

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

OPERE PRINCIPALI – GALLERIE ARTIFICIALI

Galleria artificiale via del Morteo dal km 82+782 al km 82+812

Relazione di calcolo imbocchi

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L G A 1 6 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave <i>C. Soave</i>	Gennaio 2022	M. Severi <i>M. Severi</i>	Gennaio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gennaio 2022	A. Perego Gennaio 2022



File: IV0100D26ROGA1600001A.doc

n. Elab.: X



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	2 di 23

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	6
3.2	DOCUMENTI CORRELATI	6
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
5.1	CALCESTRUZZI	7
5.2	ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO	7
6	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA	8
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	8
8	DESCRIZIONE DELL'OPERA	10
9	APPROCCIO PROGETTUALE	11
10	VERIFICHE STRUTTURALI DEGLI IMBOCCHI	11
10.1	CARATTERISTICHE DEL MODELLO DI CALCOLO	11
10.2	ANALISI DEI CARICHI.....	13
10.2.1	<i>Peso proprio</i>	13
10.2.2	<i>Permanenti portati</i>	13
10.2.3	<i>Spinta del terreno</i>	13
10.2.4	<i>Sovraccarico variabile dovuto al traffico ferroviario</i>	13
10.2.5	<i>Azione sismica</i>	14
10.3	STATI LIMITE CONSIDERATI	15
10.3.1	<i>Stati limiti ultimo</i>	15
10.3.2	<i>Stati limiti di esercizio</i>	16



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA - TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 - RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	3 di 23

10.4	COMBINAZIONI DI CARICO	16
10.5	RISULTATI DEL MODELLO DI CALCOLO	18
10.6	VERIFICHE STRUTTURALI.....	21
10.7	INCIDENZA DI ARMATURA	23



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	4 di 23

1 PREMESSA

La presente relazione è inerente alla verifica della galleria artificiale in prossimità di via Del Morteo, opera individuata con il codice GA16 nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta Finale Ligure-Andora.

Sono inoltre presenti opere di imbocco di lunghezza pari a 16.00 m e 9.10 m rispettivamente lato Genova e lato Ventimiglia.

Si tratta, in particolare delle seguenti opere:

- Zona imbocco lato Genova da Prog 82+766.300 a Prog. 82+782.300; muro ad U con solettone di fondo di spessore pari ad 1.50m, larghezza netta pari a 13.0m e pareti con larghezza alla base pari a 1.45 m e altezza massima di 10.45 m;
- Zona imbocco lato Ventimiglia da Prog 82+812.300 a Prog. 82+821.400; come imbocco lato Genova;
- Sezione corrente da Prog 82+782.300 a Prog. 82.812.300 per un totale di 30.0 m di estensione: galleria artificiale costituita da piedritti di larghezza pari a 1.40 m; solettone di copertura e di fondazione di spessore 1.50m, larghezza interna netta pari a 13.0 m.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del documento è il dimensionamento strutturale delle sezioni di imbocco della galleria artificiale; di seguito è illustrata di seguito una sezione tipologica della struttura in esame

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 - RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	5 di 23

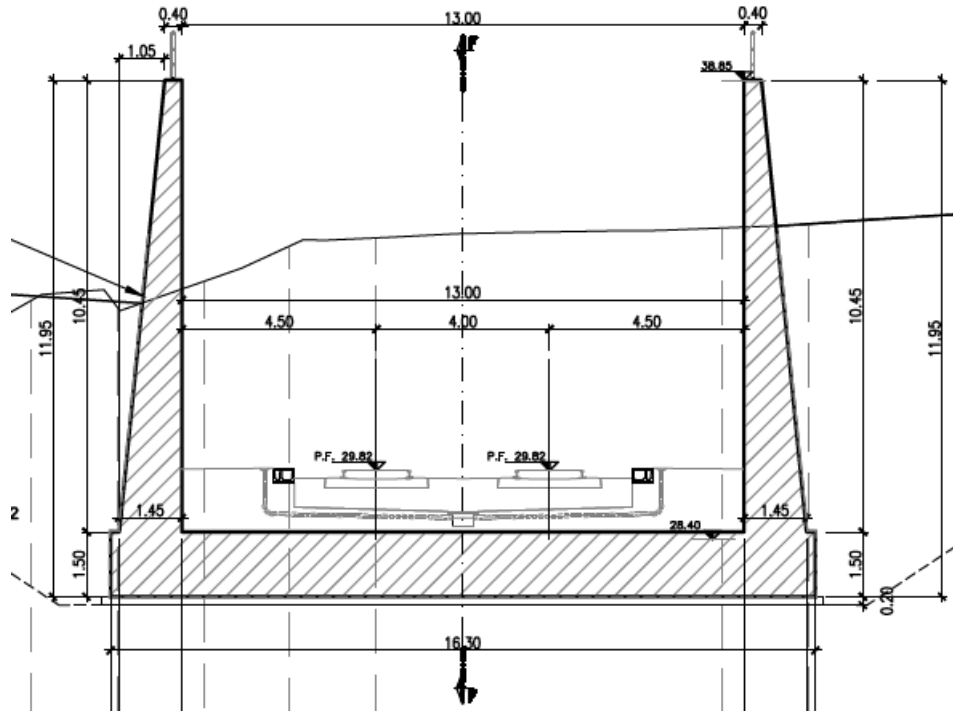



Figura 2-1 Sezione dell'imbocco in corrispondenza della massima altezza delle pareti

	<p>INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01</p> <p>All. [1] PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</p>												
<p>GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI</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>IV01</td> <td>00</td> <td>D 26 CL</td> <td>GA 16 00 002</td> <td>A</td> <td>6 di 23</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	6 di 23
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	6 di 23								

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documenti Referenziati

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti elaborati grafici:

- [I] Planimetria generale dell'intervento (IV0100D26P8GA1600001A)
- [II] Pianta e sezione longitudinale (IV0100D26P9GA1600002A)
- [III] Sezione longitudinale (IV0100D26PAGA1600001A)
- [IV] Sezioni trasversali galleria e imbocchi (IV0100D26WBGA1600001A)
- [V] Fasi realizzative (IV0100D26WBGA1600002A)
- [VI] Pianta scavi (IV0100D26P9GA1602001A)
- [VII] Particolari, dettagli e finiture (IV0100D26BZGA1600001A)

3.2 Documenti Correlati

I documenti di calcolo correlati alla presente sono:

- [VIII] Relazione descrittiva (IV0100D26ROGA1600001A)
- [IX] Relazione di calcolo galleria (IV0100D26CLGA1600001A)

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono svolti in ottemperanza alla Normativa vigente :

- NTC 2018 – D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018;
- RFI-DTC-ICI-PO SP INF 001 A - Istruzione per la progettazione e l'esecuzione di ponti ferroviari;
- RFI-DTC-ICI-PO SP INF 004 A - Istruzione 44B – istruzioni tecniche per la progettazione di manufatti sotto binario da costruire in zona sismica;



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	7 di 23

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

5.1 Calcestruzzi

Calcestruzzo per sottofondazioni

Classe di resistenza caratteristica a compressione C12/15

Calcestruzzo per imbocchi

Classe di esposizione ambientale XC4

Classe di resistenza caratteristica a compressione C32/40

Classe di resistenza allo scarico S4


5.2 Acciaio da cemento armato

È previsto l'utilizzo di acciaio appartenente alla classe B450C, con le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;

Resistenza caratteristica a rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;

Modulo elastico $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$.

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA					
	GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 16 00 002	REV. A

6 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA

Per il calcolo delle strutture è stato fatto riferimento alle caratteristiche riportate nella seguente tabella relative al materiale di rinterro previsto.

Angolo di attrito [°]	35
Peso specifico [kN/m ³]	20

Tabella 6-1 Caratteristiche terreno di rinterro

La falda è stata considerata al di sotto del piano di fondazione della struttura scatolare.

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le opere in progetto si trovano nel comune di Campochiesa (SV) in un sito con le seguenti coordinate geografiche: Longitudine 8.186578, e Latitudine 44.074525.

Alle strutture di tipo definitivo, si attribuisce una vita nominale V_N pari a 75 anni e una classe d'uso III a cui corrisponde il coefficiente C_u pari a 1.5 (§ 2.4.2, NTC 2018). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a $V_R = V_N \cdot C_U = 112.5$ anni.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{VR} , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo V_R dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno T_R del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto, T_R , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima
- 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.

Per le opere in analisi il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la seguente relazione:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

S_s è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	9 di 23

parametri sismici F_0 e a_g/g (Tabella 3.2.IV NTC 2018);

S_T è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.V delle NTC 2018).

Sulla base delle evidenze riscontrata in sito si assegna una categoria di sottosuolo B.

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica sono riepilogate nella seguente tabella.

Vita Nominale dell'opera	V_N	75	anni
Coefficiente D'uso	C_u	1.5	
Periodo di riferimento	V_R	112.5	anni
Probabilità di Superamento Evento	P_{VR}	10	
Periodo di Ritorno	T_R	1068	anni
Acc. orizzontale di picco al sito	a_g	0.178	g
Amplificazione Spettrale max.	F_0	2.461	
<i>CATEGORIA SOTTOSUOLO</i>		B	
<i>CATEGORIA TOPOGRAFICA</i>		T1	
Coeff. di amp. stratigrafica	S_s	1.2	
Coeff. di amp. Topografica	S_T	1	

Tabella 7-1 Parametri sismici considerati per la valutazione dell'azione sismica per l'opera in esame

In base alle accelerazioni massima attese sul sito in esame si valutano, con le espressioni che seguono, i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche che seguono.

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

Nel calcolo di k_h , il coefficiente β_M assume valore unitario.

Pertanto nei modelli di calcolo si considera:

$$k_h = 0.214$$

$$k_v = \pm 0.107$$

8 DESCRIZIONE DELL'OPERA

All'imbocco della galleria sono presenti dei muri ad U caratterizzati da un tratto ad altezza variabile. La superficie dei piedritti a contatto con il terreno ha un'inclinazione di 1:10 ed una larghezza in testa pari a 40 cm. La massima altezza del paramento è pari a 10.45 m.

Sono di seguito riportate le due sezioni di altezza massima e minima.

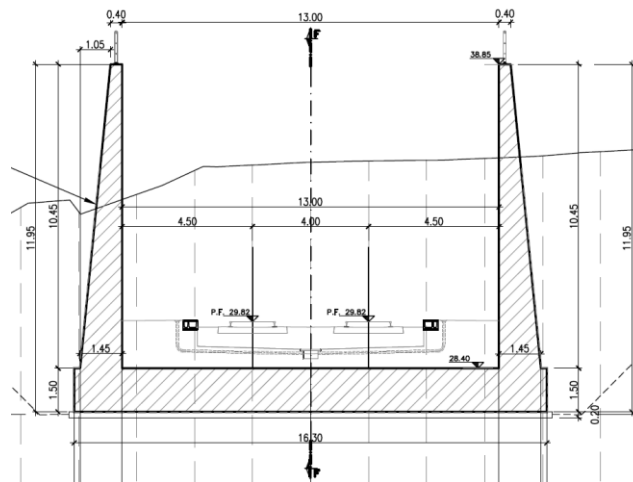


Figura 8-1 Sezione muro di imbocco (Hmax=10.55 m)

