Lo spostamento orizzontale massimo assoluto è pari a 4.68 mm circa.

Lo spostamento massimo che l'opera può subire è pari a:

$$0.005 H_{\text{scavo}} = 0.005 * 10 = 50 \text{ mm}$$

Condizione soddisfatta

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 34 di 43 |

10.3 RISULTATI STR

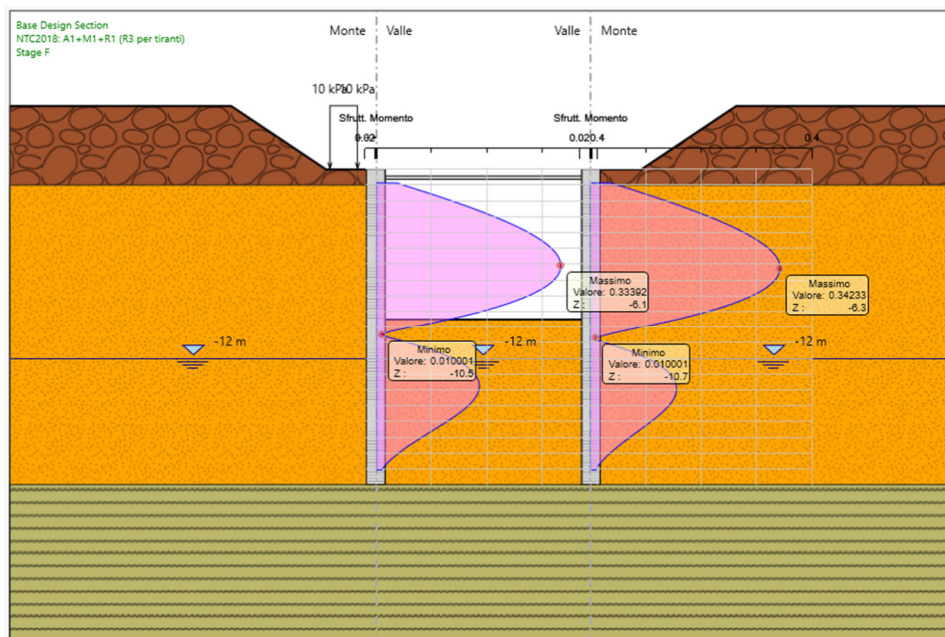


Figura 20 – Tasso sfruttamento momento flettente - SLU.

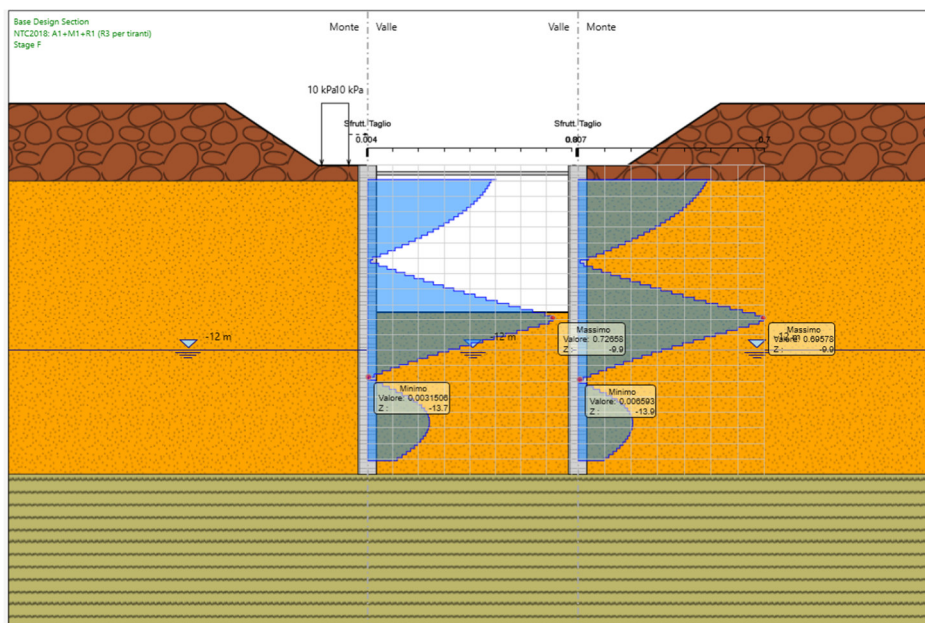


Figura 21 – Tasso sfruttamento taglio - SLU.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 35 di 43 |

