

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA CATANIA - SIRACUSA

DIREZIONE TECNICA

U.O. Coordinamento di Sistema e PFTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Bypass di Augusta

Sottovia – SL02 – Sottovia per NV02

Relazione tecnico-descrittiva e di predimensionamento

SCALA:

-

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

RS60 00 R 11 RH SL0200 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G.Filippi	Ottobre 22	L. Cosciotti	Ottobre 22	P. Carlesimo	Ottobre 22	L. Berardi Gennaio 23
B	Emissione a seguito di verifica 1° livello e tecnica	G. Filippi 	Gennaio 23	L. Cosciotti 	Gennaio 23	P. Carlesimo 	Gennaio 23	

File: RS6000R11RHSL0200001B

n. Elab.: 1

SOMMARIO

1.	PREMESSA.....	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2	PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)	6
3.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	8
4.	CARATTERISTICHE MATERIALI	9
4.1	CALCESTRUZZO	9
4.1.1	<i>Magrone</i>	9
4.1.2	<i>Calcestruzzo</i>	9
4.2	ACCIAIO	11
4.2.1	<i>Acciaio di armatura per c.a.</i>	11
5.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	12
6.	ANALISI DEI CARICHI	14
6.1	G1: PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA E SPINTA DEL TERRENO.....	14
6.2	G2: PERMANENTI PORTATI	15
6.3	Q1: SOVRACCARICO DOVUTO AI CARICHI MOBILI DELL'INFRASTRUTTURA.....	15
6.4	E: AZIONI SISMICHE.....	16
7.	GALLERIA ARTIFICIALE REALIZZATA CON METODO MILANO.....	20
7.1	CRITERI DI CALCOLO	20
7.2	GEOMETRIA E FASI DI CALCOLO	20
7.3	RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI.....	22
7.4	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	26
8.	STRUTTURA SCATOLARE	28
8.1	CRITERI DI CALCOLO	28
8.2	GEOMETRIA.....	28
8.3	RISULTATI DELLE ANALISI.....	29

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	3 di 42

8.4	VERIFICHE STRUTTURALI	33
8.4.1	<i>Soletta superiore</i>	34
8.4.2	<i>Soletta inferiore</i>	36
8.4.3	<i>Piedritti</i>	38
8.5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	40
8.5.1	<i>STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLO SCORRIMENTO</i>	40
8.5.2	<i>VERIFICA A CARICO LIMITE</i>	41

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	4 di 42

1. PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritte le analisi di pre-dimensionamento del sottovia SL02 previsto nel PFTE del Bypass di Augusta, intervento che rientra nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Il progetto prevede la realizzazione di una variante al tracciato ferroviario della linea Messina-Siracusa in prossimità della città di Augusta e di una nuova stazione ubicata fuori dal centro abitato, ma in zona di nuova espansione per perseguire i seguenti obiettivi:

- Riqualificazione urbana;
- Liberazione del centro abitato di Augusta dalla ferrovia ed annessi PL;
- Riduzione dell'impatto della linea sulle aree protette (saline);

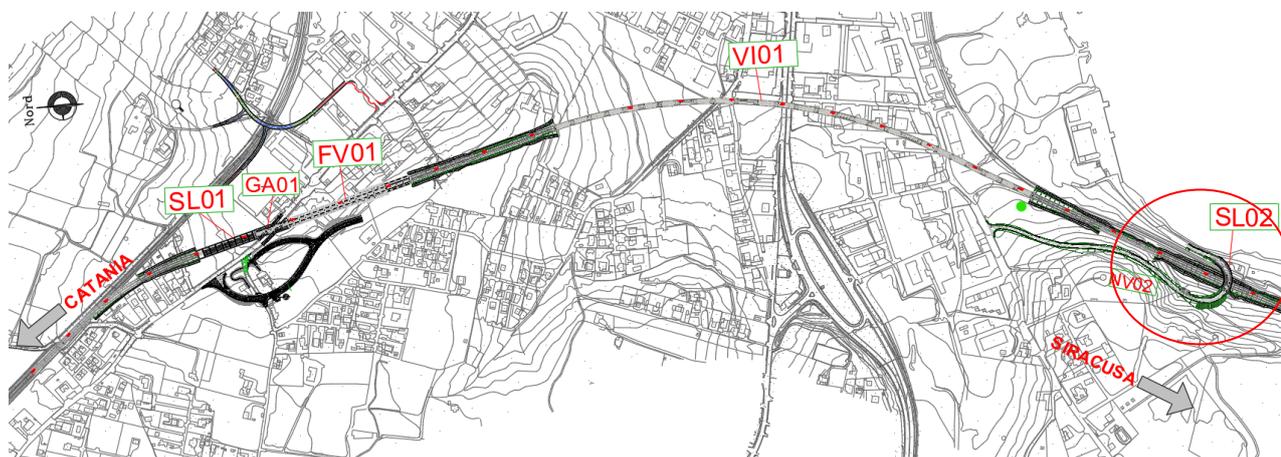


Figura 1-1 Bypass di Augusta –ubicazione in pianta del sottovia SL02

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	5 di 42



Figura 1.2 Inquadramento planimetrico del Bypass di Augusta

L'opera in esame (SL02) è stata progettata per risolvere l'interferenza tra la nuova infrastruttura e la viabilità esistente (NV02, si veda Figura 1-1). Il sottovia si colloca tra il km 2+525 e km 2+575 del Bypass, con sviluppo sostanzialmente trasversale alla linea ferroviaria.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	6 di 42

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono effettuate in accordo con le prescrizioni di seguito elencate e conformi alle normative vigenti:

- [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni»
- [2] UNI EN 1992-1-1: Eurocodice 2 – Progettazione strutture in CA
- [3] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 11 febbraio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- [4] Decreto Ministeriale 28/10/2005. "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie";
- [5] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1303/2014 - relativa alla Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente "la sicurezza nelle gallerie ferroviarie" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- [6] Regolamento del 18/11/2014 della Commissione dell'Unione Europea – 1300/2014 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità concernente le "persone a mobilità ridotta" nel sistema ferroviario transeuropeo convenzionale e ad alta velocità;
- [7] Regolamento del 16/05/2019 della Commissione dell'Unione Europea – 773/2019 - relativa ad una Specifica Tecnica di Interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità.
- [8] UNI EN 206:2021 – Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- [9] UNI 11104:2016 – Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206

2.2 PRESCRIZIONI E SPECIFICHE TECNICHE (RFI, ITF)

- [10] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (rev. E 30/12/2022)
- [11] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (rev. E 30/12/2022)

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	7 di 42

- [12] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (rev. F 30/12/2022)
- [13] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (rev. F 30/12/2022)
- [14] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (rev. F 30/12/2022)
- [15] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (rev. D 31/12/2022)
- [16] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (rev. F 30/12/2022)
- [17] Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili: PARTE II – sezione 5 / Opere in terra e scavi (rev. E 30/12/2022)
- [18] Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili: PARTE II – sezione 7 / Pali e micropali (rev. D 30/12/2019)

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	8 di 42

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La realizzazione del sottovia SL02 prevede l'utilizzo di due tipologie strutturali differenti. Le porzioni del sottovia esterne al rilevato ferroviario saranno realizzate mediante uno scatolare in calcestruzzo armato gettato in opera ed un muro ad U, mentre la porzione centrale, che risiede al disotto del rilevato ferroviario, sarà realizzata con metodo "Top Down" e costituirà una galleria artificiale tra paratie di pali (Metodo Milano).

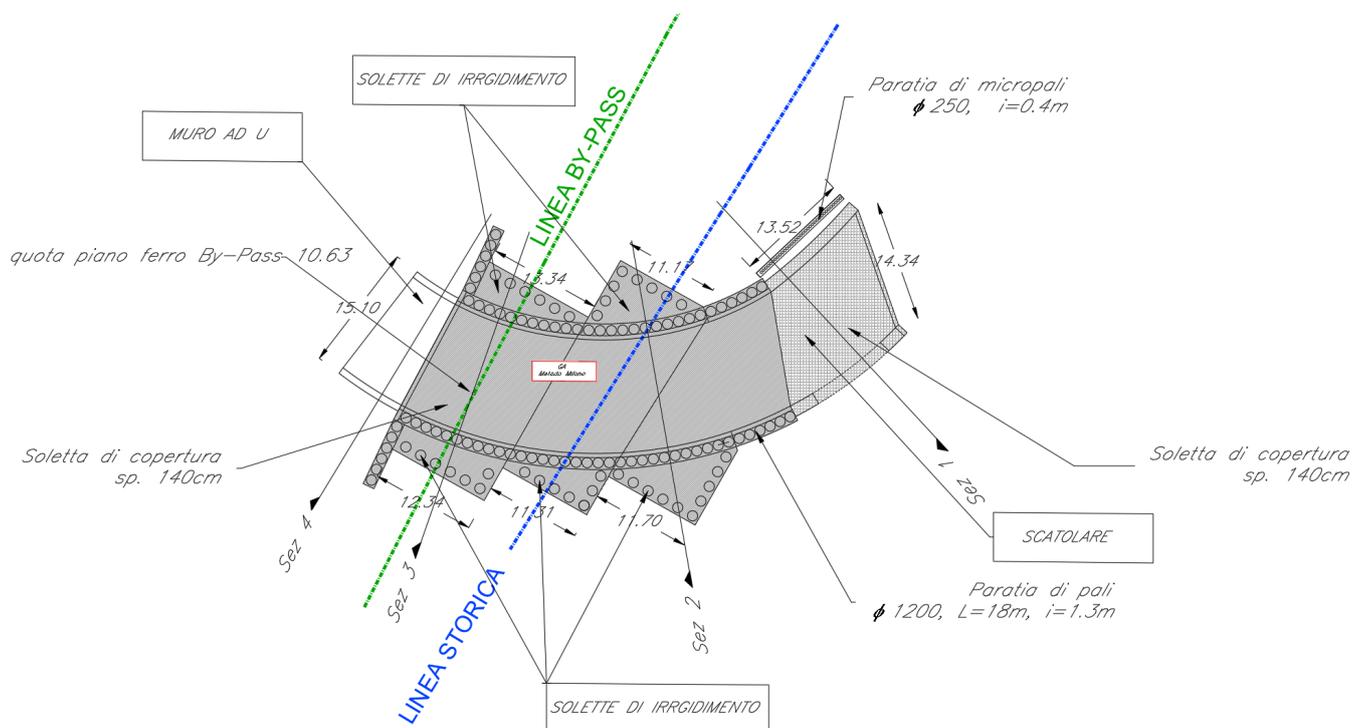


Figura 3-1 Pianta dello scatolare SL02

La costruzione dell'opera sarà realizzata per fasi, per poter ridurre al minimo l'impatto sull'esercizio ferroviario. Per maggiori dettagli sulle fasi realizzative si rimanda all'elaborato progettuale RS6000R11PZSL0200001B.

Considerate le scarse caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione, per il tratto in scatolare è stato prevista in progetto sia la bonifica dei terreni superficiali sia il consolidamento dei terreni di

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	9 di 42

fondazione mediante colonne in ghiaia di diametro pari a 800mm, disposte a quinconce con maglia 2.4 x 2.4m, realizzate mediante vibro-sostituzione.

4. CARATTERISTICHE MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni delle NTC18 e del "Manuale di progettazione delle opere civili".