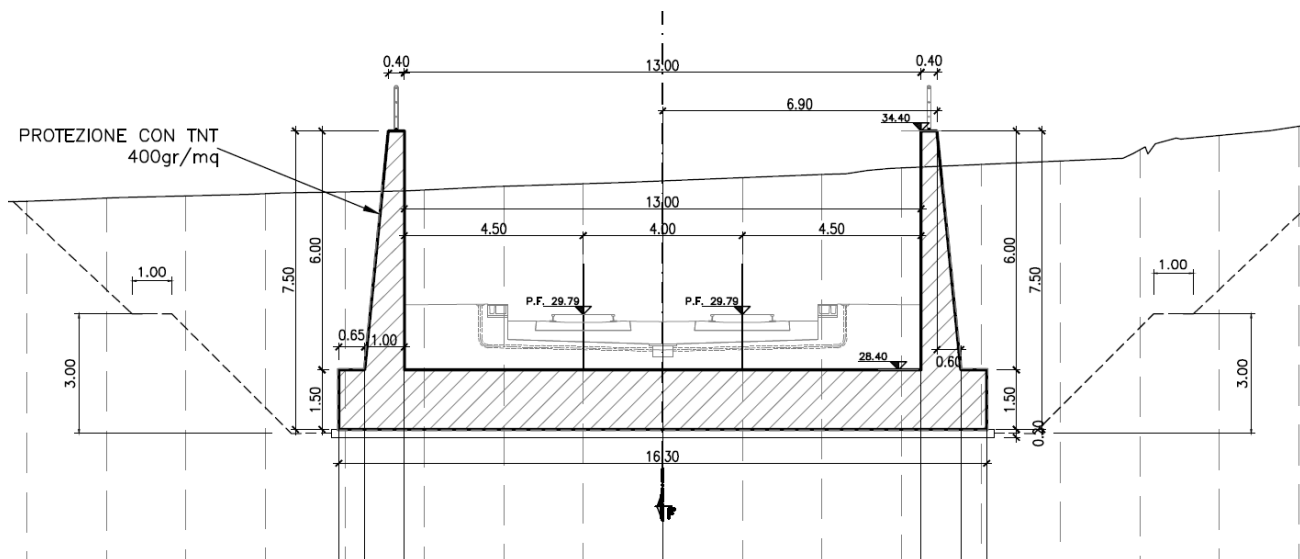



Figura 8-2 Sezione muro di imbocco (Hmin=6.00 m)

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA					
GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO GA 16 00 002	REV. A	FOGLIO 11 di 23

9 APPROCCIO PROGETTUALE

Le verifiche strutturali eseguite per il dimensionamento degli imbrocchi della galleria Parei sono state svolte in accordo alle NTC2018.

Per il dimensionamento strutturale degli imbrocchi è stato implementato un modello di calcolo con il software Midas Gen basato sulla sezione in cui si verifica la massima altezza dei paramenti della struttura ad U.

10 VERIFICHE STRUTTURALI DEGLI IMBOCCHI

10.1 Caratteristiche del modello di calcolo

Viene di seguito illustrato il modello di calcolo e le verifiche strutturali svolte per il dimensionamento degli imbrocchi della galleria artificiale in prossimità di Via del Morteo.

La struttura ad U è stata modellata con il software Midas Gen 2021 implementando un modello di calcolo bidimensionale che rappresenta una sezione trasversale di spessore unitario con elementi beam aventi sezione pari a 1.0 m di larghezza e 1.50 m di spessore per la soletta di fondazione e pari a 1.20 m di spessore per la parte inferiore e 0.40 m per la parte superiore del paramento, per tenere conto dell'effettiva inclinazione degli stessi. Agli elementi è stato assegnato il materiale corrispondente al calcestruzzo di classe C32/40.

La soletta di fondazione viene studiata con il modello di trave su suolo alla Winkler, cioè assimilabile ad un letto di molle elastiche non lineari (sola compressione) di opportuna rigidezza mutuamente indipendenti. Il valore di rigidezza di tali molle deve essere calibrato considerando sia le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione, sia le dimensioni geometriche della fondazione stessa.

Nel modello di calcolo, la rigidezza delle molle è stata definita facendo ricorso ai contributi di Terzaghi e Peck (1948). In particolare, per una fondazione di larghezza B e lunghezza L situata su terreni di natura incoerenti, la rigidezza delle molle k_s è assunta pari:

$$k = k_1 \cdot \frac{L/B + 0.5}{1.5 \cdot L/B}$$

k_1 indica il valore ottenuto da una prova di carico su piastra quadrata di lato unitario. In particolare, Viggiani (1999) propone i seguenti valori di costante di reazione k_1 del terreno per terreni incoerenti:

Tipo di sabbia		Stato di addensamento		
		Sciolto	Medio	Denso
Campo		7÷20	20÷100	100÷350
Non satura	Val. consigliato	15	50	175
Satura	Val. consigliato	10	30	110

Tabella 10-1 Valori tipici di k_1 [N/cm³] per terreni incoerenti (Viggiani, 1999)

Nel caso in esame, il valore di k_1 è stato assunto pari a 30 N/cm³.

Nel modello di calcolo è stato assunto un valore di rigidezza pari a circa 20000 kN/m.

La seguente figura illustra la sezione considerata nel modello di calcolo.

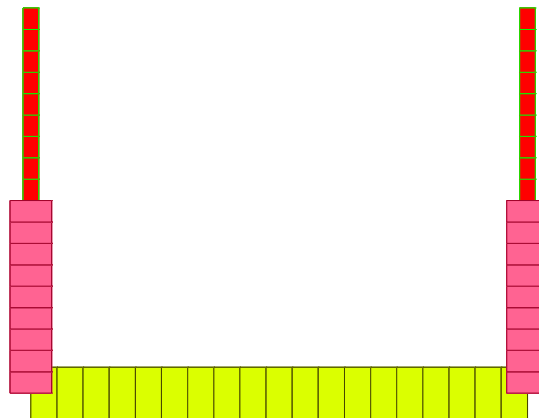


Figura 10-1 Sezione trasversale implementata nel modello di calcolo



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	13 di 23

10.2 Analisi dei carichi

10.2.1 Peso proprio

Il peso proprio della struttura è stato calcolato considerando un peso di volume del c.a. assunto pari a 25 kN/m³.