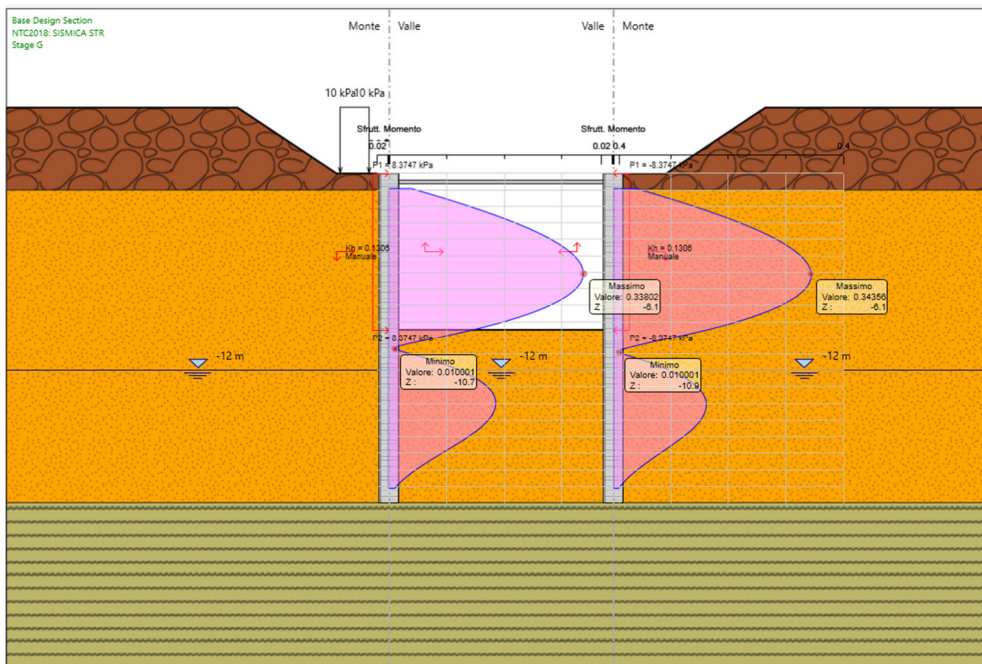


Figura 22 – Tasso sfruttamento momento flettente - SLV.

