

PROVINCIA DI BOLOGNA

Settore Lavori Pubblici

STRADA

S.P. 569 "DI VIGNOLA"

LAVORO

***COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE GENERALE ALLA
S.P. 569 E VARIANTE ALLA S.P. 27 E ALLA S.P. 78 NEI
COMUNI DI CREPELLANO E BAZZANO***

ELABORATO

**RELAZIONI E CALCOLI STRUTTURE
OPERE D'ARTE PRINCIPALI
VARIANTE S.P. N°569 DI "VIGNOLA"**

**SOTTOPASSI STRADALE E FERROVIARIO VIA CA' ROSSA prog. km 7+512
RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI ED ELEVAZIONI**

PROGETTAZIONE GENERALE

PROGETTISTA

Geom. Emanuele Tracchi

Dott. Ing. Marco Ferrarini

Dott. Ing. Chiara Ferrari

P.i.e. Stefano Romagnoli

Geom. Federico Vannucchi

**IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO**

Dott. Ing. Pietro Luminasi

**Servizio
Progettazione
e Costruzioni
Stradali**

DATA **LUGLIO 2013**

N.

B.2.1.12

SCALA

-

RIFERIMENTO :

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE STRUTTURALE



1

09/12/2013

revisione

0

16/07/2013

emissione

REVISIONE

DATA

MODIFICA

**QUESTO DISEGNO E LA RELATIVA INVENZIONE SONO DI PROPRIETA' DELL'AMMINISTRAZIONE
NON NE E' CONSENTITO L'UTILIZZO SE NON SU ESPLICITA AUTORIZZAZIONE
OGNI DIRITTO A TALE RIGUARDO E' ESPRESSAMENTE RISERVATO ED ESCLUSIVO**

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA E RIFERIMENTI	9
3	CRITERI DI CALCOLO	10
	3.1 Combinazioni di carico	10
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	11
	4.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni.....	11
	4.2 Conglomerato cementizio per bulbi tiranti, cordoli e soletta di fondo.....	11
	4.3 Acciaio per cemento armato	11
	4.4 Copriferro minimo e copriferro nominale	11
	4.5 Aderenza barre in c.a.	12
	4.6 Acciaio per palancolati e travi di ripartizione.....	12
5	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	13
6	CARATTERISTICHE DEI TERRENI CONSIDERATI.....	14
7	CALCOLO DEL SOTTOPASSO STRADALE.....	15
	7.1 Modello di calcolo	15
	7.2 Riepilogo dei risultati.....	22
	7.3 Verifiche di resistenza	25
	7.3.1 Verifiche dell'interazione terreno-paratia	25
	7.3.2 Verifiche strutturali palancola.....	30
	7.3.3 Verifica dei tiranti	33
	7.3.4 Verifica del cordolo di sommità e travi di contrasto e soletta di fondo.....	37
8	CALCOLO DELLE PARATIE DEL SOTTOPASSO FERROVIARIO	47
	8.1 Modello di calcolo	47
	8.2 Riepilogo dei risultati.....	54
	8.3 Verifiche di resistenza	57
	8.3.1 Verifiche dell'interazione terreno-paratia	57
	8.3.2 Verifiche strutturali palancola.....	62
	8.3.3 Verifica dei tiranti	65
	8.3.4 Verifica del cordolo di sommità e travi di contrasto e soletta di fondo.....	70
	8.3.5 Verifica dello sbalzo in c.a. per la sostituzione degli appoggi.....	80
9	CALCOLO DELLE PARATIE DEI TRATTI A CIELO APERTO	84
	9.1 Modello di calcolo	84
	9.2 Riepilogo dei risultati.....	90

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 2 di 193

9.3	Verifiche di resistenza	93
9.3.1	<i>Verifiche dell'interazione terreno-paratia</i>	<i>93</i>
9.3.2	<i>Verifiche strutturali palanca</i>	<i>96</i>
9.3.3	<i>Verifica dei tiranti</i>	<i>99</i>
9.3.4	<i>Verifica del cordolo di sommità e travi di contrasto e soletta di fondo.....</i>	<i>104</i>
10	CALCOLO DELLE PARATIE DELLA VASCA DI RACCOLTA ACQUE	114
10.1	Modello di calcolo	114
10.2	Riepilogo dei risultati	119
10.3	Verifiche di resistenza	122
10.3.1	<i>Verifiche dell'interazione terreno-paratia</i>	<i>122</i>
10.3.2	<i>Verifiche strutturali palanca.....</i>	<i>125</i>
10.3.3	<i>Verifica del cordolo di sommità</i>	<i>128</i>
11	CALCOLO DELLA SOLETTA SUPERIORE DELLA VASCA DI RACCOLTA ACQUE.....	136
12	VERIFICA DELLE TESTATE DEI TIRANTI DEL SECONDO ORDINE	150
13	CALCOLO DEGLI IMPALCATI	164
14	VERIFICA GIUNTI.....	165
15	VERIFICA APPOGGI	167
16	VERIFICA BAGGIOLO	171
17	VERIFICA RITEGNO SISMICO	172
18	VERIFICA PER URTO SULLE BARRIERE DI SICUREZZA	173
19	VERIFICHE A FATICA	185
20	VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	188
21	VERIFICA DEL RISCHIO DI ACCOPPIAMENTO DELLE FREQUENZE TERRENO-STRUTTURA	190
22	VERIFICHE CON METODI SEMPLIFICATI	191
23	DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2008 (PUNTO 10.2)	192
23.1	Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo	192
23.1.1	<i>Tipo di analisi svolta.....</i>	<i>192</i>
23.1.2	<i>Origine e caratteristiche dei codici di calcolo.....</i>	<i>192</i>
23.1.3	<i>Affidabilità dei codici di calcolo</i>	<i>193</i>
23.1.4	<i>Modalità di presentazione dei risultati.....</i>	<i>193</i>
23.1.5	<i>Informazioni generali sull'elaborazione.....</i>	<i>193</i>
23.1.6	<i>Giudizio motivato di accettabilità dei risultati</i>	<i>193</i>

Allegati:

- TABULATI RELATIVI ALL'OUTPUT DEL PROGRAMMA PARATIE PLUS 2012

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 4 di 193

1 PREMESSA

Nell'ambito del Progetto Esecutivo relativo al "Completamento della variante generale alla S.P. n.569 e realizzazione delle varianti alla S.P. n.27 "Valle del Samoggia" e alla S.P. n.78 "Castelfranco - Monteveglio" nei Comuni di Bazzano e Crespellano" in Provincia di Bologna, si prevede la realizzazione di un sottopasso stradale, in corrispondenza di via Ca' Rossa, per l'intersezione con la variante alla S.P. n. 569 e la linea ferroviaria Bologna – Vignola.

Tale sottopasso è costituito da palancole intirantate sormontate da un impalcato stradale e uno ferroviario in corrispondenza delle relative intersezioni.

E' inoltre oggetto di questa relazione il calcolo del tratto a cielo aperto compreso tra i due sottopassi, delle rampe di accesso e della vasca di raccolta acque prevista.

Nelle seguenti figure sono illustrate le caratteristiche dell'intervento:

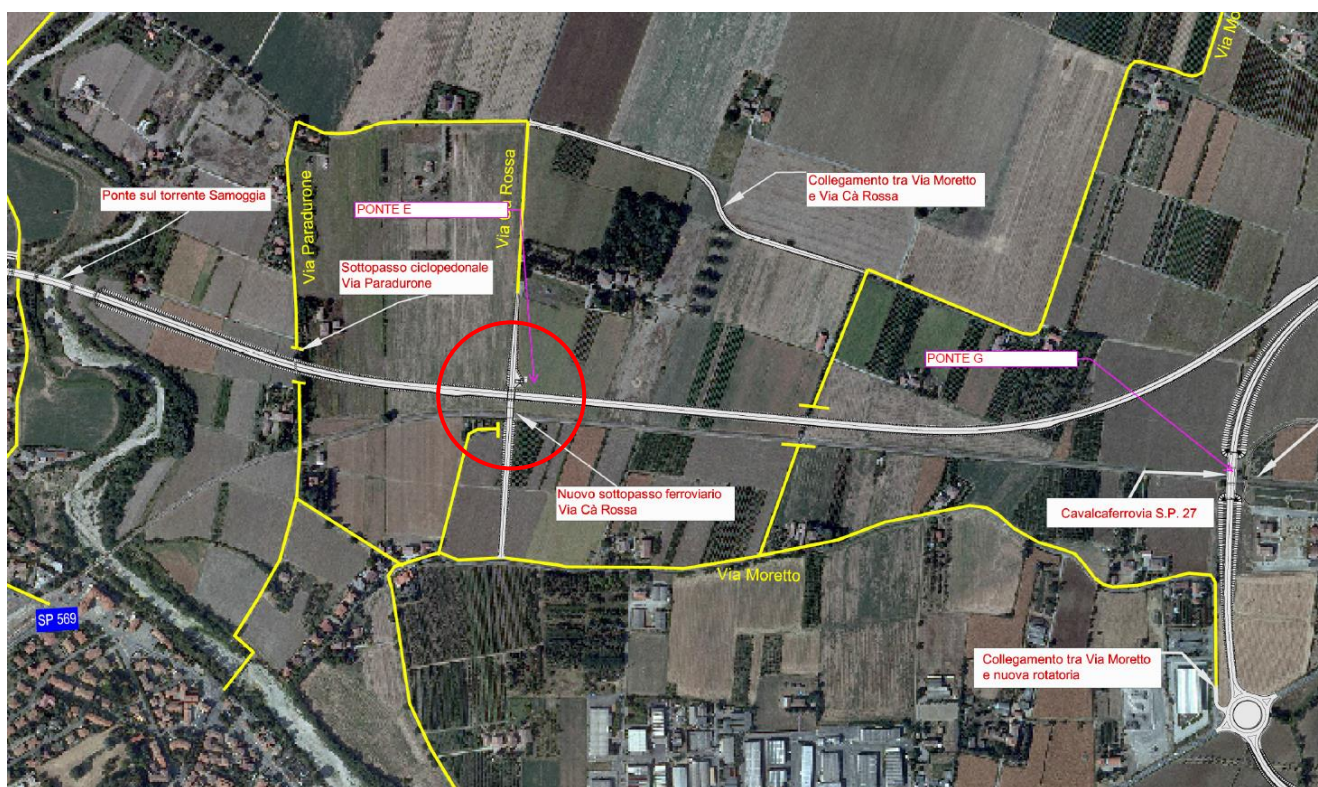
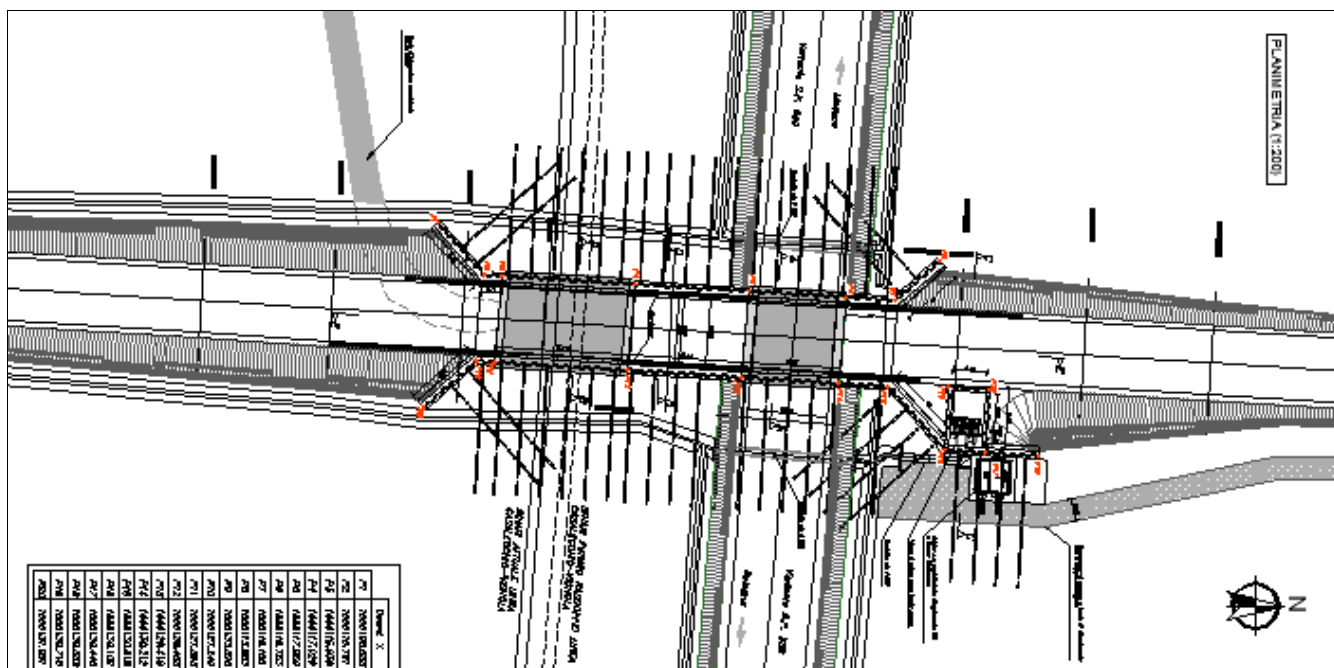
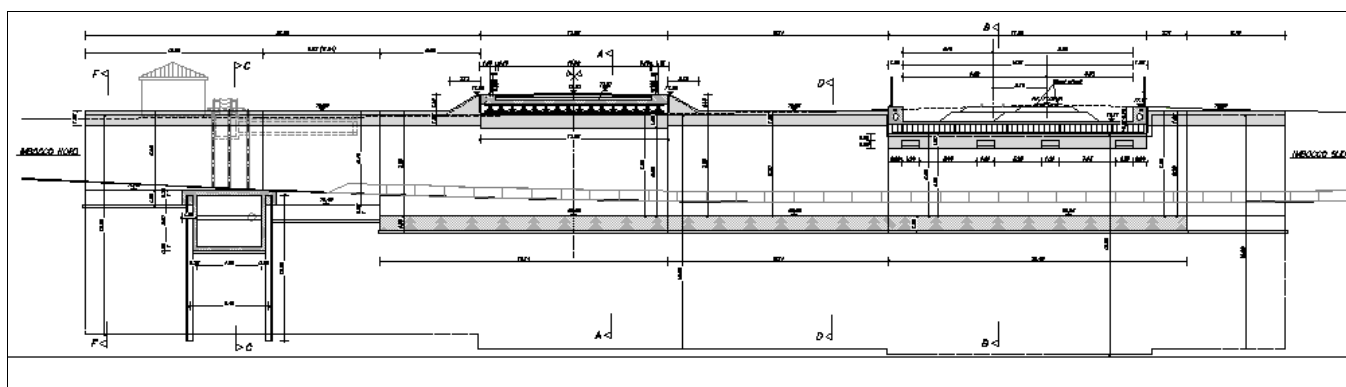


Foto aerea della zona d' intervento

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 5 di 193



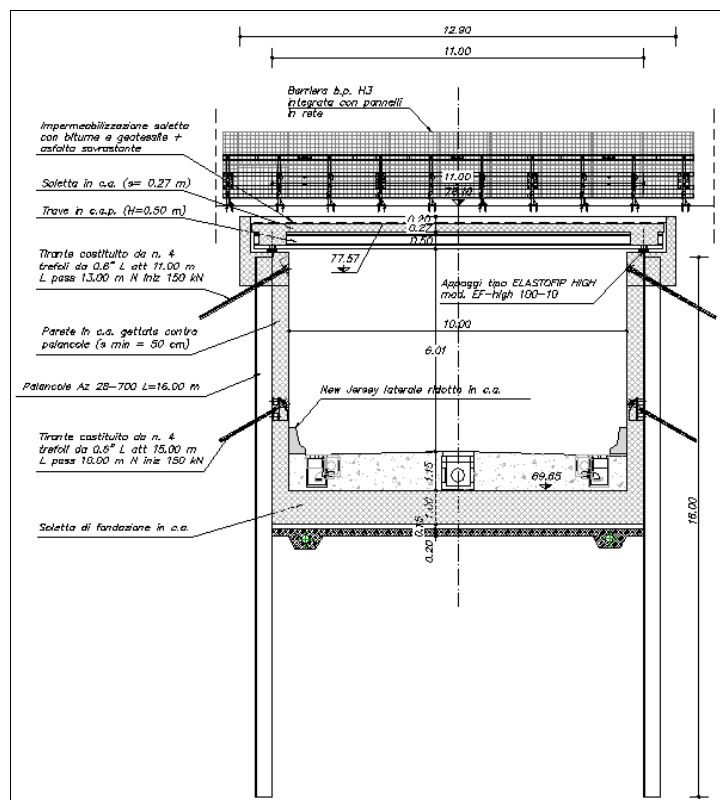
Planimetria di progetto



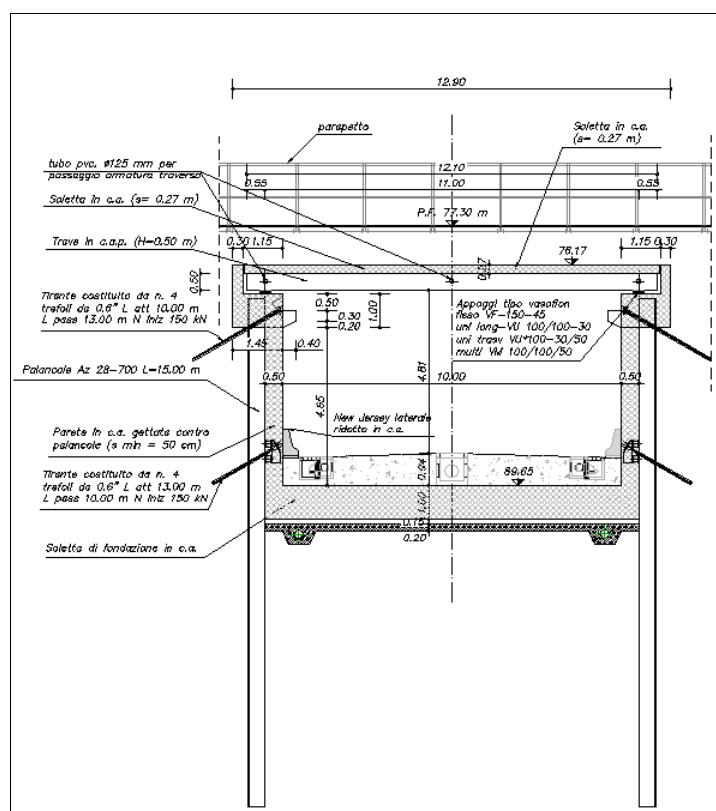
Sezione longitudinale

Per le indicazioni relative alla sostituzione degli appoggi ed ai relativi martinetti si rimanda agli elaborati grafici.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 6 di 193