10.2.2 Permanenti portati

Di seguito sono stati riassunti i valori dei carichi permanenti portati che competono la soletta inferiore:

Permanente Portato soletta inf.		
Ballast+Armamento	22	kN/m ³
Sub Ballast	25	kN/m ³
Misto Stabilizzato	20	kN/m ³
Ricoprimento	20	kN/m ³
Permanenti totali (striscia di 1m)	34.9	kN/m

Tabella 10-2 Calcolo carico gravante sulla soletta di fondazione dovuto al pacchetto ferroviario

10.2.3 Spinta del terreno

Il calcolo della spinta del terreno agente sui piedritti dello scatolare è stata valutata in condizioni di riposo, assumendo un coefficiente di spinta a riposo pari a $k_0 = 1 - \sin \varphi'$, dove φ' indica l'angolo di attrito del terreno di reinterro.

10.2.4 Sovraccarico variabile dovuto al traffico ferroviario

Si introduce il sovraccarico variabile dovuto al traffico ferroviario valutato considerando i 4 treni di carico del modello LM71 amplificati considerando linee a ridotto standard manutentivo ($\phi_3=1.35$) e il relativo coefficiente di adattamento ($\alpha=1.1$), ripartito come indicato nella tabella seguente.

Il carico rappresentativo del traffico ferroviario è stato assunto pari a 52 kPa, come di seguito riportato.

$$q_{treno} = 1.35 * 1.1 * \frac{4 * 250}{4 * 1.6} * \frac{1}{4.5} \cong 52 \text{ kPa}$$



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	14 di 23

	Ripartizione	Diffusione	h [m]	Largh. Diffusione [m]
Ballast+Armamento	1/4	0.25	0.39	0.0975
Sub Ballast	1/4	0.25	0.7	0.175
Misto Stabilizzato	1/1	1	0	0
Ricoprimento	1/1	1	0	0
Semi spess. soletta	1/1	1	0.75	0.75
Larghezza della Traversina		B_o	2.40	m
Larghezza di diffusione massima		B_{max}	4.50	m
Larghezza di diffusione effettiva		L_d	4.50	m

Tabella 10-3 Calcolo della larghezza di diffusione del carico ferroviario fino all'asse della soletta di fondazione

10.2.5 Azione sismica

L'azione sismica è valutata con riferimento alle indicazioni riportate nelle NTC2018.

Le verifiche sismiche sono condotte seguendo un'analisi di tipo pseudostatica. Nel caso dell'analisi pseudostatica si applicano alla struttura, in aggiunta agli altri carichi già presenti, le forze d'inerzia sulla struttura e l'azione dinamica del terreno rappresentate da carichi statici equivalenti.

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v sono valutati mediante le relazioni:

$$k_h = \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5k_h$$

dove:

a_{max} è l'accelerazione massima attesa al sito

I parametri sismici utilizzati per lo stato limite SLV sono riportati al Capitolo 7.



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	15 di 23

L'incremento della spinta del terreno dovuto all'azione sismica, agente sulle pareti dello scatolare, è stata valutato con la teoria di Wood (1973). Secondo tale teoria, l'incremento di sforzo sismico da assumere per una parete di spessore unitario è dato dall'espressione:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H$$

Dove γ e H indicano il peso specifico del terreno e l'altezza della struttura.

Le forze inerziali agenti sono quelle dovute al peso del pacchetto ferroviario, oltre a quelle prodotte dai piedritti, valutate secondo la seguente espressione:

$$\Delta P_d = k_h \cdot W$$

10.3 Stati limite considerati

10.3.1 Stati limiti ultimo

Gli stati limite ultimi considerati sono riferiti alle seguenti combinazioni:

SLU combinazione STATICA $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_Q Q + \gamma_Q \sum \psi_{0i} Q_i$

SLU combinazione SISMICA $E + G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} Q_i$

Per il caso in esame, i coefficienti adottati sono:

$$\gamma_{G1} = 1.35 \text{ se } A1+M1; 1 \text{ se favorevole}$$

$$\gamma_{G2} = 1.5 \text{ se } A1+M1; 0 \text{ se favorevole}$$

$$\gamma_Q = 1.45 \text{ se } A1+M1; 0 \text{ se favorevole}$$

Per ciascuna azione variabile, sono stati considerati i coefficienti di combinazione riportati nella seguente tabella:

Carico	ψ_0	ψ_1	$\psi_2(*)$
Carico del treno	0.8	0.8	0

Tabella 10-4: Coefficienti di combinazione. NTC 2018

(*) Nella combinazione sismica è stato assunto il coefficiente $\psi_2=0.2$, in accordo con quanto riportato al paragrafo 5.1.3.12 delle NTC 2018.



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	16 di 23

Per le combinazioni in esame, le sollecitazioni risultanti vanno confrontate con la resistenza a rottura delle sezioni in calcestruzzo armato, determinata dalle seguenti caratteristiche di resistenza dei materiali:

$$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 33.2 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 33.2 \times 0.85 / 1.5 = 26.72 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$$

10.3.2 Stati limiti di esercizio

Le strutture in esame rientrano nella classe di esposizione XC4 riferibile a condizioni ambientali *aggressive*. L'armatura è di tipo *poco sensibile*. In considerazione di ciò, gli stati limite di esercizio considerati sono:

SLE combinazione RARA: $G_1 + G_2 + Q_1 + \sum \psi_{0i} Q_i$

Limiti tensionali: $\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 0.55 \times 29.05 = 18.26 \text{ MPa}$

$$\sigma_s = 0.75 \times f_{yk} = 0.75 \times 450 = 337.5 \text{ MPa}$$

Limiti fessurativi: $w_d \leq 0.2 \text{ mm}$

10.4 Combinazioni di carico

Le sollecitazioni allo SLU e allo SLE sono state calcolate secondo le seguenti combinazioni di calcolo previste nelle NTC 2018:

- SLU combinazione fondamentale statica:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2} + \gamma_{Q3} \Psi_{03} Q_{k3}$$

- SLU e SLE combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$$

- SLE combinazione caratteristica rara:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{02} Q_{k2} + \Psi_{03} Q_{k3}$$

- SLE combinazione frequente:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{11} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$$

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	17 di 23

- SLE combinazione quasi permanente:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3}$$

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

I valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati in Tabella 10-6.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Q1}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 10-5 Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico per ponti stradali (SLU)



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO DAL KM 82+782 AL KM 82+812 – RELAZIONE DI CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	18 di 23

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

Tabella 10-6 Coefficienti di combinazione previsti dalla normativa per ponti ferroviari

Si riporta infine una tabella riepilogativa con tutte le combinazioni di carico analizzate nelle analisi numeriche eseguite .