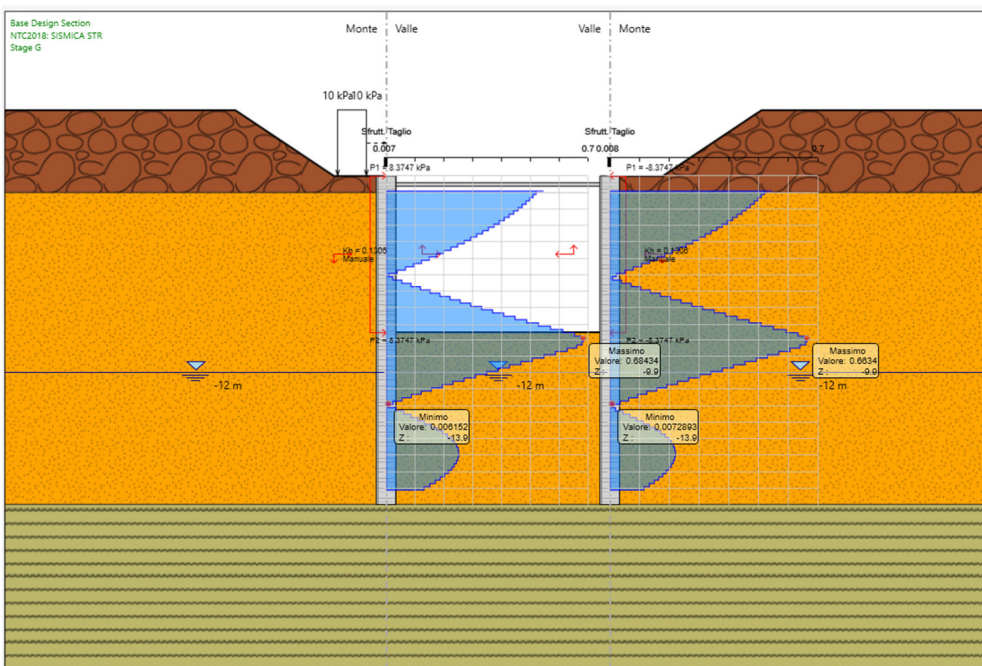


Figura 23 – Tasso sfruttamento taglio - SLV.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 36 di 43 |

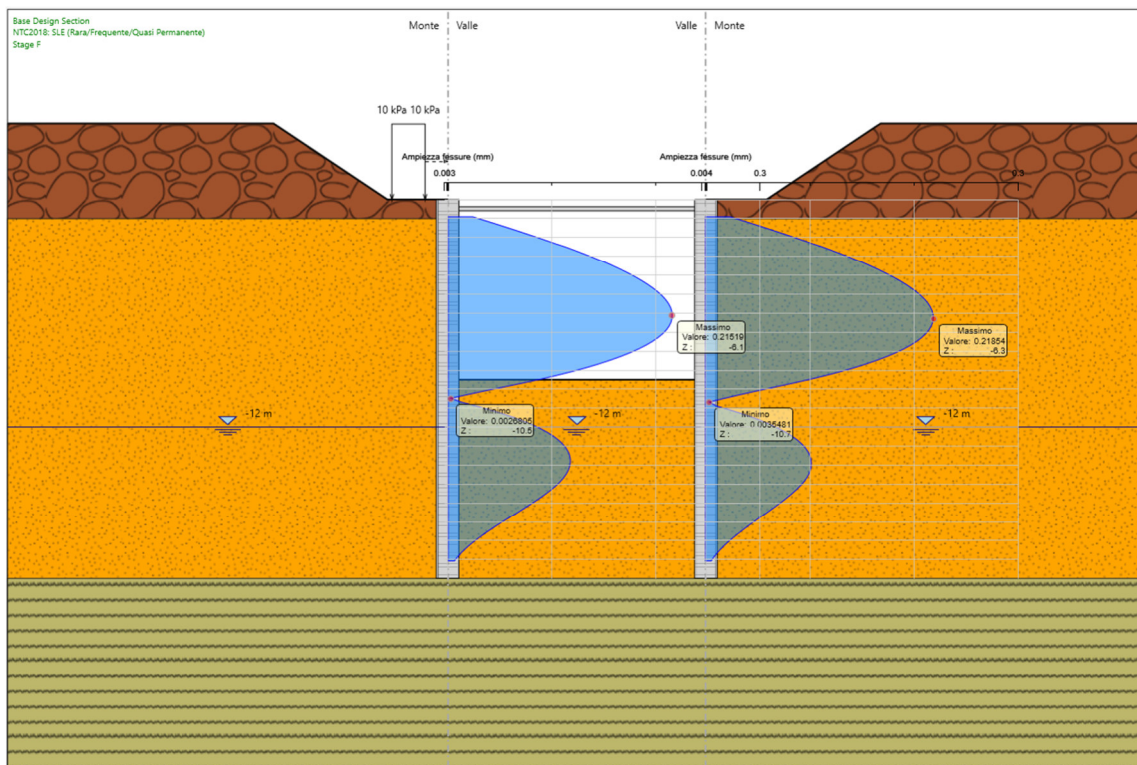


Figura 24 – Apertura fessure - SLE.