4.1 CALCESTRUZZO

4.1.1 MAGRONE

Classe di resistenza = C12/15

4.1.2 CALCESTRUZZO

Struttura scatolare

Classe di resistenza = C32/40

R_{ck} = resistenza cubica = 40 N/mm²

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica = 0.83 R_{ck} = 32 N/mm²

f_{cm} = resistenza cilindrica media = $f_{ck} + 8$ = 40 N/mm²

f_{cd} = resistenza di calcolo a compressione = $\alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$ = 0.85 * 32/1.5 = 18.13 N/mm²

f_{ctm} = resistenza a trazione media = 0.30 * $f_{ck}^{(2/3)}$ = 3.02 N/mm²

f_{ctm} = resistenza a traz. per flessione media = 1.20 * f_{ctm} = 3.63 N/mm²

f_{ctk} = resistenza a traz. per flessione caratt. = 0.70 * f_{ctm} = 2.54 N/mm²

E_{cm} = modulo elast. tra 0 e 0.40 f_{cm} = 22000 * ($f_{cm}/10$)^{0.3} = 33345.76 N/mm²

σ_c = Resistenza a compressione (Comb. Rara) = 0.55 * f_{ck} = 17.6 N/mm²

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	10 di 42

σ_c = Resistenza a compressione (Comb. Quasi Permanente) = $0.40 * f_{ck} = 12.8 \text{ N/mm}^2$

Il copriferro netto di progetto per gli elementi strutturali che compongono la struttura scatolare in progetto è assunto pari a 5 cm.

Pali

Classe di resistenza = C25/30

R_{ck} = resistenza cubica = 30 N/mm^2

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica = $0.83 R_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

f_{cm} = resistenza cilindrica media = $f_{ck} + 8 = 32 \text{ N/mm}^2$

f_{cd} = resistenza di calcolo a compressione = $\alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 32 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$

f_{ctm} = resistenza a trazione media = $0.30 * f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$

f_{cfm} = resistenza a traz. per flessione media = $1.20 * f_{ctm} = 3.07 \text{ N/mm}^2$

f_{ctk} = resistenza a traz. per flessione caratt. = $0.70 * f_{cfm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$

E_{cm} = modulo elast. tra 0 e $0.40f_{cm} = 22000 * (f_{cm}/10)^{0.3} = 31476 \text{ N/mm}^2$

σ_c = Resistenza a compressione (Comb. Rara) = $0.55 * f_{ck} = 13.75 \text{ N/mm}^2$

σ_c = Resistenza a compressione (Comb. Quasi Permanente) = $0.40 * f_{ck} = 10 \text{ N/mm}^2$

Il copriferro netto di progetto per i pali previsti in progetto è assunto pari a 6 cm.

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	11 di 42

4.2 ACCIAIO

4.2.1 ACCIAIO DI ARMATURA PER C.A.

Tipo = B 450 C

γ_a = peso specifico = 78.50 kN/m³

$f_{y\ nom}$ = tensione nominale di snervamento = 450 N/mm²

$f_{t\ nom}$ = tensione nominale di rottura = 540 N/mm²

$f_{yk\ min}$ = minima tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm²

$f_{tk\ min}$ = minima tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm²

$(f_t/f_y)_{k\ min}$ = minimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.15

$(f_t/f_y)_{k\ max}$ = massimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.35

$(f_y/f_{y\ nom})_k$ = massimo rapporto tra i valori nominali = 1.25

$(A_{gt})_k$ = allungamento caratteristico sotto carico massimo = 7.5 %

$\varphi_{\ min}$ = minimo diametro consentito delle barre = 6 mm

$\varphi_{\ max}$ = massimo diametro consentito delle barre = 40 mm

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm²

α_T = coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 °C⁻¹

σ_s = resistenza a trazione (SLU) = $f_{yk\ min} / 1.15 = 391.3$ N/mm²

σ_s = resistenza a trazione (Comb. Rara) = $0.75 * f_{yk\ min} = 337.5$ N/mm²

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	12 di 42

5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nella Tabella 5-1 si riportano le principali caratteristiche fisico meccaniche dei terreni di fondazione presenti lungo la linea in progetto.

Tabella 5-1 Parametri geotecnici dei terreni di fondazione

Unità Geotecniche		Parametri						
		z	γ	c'	φ'	Cu	E'	k
Unità	Unità Geologica	m	kN/m ³	kPa	°	kPa	MPa	m/s
R	h - Riporti antropici	0-1,5	20	-	28	-	10	1E-5 ÷ 1E-6
	b2 - Coltri eluvio-colluviali							
	ba1 - Depositi alluvionali attuali							
	bb2 - Depositi alluvionali recenti							
	g2 - Depositi di spiaggia attuali							
UG1	LEI2 - Sintema Lentini	1,5-15	19-20	5-10	20-24	80-120	5-10	1E-9 ÷ 1E-8
	LEI2 - Sintema Lentini	15-inf.	19-20	10-15	20-24	120-170	10-15	1E-9 ÷ 1E-8
UG2	AUG - Sintema Augusta	0-5	19-20	0-20	30	-	10-15	1E-7 ÷ 1E-6

Il sottovia SL02 sarà fondato al disopra della formazione di Lentini (UG1) e di una coltre di ricoprimento di riporti ('R) come evidenziato in Figura 5-1. Tale unità geotecnica possiede scarse caratteristiche meccaniche quindi il piano di posa sarà approfondito mediante scotico e bonifica e il migliorato mediante la realizzazione di pali in ghiaia. Per maggiori dettagli sugli interventi di miglioramento del terreno previsti si rimanda agli elaborati progettuali RS6000R11WAGE0000001A e RS6000R11WAGE0000002A.

Nei calcoli di dimensionamento dell'opera si è tenuto delle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione trattati, ricavate per omogenizzazione. In particolare, alla UG1, se migliorata mediante la realizzazione di pali in ghiaia, è stato assegnato un angolo di attrito pari a 28 gradi e coesione nulla.

Al terreno di riempimento sostitutivo dello spessore bonificato è stato assegnato un angolo di attrito pari a 35 gradi, mentre al materiale rappresentante il rilevato ferroviario esistente è stato assegnato un angolo di attrito pari a 38° e coesione nulla.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	13 di 42

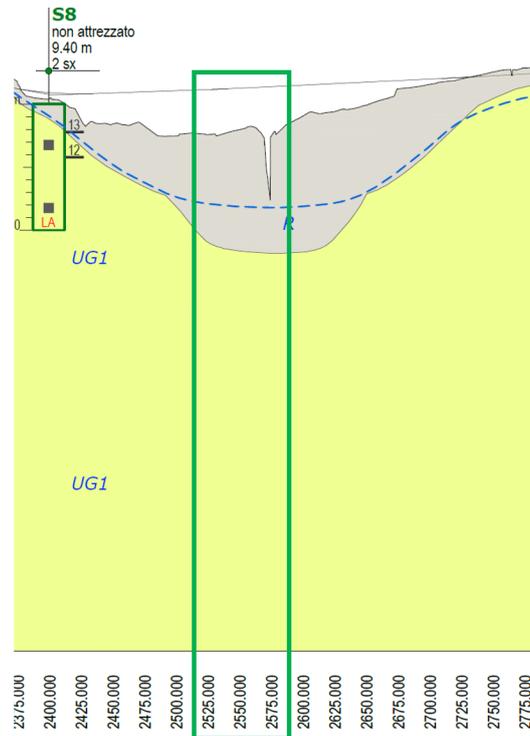


Figura 5-1 Estratto del profilo geotecnico – Pk 2+400 – 2+750

STRUTTURE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

RS60 00 R11_RH SL02 0001 B 14 di 42

6. ANALISI E COMBINAZIONE DEI CARICHI

Il dimensionamento strutturale è stato eseguito considerando i carichi ritenuti dimensionanti per le strutture in esame. Un dettaglio maggiore su tutti i carichi agenti sulle strutture oggetto del dimensionamento è rimandato alle successive fasi progettuali. I carichi considerati nelle presenti analisi sono:

- **Azioni permanenti strutturali (G1):** peso proprio degli elementi strutturali;
- **Azioni permanenti non strutturali (G2):** ricoprimento della soletta di copertura dovuto alla presenza di “ballast”;
- **Azioni variabili (Q_K):** carico variabile dovuto al passaggio di uno o più convogli ferroviari sulla soletta di copertura.
- **Azione sismica (E):** azione inerziale applicata staticamente secondo il metodo pseudo-statico.

L'azione sismica è stata conteggiata in termini di azioni statiche equivalenti secondo quanto prescritto al punto 7.3 delle NTC18.

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dalle NTC18 sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche agli stati limite considerati.

6.1 G1: PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA E SPINTA DEL TERRENO

I pesi propri degli elementi strutturali sono valutati tenendo conto del peso proprio del calcestruzzo pari a 25 kN/m³.

L'azione trasmessa dal terreno alle strutture è stata determinata tramite l'utilizzo dei coefficienti di spinta. In particolare, sono stati considerati i coefficienti di spinta a riposo K₀, 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 $\sigma'h$ a quella verticale $\sigma'v$ attraverso la relazione:

$$\sigma'h = K_0 \cdot \sigma'v$$

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	15 di 42

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

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

Dove

- $K_{0,NC} = 1 - \sin \varphi'$ è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normal-consolidato ($OCR=1$),
- OCR è il grado di sovra-consolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Il coefficiente di spinta attiva è stato calcolato facendo riferimento alla teoria di Coulomb, mentre quello passivo alla soluzione proposta da Lancellotta (2007).

Per il calcolo delle spinte è stato considerato un valore dell'angolo d'attrito tra parete e terreno pari a $2\varphi'/3$.

6.2 G2: PERMANENTI PORTATI

Per il calcolo del permanente portato agenti sulla soletta superiore (soletta armamento e marciapiede) si fa riferimento al paragrafo 2.5.1.3 del Manuale di progettazione delle opere civili Parte II – Sezione 2 Ponti E Strutture (RFI). In particolare, si considera il rilevato ferroviario con peso specifico di 20 kN/m³ e per l'armamento 14.4 kN/m².

6.3 Q1: SOVRACCARICO DOVUTO AI CARICHI MOBILI DELL'INFRASTRUTTURA

Considerata la destinazione d'uso della struttura, tra i carichi variabili vengono considerati i carichi ferroviari in corrispondenza dei binari (treno LM71) e i carichi da folla sulle zone ad essi adiacenti assunti come rientranti in categoria d'uso della costruzione Cat. C3 (Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad altri di stazioni ferroviarie).

Per il carico ferroviario si considera il modello di carico LM71 (Figura 6-1) poiché ritenuto più gravoso. A tale treno di carico si associa un coefficiente di adattamento α pari a 1.1.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	16 di 42

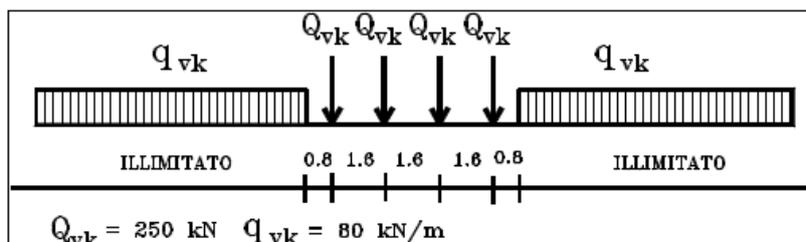


Figura 6-1 Modello di carico LM71 (Load model 71 al punto 6.2.3 della norma EN 1991-2:2003).