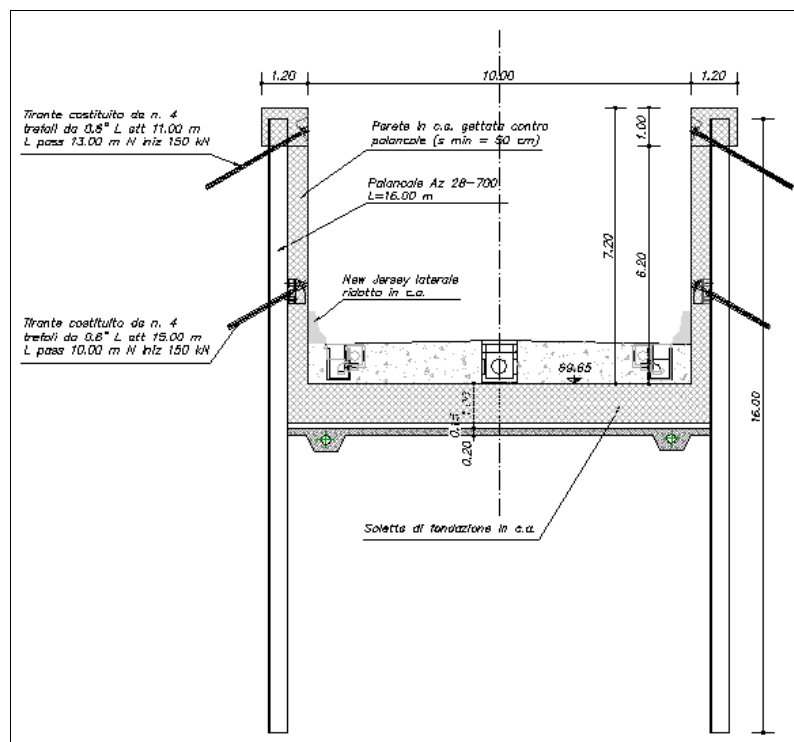


Sezione tipo sottopasso stradale

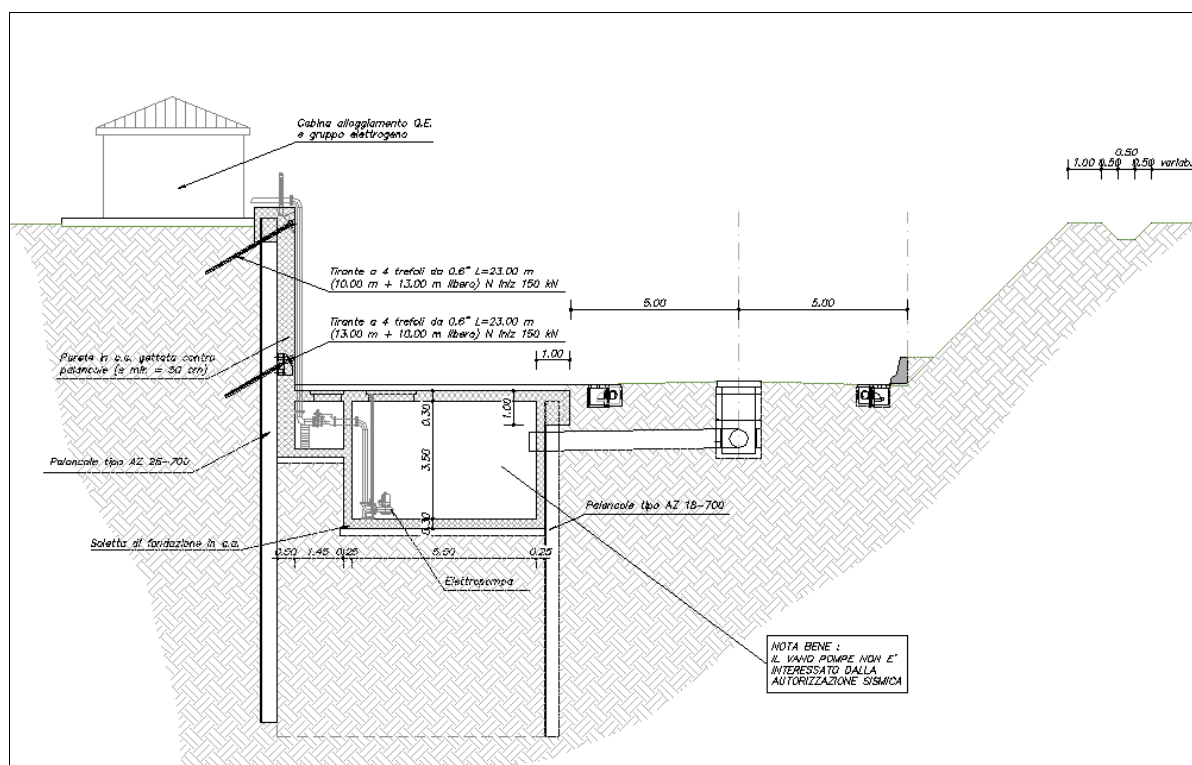


Sezione tipo sottopasso ferroviario

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 7 di 193



Sezione tipo tratto a cielo aperto



Sezione vasca di raccolta acque

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 8 di 193

2 NORMATIVA E RIFERIMENTI

- D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 “Istruzione per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”;
- UNI EN 1991-2-4 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: “Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi”;
- UNI EN 1993-1-1 (Eurocodice 3) – Ottobre 1993: “Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”;
- UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti”;
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- CNR 10024/86 – Analisi mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.

Il calcolo e le verifiche degli elementi strutturali, del terreno e dell’interazione struttura-terreno sono effettuati secondo il metodo degli stati limite in base alle NTC2008 e relative specificazioni.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 9 di 193

3 CRITERI DI CALCOLO

In ottemperanza al *D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni)*, i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

3.1 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto al Cap. 2 delle NTC.

Gli stati limite ultimi delle opere interrate si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso, determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera.

I carichi sono denominati:

- ✓ G_k valore caratteristico del carico permanente, costituito dai pesi propri e dalla pressione del terreno;
- ✓ Q_k valore caratteristico di carichi accidentali di tipo stradale.
- ✓ E azione sismica

Come già anticipato, le verifiche sono tutte effettuate nei riguardi degli stati limite ultimi SLU, sismici SLV e di esercizio SLE.

Gli stati limite introducono dei coefficienti moltiplicativi γ sulle azioni di calcolo, generalmente maggiori dell'unità.

Parimenti per le resistenze dei materiali si introducono dei coefficienti riduttivi applicati alle resistenze dei materiali.

Combinazione fondamentale agli SLU:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Combinazioni agli SLE:

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (fessurazione/stato tensionale) si definiscono le seguenti combinazioni:

Frequente	\Rightarrow	$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
Quasi permanente	\Rightarrow	$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
Rara	\Rightarrow	$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Nelle NTC sono contenute le diverse tabelle con i coefficienti moltiplicativi da utilizzare per le varie combinazioni SLU ed SLE.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 10 di 193

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali.

4.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni

Classe	C12/15
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 15 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 12 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	-
Classe di consistenza	S4 / S5
Copriferro minimo	-

4.2 Conglomerato cementizio per bulbi tiranti, cordoli e soletta di fondo

Classe	C32/40
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 40 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 32 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5 = 18.13 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 3.02 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk 0,05} = 0,7 * f_{ctm} = 2.12 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c = 1.41 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck} = 19.20 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi Perm.)	$\sigma_c = 0.45 * f_{ck} = 14.40 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC2 – XC4 – XF2
Classe di consistenza	S4

4.3 Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1,15 = 391,30 \text{ N/mm}^2$

4.4 Copriferro minimo e copriferro nominale

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 11 di 193

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale c_{nom} è somma di due contributi, il copriferro minimo c_{min} e la tolleranza di posizionamento h . Vale pertanto: $c_{nom} = c_{min} + h$.

La tolleranza di posizionamento delle armature h , per le strutture gettate in opera, può essere assunta pari ad almeno 5 mm. Considerata la Classe di esposizione ambientale dell'opera, si adotta un copriferro minimo pari a mm, pertanto $c_{nom} = \text{mm}$, valore valido per tutte le parti di struttura.

Il copriferro netto minimo considerato per le opere in oggetto è pari a 4 cm.

4.5 Aderenza barre in c.a.

Si valuta la condizione cautelativa di una struttura realizzata con calcestruzzo classe minima C25/30 e acciaio per c.a. B450C sfruttato al 70% con un diametro inferiore a $\varnothing 32$ mm; seguono i seguenti valori minimi di lunghezza di ancoraggio per barre in zona tesa e compressa :

$$l_{min} = \frac{1}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \times \phi$$

$$l_{min} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_{min_zona_tesa}}{\phi} \rightarrow \frac{1}{4} \times \frac{450 \times 0.70}{\frac{2.5 \times 1 \times 0.7 \times 0.3 \times 25^{2/3}}{1.5 \times 1.5}} \\ \frac{l_{min_zona_compr}}{\phi} \rightarrow \frac{1}{4} \times \frac{450 \times 0.70}{\frac{2.5 \times 1 \times 0.7 \times 0.3 \times 25^{2/3}}{1.5}} \end{array} \right\}$$

$$l_{min \text{ zona tesa}} = [56 \varnothing]_{100\%} = [40 \varnothing]_{70\%}$$

$$l_{min \text{ zona compr}} = [38 \varnothing]_{100\%} = [30 \varnothing]_{70\%}$$

Come prescrizione minima, a meno di valutazioni specifiche, si adottano :

$$l_{min \text{ zona tesa}} = 40 \varnothing$$

$$l_{min \text{ zona compr}} = 30 \varnothing$$

4.6 Acciaio per palancolati e travi di ripartizione

Per le palancole costituenti le nuove banchine e per quelle provvisionali si prevede acciaio tipo S355, avente le seguenti caratteristiche:

- $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$
- $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 12 di 193

5 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

I software utilizzati per i calcoli delle opere in esame sono di seguito elencati:

- PARATIE PLUS 2012 (ver. 10.0.1.0) distribuito da CeAS S.r.l. di Milano per il progetto e la verifica delle paratie e per la verifica di stabilità globale (MODULO "VSP");
- PROVLIM 2011 distribuito da 2si di Ferrara per la verifica delle sezioni in calcestruzzo armato.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 13 di 193

6 CARATTERISTICHE DEI TERRENI CONSIDERATI

In accordo con la relazione geologico-geotecnica allegata al presente progetto, nei modelli di calcolo si è considerata la seguente caratterizzazione geotecnica::

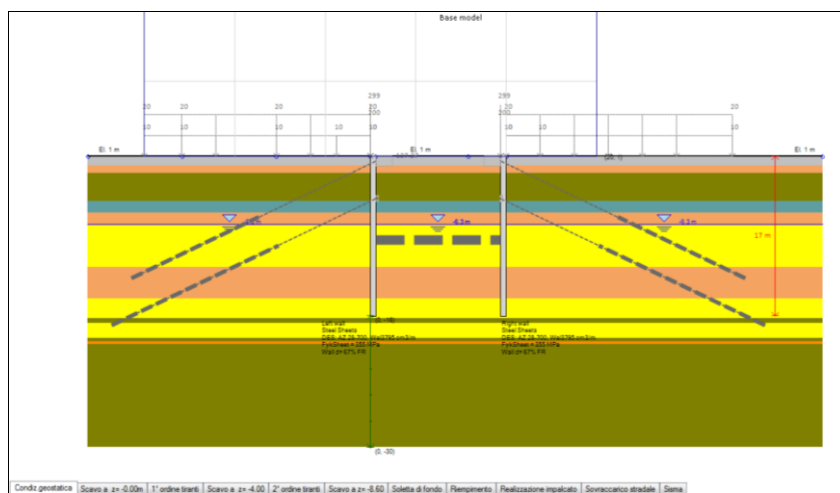
CPTU 6 - S4		falda a -6,3 dal P.C.		
stratigrafia	profondità (m)	cu (KN/m2)	γ_{sat} (KN/m3)	ϕ' k
sabbia limosa	0,80	62,68	18,8	28,40
limo con argilla	2,00	188,48	20,2	29,70
limo argilloso	3,80	100,48	19,3	24,58
argilla limosa	5,00	75,24	19,5	21,29
limo argilloso	6,40	97,57	19,2	21,35
ghiaia media in matrice sabbiosa	8,40		19,4	29,95
argilla sabbiosa	9,00	91,90	20	20,24
argilla limosa con calcinelli	10,00	76,07	19,5	19,09
argilla limosa + calcinelli	10,80	62,99	19,2	17,89
limo debolmente sabbioso	11,80	30,53	18,4	14,81
limo argilloso	13,00	57,36	18,8	17,35
limo argilloso grigio	14,20	34,50	17,9	13,98
ghiaia sabbiosa	15,00		21,4	27,40
ghiaia media in matrice sabbiosa	16,30		20,6	31,91
limo con argilla	16,8	100,00	19,1	16
ghiaia in matrice sabbiosa	17,7		24,52	38,48
argilla limosa	18,1	110,00	19,6	15,6
ghiaia in matrice sabbiosa	18,4		23,4	36
limo con argilla	18,7	200,00	19,4	16,7
ghiaia media in matrice sabbiosa	19		23,7	35
limo con argilla	20	150,00	19,8	16,9

Per il dettaglio completo dei parametri geotecnici inseriti nei modelli di calcolo, fase per fase e combinazione per combinazione, si rimanda ai tabulati di calcolo allegati al progetto.

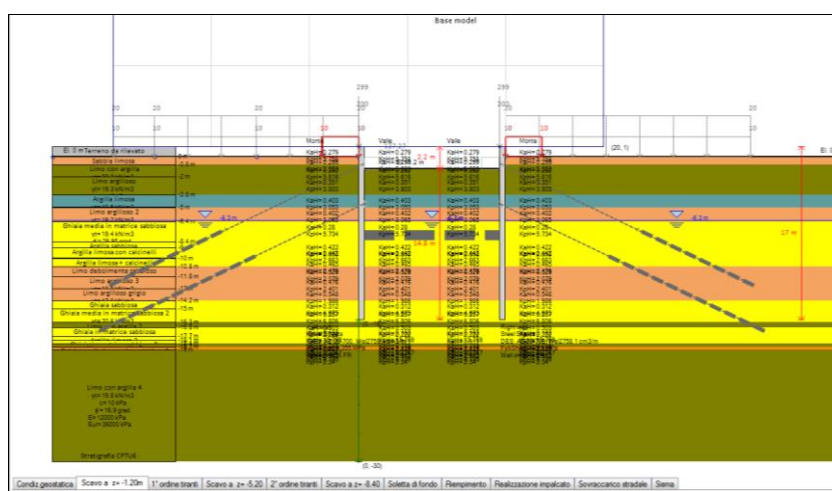
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 14 di 193

- Scavo fino a quota -5.20m dal p.c.;
- Realizzazione del 2°ordine di tiranti;
- Scavo fino a quota -8.40m dal p.c. (fondo scavo);
- Realizzazione della soletta di fondo e delle pareti di rivestimento;
- Riempimento del sottopasso e realizzazione del pacchetto stradale;
- Realizzazione dell'impalcato superiore e del rilevato stradale a tergo delle paratie.