Le verifiche strutturali in condizioni statiche e sismiche risultano soddisfatte e l'apertura delle fessure risulta inferiore al valore limite di 0.2 mm, impiegando un'armatura di 24 ϕ 24 con spirale ϕ 12/20 cm.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 37 di 43 |

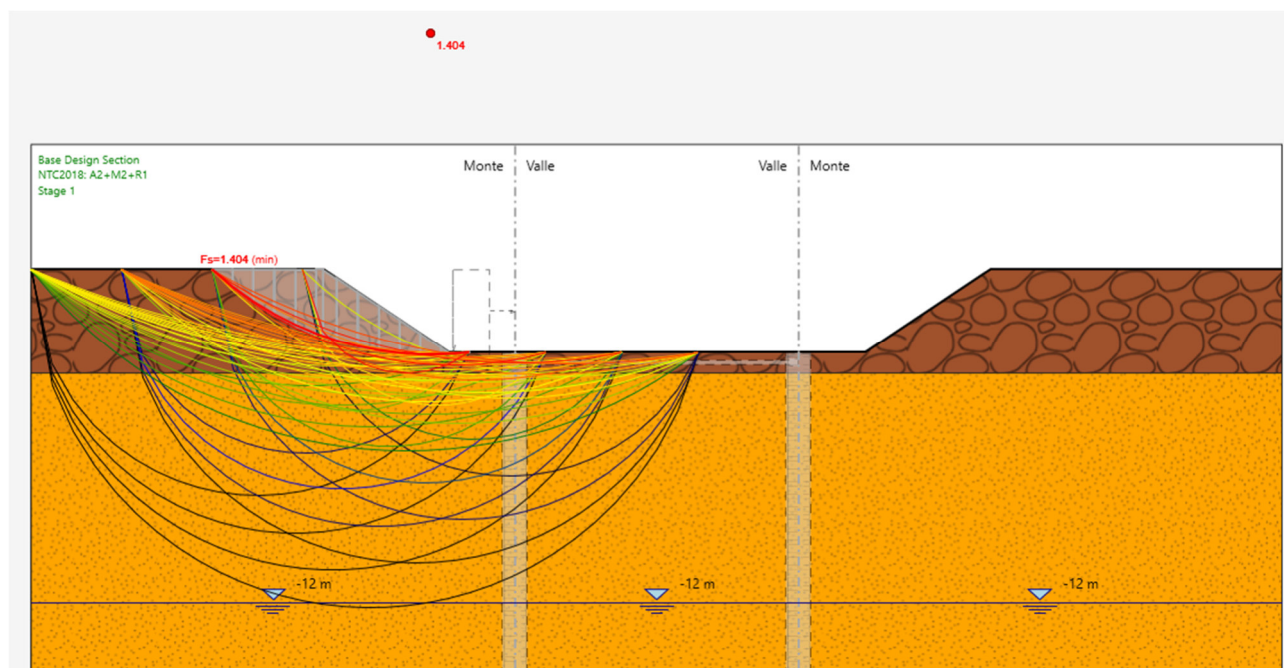
10.4 STABILITÀ PRESCAVO

Per la realizzazione delle paratie si esegue uno scavo di 4 m, pertanto si esegue la verifica di stabilità dello scavo in condizioni statiche in quanto si tratta di una configurazione provvisoria.

Per le analisi in campo statico le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento ai coefficienti parziali A2 + M2.

Come dalle NTC2018, la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione $FS \geq R_2=1.1$ è verificata in condizioni statiche.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle potenziali superfici di rottura. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto.



Il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:
 $FS^{MIN} = 1.404$

Essendo

$$FS^{MIN} \geq R_2 = 1.1,$$

La verifica di stabilità globale del fronte di scavo risulta soddisfatta.

| | | | | | | |
|---|--|-------------|------------------|--------------------------|-----------|--------------------|
|  | PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA - PRG ROMA TUSCOLANA - OPERE CIVILI | | | | | |
| OPERE CIVILI VIABILITÀ Relazione tecnico descrittiva opere civili sottovia stradale | COMMESSA NR2E | LOTTO 00 | CODIFICA R 78 | DOCUMENTO RHNG0000001 | REV. A | FOGLIO 38 di 43 |

11 PROGETTO E VERIFICA SCATOLARE

11.1 MODELLAZIONE ADOTTATA

Per l'analisi della struttura è stato sviluppato un modello di calcolo nel quale l'interazione struttura-terreno è stata simulata attraverso molle; la costante di sottofondo è stata assunta pari a 24820 kN/m³.