Si osserva che nell'applicazione del treno di carico sopra descritto, in fase di dimensionamento, si è fatto riferimento alla distribuzione spaziale del carico più gravosa per l'opera in esame allo scopo di massimizzare le sollecitazioni agenti sulle strutture in progetto. L'esplicitazione di tutte le configurazioni di carico, e dei relativi risultati di calcolo, saranno oggetto delle successive fasi progettuali.

6.4 E: AZIONI SISMICHE

L'accelerazione massima di progetto è stata calcolata in conformità alla normativa vigente NTC18 e con il MdP RFI Parte II – Sez.2. L'accelerazione di progetto allo SLV è stata calcolata utilizzando i seguenti parametri:

- Vita nominale V_N : 75 anni
- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso: 1.0
- Periodo di riferimento V_R : 75 anni

Il coefficiente di amplificazione topografica S_T è stato assunto pari a uno, mentre il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S , tenuto conto delle caratteristiche dei terreni di fondazione, risulta pari a 1.31.

Con tali ipotesi si ottiene la seguente accelerazione massima a piano campagna:

$$a_{\max} = a_g * S = a_g * S_S * S_T = 0,284g * 1,31 * 1 = 0.372g$$

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	17 di 42

Per maggiori dettagli sui parametri sismici e sull'analisi di determinazione dei valori sopra riportati, con particolare riferimento alla vita nominale e classe d'uso considerate per l'opera in esame, si rimanda alla relazione geotecnica generale (elaborato RS6000R69SGGE0001001A).

Le verifiche in condizioni sismiche sono state condotte 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 perdite sostanziali di resistenza e funzionalità.

Con riferimento alla figura 7.11.2 delle NTC2018 il coefficiente α è stato assunto pari ad 1 visto la presenza di un terreno di tipo "C" ed altezza massima di scavo pari a circa 6m. Il coefficiente β è stato assunto pari a uno tenendo conto della tipologia strutturale in esame.

6.5 COMBINAZIONI DEI CARICHI

Le combinazioni di carico usate per l'analisi strutturali sono state composte secondo le indicazioni del § 2.5.3 delle NTC2018:

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	18 di 42

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

I coefficienti parziali sulle azioni (γF) e i coefficienti di combinazione (ψ_0, ψ_1, ψ_2) sono quelli definiti nel 5.2.3.2 delle NTC2018:

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	19 di 42

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

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

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Per le verifiche allo stato limite ultimo e nello specifico per quanto riguarda gli elementi strutturali coinvolti da azioni geotecniche sono stati considerati i seguenti coefficienti di combinazione (NTC18 par. 2.6.1) in funzione dell'approccio e della verifica considerata:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

 γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;

 γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;

 γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

 Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a $\gamma_P = 1,0$.

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nei capitoli successivi con riferimento a particolari azioni specifiche.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	20 di 42

7. GALLERIA ARTIFICIALE REALIZZATA CON METODO MILANO

7.1 CRITERI DI CALCOLO

Il pre-dimensionamento è stato eseguito facendo riferimento alla sezione di calcolo rappresentativa delle condizioni più gravose in termini di carichi applicati e stratigrafia di progetto.

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni delle NTC18 e della Circolare n. 7/19 calcolando le sollecitazioni interne dell'opera considerando sia gli effetti delle sollecitazioni statiche che sismiche.

Le verifiche della paratia di pali 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, per il caso statico, 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 stato considerato anche il caso sismico per tener conto del carattere definitivo dell'opera.

Le verifiche sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo Paratie Plus, 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.

Le verifiche strutturali sono state condotte in maniera semplificata e conservativa (trascurando lo sforzo assiale nella sezione) per assicurarsi il corretto funzionamento dell'elemento strutturale e la stima dell'incidenza di armatura dei diversi elementi strutturali. Nelle successive fasi progettuali, analisi più accurate consentiranno di ottimizzare le strutture.

7.2 GEOMETRIA E FASI DI CALCOLO

La sezione di calcolo rappresentativa della galleria artificiale realizzata con metodo Milano possiede le seguenti caratteristiche geometriche:

STRUTTURE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	21 di 42

Interasse paratie di pali = 13.55 m

Altezza netta = 6.00 m

Altezza di scavo (da estradosso cordolo): 9.1 m

Altezza di calcolo (DM 2018 § 6.5.2.2): 9.6 m

Diametro pali=1.20 m

Spessore soletta di copertura =1.40 m

Spessore soletta di fondazione =1.60 m

Spessore ricoprimento =1.00 m

Considerata la realizzazione per fasi dell'opera, sono state considerate nella analisi le seguenti fasi di calcolo:

- Condizione iniziale geostatica
- Realizzazione delle paratie di pali ed applicazione del carico da cantiere
- Scavo propedeutico alla realizzazione della soletta superiore
- Scavo complessivo e realizzazione della soletta inferiore
- Configurazione a lungo termine con applicazione del carico sismico

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	22 di 42

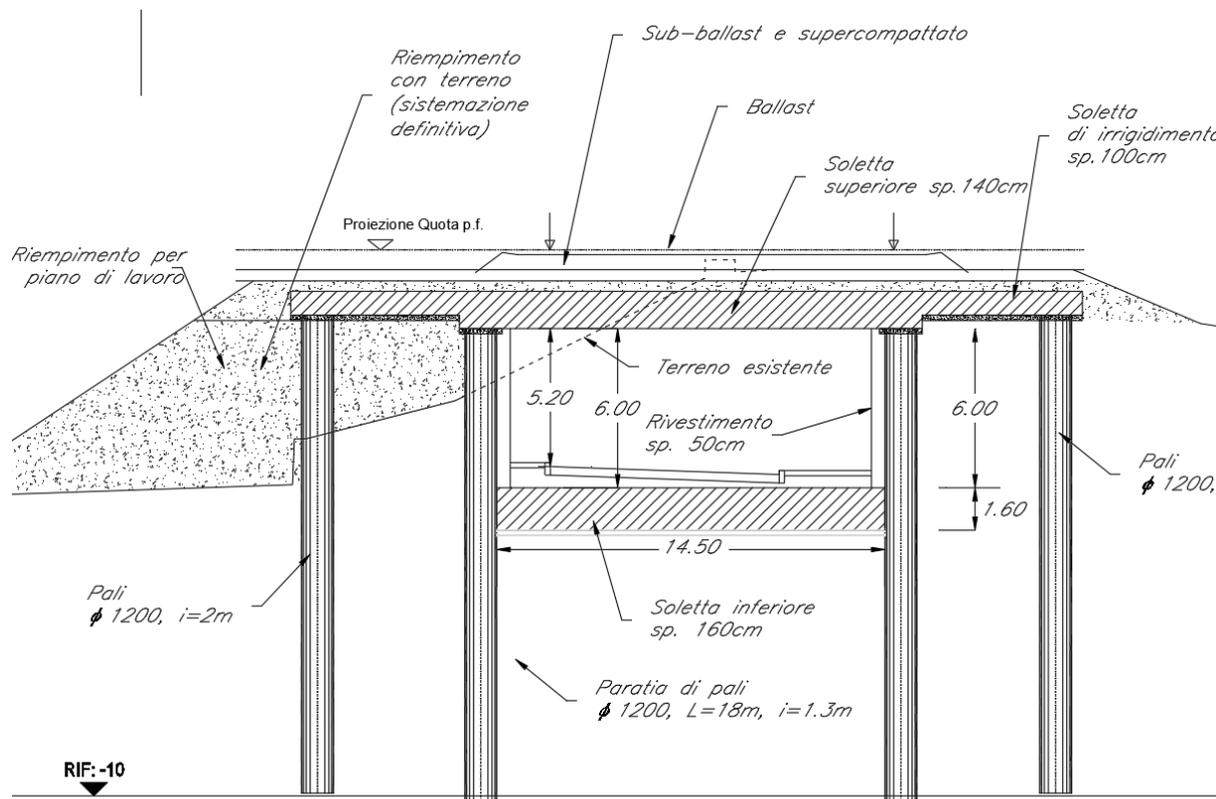


Figura 7-1 Sezione di calcolo della galleria artificiale

7.3 RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI

Nel presente paragrafo sono riportati gli involuppi delle sollecitazioni e delle resistenze ottenuti tenendo conto delle combinazioni di carico più gravose. Nelle figure da Figura 7-2 a Figura 7-5 sono riportati i risultati ottenuti per le paratie di pali allo stato limite ultimo (SLU – SLV). Nei diagrammi sono riportate le sollecitazioni flessionali e di taglio massime unitamente agli involuppi di resistenza.

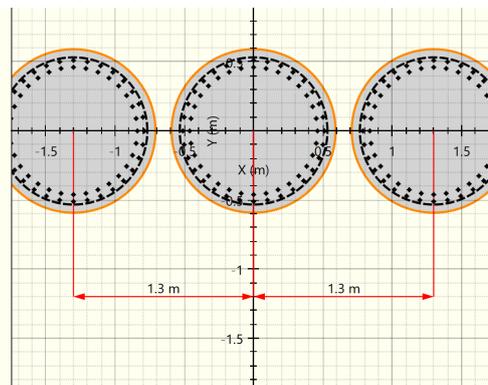
Questi ultimi posseggono valori sempre maggiori delle sollecitazioni massime e sono stati ottenuti con la seguente configurazione delle armature:

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	23 di 42

Pali tangenti	
Armatura longitudinale	
Gruppo Armature Longitudinali	
Quota superiore	0 m
Lunghezza della gabbia	18 m
Quota inferiore	-18 m
Armature longitudinali	
Layer	< 1 / 2 >
Diametro	ø30
Numero per elemento	32
Copriferro asse barra	0.089 m
Armature a taglio	
Strato armatura a taglio < 1 / 1 >	
Quota superiore	0 m
Lunghezza tratto armato a taglio	18 m
Quota inferiore	-18 m
Passo	0.15 m
Diametro	ø14
Numero di bracci	3
Copriferro netto	0.06 m



Per quanto mostrato, la dimensione dei pali proposta risulta adeguata a sostenere le sollecitazioni stimate per la configurazione definitiva e transitoria dell'opera.

Le sollecitazioni subite dalla soletta di copertura e della soletta di fondazione sono del medesimo ordine di grandezza di quelle che si realizzano per gli stessi elementi strutturali nella porzione di struttura scatolare. Considerata l'analogia geometrica e di sollecitazione, il dimensionamento strutturale di questi elementi sarà trattato solo nel successivo capitolo relativo alla porzione di struttura scatolare.