Il calcolo non lineare agli elementi finiti dell'interazione terreno – struttura è stato effettuato passo per passo, considerando la seguente successione di fasi (tutte le quote espresse sono riferite al livello del piano campagna):

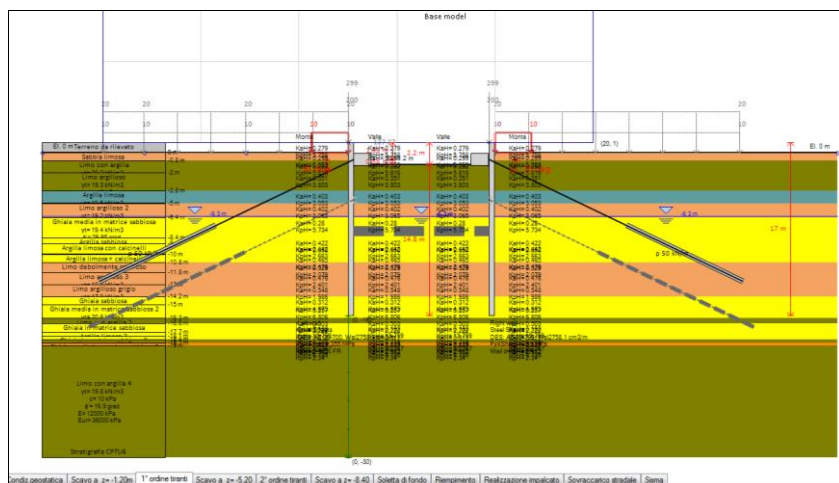


Fase 0 – Condizione geostatica

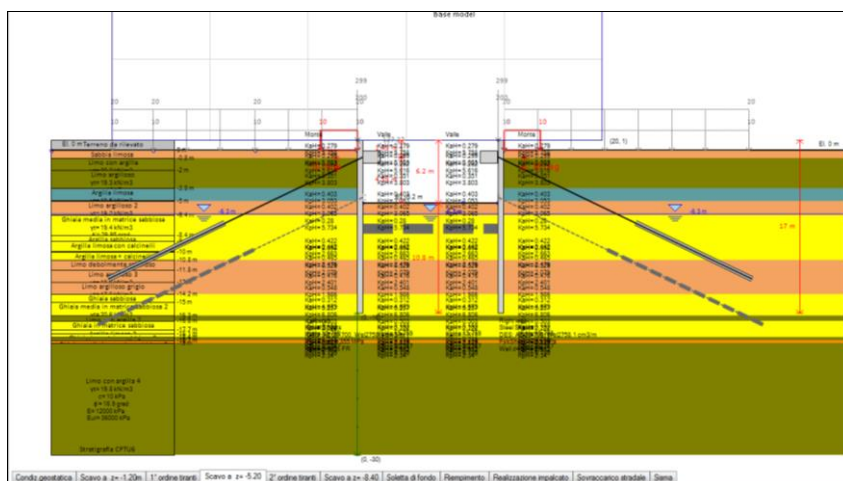


Fase 1 – Scavo a $z=-1.20m$ e applicazione sovraccarico 10 kPa a monte della paratia

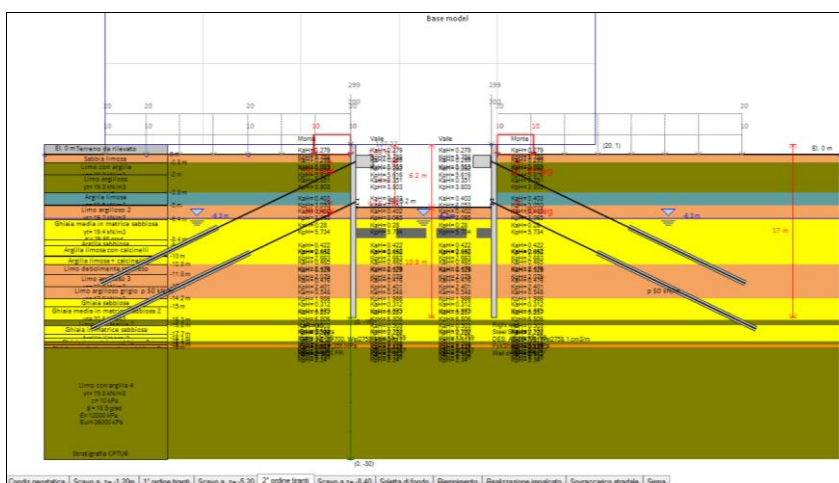
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 16 di 193



Fase 2 – Realizzazione del 1° ordine di tiranti e loro pretensionamento (150 kN/tirante)

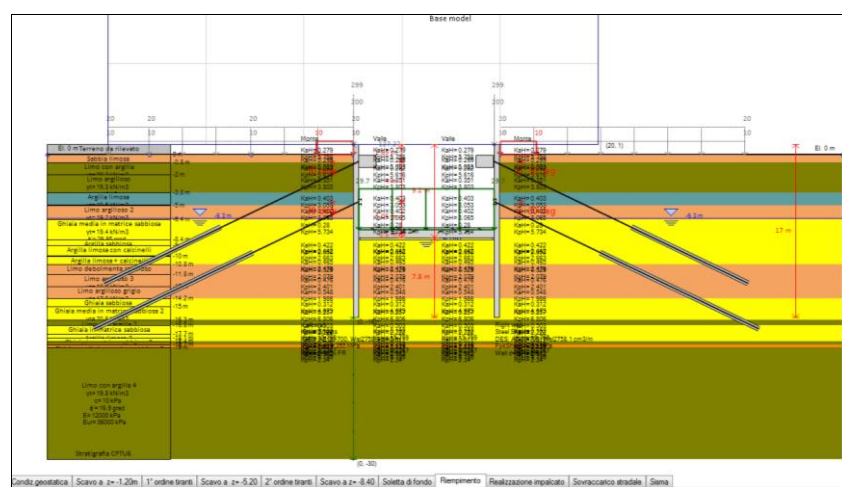
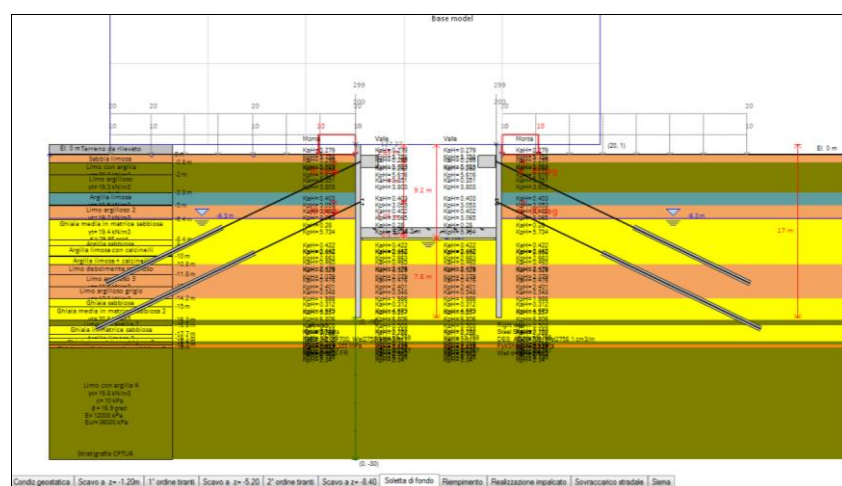
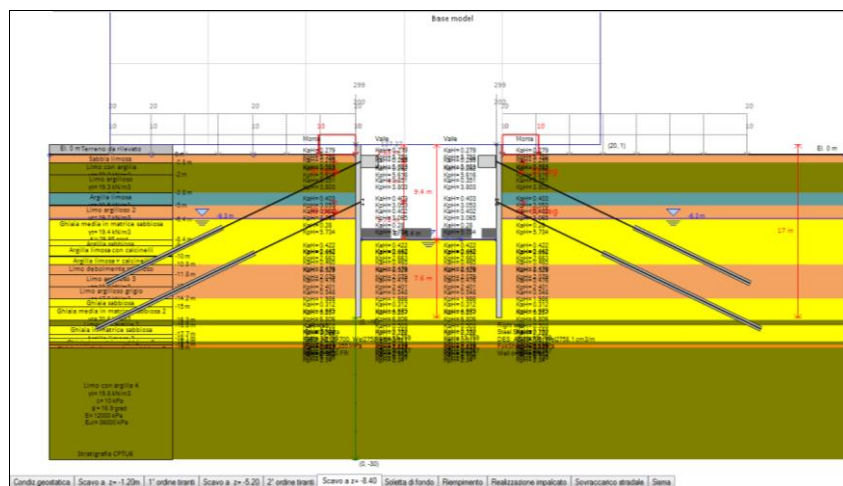


Fase 3 – Scavo a z = - 5.20m

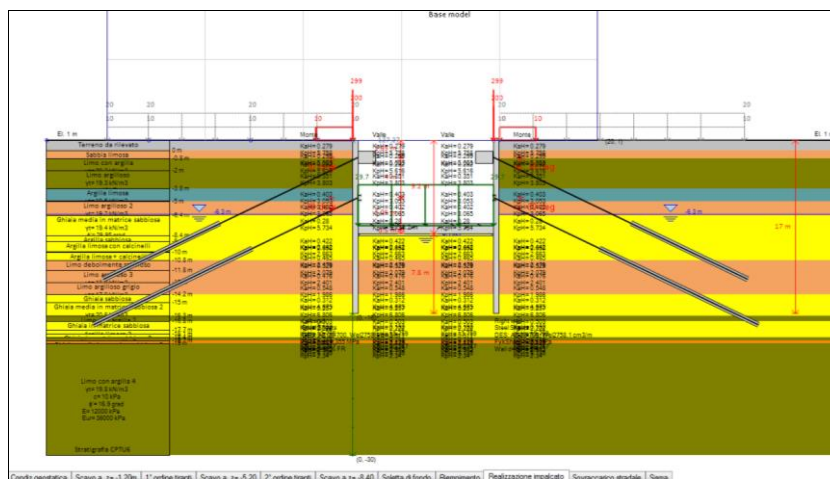


Fase 4 – Realizzazione del 2° ordine di tiranti e loro pretensionamento (150 kN/tirante)

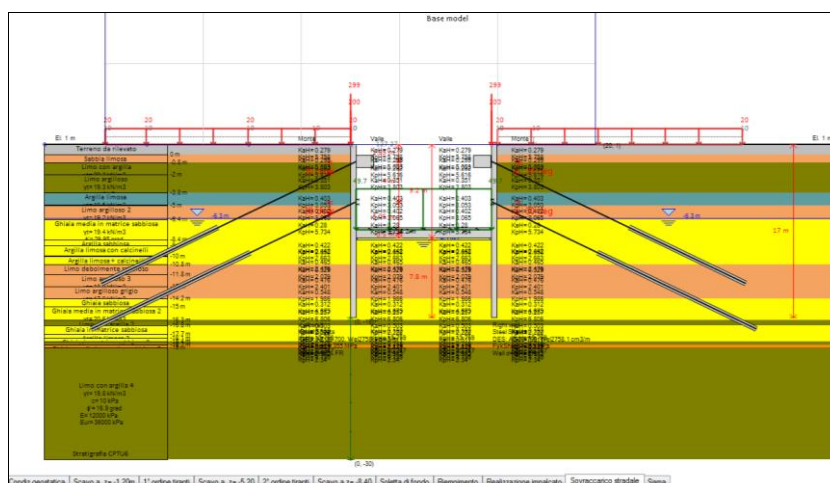
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 17 di 193



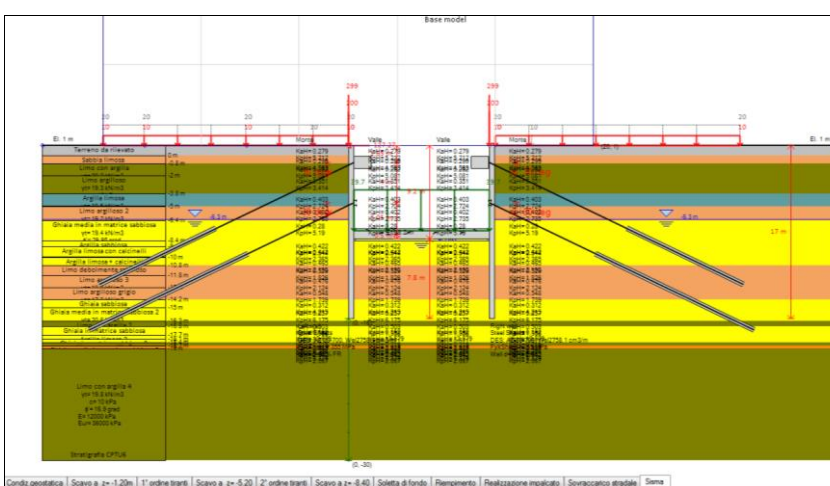
Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 18 di 193



Fase 8 – Realizzazione impalcato e rilevato stradale



Fase 9 – Applicazione del sovraccarico stradale sull'impalcato e sul terreno di monte ($q=20 \text{ kPa}$)



Fase 10 – Condizioni sismiche

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 19 di 193

Il livello di falda, stimato a quota -6,30m dal piano campagna, è considerato abbattuto a fondo scavo internamente alle paratie durante le fasi di esecuzione mediante continuo aggettamento.

A monte della paratia si è considerata la presenza di mezzi da cantiere durante le fasi realizzative mediante l'applicazione di un sovraccarico accidentale pari a 10 kPa, mentre in fase di esercizio si è considerato un sovraccarico stradale pari a 20 kPa.

La presenza dell'impalcato stradale in testa alle paratie é stata considerata mediante l'applicazione delle seguenti forze concentrate per ognuna delle due paratie:

- $V_G = 299.04 \text{ kN/m}$
- $V_Q = 199.96 \text{ kN/m}$
- $H_{\text{sis}} = 127.27 \text{ kN/m}$

in accordo con quanto determinato nella relazione specifica sugli impalcati.

Tali valori derivano dagli involuppi delle reazioni vincolari in corrispondenza degli appoggi dell'impalcato; si tratta dunque dei valori massimi emersi dalle varie combinazioni considerate nel calcolo dell'impalcato, distribuiti uniformemente sulla larghezza di appoggio dell'impalcato sulle paratie.

Il riempimento di terreno arido a valle delle paratie, utilizzato per la realizzazione della strada, è stato trascurato ai fini della resistenza passiva e considerato come solo carico verticale sulla soletta di fondo.

Si sottolinea inoltre come le pareti in c.a. di rivestimento interno del sottopasso non siano state considerate collaboranti ai fini strutturali.

Per quanto concerne la valutazione degli effetti dell'azione sismica, applicata a struttura ultimata, si sono considerati i parametri riportati nella seguente figura di input del programma Paratie Plus 2012:

Tabella di input parametri sismici

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 20 di 193

Il programma di calcolo, non effettuando un'analisi modale della struttura (che condurrebbe a risultati di scarsa affidabilità essendo la struttura interrata), considera attivate dall'accelerazione sismica il 100% delle masse dell'impalcato e della paratia stessa, portando a risultati assolutamente cautelativi rispetto a quanto prescritto nel paragrafo 7.3.3.1 delle NTC2008.

Gli effetti sulle paratie dovuti alle eccentricità accidentali sono stati trascurati data la tipologia di opera in esame, essendo le spalle dell'impalcato costituite da strutture correnti con sviluppo di diverse decine di metri, in grado dunque di ripartire tali effetti locali sulla loro lunghezza complessiva.

Considerando l'altezza del livello di falda e la natura dei terreni interessati, si è svolta un'analisi della struttura considerando un comportamento drenato dei terreni.

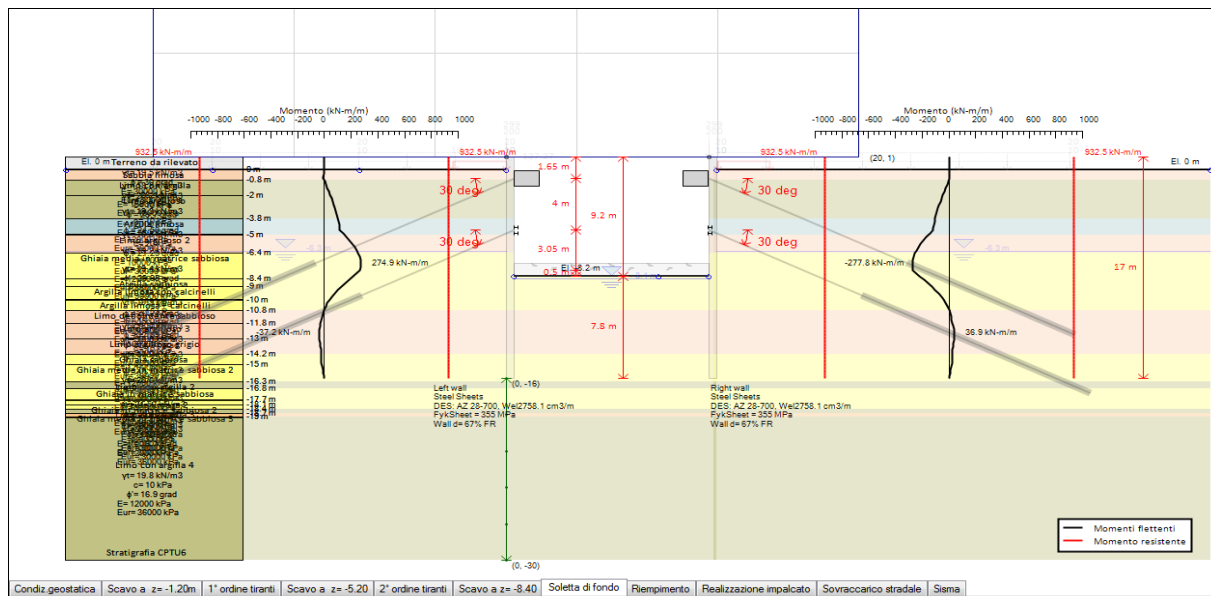
Le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte considerando le seguenti combinazioni, in accordo con la Norma:

- SLE – RARE
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SLU – A1 + M1 + R3;
- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA GEO;
- SISMA STR.