Tale valore è stato determinato, a partire dal valore di E dello strato di fondazione, attraverso la Relazione di Vogt:

$$k_s = \frac{1.33 \cdot E}{\sqrt[3]{bt^2 \cdot bl}}$$

- Ks = costante di sottofondo [F/L³];
- bt = dimensione trasversale dell'opera;
- bl = dimensione longitudinale dell'opera;
- E = modulo di Young del terreno.

Di seguito si riportano i valori impiegati nel calcolo:

rigidezza molle

| | | |
|-------------------------------------|--------|---|
| E (kN/m ²) | 100000 | modulo di Young terreno di fondazione |
| b _t (m) | 12.4 | dimensione trasversale dell'opera |
| b _l (m) | 1 | dimensione longitudinale dell'opera |
| k _s (kN/m ³) | 24826 | costante di sottofondo (formulazione di Vogt) |
| k ₁ (kN/m) | 27805 | rigidezza molle centrali |
| k ₂ (kN/m) | 57596 | rigidezza molle spigolo |

L'analisi delle strutture è stata condotta mediante il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000, prodotto dalla Computer and Structures inc. di Berkeley, California, USA.

Lo schema statico impiegato è quello di telaio costituito da elementi frame; in corrispondenza della intersezione tra tali elementi il programma genera in automatico dei nodi per garantire la continuità strutturale. Ad ogni elemento è assegnata la corrispondente sezione rettangolare in calcestruzzo, la cui geometria è definita dallo spessore dell'elemento stesso per una larghezza unitaria, dal momento che la struttura è risolta come piana.

La larghezza e altezza interna sono pari a 10 m e 5.5 m, la soletta inferiore ha spessore pari a 1.30 m e i piedritti e la soletta di copertura hanno spessore pari a 1.20 m.

OPERE CIVILI VIABILITÀ

 Relazione tecnico descrittiva opere civili
 sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 39 di 43 |

11.2 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

| | |
|------------------|---|
| DEAD | PESO PROPRIO |
| PERM | CARICHI PERMAMENTI (ricoprimento+ballast) |
| SPTSX | SPINTA TERRENO IN SINISTRA |
| SPTDX | SPINTA TERRENO IN DESTRA |
| ACC | CARICHI VARIABILI VERTICALI SU OPERA (treni di carico) |
| SPACCSX/ SPACCDX | SPINTA CARICHI VARIABILI SU PIEDRITTI (treni di carico) |
| SPSSX | SOVRASPINTA SISMICA |
| SISMAH | AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI |
| SISMAV | AZIONI SISMICHE VERTICALI |

Nei prospetti che seguono sono indicate le combinazioni in condizioni statiche SLU e SLE e in condizioni sismiche SLUSIS ritenute più gravose, da considerare ai fini delle verifiche strutturali del rivestimento.

| | SLU1 | SLU2 | SLU3 | SLU4 | SLU5 | SLU6 | SLU7 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| DEAD | 1.35 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 |
| PERM | 1.35 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 |
| SPTSX | 1.35 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 |
| SPTDX | 1.35 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 |
| SPACCSX | 1.5 | 0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 0 | 0 |
| SPACCDX | 1.5 | 0 | 1.5 | 0 | 0 | 1.5 | 1.5 |
| ACC | 1.5 | 1.5 | 0 | 1.5 | 0 | 1.5 | 0 |
| SPSSX | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SISMAH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SISMAV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 4 – Combinazioni di carico SLU in condizioni statiche.

| | SLUSIS1 | SLUSIS2 | SLUSIS3 | SLUSIS4 | SLUSIS5 | SLUSIS6 | SLUSIS7 | SLUSIS8 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| DEAD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PERM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SPTSX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SPTDX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ACC | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| SPACCSX | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| SPACCDX | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| SPSSX | 1 | -1 | 1 | -1 | 0.3 | -0.3 | 0.3 | -0.3 |