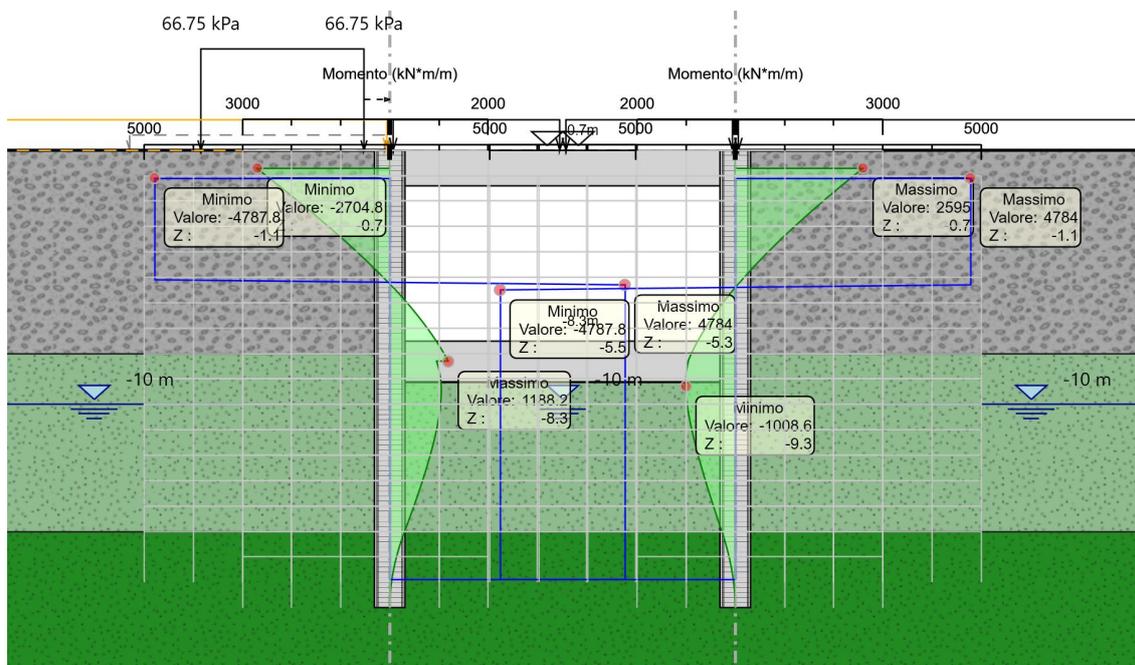


Figura 7-2 Momento flettente (verde) e resistente (tratto blu) - SLU

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	24 di 42

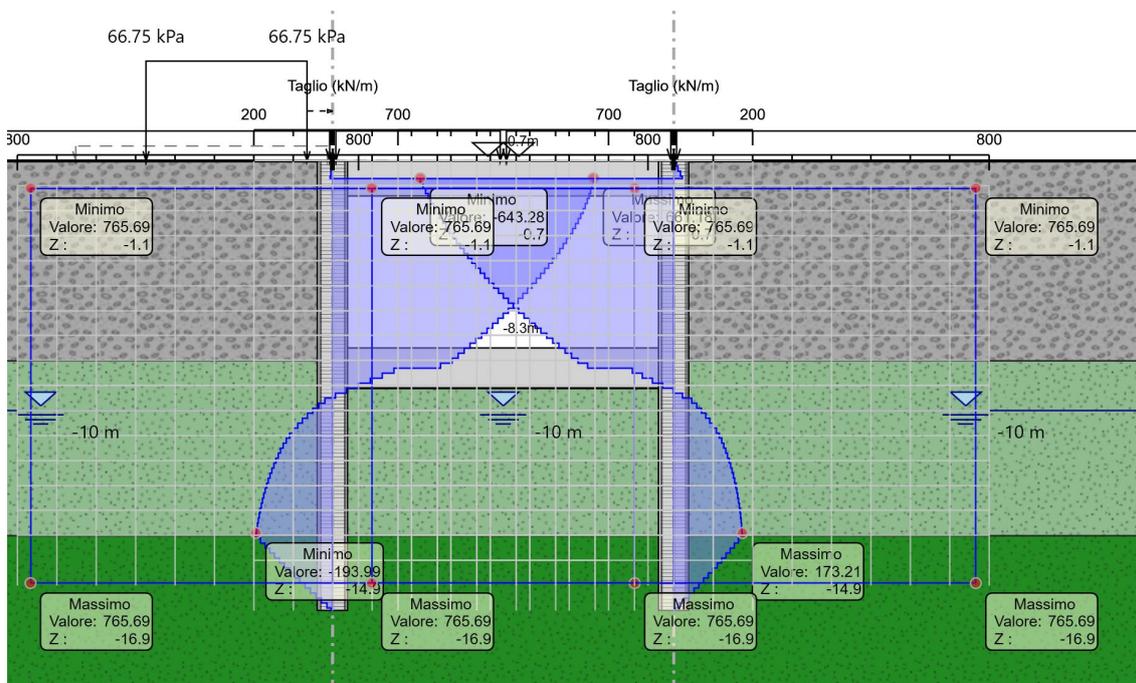


Figura 7-3 Taglio (diagramma blu campito) e resistente (tratto blu) - SLU

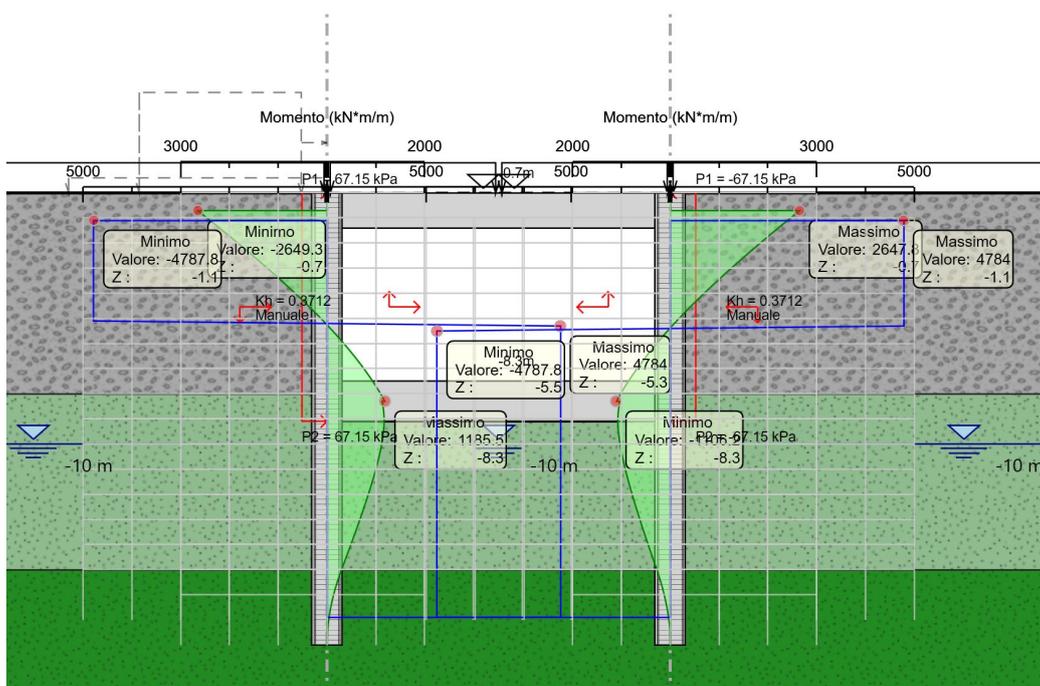


Figura 7-4 Momento flettente (verde) e resistente (tratto blu) - SLV

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	25 di 42

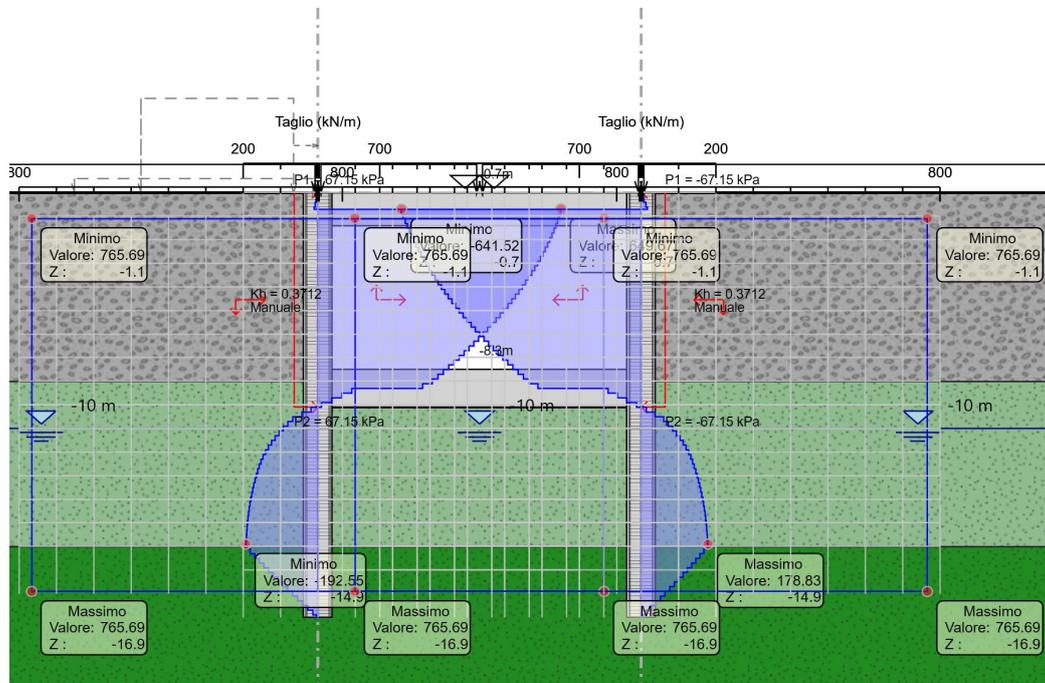


Figura 7-5 Taglio (diagramma blu campito) e resistente (tratto blu) - SLV

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	26 di 42

7.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

La stabilità del complesso struttura-terreno, nelle diverse fasi di realizzazione, è stata verificata nei confronti dei principali meccanismi di collasso geotecnico. La stabilità dello scavo è stata analizzata confrontando le spinte mobilitate e quelle resistenti nella configurazione statica più gravosa (Figura 7-6) e sismica (Figura 7-7) facendo riferimento alla combinazione normativa A2+M2+R1.

Come si può osservare dalle immagini sopraccitate, la resistenza disponibile è sempre ampiamente maggiore della spinta mobilitata. Per quanto affermato le verifiche geotecniche risultano soddisfatte a conferma dell'adeguato dimensionamento della struttura in esame.