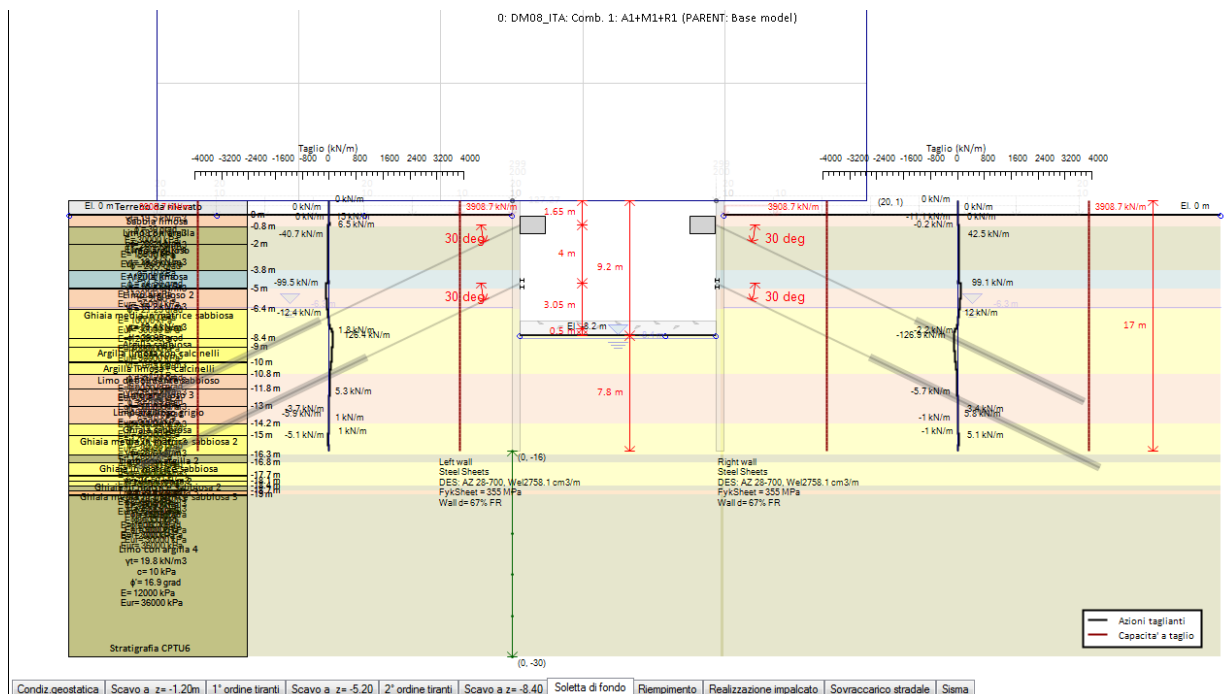
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 21 di 193

7.2 Riepilogo dei risultati

Si riportano ora i diagrammi relativi alle massime componenti di azione interna negli elementi strutturali (pali e tiranti) e ai massimi spostamenti della paratia emersi dal calcolo.

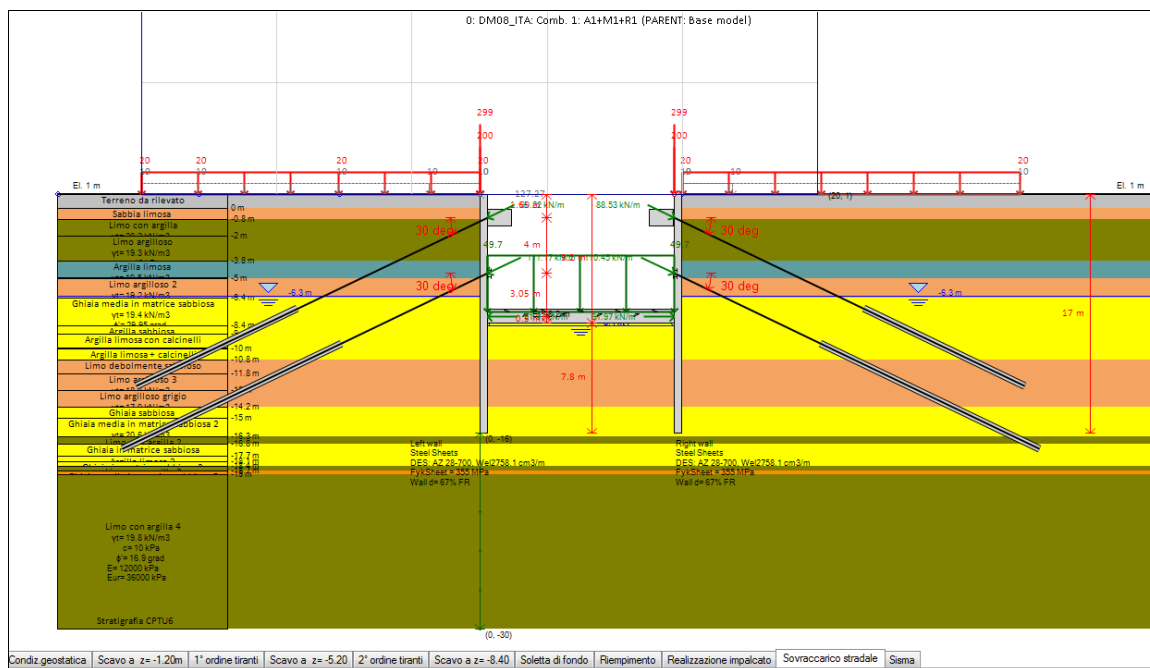


M_{max} nella paratia [kNm/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 - fase 6

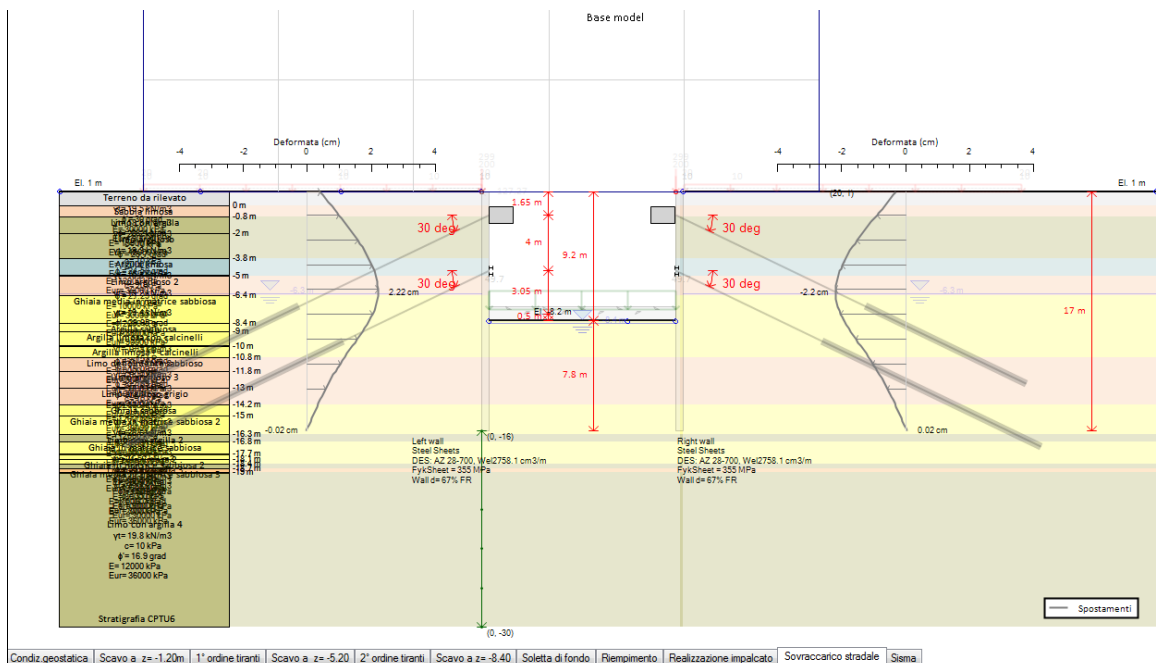


T_{max} nel diaframma [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 6

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 22 di 193



N_{max} nei tiranti [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 9



s_{max} nel diaframma [kNm/m] – comb. SLE - RARE

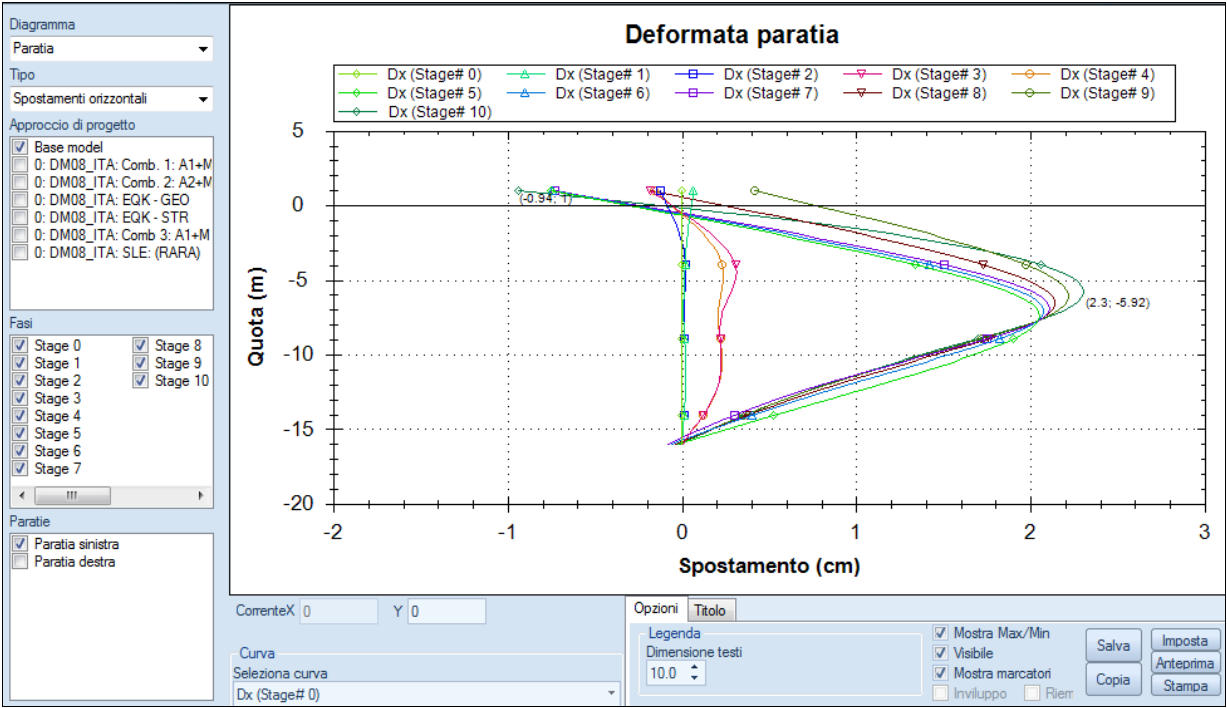
Le sollecitazioni e gli spostamenti negli elementi strutturali e gli sforzi nei terreni emersi dal calcolo, dettagliati fase per fase rispettivamente, sono riportati per esteso nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 23 di 193

Il massimo spostamento orizzontale della struttura, determinato con la combinazione agli SLE - RARE, risulta pari a:

$$s_{max} = 2.22\text{cm} = \frac{1}{765} H$$

ove H è l'altezza complessiva della paratia, valore che risulta compatibile con la tipologia di opera in questione.



Diagrammi degli spostamenti orizz. paratia sx – comb. SLE - RARE

7.3 Verifiche di resistenza

7.3.1 Verifiche dell'interazione terreno-paratia

Le verifiche geotecniche (GEO) della paratia, compresa quella di stabilità globale, eseguite secondo il metodo degli Stati Limite, sono sviluppate per le sollecitazioni massime calcolate nelle diverse fasi di calcolo, considerando le seguenti combinazioni:

➤ SLU – A2 + M2 + R1;

➤ SISMA - GEO

Si riporta di seguito il report delle verifiche dell'interazione terreno – paratia, in riferimento alle due combinazioni sopracitate:

Esteso	Esito calcolo	Spostamer X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)	Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	N/A	1000	4.615	1.612	509.058
Scavo a z= -1.20m	Calculated	0.09	0.04	4.531	3.923	1.5	28.557
1° ordine tiranti	Calculated	-0.11	0	4.531	3.967	1.542	28.557
Scavo a z= -5.20	Calculated	0.37	0.91	2.161	2.114	1.252	5.24
2° ordine tiranti	Calculated	0.29	0.79	2.161	2.14	1.296	5.24
Scavo a z= -8.40	Calculated	8.26	11.04	1.665	1.228	1	1.791
Soletta di fondo	Calculated	8.22	11.28	1.622	1.766	1.076	4.099
Riempimento	Calculated	8.22	11.28	1.622	1.766	1.076	4.099
Realizzazione impalcato	Calculated	8.2	10.68	1.811	1.716	1.067	4.066
Sovraccarico stradale	Calculated	8.2	10.61	1.811	1.672	1.055	4.352

Approcci di progetto disponibili: 2: 0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1
 Selezione paratia: 0: Left wall
☒ Considera anche elementi aggiuntivi
 Copia tabella dati
 Esci

Verifiche geotecniche – comb. SLU – A2+M2+R1

Esteso	Esito calcolo	Spostamer X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)	Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	N/A	1000	4.615	1.612	509.058
Scavo a z= -1.20m	Calculated	0.08	0.04	4.531	3.937	1.511	27.793
1° ordine tiranti	Calculated	-0.13	0	4.531	3.983	1.552	27.793
Scavo a z= -5.20	Calculated	0.36	0.9	2.161	2.122	1.261	5.176
2° ordine tiranti	Calculated	0.28	0.78	2.161	2.148	1.305	5.205
Scavo a z= -8.40	Calculated	8.06	10.75	1.665	1.232	1	1.785
Soletta di fondo	Calculated	8.02	10.98	1.622	1.771	1.078	4.053
Riempimento	Calculated	8.02	10.98	1.622	1.771	1.078	4.053
Realizzazione impalcato	Calculated	8	10.39	1.811	1.72	1.067	4.026
Sovraccarico stradale	Calculated	8	10.51	1.811	1.685	1.058	4.241
Sisma	Calculated	7.97	10.38	1.811	1.551	1.099	2.08

Approcci di progetto disponibili: 3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO
 Selezione paratia: 0: Left wall
☒ Considera anche elementi aggiuntivi
 Copia tabella dati
 Esci

Verifiche geotecniche – comb. SISMA – GEO

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 25 di 193

Riguardo alla colonna relativa a “cedimenti terreno” delle tabelle sopra illustrate, questi sono da intendersi quali massimi cedimenti superficiali del terreno a monte delle paratie; si riporta nel seguito il criterio di valutazione (Boone e Westland) utilizzato dal programma di calcolo nell’ambito dell’analisi non lineare condotta sul sistema struttura-terreno (dal manuale teorico del programma):

5.5 Stima dei cedimenti superficiali

Boone and Westland hanno studiato un approccio per stimare i cedimenti superficiali. Questo approccio associa i cedimenti superficiali alla stabilità di base, a un valore modificato della rigidità del sistema e agli spostamenti della paratia come mostrato nella Fig. 12.

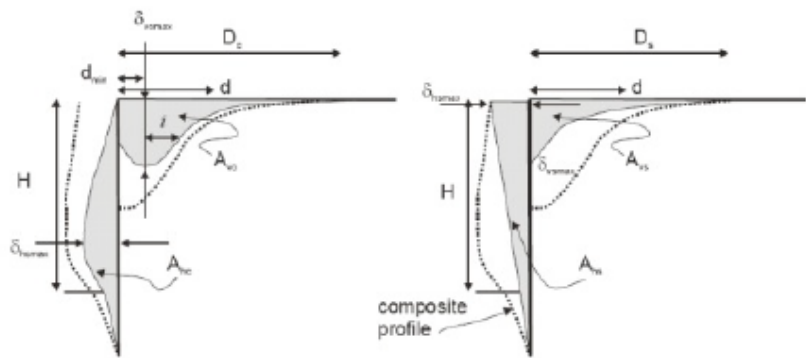


Figura 12: Definizione dei parametri di spostamento verticale ed orizzontale, profilo concavo sulla sinistra, convesso sulla destra (Boone, 2003).

Gli spostamenti della paratia e gli abbassamenti sono suddivisi in due categorie principali:

- Paratie a sbalzo - che generano il volume di cedimenti convesso attraverso A_{vs} ;
- Inflessione della paratia – che genera il profilo di cedimento concavo attraverso A_{vc} .

La combinazione dei due casi genera il profilo di cedimenti superficiali. Entrambe queste aree A_{vs} e A_{vc} sono prese con una determinata percentuale dei corrispondenti movimenti della paratia. Quando viene lanciata un’analisi di tipo NL (trave su suolo elasto-plastico), il programma permette di stimare gli abbassamenti della paratia direttamente dagli spostamenti della stessa. Inoltre, viene aggiunta una componente dovuta alla traslazione del piede della paratia alla configurazione concava. Questo volume aggiuntivo è stimato come un triangolo estrapolando una linea dal massimo spostamento sopra il piede della paratia allo spostamento alla base della paratia stessa. Fig. 13 riporta informazioni e raccomandazioni sull’utilizzo di questo metodo. Se vengono utilizzati gli spostamenti, è fortemente raccomandato abilitare le modifiche dalla scheda relativa alla stima dei cedimenti superficiali nel menù principale (il rischio è quello di sovrastimare gli abbassamenti).