OPERE CIVILI VIABILITÀ
 Relazione tecnico descrittiva opere civili
 sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 40 di 43 |

| | SLUSIS1 | SLUSIS2 | SLUSIS3 | SLUSIS4 | SLUSIS5 | SLUSIS6 | SLUSIS7 | SLUSIS8 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SISMAH | 1 | -1 | 1 | -1 | 0.3 | -0.3 | 0.3 | -0.3 |
| SISMAV | -0.3 | -0.3 | 0.3 | 0.3 | -1 | -1 | 1 | 1 |

Tabella 5 – Combinazioni di carico SLU in condizioni sismiche.

| | RAR1 | RAR2 | RAR3 | FREQ1 | FREQ2 | FREQ3 | QPE1 |
|---------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| DEAD | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PERM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SPTSX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SPTDX | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ACC | 1 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| SPACCSX | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 0 |
| SPACCDX | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.8 | 0 |
| SPSSX | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SISMAH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SISMAV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 6 – Combinazioni di carico SLE.

11.3 VERIFICHE STR

Per un primo dimensionamento dell'opera, a favore di sicurezza, sono state ricavate le sollecitazioni più rilevanti dell'opera applicate alla sezione di spessore pari a 1.20 m, la più critica. I carichi utilizzati per il predimensionamento sono conformi ai requisiti previsti delle STI ed alle NTC2018 e Manuale di Progettazione RFI come riportato nella relazione tecnica generale.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 41 di 43 |

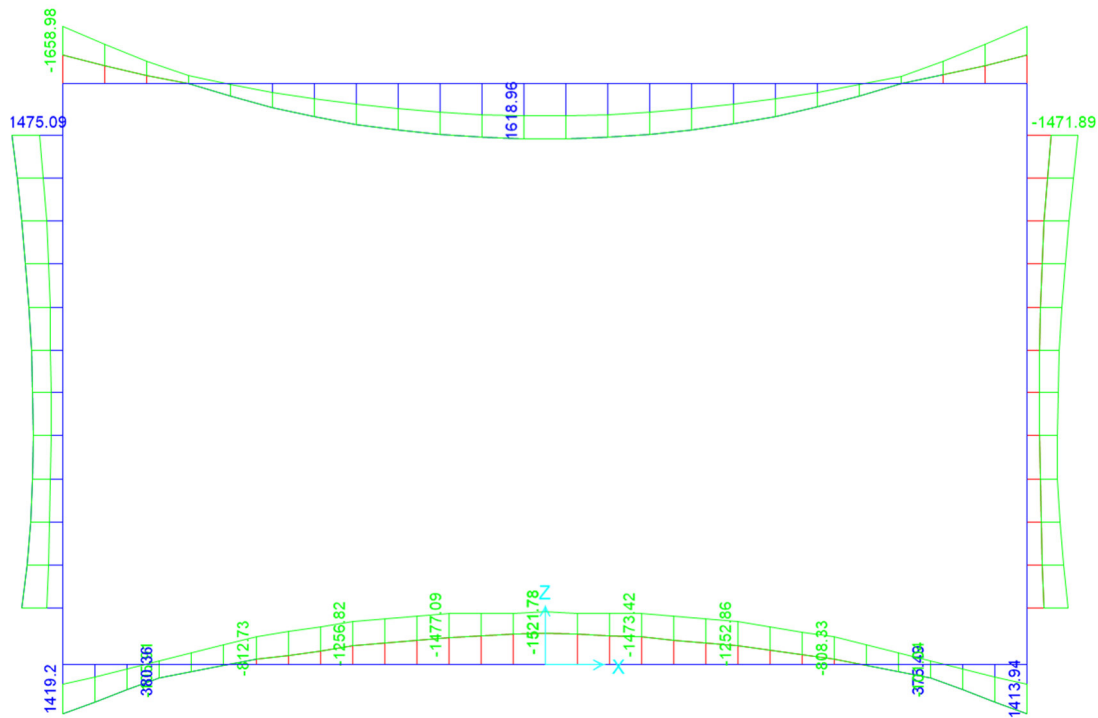


Figura 25 – Momento SLU.