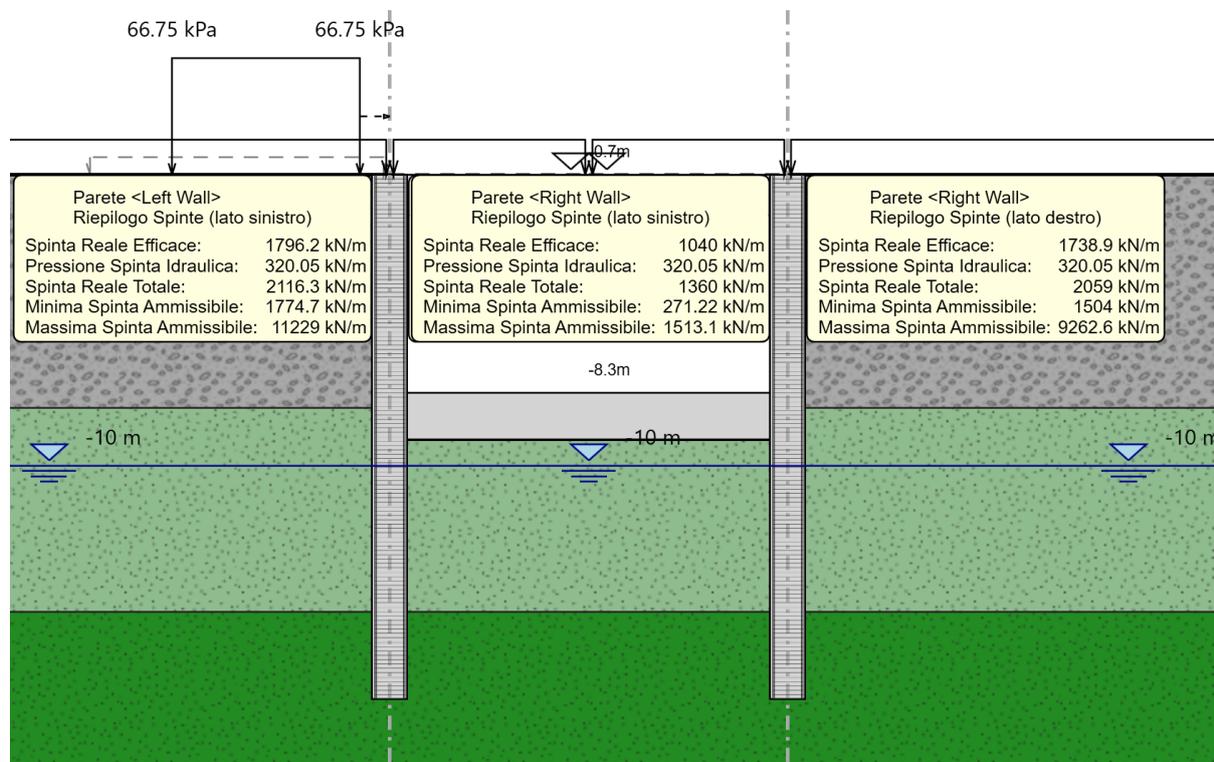


Figura 7-6 Spinte mobilitate - SLU

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	27 di 42

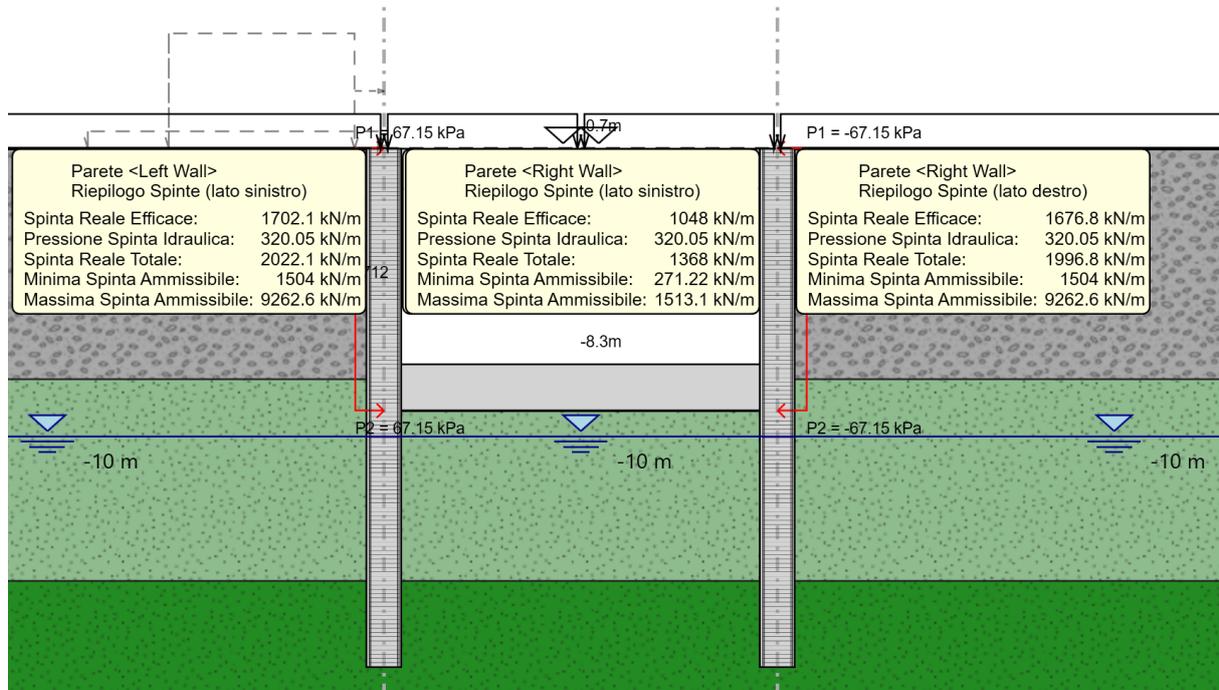


Figura 7-7 Spinte mobilitate - SLV

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	28 di 42

8. STRUTTURA SCATOLARE

8.1 CRITERI DI CALCOLO

Le verifiche della struttura scatolare sono state condotte nei riguardi dello stato limite ultimo SLU e in condizioni sismiche SLV.

Le analisi strutturali dello scatolare in calcestruzzo armato sono state eseguite mediante software agli elementi finiti, tenendo quindi conto della deformabilità dell'opera sottoposta ai carichi agenti.

Si è tenuto conto dell'interazione terreno-struttura assegnando alle superfici di contatto con il terreno molle elastiche alla Winkler, quindi non reagenti a trazione. La rigidità assegnata alle suddette molle è stata assunta su base bibliografica pari a 20000 kN/mc tenendo conto del terreno di fondazione e della influenza limitata di tale parametro sul calcolo delle sollecitazioni. Nella presente fase progettuale, in via semplificativa, non sono state considerate variazioni spaziali del suddetto parametro di rigidità.

Le verifiche di stabilità dell'opera sono state eseguite tenendo conto della presenza del terreno di fondazione migliorato dalla presenza dei pali in ghiaia e dello strato di riempimento sostitutivo del terreno bonificato. Analoghe considerazioni sono state fatte nel calcolo del carico limite.

8.2 GEOMETRIA

La sezione scatolare di calcolo possiede le seguenti caratteristiche geometriche:

L netta = 12.80 m

H netta = 6.00 m

Spessore copertura = 1.40 m

Spessore piedritti=1.40 m

Spessore soletta di fondazione =1.60 m

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	29 di 42

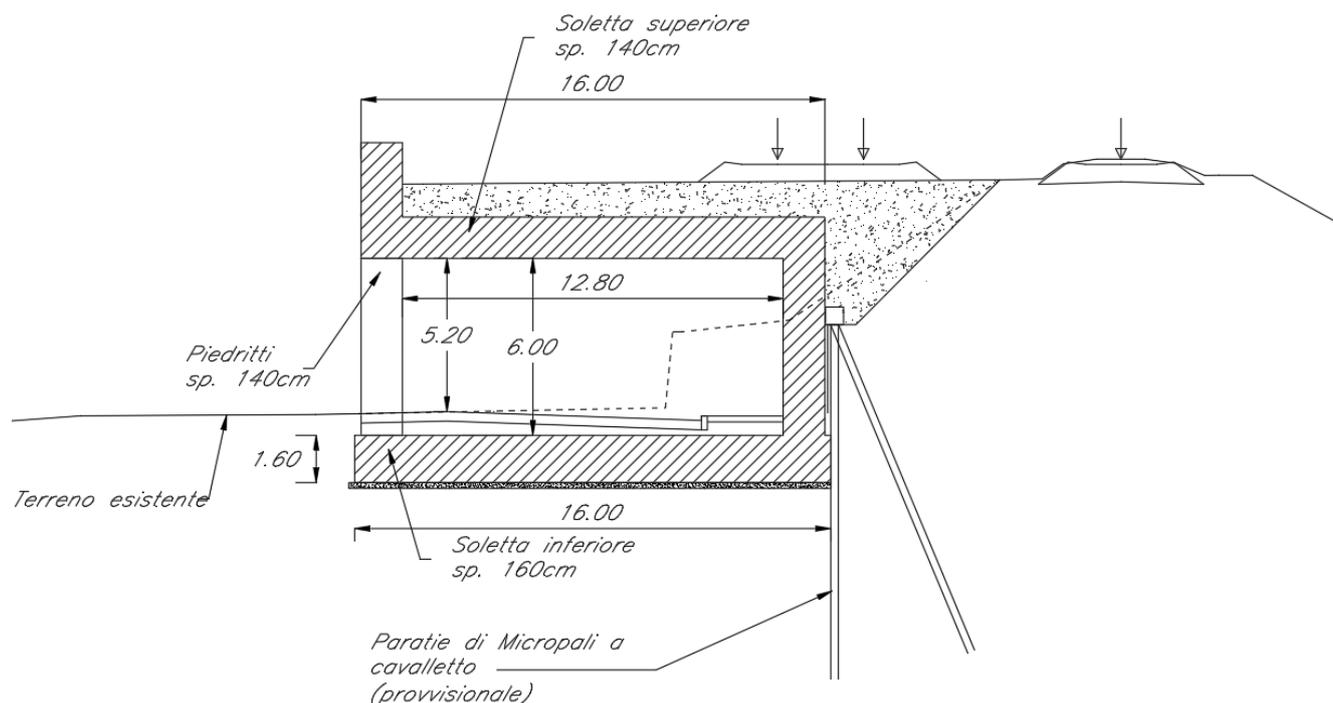


Figura 8-1 Sezione di calcolo dello scatolare

8.3 RISULTATI DELLE ANALISI

Nel presente paragrafo sono riportati gli involuppi delle sollecitazioni calcolate per la struttura scatolare descritta in precedenza in presenza delle configurazioni e combinazioni di carico più gravose.

L'analisi della resistenza delle membrature è analizzata al paragrafo successivo nel quale è indicata anche la configurazione delle armature proposta per il calcolo della resistenza.

Le figure dalla Figura 8-2 alla Figura 8-7 rappresentano gli involuppi di Momento, taglio e sforzo normale calcolati per lo scatolare in presenza degli stati limite ultimi considerati nella presente relazione.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	30 di 42