Name	Peso proprio	Permanenti portati	Spinta terreno	Traffico ferroviario	Variabile	Incremento spinta sismica	Az sismica inerziale
SLU ferr	1.35	1.5	1.35	1.45	1.05	0	0
SLU var	1.35	1.5	1.35	1.2	1.5	0	0
SLV ferr	1	1	1	0.2	0.2	1	1
SLE rara ferr	1	1	1	1	0.7	0	0
SLE rara var	1	1	1	0.8	1	0	0
SLE QP	1	1	1	0	0	0	0
SLE F	1	1	1	0.5	0.7	0	0

Tabella 10-7 Combinazioni di calcolo considerate nel modello numerico

10.5 Risultati del modello di calcolo

Si riportano nelle figure seguenti gli involuipi delle sollecitazioni allo SLU–SLV, SLE Rara, frequente e quasi permanente, in termini di momento flettente, taglio e sforzo assiale, per il modello strutturale in esame.

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 - RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	19 di 23

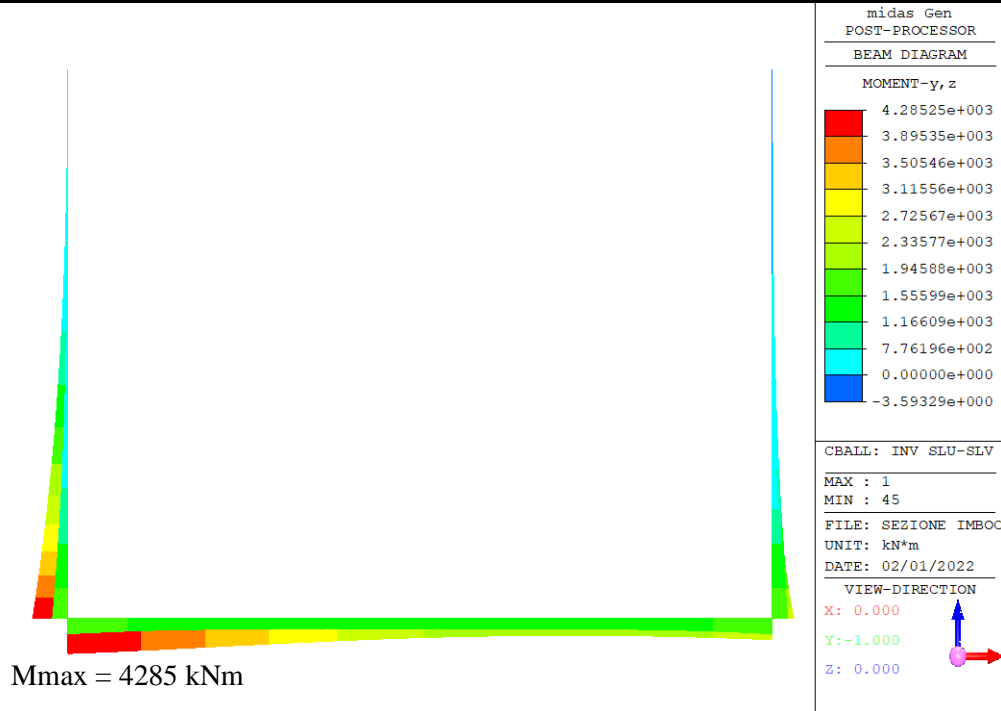


Figura 10-2 Involuppo SLU SLV Momento flettente

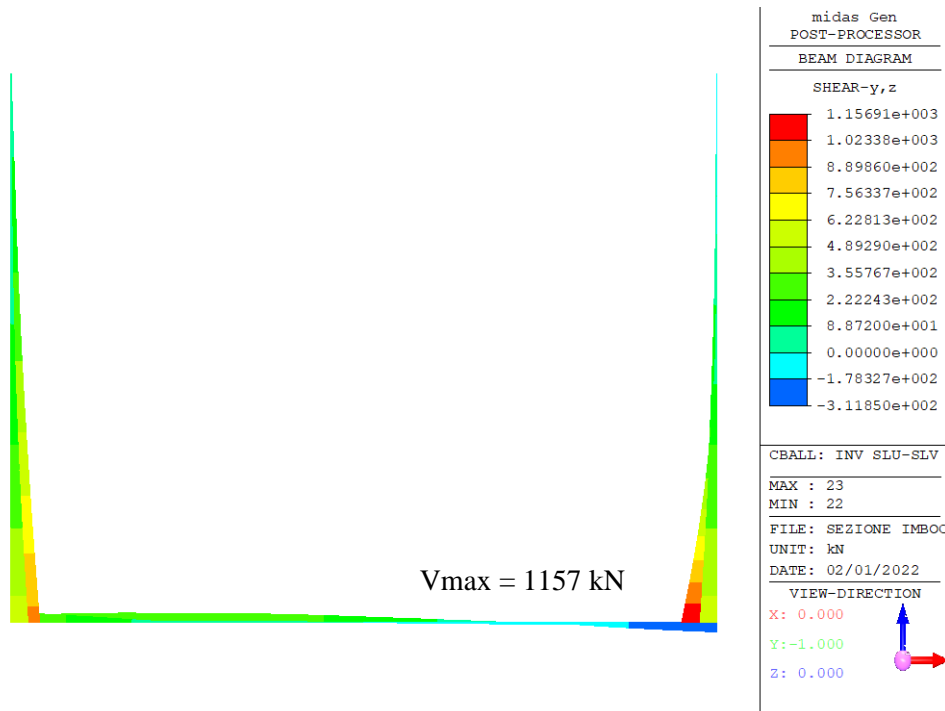


Figura 10-3 Involuppo SLU SLV Taglio

GALLERIA ARTIFICIALE GALLERIA DEL MORTEO
DAL KM 82+782 AL KM 82+812 - RELAZIONE DI
CALCOLO IMBOCCHI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	GA 16 00 002	A	20 di 23