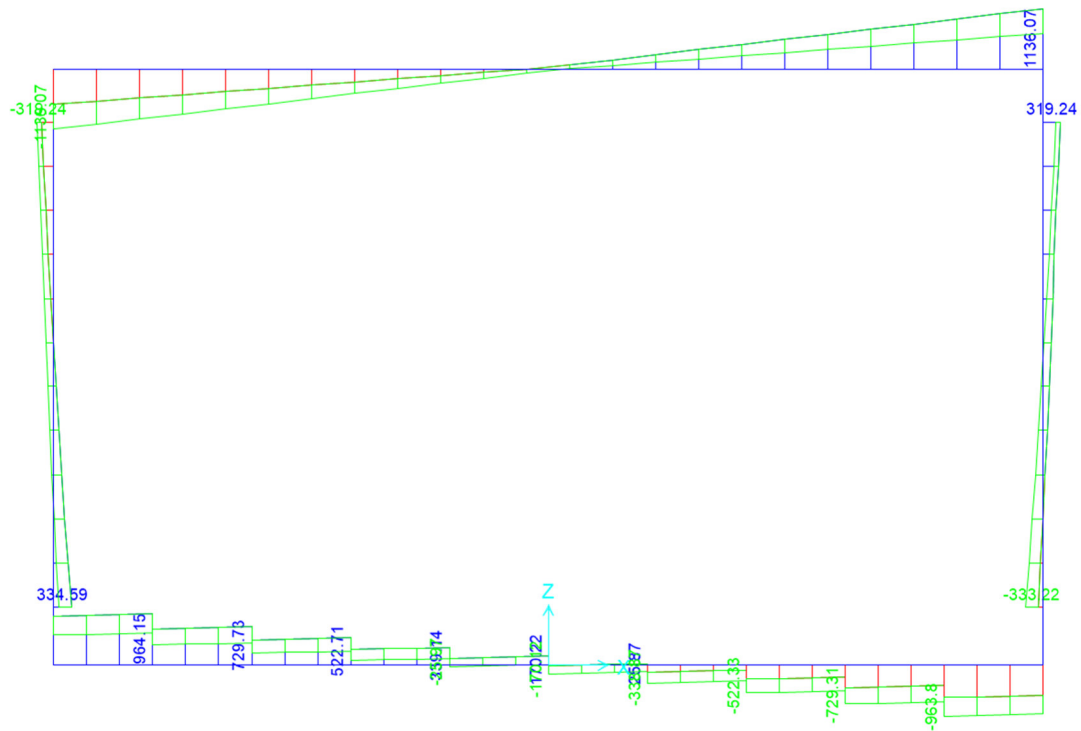


Figura 26 – Taglio SLU.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 42 di 43 |