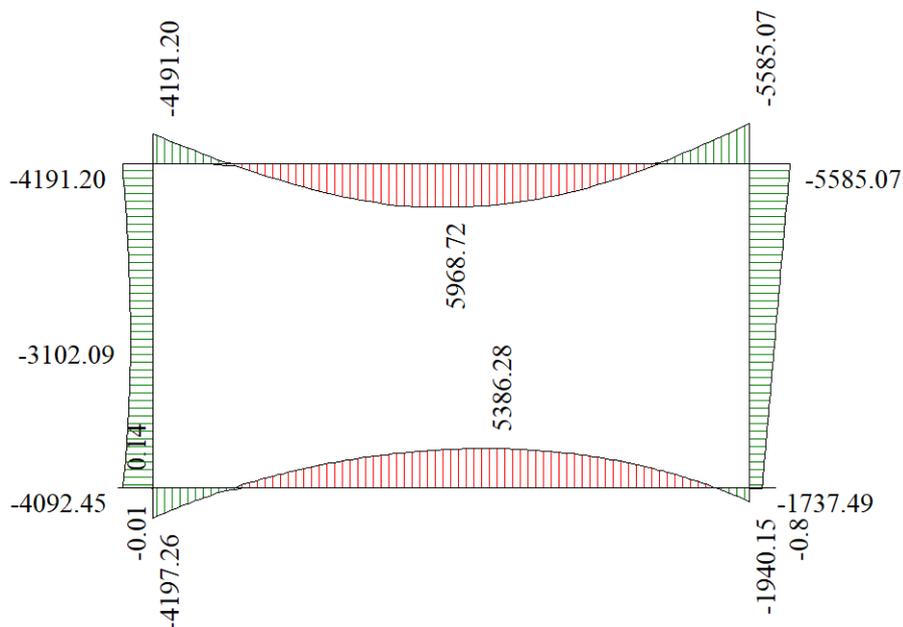


Figura 8-2 Involuppo SLU Momento flettente

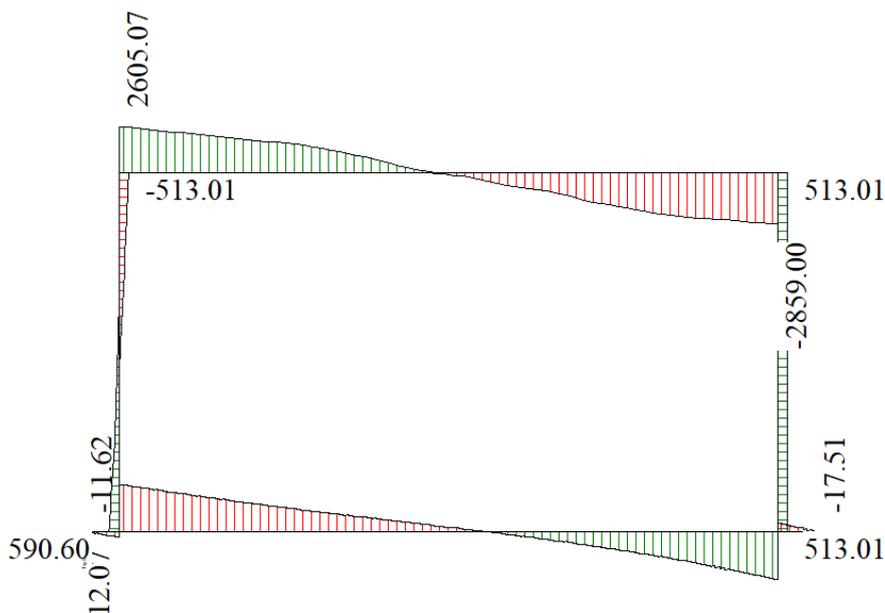


Figura 8-3 Involuppo SLU Taglio

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	31 di 42

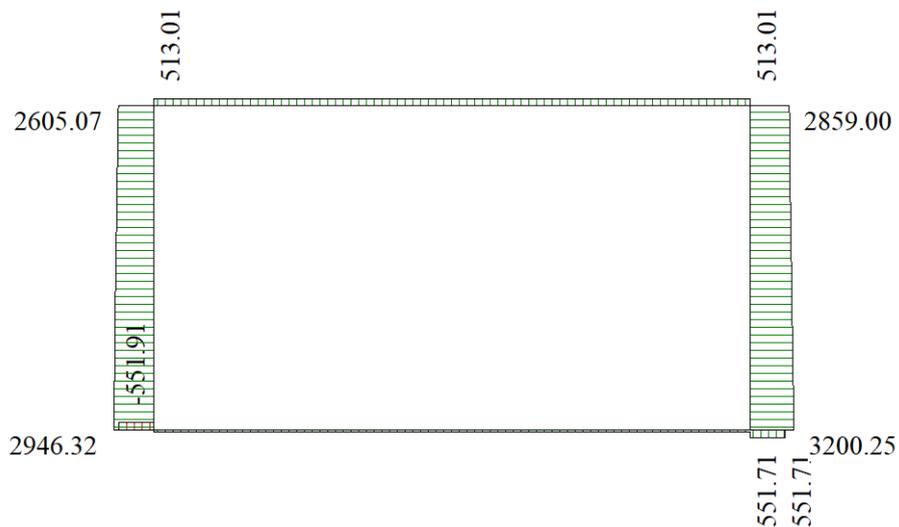


Figura 8-4 Involuppo SLU Sforzo assiale

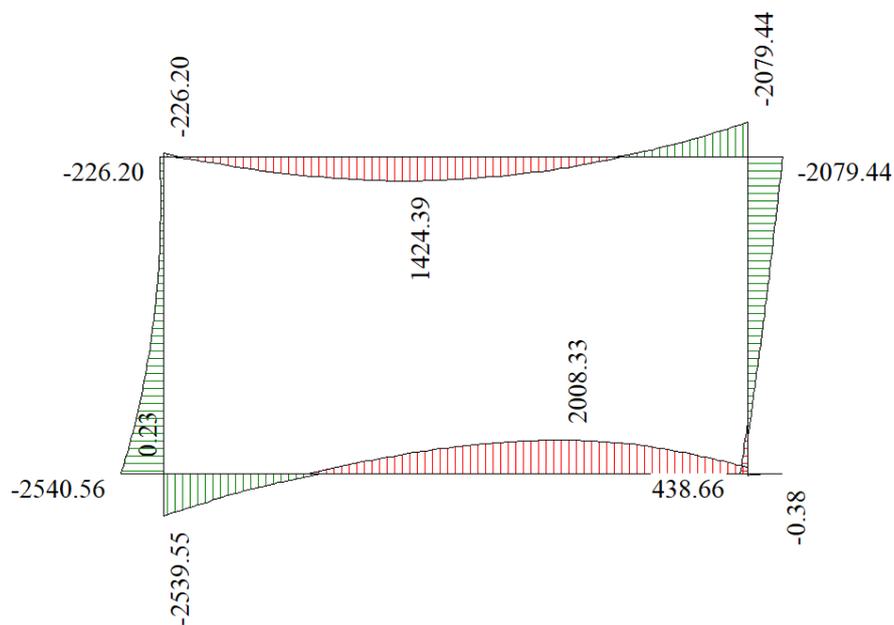


Figura 8-5 Involuppo SLV Momento flettente

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	32 di 42

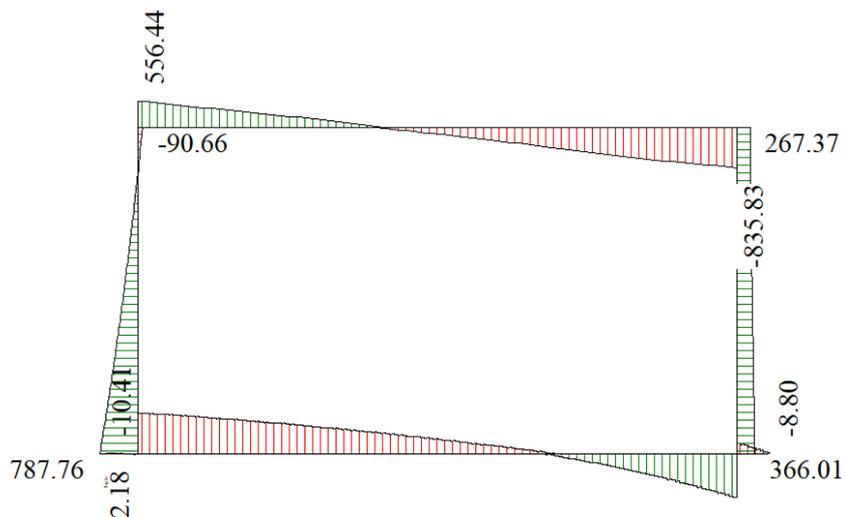


Figura 8-6 Involuppo SLV Taglio

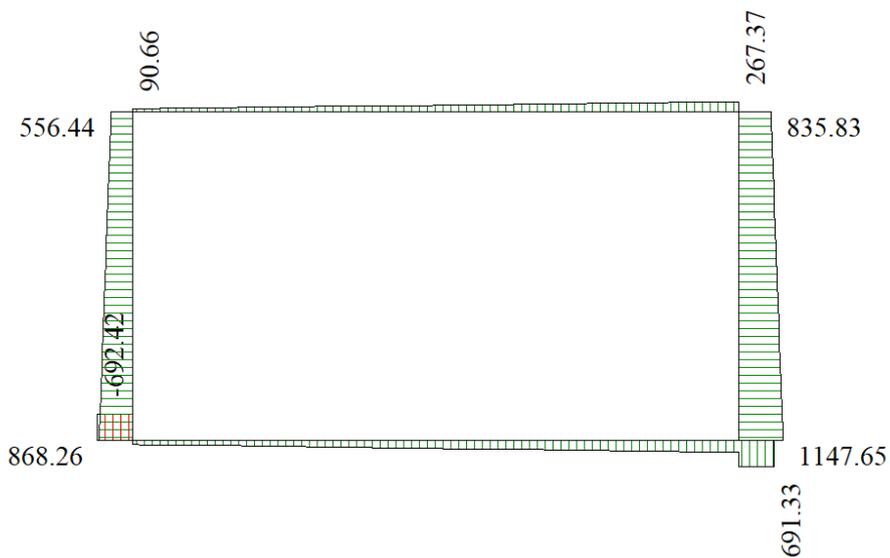


Figura 8-7 Involuppo SLV Sforzo normale

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	33 di 42

8.4 VERIFICHE STRUTTURALI

Nelle verifiche di resistenza si considerano i seguenti elementi strutturali:

- Soletta superiore;
- Piedritti;
- Soletta di fondazione.

Per tutti gli elementi strutturali sono stati eseguiti le verifiche allo stato limite ultimo (flessione semplice o pressoflessione; taglio). In fase di primo dimensionamento, come più volte specificato, si è fatto riferimento alle sollecitazioni massime calcolate. Il raffinamento degli elementi strutturali resistenti è rimandato alle successive fasi progettuali.

In Tabella 8-1 si riepilogano le sollecitazioni massime raggiunte dagli elementi strutturali oggetto di verifica. In rosso si evidenziano le sollecitazioni massime utilizzate nelle successive verifiche di resistenza dei singoli elementi strutturali.

Tabella 8-1 riepilogo delle sollecitazioni di calcolo

Elemento strutturale	Strato limite	Momento	Taglio	Sforzo normale
		[kN*m/m]	[kN/m]	[kN/m]
Soletta superiore	SLU	5968	2859	513
	SLV	2709	556	267
Soletta inferiore	SLU	5386	2946	551
	SLV	2540	868	691
Piedritti	SLU	4194	590	2859
	SLV	2540	786	1148

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	34 di 42

8.4.1 SOLETTA SUPERIORE

Di seguito si riporta la geometria della sezione e la configurazione delle armature considerata:

B=100 cm

H= 140 cm

Copriferro netto =5 cm

Armatura in superiore: 10+10 Φ 30

Armatura in inferiore: 10+10 Φ 30

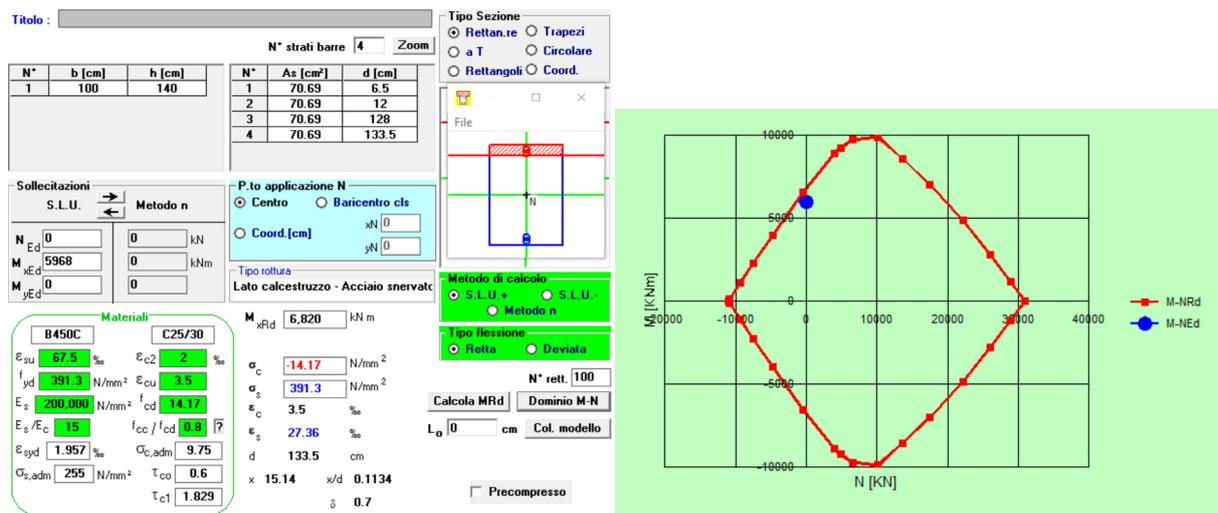


Figura 8-8 Calcolo del momento resistente della soletta superiore – confronto con la sollecitazione massima attesa

Dalla figura precedente è possibile osservare come la resistenza dell'elemento strutturale risulti superiore alla sollecitazione massima attesa. Si può osservare, inoltre, che a favore di sicurezza le verifiche sono state eseguite trascurando l'effetto benefico dello sforno normale e in presenza di una classe di resistenza del calcestruzzo inferiore.