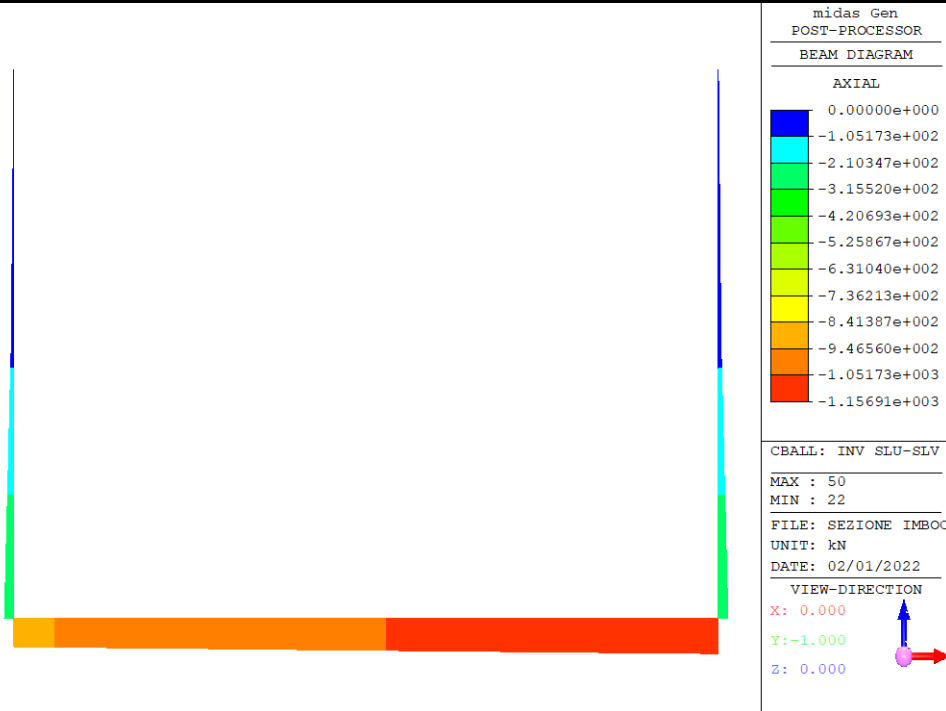


Figura 10-4 Involuppo SLU SLV Azione assiale

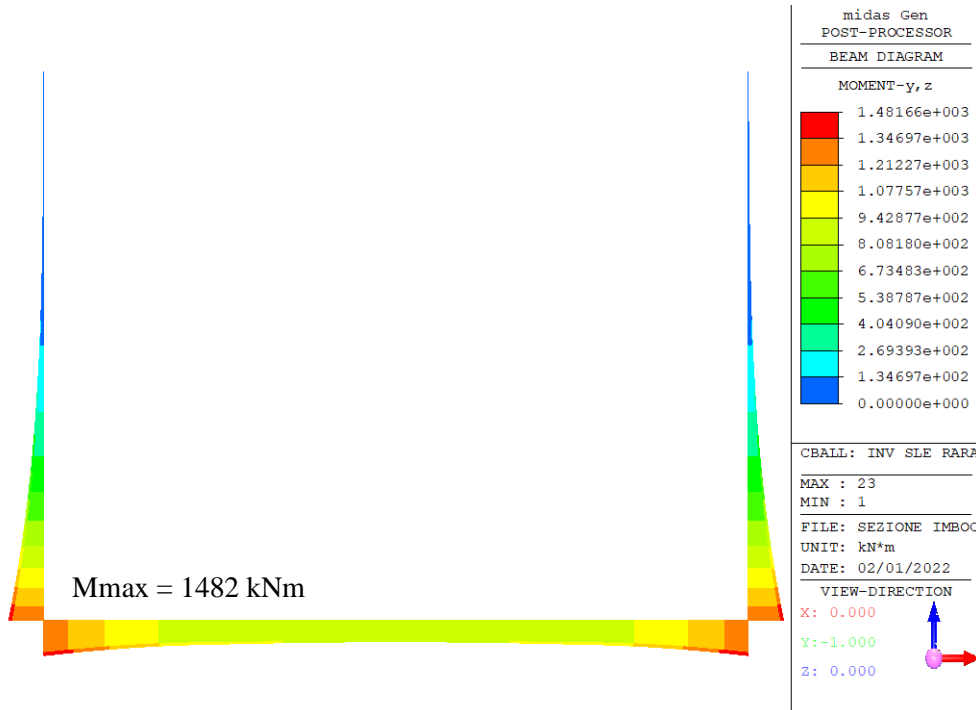


Figura 10-5 Involuppo SLE Momento flettente

La seguente tabella riepiloga i risultati ottenuti.

	Involuppo SLU SLV				
	Momento flettente [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Azione assiale [kN/m]	Momento flettente [kNm/m]	Azione assiale [kN/m]
Soletta – Mezzeria	2587	-	-1090	1030	-480
Soletta – Incastro	4285	312	-1029	1482	-480
Piedritto – Incastro	4285	1157	-312	1482	-231

Tabella 10-8 Risultati ottenuti dal modello di calcolo

10.6 Verifiche strutturali

La seguente tabella riepiloga l'armatura prevista per le diverse sezioni di verifica.