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 26 di 193

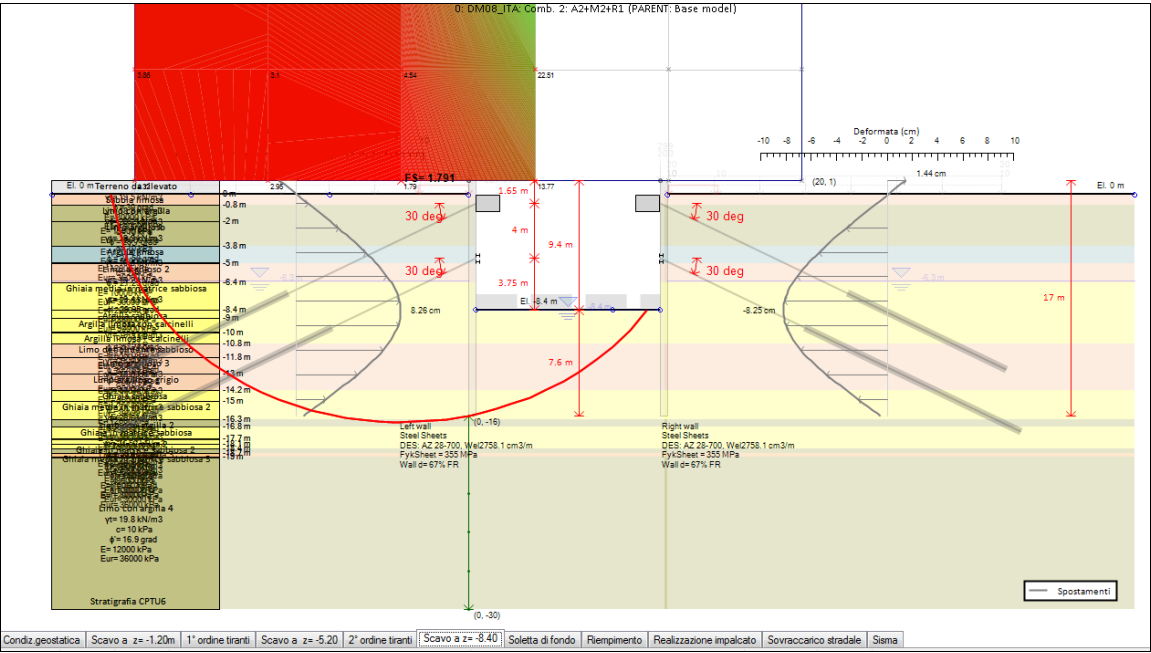
Characteristic	Condition	Equation
Maximum Lateral Displacement		
maximum unfactored lateral displacement, δ_{lmax}^*	support installation and removal	$\delta_{lmax}^* = (8.5 S_z + 0.4) F S^{-1.7}$
construction Stage, α_{CS}	supports removed	$\alpha_{CS} = 1$
	tiebacks remaining stressed	$\alpha_{CS} = 1 - \frac{(E_{st}/p_a)}{3000/S_z^{0.3} + (E_{st}/p_a)}$
preloading, α_{PL}	percent of preload maintained	$\alpha_{PL} = e^{-(PL/(50+4S_z))}$
excavation width, α_B		$\alpha_B = 0.75 + H/(4B)$
strut stiffness, α_S		$\alpha_S = 0.3(e^{S_z/1000} + e^{S_z/200}) + 0.7$
soil modulus, α_M		$\alpha_M = 6.67 E_{st}^{-2/3}$
max. lateral displacement, δ_{lmax}		$\delta_{lmax} = \delta_{lmax}^* \alpha_{CS} \alpha_{PL} \alpha_S \alpha_B \alpha_M \alpha_{CS}$
Ground Surface Displacements		
maximum lateral displacement at surface, $\delta_{surface}$	Supports remain in place	$\frac{\delta_{surface}}{\delta_{lmax}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{500 + (E_{st}/p_a) S_z^{0.2}}$
	Supports removed	$\frac{\delta_{surface}}{\delta_{lmax}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{700} \leq 1.0$
lateral displacement areas		
Area of lateral spandrel displacement, A_{ls}		$A_{ls} = \delta_{surface} (H + H_p)/2$
Ratio of spandrel displacement to total displacement area, A_{ls}/A_{lt}	End of excavation stage	$\frac{A_{ls}}{A_{lt}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{1,600 + (E_{st}/p_a) S_z^{0.3}}$
	After support removal	$\frac{A_{ls}}{A_{lt}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{300 + (E_{st}/p_a)}$
Area of convex displacement, A_{lc}		$A_{lc} = 1 - A_{ls}/A_{lt}$
ratios of vertical and lateral displacement areas		
Ratio of vertical and horizontal displacement areas	Cantilever walls	$A_{vs}/A_{ls} = A_{vc}/A_{lc} = A_{vt}/A_{lt} = 1$
	Supports remain in place	$A_{vs}/A_{ls} = A_{vc}/A_{lc} = A_{vt}/A_{lt} = 0.85$
	Supports removed	$A_{vs}/A_{ls} = A_{vc}/A_{lc} = A_{vt}/A_{lt} = 1.1$ (no dilation)
spandrel portion of settlement trough		
Maximum settlement, δ_{vmax}		$\delta_{vmax} = 3 A_{vs}/D_s; D_s \approx 1.2H$ to $1.5H$
Settlement at any point, δ_{vs}		$\delta_{vs} = \delta_{vmax}^2 [(D_s - d)/D_s]^2; D_s \approx 1.2H$ to $1.5H$
concave settlement portion of settlement trough		
Maximum settlement, δ_{vc}		$\delta_{vc} = \frac{A_{vc}}{[1 - \Phi(0, d_{max}, i)] \sqrt{2\pi} i}$
Settlement at any point, δ_{vc}		$\delta_{vc} = e^{-\frac{(d-d_{max})^2}{2i^2}}$
complete settlement profile		
Total settlement at any point		$\delta_v = \delta_{vs} + \delta_{vc}$

Figura 13: Sommario delle equazioni di stima degli spostamenti basato su una curva che approssima i risultati di una modellazione numerica NL.

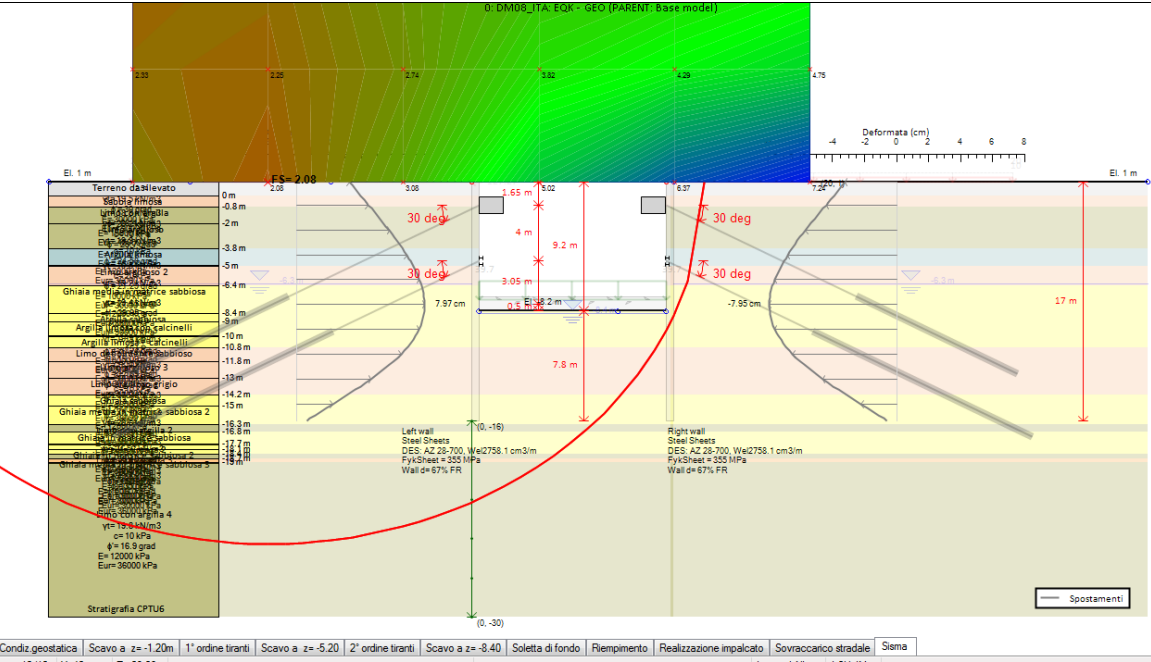
Il valore massimo di tali cedimenti emerso dal calcolo, relativamente alla combinazione SLU A2 + M2 +R1, risulta pari a $\delta = 11.28$ cm, associato alla fase di realizzazione della soletta di fondo a seguito dello scavo alla profondità massima, dunque in fase provvisoria; tale cedimento, nel corso delle successive fasi di lavorazione, non registra incrementi ulteriori bensì un leggero decremento fino al valore finale $\delta = 10.61$ cm. In virtù di quanto esposto si ritiene tale cedimento certamente tollerabile essendo antecedente alle fasi di formazione del rilevato stradale di accesso all'impalcato a monte delle paratie.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 27 di 193

Si riporta quindi la rappresentazione grafica della superficie di scivolamento critica, emersa dall'analisi della stabilità globale effettuata sulla configurazione finale dell'opera, rispettivamente per le combinazioni considerate.



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SLU – A2+M2+R1 (fase 5)



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SISMA – GEO (fase 10)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 28 di 193

Nel momento in cui il calcolo non lineare dell'interazione paratia-terreno giunge a convergenza, risulta automaticamente soddisfatta la verifica di portanza della paratia come risultano nulli o trascurabili i cedimenti ai piedi della paratia. Il programma altresì valuta i cedimenti dell'estradosso del terreno a monte della paratia, i cui valori sono riportati nelle tabelle riassuntive sopra illustrate.

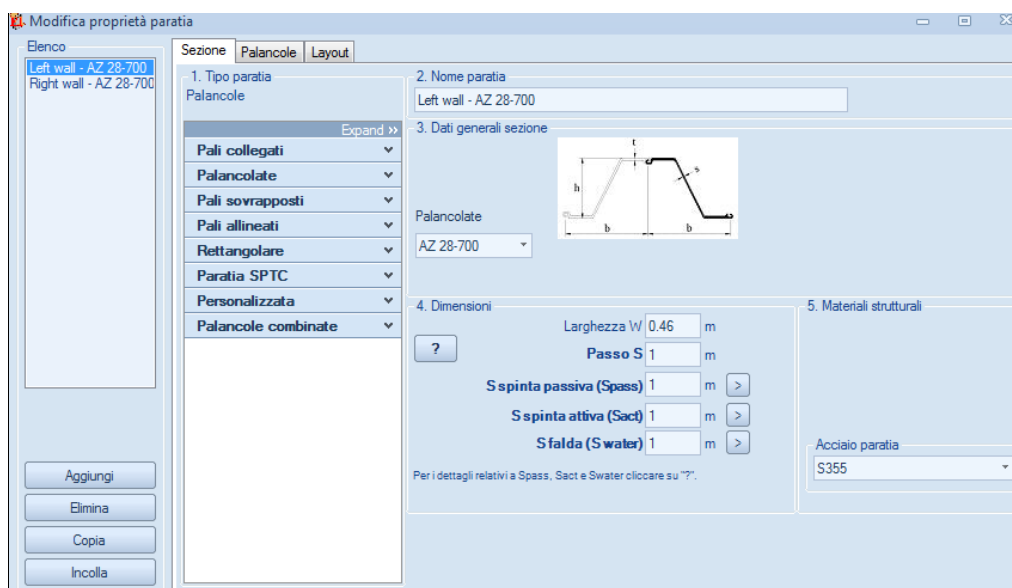
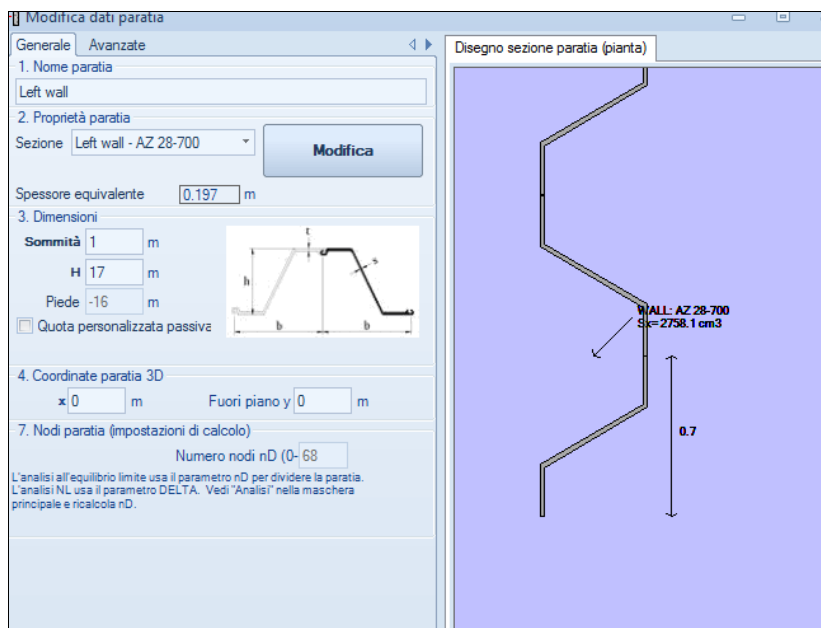
<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 29 di 193

7.3.2 Verifiche strutturali palancola

Si conducono le verifiche strutturali (a pressoflessione e taglio) della palancola, in relazione alle seguenti combinazioni:

- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti figure si illustrano le caratteristiche geometriche e meccaniche della palancola tipo AZ28-700, considerate nel calcolo:



Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 30 di 193

Modifica proprietà paratia

Sezione Palancole Layout

1. Scelta sezioni (da archivio)

sezione AZ 28-700

2. Proprietà palancolate

h 46.101 cm A 200.24 cm²/m

b 70.002 cm t_f 1.321 cm

I_{xx} 63622.8 cm⁴/m s 1.321 cm

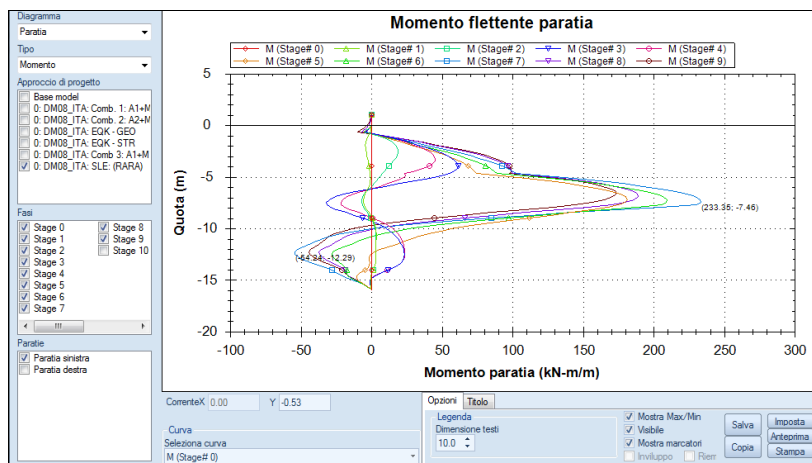
W_{el} 2758.1 cm³/m α 55.4 °

Libera sotto il fondo scavo 5 volte l'ampiezza della paratia

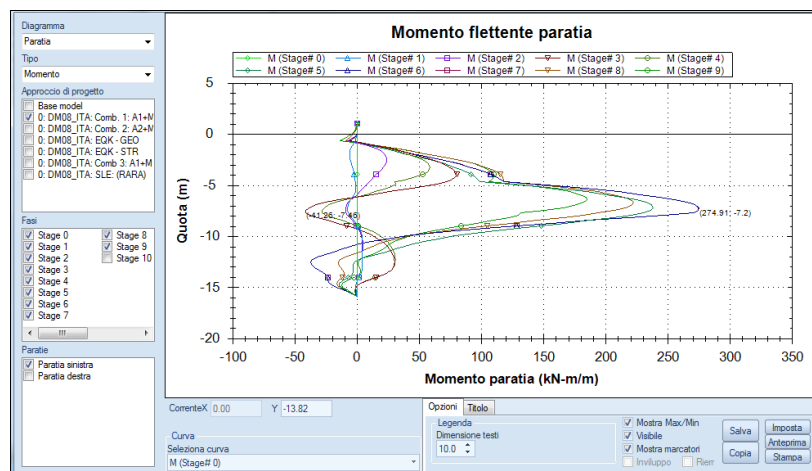
MANUFACTURER: Arcelor, LuxembourgLuxembourg, SHAPE: Z
HOT/COLD ROLLED: HR, INTERLOCK: DH

Aggiungi
Elimina
Copia
Incolla

Effettando la verifica a pressoflessione del palo della paratia, considerando il valore massimo della sollecitazione da momento flettente e trascurando, a favore di sicurezza, il carico assiale, si ottiene:

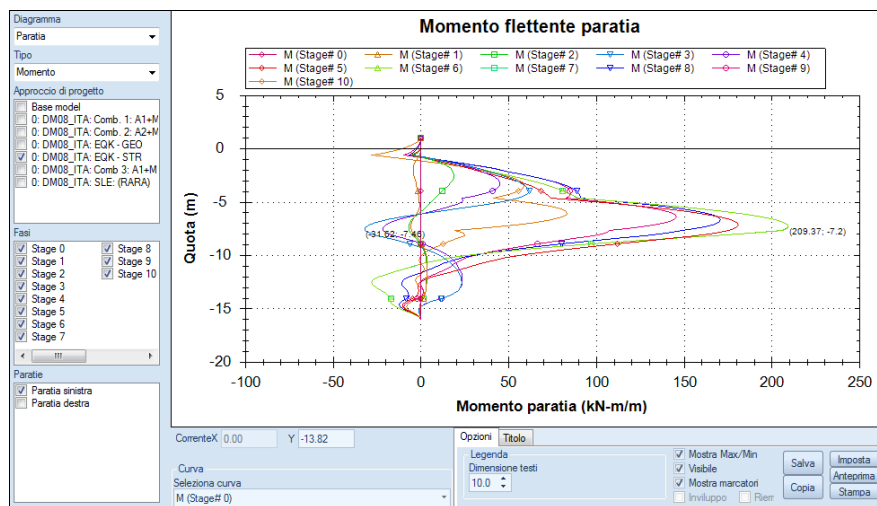


Diagrammi del Momento flettente paratia sx – comb. SLE - RARE



Diagrammi del Momento flettente – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 31 di 193