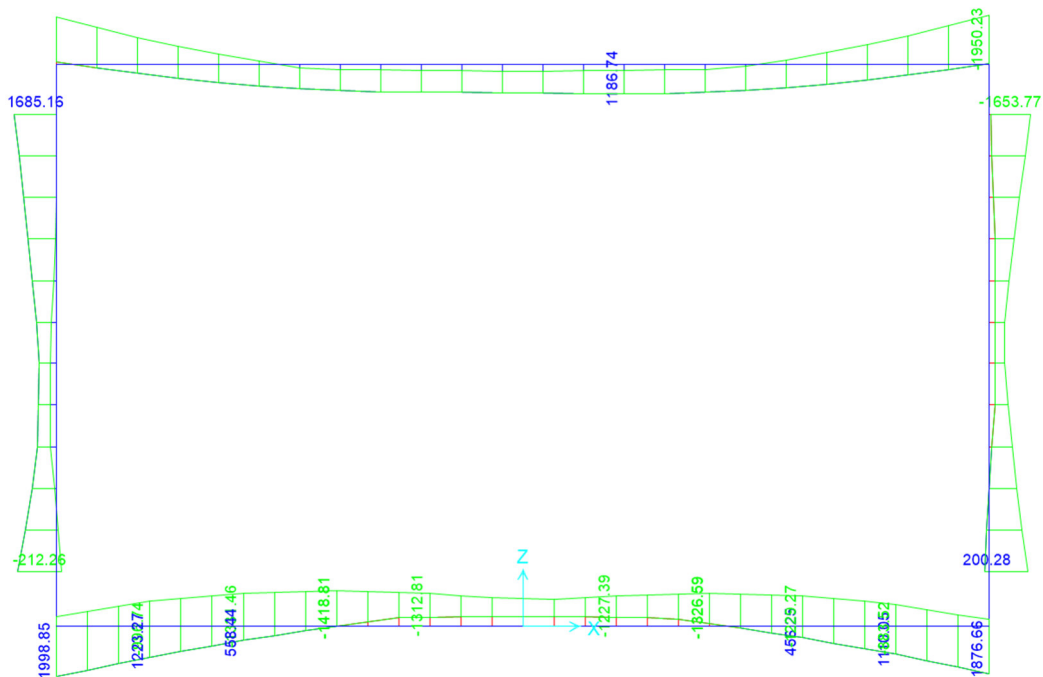


Figura 27 – Momento SLV.

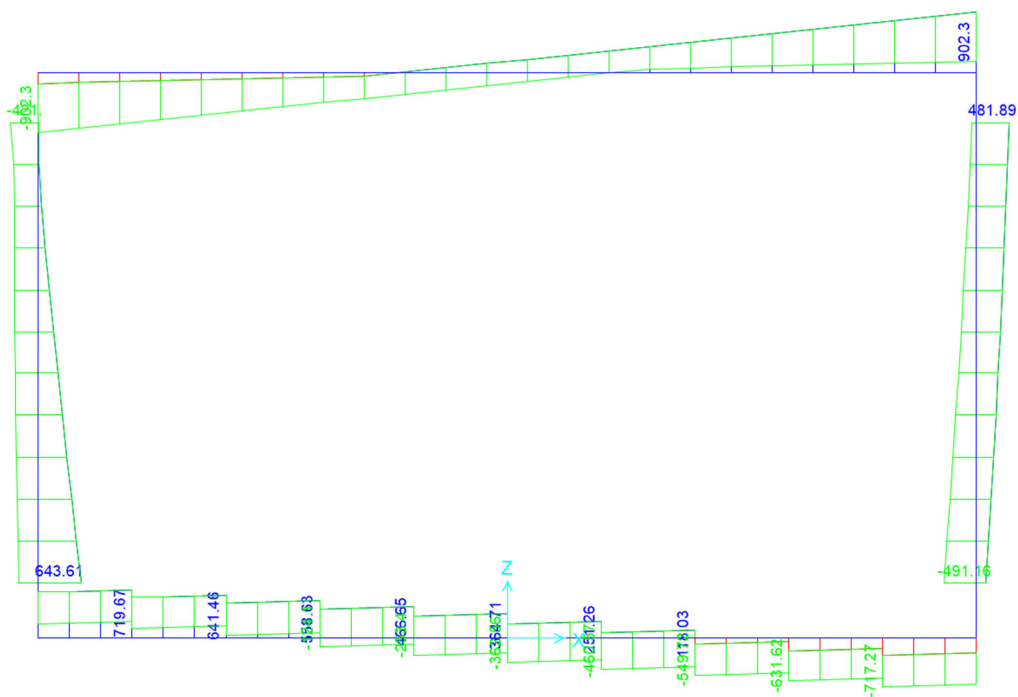


Figura 28 – Taglio SLV.

OPERE CIVILI VIABILITÀ
Relazione tecnico descrittiva opere civili
sottovia stradale

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
|----------|-------|----------|-------------|------|----------|
| NR2E | 00 | R 78 | RHNG0000001 | A | 43 di 43 |

Il momento massimo è determinato in combinazione sismica, mentre il taglio massimo in combinazione statica. La sezione risulta verificata con due ordini di armatura di 10 $\phi 26$ disposti inferiormente e un ordine di 10 $\phi 26$ disposti superiormente, con staffe a due braccia $\phi 14$ disposte con passo pari a 10 cm.