	Armatura di forza [cm ² /m]	Armatura a taglio (a metro lineare)
Paramento – Incastro	Lembo compresso: 22.6 Lembo teso: 116	Ganci Ø10/25x20 cm
Soletta inf – Mezzeria	Lembo compresso: 22.6 Lembo teso: 90.4	Ganci Ø10/25x40 cm
Soletta inf – Incastro	Lembo compresso: 22.6 Lembo teso: 116	Ganci Ø10/25x40 cm

Tabella 10-9 Armatura prevista nelle sezioni di calcolo

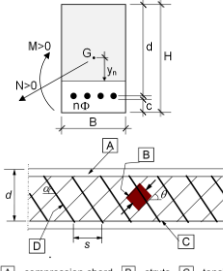
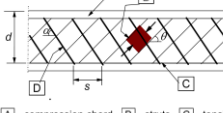
Le seguenti tabelle riepilogano i risultati ottenuti.

geometry					
transversal section					
B	H	c	d	z	
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	150	4.0	137.3	123.6	
longitudinal reinforcement					
nbarre	φ	d	Asl		
	[mm]	[cm]	[cm ²]		
5	24	5.2	22.62		
10	24	129.8	45.24		
10	24	144.8	45.24		
shear reinforcement					
n _{arms}	φ	s	α	Asw	
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]	
4	10	40	90	3.14	

stresses and results			
SLS	ULS		
M _{Ed}	1030 [kNm]	M _{Ed}	2587 [kNm]
N _{Ed}	-480 [kN]	N _{Ed}	-1090 [kN]
V _{Ed}		V _{Ed}	
tensions and cracks			
M _{dec}	122.9 [kNm]	M _{Rd}	5223.0 [kNm]
M _{cr}	826.4 [kNm]	FS	2.02
γ _n	-16.61 [cm]	shear	
σ _{c,min}	-3.4 [MPa]	V _{Rdc}	591.1 [kN]
σ _{s,min}	-47.0 [MPa]	no shear reinforcement	
σ _{s,max}	76.4 [MPa]	V _{Rds}	940.0 [kN]
ε _{sm-ε_{cm}}	0.23 [%]	V _{Rdmax}	4071.9 [kN]
S _{r,max}	27.4 [cm]	θ	22.0 [°]
w _k	0.063 [mm]	section:	ductile
		ai	137.3 [cm]

verifica EC2	
tipo di rottura	2
1 lato acciaio	
2 lato cls - acciaio snervato	
3 lato cls - acciaio elastico	
4 sez. tot. compressa	
contributo Asl	
scelta	no
angolo θ	
scelta	imposto
θ _{imposto}	22 [°]
θ _{calcolato}	10.4 [°]
θ _{inf}	21.8 [°]
θ _{sup}	45 [°]

materials			
concrete		steel	
f _{ck}	32 [MPa]	f _{yk}	450 [MPa]
γ _c	1.5	γ _s	1.15
α _{ccc}	0.85	f _{yd}	391.3 [MPa]
f _{cd}	18.1 [MPa]	E _s	200000 [MPa]
v	0.523	ε _{uk}	75 [%]
ε _{c2}	2.0 [%]	limit values	
ε _{cu2}	3.5 [%]		
α _e	15.0	0,55f _{ck}	17.6 [MPa]
k _t	0.4	0,75f _{yk}	337.5 [MPa]
k ₁	0.8	w _{k,lim}	0.2 [mm]
k ₂	0.5		
k ₃	3.4		
k ₄	0.425		

legend	
	<p>d reported to the axis of the bar</p> <p>c net concrete cover</p> <p>M > 0, lower fibres are strained</p> <p>N > 0, traction force</p> <p>V absolute value</p>
	<p>z = 0.9d</p> <p>N, M</p>
<p>[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement</p>	

α _{ccc}	coeff. effetti a lungo termine
v	coeff. riduzione resistenza bielle
α _{eb}	=E _s /E _c
k _t	0.6 azioni di breve durata
	0.4 azioni di lunga durata
k ₁	0.8 barre aderenza migliorata
	1.6 barre lisce
k ₂	0.5 flessione
	(ε ₁ +ε ₂)/2ε ₁ trazione eccentrica
	1 trazione pura
k ₃	3.4 o da Annesso Nazionale
k ₄	0.425 o da Annesso Nazionale
σ	> 0 se di trazione
ai	traslazione armatura longitudinale

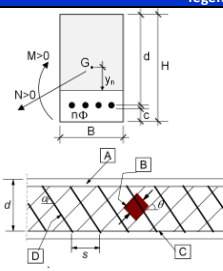
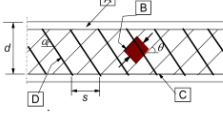
Tabella 10-10 Verifica strutturale soletta – sezione di mezzera

geometry					
transversal section					
B	H	c	d	z	
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	150	4.0	140.7	126.6	
longitudinal reinforcement					
nbarre	φ	d	Asl		
	[mm]	[cm]	[cm ²]		
5	24	5.2	22.62		
10	24	134.8	45.24		
10	30	144.5	70.69		
shear reinforcement					
n _{arms}	φ	s	α	Asw	
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]	
4	10	40	90	3.14	

stresses and results			
SLS	ULS		
M _{Ed}	1482 [kNm]	M _{Ed}	4285 [kNm]
N _{Ed}	-480 [kN]	N _{Ed}	-1029 [kN]
V _{Ed}		V _{Ed}	312 [kN]
tensions and cracks			
M _{dec}	122.9 [kNm]	M _{Rd}	6466.8 [kNm]
M _{cr}	827.7 [kNm]	FS	1.51
γ _n	-13.94 [cm]	shear	
σ _{c,min}	-4.4 [MPa]	V _{Rdc}	595.0 [kN]
σ _{s,min}	-60.1 [MPa]	no shear reinforcement	
σ _{s,max}	89.8 [MPa]	V _{Rds}	963.3 [kN]
ε _{sm-ε_{cm}}	0.27 [%]	V _{Rdmax}	4173.2 [kN]
S _{r,max}	25.0 [cm]	θ	22.0 [°]
w _k	0.067 [mm]	section:	ductile
		ai	140.7 [cm]