Diagrammi del Momento flettente – comb. SISMA - STR

Esteso							
	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	0	0	0	0	0
Scavo a z= -1.20m	Calculated	7.45	7.45	8.44	8.44	0.0079...	0.002
1° ordine tiranti	Calculated	24.27	24.27	33.95	33.95	0.0260...	0.009
Scavo a z= -5.20	Calculated	80.25	80.25	53.67	53.67	0.0860...	0.014
2° ordine tiranti	Calculated	58.75	58.75	44.23	44.23	0.0630...	0.011
Scavo a z= -8.40	Calculated	238.48	238.48	92.84	92.84	0.2557...	0.024
Soletta di fondo	Calculated	274.91	274.91	126.43	126.43	0.2948...	0.032
Riempimento	Calculated	274.9	274.9	126.43	126.43	0.2947...	0.032
Realizzazione impalcato	Calculated	222.36	222.36	86.89	86.89	0.2384...	0.022
Sovraccarico stradale	Calculated	185.18	185.18	78.48	78.48	0.1985...	0.02

Approcci di progetto disponibili: 1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1

Seleziona: 0: Left wall

Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Esteso							
	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	0	0	0	0	0
Scavo a z= -1.20m	Calculated	5.54	5.54	6.32	6.32	0.0059...	0.002
1° ordine tiranti	Calculated	19.17	19.17	26.32	26.32	0.0205...	0.007
Scavo a z= -5.20	Calculated	61.78	61.78	41.21	41.21	0.0662...	0.011
2° ordine tiranti	Calculated	45.27	45.27	33.97	33.97	0.0485...	0.009
Scavo a z= -8.40	Calculated	181.25	181.25	70.96	70.96	0.1943...	0.018
Soletta di fondo	Calculated	209.37	209.37	97.02	97.02	0.2245...	0.025
Riempimento	Calculated	209.35	209.35	97.01	97.01	0.2245...	0.025
Realizzazione impalcato	Calculated	170.96	170.96	66.53	66.53	0.1833...	0.017
Sovraccarico stradale	Calculated	145.97	145.97	60.92	60.92	0.1565...	0.016
Sisma	Calculated	83.29	83.29	76.43	76.43	0.0893...	0.02

Approcci di progetto disponibili: 4: 0: DM08_ITA: EQK - STR

Seleziona: 0: Left wall

Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SISMA - STR

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 32 di 193

7.3.3 Verifica dei tiranti

Per le paratie in esame si prevedono n° 2 ordini di tiranti, che presentano le seguenti caratteristiche:

1° ordine (z = - 1.65m da testa paratia):

- Tipo tirante : n°4 trefoli da 0.6";
- $\phi_{\text{perf}} = 20$ cm
- $L_{\text{bulbo}} = 11$ m
- $L_{\text{libera}} = 13$ m
- $\alpha = 30^\circ$
- $N_{\text{precar}} = 150$ kN
- $i = 3.0$ m

2° ordine (z = - 5.65m da testa paratia):

- Tipo tirante : n°4 trefoli da 0.6";
- $\phi_{\text{perf}} = 20$ cm
- $L_{\text{bulbo}} = 15$ m
- $L_{\text{libera}} = 10$ m
- $\alpha = 30^\circ$
- $N_{\text{precar}} = 150$ kN
- $i = 3.0$ m

Si riportano le finestre di input del programma Paratie Plus 2012, riferite ai tiranti di ancoraggio:

Dati di input dei tiranti 1° ordine

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 33 di 193

Modifica dati vincoli, Stage: 10

Generale | Avanzate | Risultati | Note | Involuppo

1. Dimensioni

1.1 Punto di inserimento

X 0.46 m

Z -4.65 m

1.2 Inclinazione

α 30 °

1.3 Lunghezze

L libera 10 m

L bulbo 15 m

Eff. L bulbo (n) 80 %

Passo 3 m

Precarico

☐ Precarico

0 kN

Applicato soltanto nella fase durante la quale l'elemento viene attivato per la prima volta

2. Tipo vincolo - Sezione strutturale

☒ Tirante ☐ Tirante elicoidale

Sezione strutturale Tiranti 4 trefoli 0.6" Modifica

☐ Modifica tipo di supporto

3. Attiva/Disattiva - Supporto permanente o temporaneo

☒ Attiva nella fase corrente Vincolo permanente

Comportamento paratia: Linear elastic

Dati di input tiranti

Per quanto riguarda le verifiche strutturali dei tiranti, effettuate secondo le combinazioni:

- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

si ottiene:

Tutti gli approcci di progetto

Singolo approccio di progetto

Sommario esteso

Reazione supporti (al metro) vs f

Reazione supporti vs Fase

FS paratia vs Fase

Verifica supporti vs Fase

Travi di ripartizione

FS paratia vs Fase (esteso)

Ka e Kp

Prescrizioni armatura

Genera relazione

Reazione vincoli (vincolo singolo)

	Supporto 0 Reazione (z= -0.65) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z= -0.65) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	150	150	0	0
Fase 3	154.695	154.512	0	0
Fase 4	153.807	153.621	150	150
Fase 5	152.097	149.46	230.04	229.116
Fase 6	154.545	151.671	235.137	234.09
Fase 7	156.918	153.711	239.907	238.119
Fase 8	184.245	182.283	250.347	248.967
Fase 9	213.45	209.829	262.164	260.349

Approcci di progetto disponibili

6: 0: DM08_ITA: SLE: (RARA)

Selezione: 0: Left wall

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLE - RARE

Tutti gli approcci di progetto

Singolo approccio di progetto

Sommario esteso

Reazione supporti (al metro) vs f

Reazione supporti vs Fase

FS paratia vs Fase

Verifica supporti vs Fase

Travi di ripartizione

FS paratia vs Fase (esteso)

Ka e Kp

Prescrizioni armatura

Genera relazione

Reazione vincoli (vincolo singolo)

	Supporto 0 Reazione (z= -0.65) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z= -0.65) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	195	195	0	0
Fase 3	201.248	201.01	0	0
Fase 4	200.09	199.852	195	195
Fase 5	198.955	195.23	301.891	300.542
Fase 6	202.305	198.104	308.595	306.996
Fase 7	202.305	198.104	308.599	307
Fase 8	234.378	231.917	321.411	320.069
Fase 9	270.664	265.582	333.501	331.348

Approcci di progetto disponibili

1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1

Selezione: 0: Left wall

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 34 di 193

Tutti gli approcci di progetto		Reazione vincoli (vincolo singolo)			
Singolo approccio di progetto		Supporto 0 Reazione (z = -0.65) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z = -0.65) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z = -4.65) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z = -4.65) kN at 3 m
Sommario esteso					
Reazione supporti (al metro) vs f					
Reazione supporti vs Fase					
FS paratia vs Fase					
Verifica supporti vs Fase					
Travi di ripartizione					
FS paratia vs Fase (esteso)					
Ka e Kp					
Prescrizioni armatura					
Genera relazione					

Riepilogo sollecitazioni – comb. SISMA - STR

Tutti gli approcci di progetto		TSF vincoli/fasi			
Singolo approccio di progetto		TSF Supporto 0 (z = -0.65)	TSF Supporto 1 (z = -0.65)	TSF Supporto 2 (z = -4.65)	TSF Supporto 3 (z = -4.65)
Sommario esteso					
Reazione supporti (al metro) vs f					
Reazione supporti vs Fase					
FS paratia vs Fase					
Verifica supporti vs Fase					
Travi di ripartizione					
FS paratia vs Fase (esteso)					
Ka e Kp					
Genera relazione					

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Tutti gli approcci di progetto		TSF vincoli/fasi			
Singolo approccio di progetto		TSF Supporto 0 (z = -0.65)	TSF Supporto 1 (z = -0.65)	TSF Supporto 2 (z = -4.65)	TSF Supporto 3 (z = -4.65)
Sommario esteso					
Reazione supporti (al metro) vs f					
Reazione supporti vs Fase					
FS paratia vs Fase					
Verifica supporti vs Fase					
Travi di ripartizione					
FS paratia vs Fase (esteso)					
Ka e Kp					
Prescrizioni armatura					
Genera relazione					

Riepilogo verifiche – comb. SISMA - STR

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 35 di 193

Per quanto riguarda la verifica a sfilamento dei tiranti, effettuata secondo la combinazione:

➤ SLU – A1 + M1 + R3

e considerando un valore limite dell'aderenza cls-terreno pari a 10 kPa (vedi figura):

si ottiene:

Tutti gli approcci di progetto		TSF vincoli/fasi				
Singolo approccio di progetto			TSF Supporto 0(z = -0.65)	TSF Supporto 1(z = -0.65)	TSF Supporto 2(z = -4.65)	TSF Supporto 3(z = -4.65)
Sommario esteso		► Fase 0	0	0	0	0
Reazione supporti (al metro) vs f		Fase 1	0	0	0	0
Reazione supporti vs Fase		Fase 2	0.504	0.504	0	0
FS paratia vs Fase		Fase 3	0.521	0.52	0	0
Verifica supporti vs Fase		Fase 4	0.518	0.517	0.374	0.374
Travi di ripartizione		Fase 5	0.515	0.505	0.579	0.577
FS paratia vs Fase (esteso)		Fase 6	0.523	0.513	0.592	0.589
Ka e Kp		Fase 7	0.523	0.513	0.592	0.589
		Fase 8	0.606	0.6	0.617	0.614
		Fase 9	0.7	0.687	0.64	0.636

Approcci di progetto disponibili

5: 0: DM08_ITA: Comb 3: A1+M1+R3

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SLU - A1+M1+R3

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

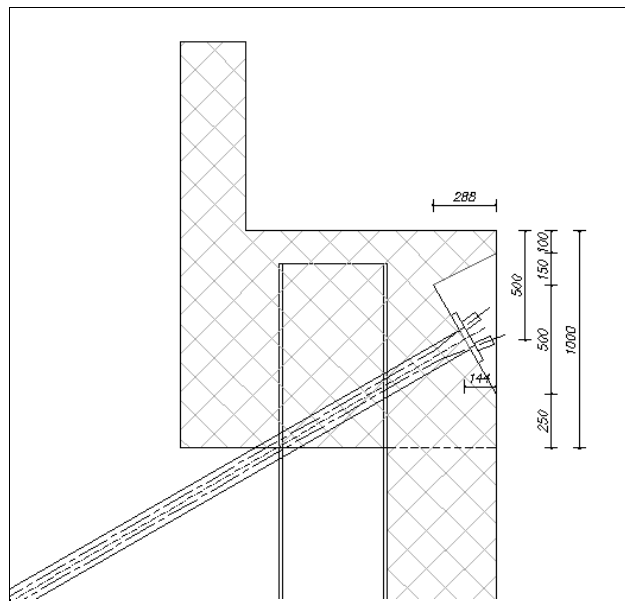
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 36 di 193

7.3.4 Verifica del cordolo di sommità e travi di contrasto e soletta di fondo

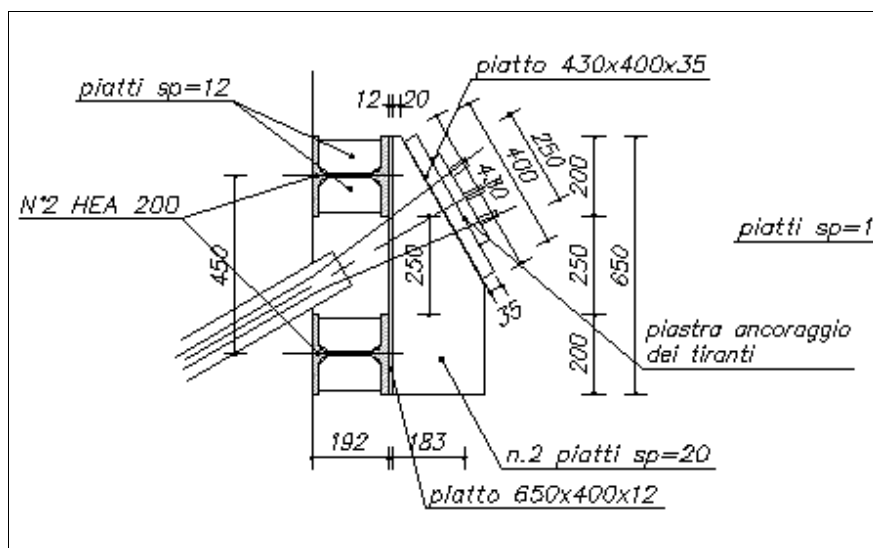
Come elementi strutturali di coronamento e contrasto dei tiranti del 1° ordine(in testa alle palancole) si prevedono travi in c.a. gettate in opera, di dimensioni pari a 100x145cm, per le quali si dispone la seguente armatura minima:

- $A_{\text{long_min}}$: n° 5+5 $\phi 16$ c = 4cm
- A_{taglio} : staffe $\phi 12/2\text{br}/25\text{cm}$

Le travi di ripartizione del 2° ordine di tiranti sono invece costituite da n° 2 profili accoppiati HEA200.



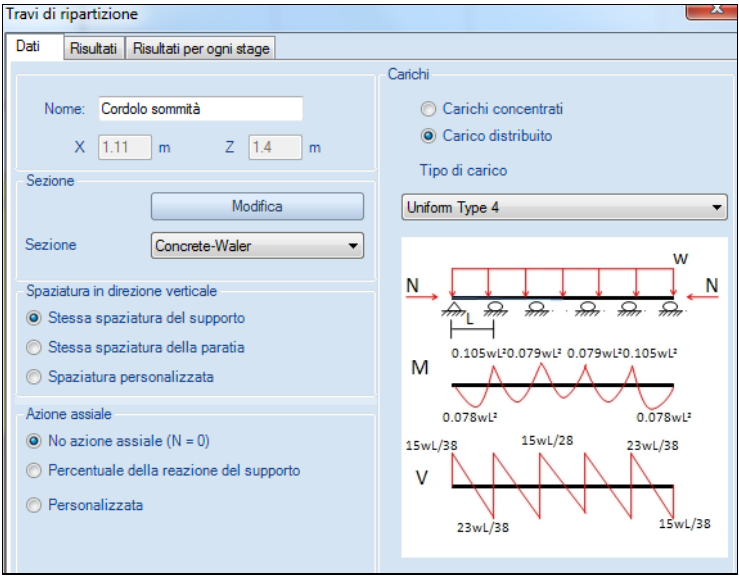
Particolare del cordolo di sommità



Particolare della trave di ripartizione 2° ordine di tiranti

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 37 di 193

Si ipotizza per il calcolo sia del cordolo che della trave di ripartizione uno schema statico di trave continua su più appoggi, sottoposta a carico uniformemente distribuito.



Schema statico cordolo di sommità e trave di ripartizione 2° ordine

Caratteristiche strutturali del cordolo di sommità

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 38 di 193

Sezione irrigidimenti

Travi di: **2 x HEA200**

1. Type: ☒ Sezione ad I **HE 200A** ☐ Rettangolare

Profili in acciaio: Materiale **S355** f_y **450** MPa

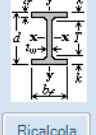
☐ Orienta come il vincolo (es. tiranti)
Angolo rot β **0** ° (Asse debole paratia)

☒ Usa travi multiple **2** Travi Distanza C **25** cm

☐ Modifica proprietà

1. Acciaio

Proprietà sezioni:

D	19	cm	A	53.8	cm ²	tw	0.7	cm	
bf	20	cm	tf	1	cm	k	2.8	cm	
lxx	3692	cm ⁴	lyy	1336	cm ⁴	Cw	108	cm ⁶	
Sxx	388.6	cm ³	Syy	133.6	cm ³	rT	5.36	cm	
rx	8.3	cm	ry	5	cm	W	0.414	kN/m	
Zxx	429.5	cm ³	Zyy	203.8	cm ³	J	21	cm ⁴	

Sezione a C

Aggiungi Elimina Ricalcola

Sezione trave

Caratteristiche strutturali della trave di ripartizione 2° ordine di tiranti

Per il calcolo e le verifiche strutturali si considerano le seguenti combinazioni:

- SLE – RARE (Base model);
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti tabelle si riepilogano le sollecitazioni sui cordoli di sommità e sulle travi di ripartizione, determinate col calcolo per ogni combinazione considerata, e le relative verifiche:

Sommario (tutte le fasi)																	
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)
► Cordolo sommità	1.185	-0.65	0	TRAVE 145 X 100	0	Left wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.13	0.13	0.026	58.2	65.8	0	111.9
Cordolo sommità	10.775	-0.65	180	TRAVE 145 X 100	1	Right wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.112	0.084	0.002	57.2	33	0	110
Trave ripartizione	0.555	-4.65	0	2 x HEA200	2	Left wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.671	0.396	0	71.5	41.3	0	137.4
Trave ripartizione	11.595	-4.65	0	2 x HEA200	3	Right wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.665	0.393	0	71	41	0	136.5
Approcci di progetto disponibili 6: 0: DM08_JTA: SLE: (RARA)																	
														<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati	Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SLE - RARE

Sommario (tutte le fasi)																	
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)
► Cordolo sommità	1.185	-0.65	0	TRAVE 145 X 100	0	Left wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.167	0.167	0.034	73.8	84.7	0	141.9
Cordolo sommità	10.775	-0.65	180	TRAVE 145 X 100	1	Right wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.142	0.106	0.002	72.5	41.8	0	139.2
Trave ripartizione	0.555	-4.65	0	2 x HEA200	2	Left wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.857	0.56	0	91	52.5	0	174.8
Trave ripartizione	11.595	-4.65	0	2 x HEA200	3	Right wall	Uniform 4	3	3	9: Sovr...	0.851	0.554	0	90.4	52.2	0	173.7
Approcci di progetto disponibili 1: 0: DM08_JTA: Comb. 1: A1+M1+R1																	
														<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati	Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SLU - comb. A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 39 di 193