Si riporta nel seguito (Figura 8-9) la verifica al taglio della sezione in esame. Considerata l'elevata sollecitazione presente, per evitare l'eccessivo inserimento di armature a taglio, è stata considerato un'inclinazione della biella compressa pari a 30 gradi rispetto la più cautelativa ipotesi di 45°. Il taglio

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	35 di 42

massimo, per 'altro attinto esclusivamente nei pressi delle sezioni di nodo, risulta inferiore alla resistenza ottenuta disponendo 3 spille al metro del diametro 1.6 cm con passo 15 cm.

Per quanto affermato in precedenza, le verifiche al taglio e momento della sezione in esame risultano soddisfatte in presenza di quantitativi di armatura rispettosi dei criteri espressi nella normativa vigente e conferma dell'adeguato dimensionamento strutturale.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE		
Base della sezione trasversale:	b	100.00 [cm]
Altezza della sezione trasversale:	h	140.00 [cm]
Copriferro netto:	c	5.00 [cm]
Altezza utile della sezione:	d	135.00 [cm]
CARATTERISTICHE DEI MATERIALI		
Classe di resistenza del calcestruzzo:		C32/40
Resistenza caratteristica cubica a compressione:	R _{ck}	40.00 [N/mm ²]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:	f _{ck}	33.20 [N/mm ²]
Resistenza di calcolo a compressione:	f _{cd}	18.81 [N/mm ²]
Tipologia dell'acciaio da armatura:		B450C
Tensione caratteristica di rottura:	f _{tk}	540.00 [N/mm ²]
Tensione caratteristica di snervamento:	f _{yk}	450.00 [N/mm ²]
Resistenza di calcolo:	f _{yd}	391.30 [N/mm ²]
AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO		
Azione tagliante di calcolo:	V _{S,d}	2859.00 [kN]
Azione normale di calcolo:	N _{S,d}	0.00 [kN]
ARMATURA TRASVERSALE		
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo:	θ	30.00 [°]
Cotangente dell'angolo θ:	cot(θ)	1.73
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave:	α	90.00 [°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale:	n	3.00
Passo longitudinale delle armature trasversali:	s	15.00 [cm]
Diametro dell'armatura trasversale:	Ø _{trav}	16.00 [mm]
Area della singola barra:	A _{barra}	2.01 [cm ²]
Area totale dell'armatura trasversale:	A _{tot}	40.20 [cm ² /m]
VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO		
La verifica allo S.L.U. per taglio viene condotta secondo quanto previsto dalle NTC2018, par.4.1.2.3.5.2		
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione:		
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad [4.1.27]$		
La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione:		
$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta) \quad [4.1.28]$		
Larghezza minima della sezione:	b _w	100.00 [cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	v · f _{cd}	9.41 [N/mm ²]
Tensione media di compressione nella sezione:	σ _{cp}	0.000 [N/mm ²]
Coefficiente maggiorativo α _c :	α _c	1.0000
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	V _{Rsd}	3.310.38 [kN]
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE"	V _{Rcd}	4.948.95 [kN]
AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:	V _{R,d}	3.310.38 [kN]
COEFFICIENTE DI SICUREZZA:	F _s = V _{R,d} / V _{S,d}	1.16
LA VERIFICA RISULTA POSITIVA		

Figura 8-9 calcolo della resistenza a taglio della soletta superiore

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	36 di 42

8.4.2 SOLETTA INFERIORE

Di seguito si riporta la geometria della sezione e la configurazione delle armature considerata:

$B=100$ cm

$H= 160$ cm

Copriferro netto =5 cm

Armatura in superiore: 10+10 $\Phi 26$

Armatura in inferiore: 10+10 $\Phi 26$

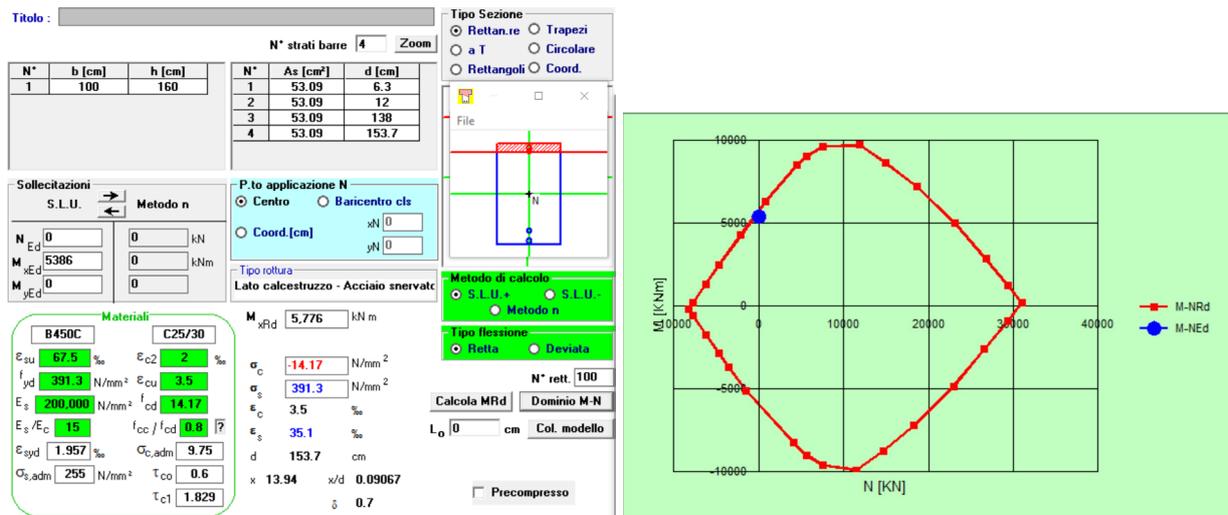


Figura 8-10 Calcolo del momento resistente della soletta inferiore – confronto con la sollecitazione massima attesa

Dalla figura precedente è possibile osservare come la resistenza dell'elemento strutturale risulti superiore alla sollecitazione massima attesa. Si può osservare, inoltre, che a favore di sicurezza le verifiche sono state eseguite trascurando l'effetto benefico dello sforno normale e in presenza di una classe di resistenza del calcestruzzo inferiore.

Si riporta nel seguito (Figura 8-11) la verifica al taglio della sezione in esame. Considerata l'elevata sollecitazione presente, per evitare l'eccessivo inserimento di armature a taglio, è stata considerato un'inclinazione della biella compressa pari a 30 gradi rispetto la più cautelativa ipotesi di 45°. Il taglio

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	37 di 42

massimo, per 'altro attinto esclusivamente nei pressi delle sezioni di nodo, risulta inferiore alla resistenza ottenuta disponendo 3 spille al metro del diametro 1.6 cm con passo 15 cm.

Per quanto affermato in precedenza, le verifiche al taglio e momento della sezione in esame risultano soddisfatte in presenza di quantitativi di armatura rispettosi dei criteri espressi nella normativa vigente e conferma dell'adeguato dimensionamento strutturale.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE		
Base della sezione trasversale:	b	100.00 [cm]
Altezza della sezione trasversale:	h	160.00 [cm]
Copri ferro netto:	c	5.00 [cm]
Altezza utile della sezione:	d	155.00 [cm]

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI		
Classe di resistenza del calcestruzzo:		C32/40
Resistenza caratteristica cubica a compressione:	R _{ck}	40.00 [N/mm ²]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:	f _{ck}	33.20 [N/mm ²]
Resistenza di calcolo a compressione:	f _{cd}	18.81 [N/mm ²]
Tipologia dell'acciaio da armatura:		B450C
Tensione caratteristica di rottura:	f _{tk}	540.00 [N/mm ²]
Tensione caratteristica di snervamento:	f _{yk}	450.00 [N/mm ²]
Resistenza di calcolo:	f _{yd}	391.30 [N/mm ²]

AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO		
Azione tagliante di calcolo:	V _{S,d}	2946.00 [kN]
Azione normale di calcolo:	N _{S,d}	0.00 [kN]

ARMATURA TRASVERSALE		
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo:	θ	30.00 [°]
Cotangente dell'angolo θ:	cot(θ)	1.73
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave:	α	90.00 [°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale:	n	3.00
Passo longitudinale delle armature trasversali:	s	15.00 [cm]
Diametro dell'armatura trasversale:	Ø _{trav}	16.00 [mm]
Area della singola barra:	A _{barra}	2.01 [cm ²]
Area totale dell'armatura trasversale:	A _{tot}	40.20 [cm ² /m]

VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO		
La verifica allo S.L.U. per taglio viene condotta secondo quanto previsto dalle NTC2018, par.4.1.2.3.5.2		
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione:		
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$ [4.1.27]		
La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione:		
$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$ [4.1.28]		
Larghezza minima della sezione:	b _w	100.00 [cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	v · f _{cd}	9.41 [N/mm ²]
Tensione media di compressione nella sezione:	σ _{cp}	0.000 [N/mm ²]
Coefficiente maggiorativo α _c :	α _c	1.0000
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	V _{Rsd}	3.800.80 [kN]
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE"	V _{Rcd}	5.682.12 [kN]
AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:	V _{R,d}	3.800.80 [kN]
COEFFICIENTE DI SICUREZZA:	F _s = V _{R,d} / V _{S,d}	1.29
LA VERIFICA RISULTA POSITIVA		

Figura 8-11 calcolo della resistenza a taglio della soletta inferiore

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	38 di 42

8.4.3 PIEDRITTI

Di seguito si riporta la geometria della sezione e la configurazione delle armature considerata:

B=100 cm

H= 140 cm

Copriferro netto =5 cm

Armatura in superiore: 10+10 Φ 26

Armatura in inferiore: 10+10 Φ 26

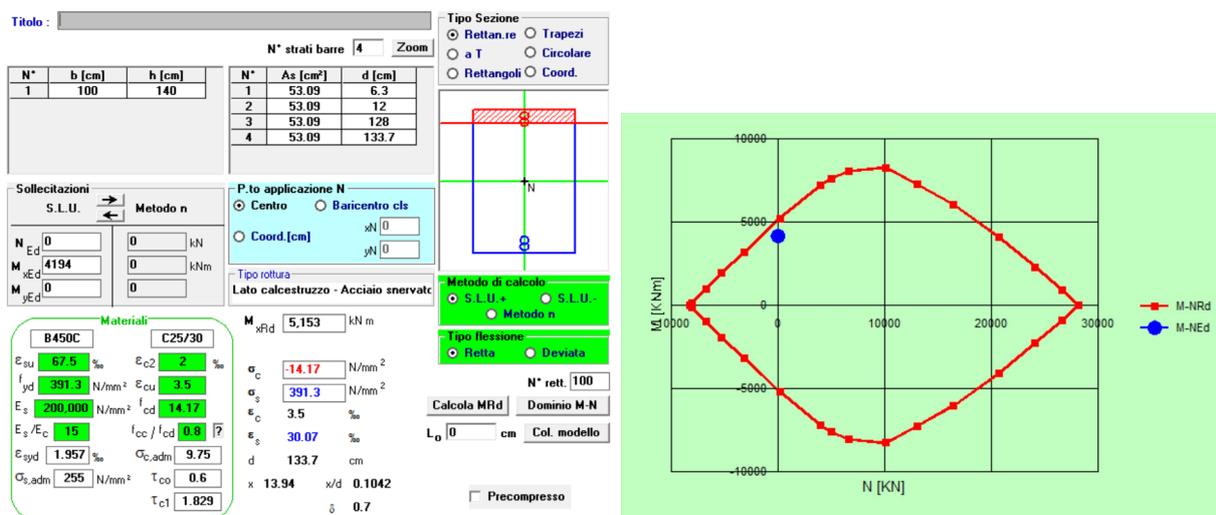


Figura 8-12 Calcolo del momento resistente dei piedritti – confronto con la sollecitazione massima attesa

Dalla figura precedente è possibile osservare come la resistenza dell'elemento strutturale risulti superiore alla sollecitazione massima attesa. Si può osservare, inoltre, che a favore di sicurezza le verifiche sono state eseguite trascurando l'effetto benefico dello sforno normale e in presenza di una classe di resistenza del calcestruzzo inferiore.

Si riporta nel seguito (Figura 8-13) la verifica al taglio della sezione in esame. Il taglio massimo risulta inferiore alla resistenza ottenuta disponendo 3 spille al metro del diametro 1.4 cm con passo 20 cm.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	39 di 42

Per quanto affermato in precedenza, le verifiche al taglio e momento della sezione in esame risultano soddisfatte in presenza di quantitativi di armatura rispettosi dei criteri espressi nella normativa vigente e conferma dell'adeguato dimensionamento strutturale.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE			
Base della sezione trasversale:	b	100.00	[cm]
Altezza della sezione trasversale:	h	140.00	[cm]
Copriferro netto:	c	5.00	[cm]
Altezza utile della sezione:	d	135.00	[cm]

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Classe di resistenza del calcestruzzo:		C32/40	
Resistenza caratteristica cubica a compressione:	R _{ck}	40.00	[N/mm ²]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:	f _{ck}	33.20	[N/mm ²]
Resistenza di calcolo a compressione:	f _{cd}	18.81	[N/mm ²]
Tipologia dell'acciaio da armatura:		B450C	
Tensione caratteristica di rottura:	f _{ik}	540.00	[N/mm ²]
Tensione caratteristica di snervamento:	f _{yk}	450.00	[N/mm ²]
Resistenza di calcolo:	f _{yd}	391.30	[N/mm ²]

AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO			
Azione tagliante di calcolo:	V _{S,d}	786.00	[kN]
Azione normale di calcolo:	N _{S,d}	0.00	[kN]

ARMATURA TRASVERSALE			
Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo:	θ	45.00	[°]
Cotangente dell'angolo θ:	cot(θ)	1.00	
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave:	α	90.00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale:	n	3.00	
Passo longitudinale delle armature trasversali:	s	20.00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale:	Ø _{travsv}	14.00	[mm]
Area della singola barra:	A _{barra}	1.54	[cm ²]
Area totale dell'armatura trasversale:	A _{tot}	23.10	[cm ² /m]

VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO			
La verifica allo S.L.U. per taglio viene condotta secondo quanto previsto dalle NTC2018, par.4.1.2.3.5.2			
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione:			
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{travsv}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$ [4.1.27]			
La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione:			
$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$ [4.1.28]			
Larghezza minima della sezione:	b _w	100.00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	v·f _{cd}	9.41	[N/mm ²]
Tensione media di compressione nella sezione:	σ _{cp}	0.000	[N/mm ²]
Coefficiente maggiorativo α _c :	α _c	1.0000	
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	V _{Rsd}	1.098.25	[kN]
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESSIONE"	V _{Rcd}	5.714.55	[kN]
AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:	V _{R,d}	1.098.25	[kN]
COEFFICIENTE DI SICUREZZA:	F _s = V _{R,d} /V _{S,d}	1.40	

LA VERIFICA RISULTA POSITIVA	
------------------------------	--

Figura 8-13 calcolo della resistenza a taglio dei piedritti

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	40 di 42

8.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

8.5.1 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLO SCORRIMENTO

In presenza di azione sismica è stata verificata la stabilità dell'opera nei confronti dello scorrimento. Nel calcolo dell'azione resistente è stata considerata la presenza della presenza del materiale di riempimento dello strato bonificato al quale è stato assegnato un angolo di attrito pari a 35 gradi. L'azione destabilizzante dovuta alla spinta del terreno e al sisma è stata calcolata tenendo conto anche della componente verticale del sisma diretta verso l'alto.

In Figura 8-14 sono riassunti i risultati della verifica a scorrimento. Come si può osservare il fattore di sicurezza risulta superiore al limite normativo imposto di 1.1. Ne consegue che la verifica risulta soddisfatta.

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo					
Spinte e Pressioni		Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max	
Pressione in calotta [kg/cmq]	0.377289	Angolo di diffusione dei carichi [°]	35.00		
Risultante direzione X [kN]	1331.81	Risultante direzione Y [kN]	2158.80		
Piedritto sinistro		Piedritto destro			
Coefficiente di spinta	0.4264	Coefficiente di spinta	0.0000		
Spinta statica [kN]	540.41	Spinta statica [kN]	0		
Coefficiente di spinta sismico	0.5915	Coefficiente di spinta sismico	0.5915		
Incremento sismico [kN]	336.83	Incremento sismico [kN]	0.00		
Pressione max sul terreno [kg/cmq]	3.06				
Coefficiente scorrimento	1.13	Coefficiente ribaltamento	2.99		
Carico limite della fondazione [kN]	--		dettagli >>		
Falda					
Pressione in calotta [kg/cmq]	--		Spinta [kN]	--	
			Sottospinta [kg/cmq]	--	
Combinazioni analizzate		2			

<< Comb. 1 >> Chiudi Help

Figura 8-14 Riepilogo dei risultati della verifica a scorrimento

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del nuovo Bypass Ferroviario di Augusta sulla tratta Catania -					
	STRUTTURE SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento	COMMESSA RS60	LOTTO 00	CODIFICA R11_RH	DOCUMENTO SL02 0001	REV. B

8.5.2 VERIFICA A CARICO LIMITE

A completamento delle verifiche di sicurezza geotecniche si riporta la verifica a carico limite dello scatolare. La pressione massima calcolata allo stato limite ultimo risulta pari a 360 kPa (Figura 8-15).

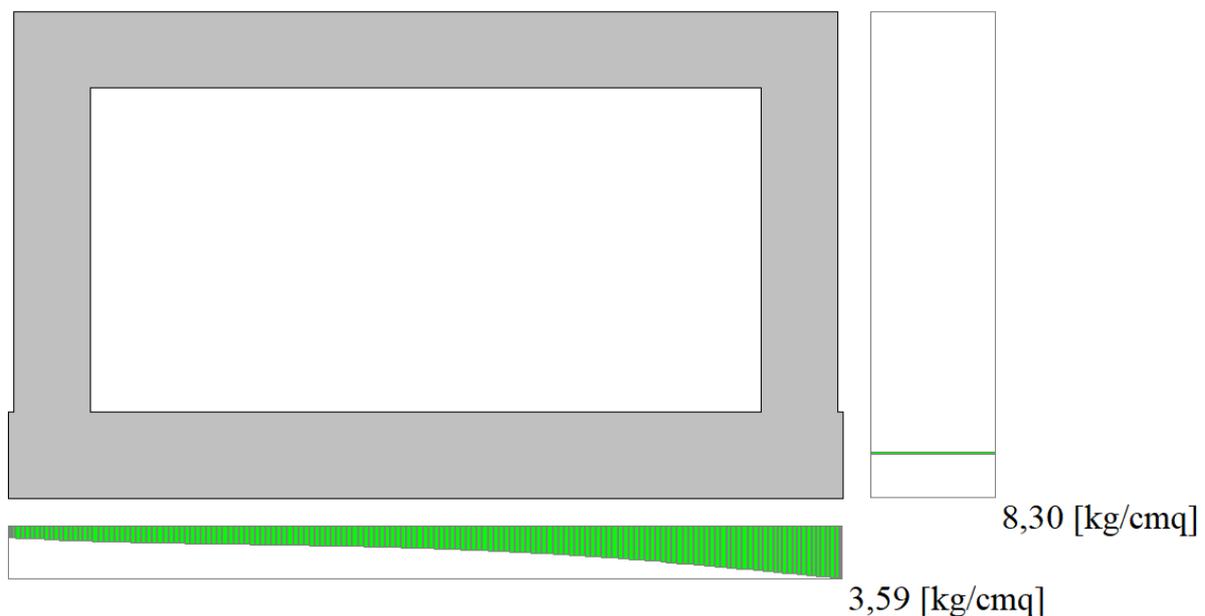


Figura 8-15 pressioni massime trasferite al terreno in condizioni di stato limite ultimo

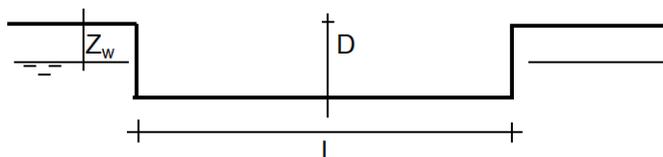
Si riporta di seguito il calcolo del carico limite ultimo eseguito con le seguenti ipotesi:

- L'angolo di attrito alla base del manufatto è stato posto a 28° cioè pari all'angolo di attrito di resistenza stimato per il terreno di fondazione migliorato tramite la realizzazione di pali in ghiaia e per i terreni di riporto;
- Schema di fondazione nastroforme considerando la larghezza dell'opera in fondazione;
- Falda posta a 20 m di profondità;
- Sovraccarico laterale associato a 3 m di terreno.

STRUTTURE

SL02 Relazione tecnico descrittiva e predimensionamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS60	00	R11_RH	SL02 0001	B	42 di 42



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B	=	15.30	(m)
L	=	100.00	(m)
D	=	3.00	(m)

Si riporta di seguito l'espressione utilizzata per il calcolo del carico limite:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Nella quale si è indicato con:

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

Con le ipotesi riportate in precedenza si ottiene un carico limite in condizioni sismiche SLV (γ_r pari a 2.3), che risultano le più gravose, pari a 580 kPa, quindi superiore alla pressione massima attesa per la struttura in esame. Ne consegue che la verifica per collasso dovuto al raggiungimento del carico limite del terreno è soddisfatta.