verifica EC2	
tipo di rottura	2
1 lato acciaio	
2 lato cls - acciaio snervato	
3 lato cls - acciaio elastico	
4 sez. tot. compressa	
contributo Asl	
scelta	no
angolo θ	
scelta	imposto
θ _{imposto}	22 [°]
θ _{calcolato}	10.4 [°]
θ _{inf}	21.8 [°]
θ _{sup}	45 [°]

materials			
concrete		steel	
f _{ck}	32 [MPa]	f _{yk}	450 [MPa]
γ _c	1.5	γ _s	1.15
α _{ccc}	0.85	f _{yd}	391.3 [MPa]
f _{cd}	18.1 [MPa]	E _s	200000 [MPa]
v	0.523	ε _{uk}	75 [%]
ε _{c2}	2.0 [%]	limit values	
ε _{cu2}	3.5 [%]		
α _e	15.0	0,55f _{ck}	17.6 [MPa]
k _t	0.4	0,75f _{yk}	337.5 [MPa]
k ₁	0.8	w _{k,lim}	0.2 [mm]
k ₂	0.5		
k ₃	3.4		
k ₄	0.425		

legend	
	<p>d reported to the axis of the bar</p> <p>c net concrete cover</p> <p>M > 0, lower fibres are strained</p> <p>N > 0, traction force</p> <p>V absolute value</p>
	<p>z = 0.9d</p> <p>N, M</p>
<p>[A] - compression chord, [B] - struts, [C] - tensile chord, [D] - shear reinforcement</p>	

α _{ccc}	coeff. effetti a lungo termine
v	coeff. riduzione resistenza bielle
α _{eb}	=E _s /E _c
k _t	0.6 azioni di breve durata
	0.4 azioni di lunga durata
k ₁	0.8 barre aderenza migliorata
	1.6 barre lisce
k ₂	0.5 flessione
	(ε ₁ +ε ₂)/2ε ₁ trazione eccentrica
	1 trazione pura
k ₃	3.4 o da Annesso Nazionale
k ₄	0.425 o da Annesso Nazionale
σ	> 0 se di trazione
ai	traslazione armatura longitudinale

Tabella 10-11 Verifica strutturale soletta – sezione di incastro

geometry				
transversal section				
B	H	c	d	z
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
100	145	4.0	135.7	122.1
longitudinal reinforcement				
nbarre	φ	d	Asl	
	[mm]	[cm]	[cm ²]	
5	24	5.2	22.62	
10	24	129.8	45.24	
10	30	139.5	70.69	
shear reinforcement				
n _{arms}	φ	s	α	Asw
	[mm]	[cm]	[°]	[cm ²]
4	10	20	90	3.14

stresses and results	
SLS	ULS
M _{Ed} 1482 [kNm]	M _{Ed} 4285 [kNm]
N _{Ed} -231 [kN]	N _{Ed} -312 [kN]
tensions and cracks	
M _{dec} 57.1 [kNm]	M _{Rd} 5886.7 [kNm]
M _{cr} 684.5 [kNm]	FS 1.37
bending	
γ _n -17.41 [cm]	V _{Rdc} 481.2 [kN]
σ _{c,min} -4.5 [MPa]	shear reinforcement
σ _{s,min} -60.7 [MPa]	V _{Rds} 1858.2 [kN]
σ _{s,max} 102.8 [MPa]	V _{dmax} 4024.9 [kN]
ε _{sm-ε_{cm}} 0.31 [%]	θ 22.0 [°]
S _{r,max} 25.0 [cm]	section: ductile
W _k 0.077 [mm]	a _l 151.2 [cm]

verifica EC2	
tipo di rottura	2
1 lato acciaio	
2 lato cls - acciaio snervato	
3 lato cls - acciaio elastico	
4 sez. tot. compressa	
contributo A _{sl}	
scelta	no
angolo θ	
scelta	imposto
θ _{imposto}	22 [°]
θ _{calcolato}	14.7 [°]
θ _{inf}	21.8 [°]
θ _{sup}	45 [°]

materials			
concrete		steel	
f _{ck}	32 [MPa]	f _{yk}	450 [MPa]
γ _c	1.5	γ _s	1.15
α _{cc}	0.85	f _{yd}	391.3 [MPa]
f _{cd}	18.1 [MPa]	E _s	200000 [MPa]
v	0.523	ε _{uk}	75 [%]
ε _{c2}	2.0 [%]	limit values	
ε _{cu2}	3.5 [%]	k ₂	0.5
α _e	15.0	k ₃	3.4
k _t	0.4	k ₄	0.425
k ₁	0.8		
k ₂	0.5		
k ₃	3.4		
k ₄	0.425		

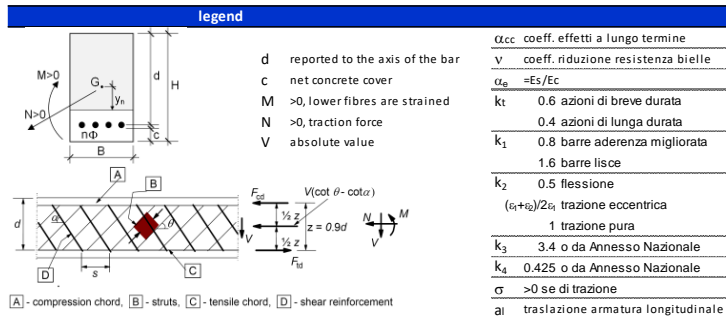


Tabella 10-12 Verifica strutturale piedritto – sezione di incastro

10.7 Incidenza di armatura

La seguente tabella riepiloga i risultati ottenuti in termini di incidenza di armature per la sezione tipologica dell'imbocco della galleria di via del Morteo.

	Incidenza [kg/cm ³]
Soletta	85
Piedritto	80

Tabella 10-13 Riepilogo incidenze di armatura per la sezione tipologica dell'imbocco