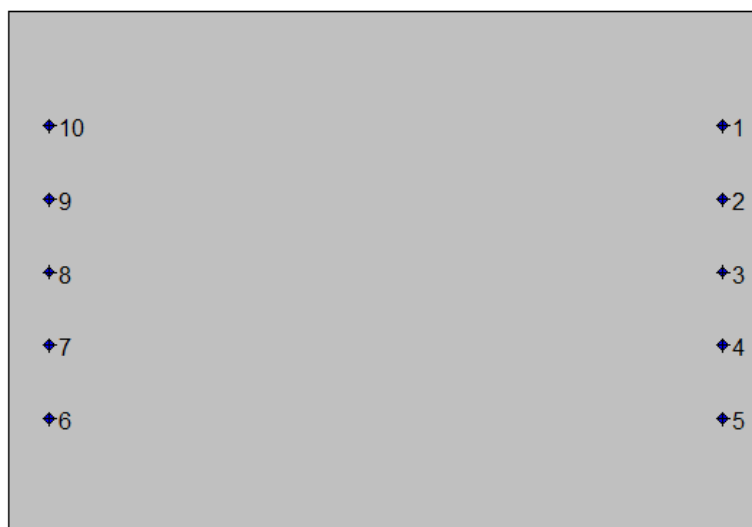
Sommano (tutte le fasi)																			
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)	
► Cordolo sommità	1.185	-0.65	0	TRAVE 145 X 100	0	Left wall	Uniform 4	3	3	10: Sisma	0.164	0.151	0.032	83.2	76.5	0	159.9	146.7	
Cordolo sommità	10.775	-0.65	180	TRAVE 145 X 100	1	Right wall	Uniform 4	3	3	10: Sisma	0.163	0.121	0.007	82.8	47.8	0	159.1	37.5	
Trave ripartizione	0.555	-4.65	0	2 x HEA200	2	Left wall	Uniform 4	3	3	10: Sisma	0.739	0.447	0	78.2	45.1	0	150.3	87.4	
Trave ripartizione	11.595	-4.65	0	2 x HEA200	3	Right wall	Uniform 4	3	3	10: Sisma	0.737	0.445	0	77.9	45	0	149.8	87.1	
Approcci di progetto disponibili																			
4: 0: DM08_ITA: EGK - STR														<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi			Copia tabella dati		Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SISMA - STR

Effettuando la verifica a flessione del cordolo di sommità, si ottiene:

Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	0,0
2	0,0	100,0
3	145,0	100,0
4	145,0	0,0



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	137,2	78,1	2,0	no
2	137,2	64,1	2,0	no
3	137,2	50,0	2,0	no
4	137,2	35,9	2,0	no
5	137,2	21,9	2,0	no
6	7,8	21,9	2,0	no
7	7,8	35,9	2,0	no
8	7,8	50,0	2,0	no
9	7,8	64,1	2,0	no
10	7,8	78,1	2,0	no

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 40 di 193

Normativa di riferimento:

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

Note:

Verifiche SLE per ambiente aggressivo

Materiali:**Calcestruzzo classe: C32/40**R_{ck} (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm²f_{ck} (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm²f_{ctm} (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm²G (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm²E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm²

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450Cf_{yk} (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm²f_{kt} (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm²ε_{uk} (deformazione di rottura) = 0.075G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm²E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm²

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

Verifiche stato limite ultimo:

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per M_{xu}, M_{yu} e N_u proporzionali (sigla verifica: P)Verifica con rapporto M_{xu}, M_{yu} assegnato (sigla verifica: M)Verifica con N_u costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	M _x	M _y	Tipo	N _u	M _{xu}	M _{yu}	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	73,8	84,7	P	0,0	354,1	406,4	0,210	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	354,1	406,4	0,210	
2	0,0	83,2	76,5	P	0,0	366,8	337,3	0,230	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	366,8	337,3	0,230	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	M _x	M _y	Tipo	N _u	M _{xu}	M _{yu}	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
2	0,0	83,2	76,5	P	0,0	366,8	337,3	0,230	OK
1	0,0	73,8	84,7	M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	OK
2	0,0	83,2	76,5	N	0,0	366,8	337,3	0,230	OK

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: σ_{cL} = 19920,0 kN/mq (verifica Ok per σ_c/σ_{cL} < 1)Acciaio: σ_{aL} = 360000,0 kN/mq (verifica Ok per σ_a/σ_{aL} < 1)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 41 di 193

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
3 OK	58,2	65,8	0,0	-2148,3	0,11	108096,5	0,30

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $W_{kL} = 0,30$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
4 OK	58,2	65,8	0,0	0.00	0,00

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS: $\sigma_{cL} = 14940,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Fessure: $W_{kL} = 0,20$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
5 OK	58,2	65,8	0,0	-2148,3	0,14	0.00	0,00

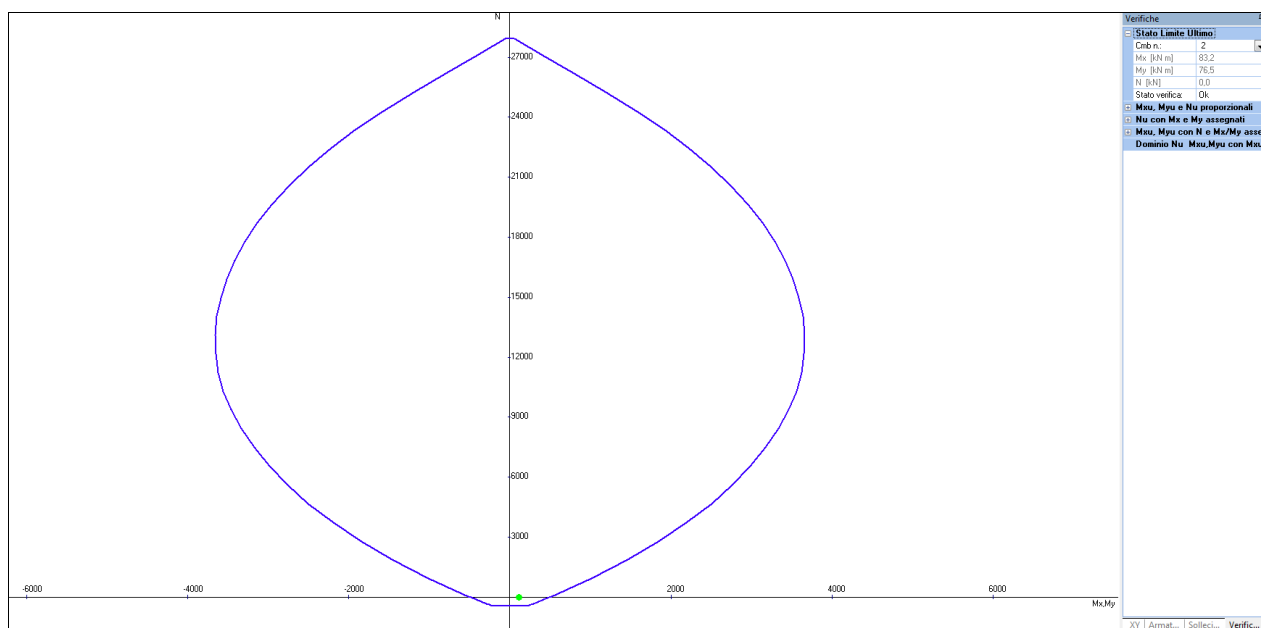
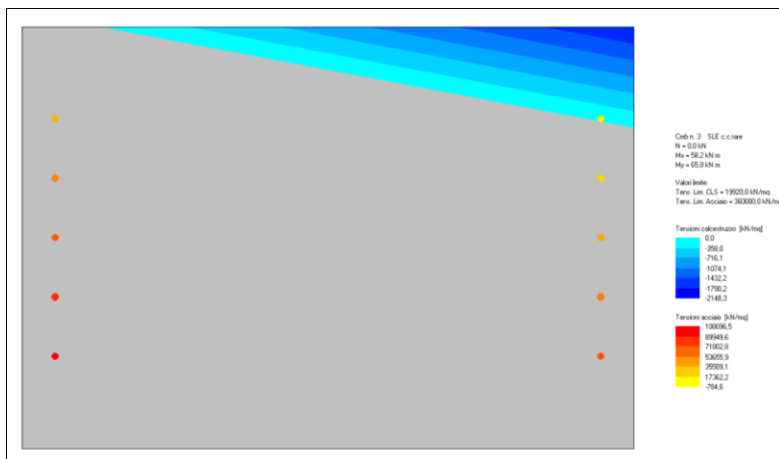
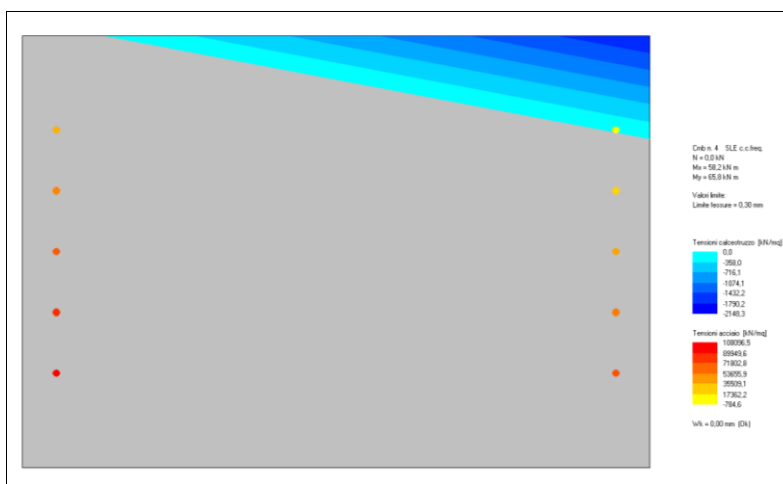


Diagramma d'interazione M-N – comb. SISMA STR.

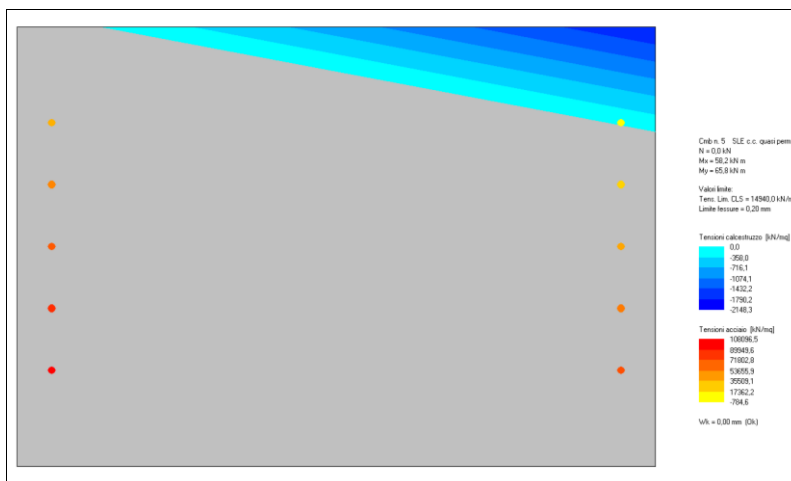
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 42 di 193



Tensioni massime nei materiali – comb. SLE – RARE



Verifica a fessurazione – comb. SLE – FREQUENTI



Verifica a fessurazione – comb. SLE – QUASI PERMANENTI

Tutte le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 43 di 193

Si conduce quindi la verifica a taglio della trave, considerando i valori massimi della sollecitazione da taglio, pari a:

$$T_{\max_SLU} = \sqrt{T_x^2 + T_z^2} = 217.00 \text{ kN/m (COMB. SISMA - STR)}$$

Effettuando la verifica si ottiene:

NTC 2008 - CALCESTRUZZO				
VERIFICA A TAGLIO TRAVI RETTANGOLARI				
UNITA' DI MISURA	forze e carichi:	kN, kN/m, kN/m ²		LEGENDA
	peso specifico:	kN/m ³		
	tensioni e resistenze	N/mm ²		
	momenti (flettente,ecc.)	kNm		
PESI SPECIFICI	γ = 24 kN/m ³ (cls non armato)			
	γ = 25 kN/m ³ (cls armato)			
se $V_{Sd} \leq V_{Rd\text{-senza arm.}}$		armat. minima a taglio		
se $V_{Sd} \geq V_{Rd\text{-senza arm.}}$		armat. a taglio tale che: $V_{Sd} \leq V_{Rd\text{ con arm.}}$		
Elementi che non richiedono armatura a taglio ($V_{Sd} \leq V_{Rd\text{ senza arm.}}$)				
V_{Rd} [kN] =	450,90	>	V_{Ed} [kN] =	217,00 VERIFICATO armatura a taglio minima
Acciaio =	B450C			
Cls =	C32/40			
R_{ck} =	40,00 [N/mm ²]			
f_{ck} =	32,00 [N/mm ²]			
$f_{ctk,0.05}$ =	2,12 [N/mm ²]			
γ _c in uso =	1,50			
V_{Rd} [kN] =	306,61 [kN]		450,90 [kN]	
V_{min} =	0,32			
$k = 1 + (200/d)^{1/2}$	1,38	≤ 2	1,38	2
ρ_l =	0,0007 [puro]	≤ 0,02	0,0007	0,02
A_{sl} =	1,005 [mm ²]	Area armat. in trazione che si estende per non meno di $d + l_{b,net}$ oltre la sez. consider.		
		(cioè ancorata oltre l'inters. dell'asse dell'armat. con eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sez.consид.) (EC2)		
b_w =	1.000,00 [mm]	larghezza minima della sezione lungo l'altezza efficace		
α_{cp} =	0,00 [N/mm ²]	N_{sd}/A_c	0,00	4,426666667
N_{Ed} =	0,00 [kN]	forza longitudinale nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione (compressione positiva)		
A_c =	1.450.000 [mm ²]	area calcestruzzo (valida solo per sezione rettangolare)		
d =	1.410 [mm]	altezza utile sezione		
h =	1.450 [mm]	altezza sezione		
b =	1.000 [mm]	base sezione		
c =	40 [mm]	copriferro		

Non è quindi necessario predisporre specifica armatura a taglio.

Si prevedono comunque staffe $\phi 12/2br/25cm$.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 44 di 193

Effettuando infine la verifica a pressoflessione della soletta di fondo in c.a, di spessore pari a 100cm e per la quale si prevede la seguente armatura:

➤ A_{sup_princ} : n° 12 $\phi 24$ $c=4cm$

➤ A_{inf_princ} : n° 12 $\phi 24$ $c=4cm$

si ottiene:

Tutti gli approcci di progetto	
Singolo approccio di progetto	
Sommario esteso	
Reazione supporti (al metro) vs f	
Reazione supporti vs Fase	
FS paratia vs Fase	
Verifica supporti vs Fase	
Travi di ripartizione	
FS paratia vs Fase (esteso)	
Ka e Kp	
Prescrizioni armatura	
Pannelli	
Genera relazione	

Reazione vincoli (vincolo singolo)	
	Supporto 4 Reazione (z= -7.9) kN at 1 m
Fase 0	0
Fase 1	0
Fase 2	0
Fase 3	0
Fase 4	0
Fase 5	0
Fase 6	-68.61
Fase 7	-68.61
Fase 8	-68.61
Fase 9	2.053

Approcci di progetto disponibili	Considera anche elementi aggiuntivi
1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	<input checked="" type="checkbox"/>

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLU - A1+M1+R1

Tutti gli approcci di progetto	
Singolo approccio di progetto	
Sommario esteso	
Reazione supporti (al metro) vs f	
Reazione supporti vs Fase	
FS paratia vs Fase	
Verifica supporti vs Fase	
Travi di ripartizione	
FS paratia vs Fase (esteso)	
Ka e Kp	
Prescrizioni armatura	
Pannelli	
Genera relazione	

Reazione vincoli (vincolo singolo)	
	Supporto 4 Reazione (z= -7.9) kN at 1 m
Fase 0	0
Fase 1	0
Fase 2	0
Fase 3	0
Fase 4	0
Fase 5	0
Fase 6	-52.778
Fase 7	-52.778
Fase 8	-52.778
Fase 9	-5.676
Fase 10	49.193

Approcci di progetto disponibili	Considera anche elementi aggiuntivi
4: 0: DM08_ITA: EQK - STR	<input checked="" type="checkbox"/>

Riepilogo sollecitazioni – comb. SISMA - STR.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 45 di 193

<p>Tutti gli approcci di progetto</p> <p>Singolo approccio di progetto</p> <p>Sommario esteso</p> <p>Reazione supporti (al metro) vs fase</p> <p>Reazione supporti vs Fase</p> <p>FS paratia vs Fase</p> <p>Verifica supporti vs Fase</p> <p>Travi di ripartizione</p> <p>FS paratia vs Fase (esteso)</p> <p>Ka e Kp</p> <p>Prescrizioni armatura</p>	TSF vincoli/fasi	
	TSF Supporto 4(z= -7.9)	
	Fase 0	0
	Fase 1	0
	Fase 2	0
	Fase 3	0
	Fase 4	0
	Fase 5	0
	Fase 6	0.274
	Fase 7	0.629
	Fase 8	0.629
	Fase 9	0.851
<p>Genera relazione</p> <p>1. Considera anche elementi aggiuntivi</p> <p>Copia tabella dati</p> <p>Esci</p>		

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

<p>Tutti gli approcci di progetto</p> <p>Singolo approccio di progetto</p> <p>Sommario esteso</p> <p>Reazione supporti (al metro) vs fase</p> <p>Reazione supporti vs Fase</p> <p>FS paratia vs Fase</p> <p>Verifica supporti vs Fase</p> <p>Travi di ripartizione</p> <p>FS paratia vs Fase (esteso)</p> <p>Ka e Kp</p> <p>Prescrizioni armatura</p>	TSF vincoli/fasi	
	TSF Supporto 4(z= -7.9)	
	Fase 0	0
	Fase 1	0
	Fase 2	0
	Fase 3	0
	Fase 4	0
	Fase 5	0
	Fase 6	0.211
	Fase 7	0.447
	Fase 8	0.447
	Fase 9	0.595
	Fase 10	0.515
<p>Genera relazione</p> <p>Approcci di progetto disponibili</p> <p>4: 0: DM08_ITA: EQK - STR</p> <p>Considera anche elementi aggiuntivi</p>		

Riepilogo verifiche – comb. SISMA - STR.

La verifica a pressoflessione della soletta di fondo risulta dunque soddisfatta in quanto:

$$S_{d-max}/R_d = 0.851 \text{ (Comb. SLU – A1+M1+R1)}$$

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 46 di 193

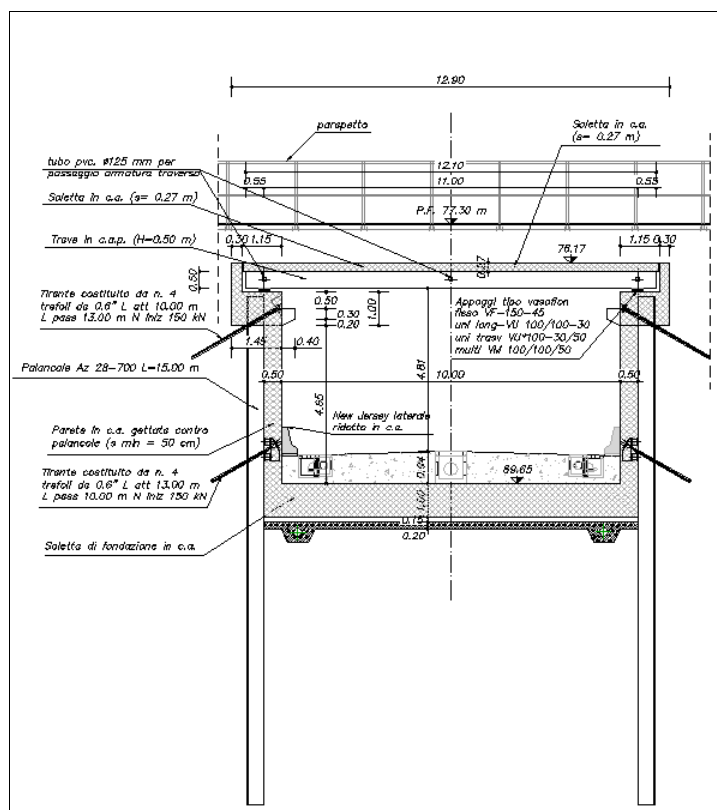
8 CALCOLO DELLE PARATIE DEL SOTTOPASSO FERROVIARIO

8.1 Modello di calcolo

Oggetto del presente capitolo è il calcolo delle paratie costituenti le pareti del sottopasso sotto la linea ferroviaria Bologna-Vignola.

Tali paratie sono realizzate mediante l'utilizzo di palancole tipo AZ 28-700, di lunghezza pari a 15,00m e sormontate in sommità da un cordolo in c.a.; l'altezza complessiva della paratia risulta dunque pari a 16,00m. Alla quota di fondo scavo è prevista la realizzazione di una soletta in c.a. di spessore pari a 1,00m. La struttura presenta due ordini di tiranti, situati rispettivamente a 1,25m e 5,25m dalla testa delle paratie e costituiti da n° 4 trefoli di diametro pari a 0,6", di lunghezza complessiva pari a 23m e posti ad un interasse pari a 3,0m, a cui viene applicato un precarico iniziale pari a 150kN.

Nella seguente figura si illustrano le caratteristiche geometriche dell'opera.



Sezione tipo sottopasso ferroviario

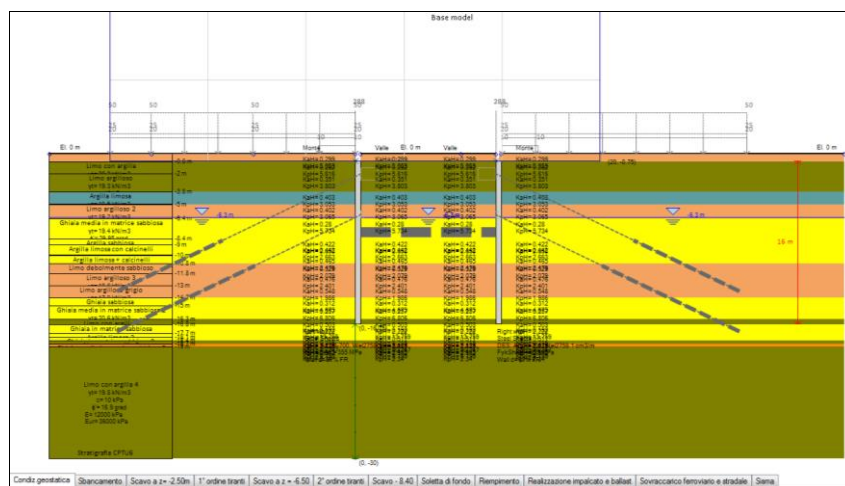
La costruzione dell'opera in oggetto si articola nelle seguenti fasi:

- Sbancamento fino a quota -0,75m dal p.c.;
- Infissione palancole e realizzazione del cordolo di sommità;

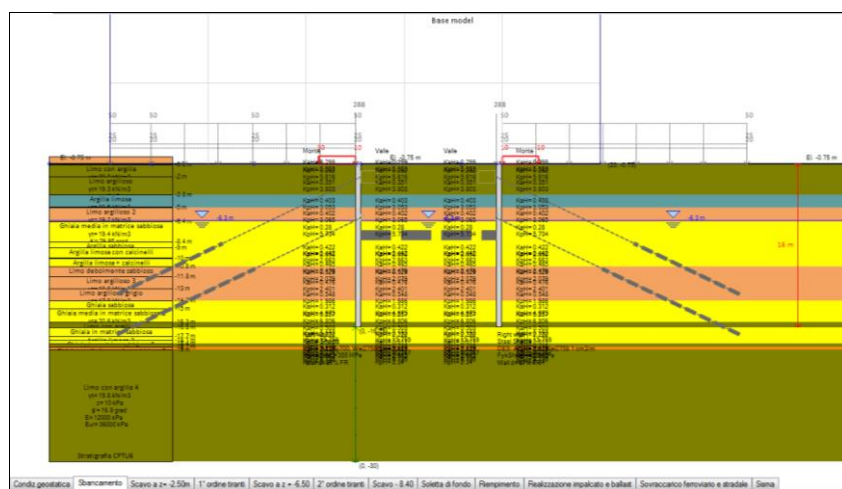
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 47 di 193

- Scavo fino a quota -2.50m dal p.c.;
- Realizzazione del 1° ordine di tiranti;
- Scavo fino a quota -6.50m dal p.c.;
- Realizzazione del 2° ordine di tiranti;
- Scavo fino a quota -8.40m dal p.c. (fondo scavo);
- Realizzazione della soletta di fondo e delle pareti di rivestimento;
- Riempimento del sottopasso e realizzazione del pacchetto stradale;
- Realizzazione dell'impalcato superiore (ferroviario) e posa del ballast.

Il calcolo non lineare agli elementi finiti dell'interazione terreno – struttura è stato effettuato passo per passo, considerando la seguente successione di fasi (tutte le quote espresse sono riferite al livello del piano campagna):

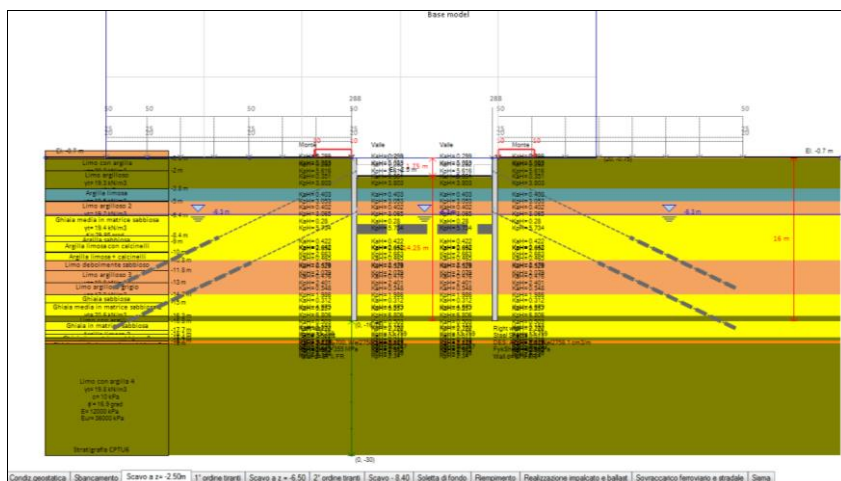


Fase 0 – Condizione geostatica

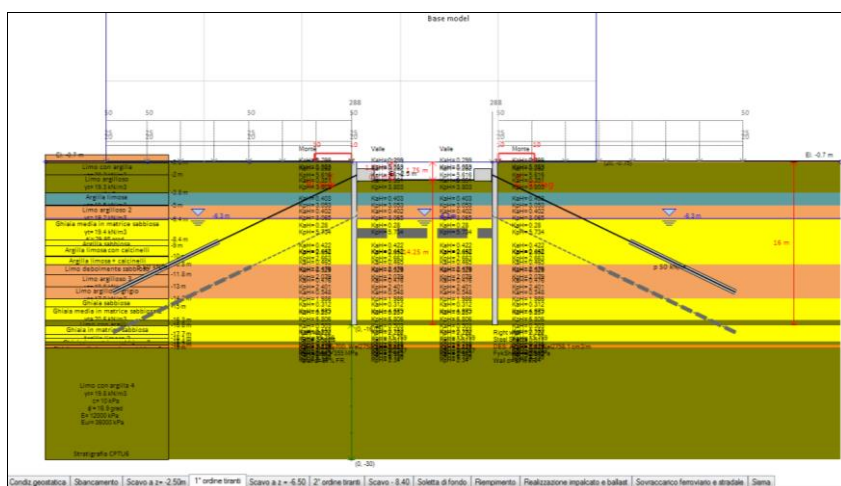


Fase 1 – Sbancamento fino a quota testa paratie (z=-0.75m)

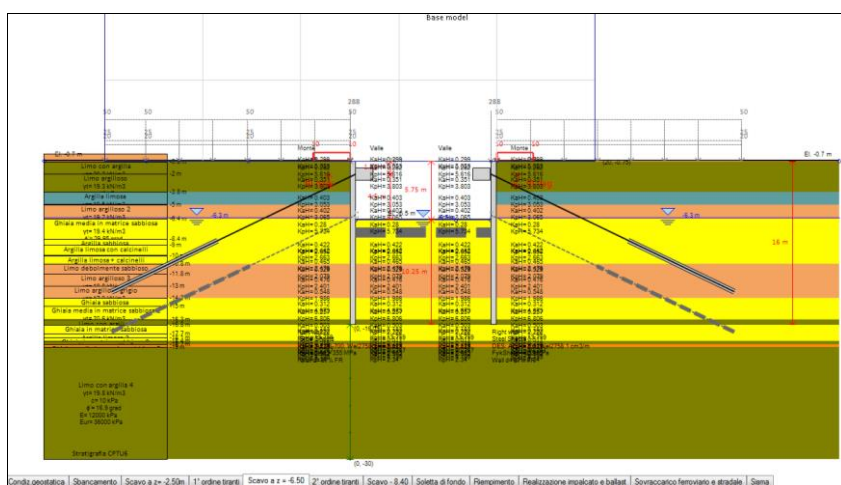
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 48 di 193



Fase 2 – Scavo a $z = -2.50\text{m}$ e applicazione sovraccarico 10 kPa a monte della paratia

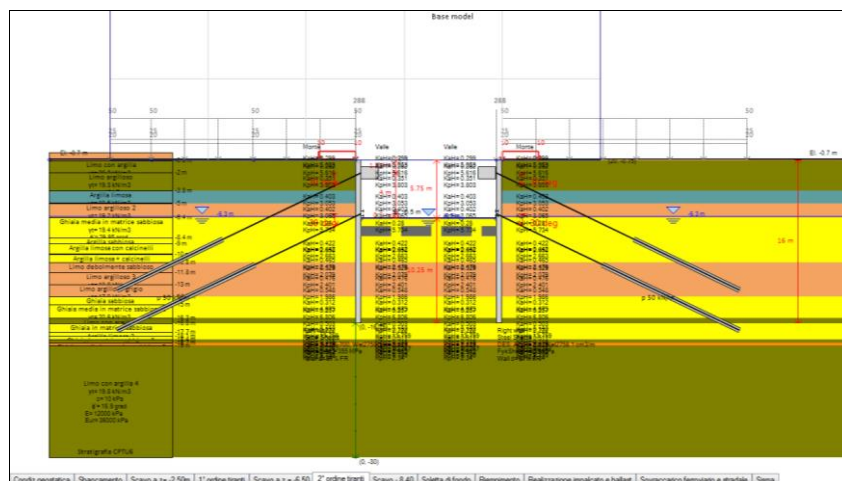


Fase 3 – Realizzazione del 1° ordine di tiranti e loro pretensionamento (150 kN/tirante)

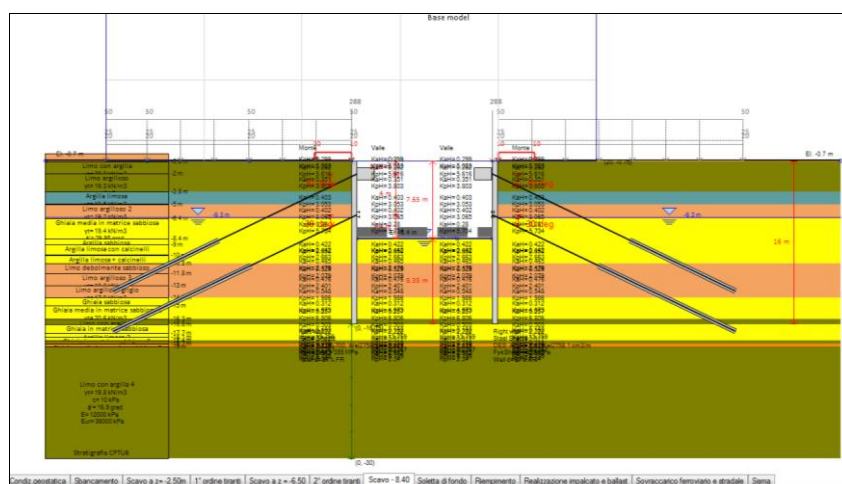


Fase 4 – Scavo a $z = -6.50\text{m}$

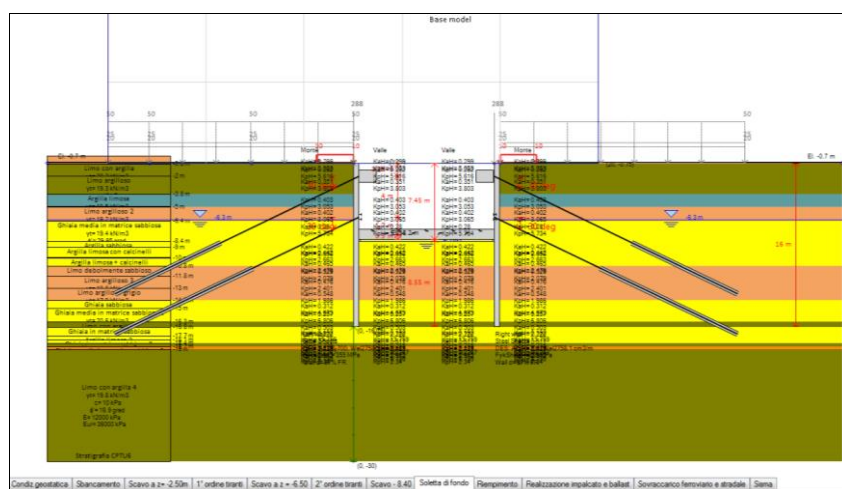
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 49 di 193



Fase 5 – Realizzazione del 2° ordine di tiranti e loro pretensionamento (150 kN/tirante)

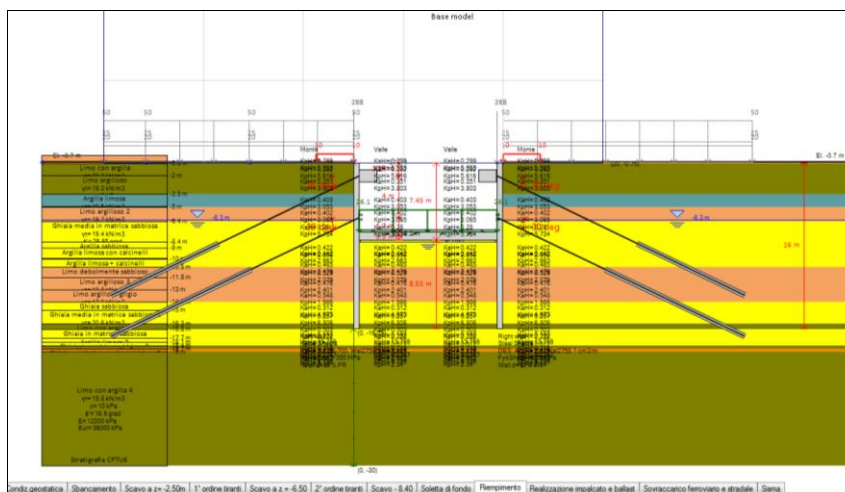


Fase 6 – Scavo a $z = -8.40\text{m}$ (fondo scavo)

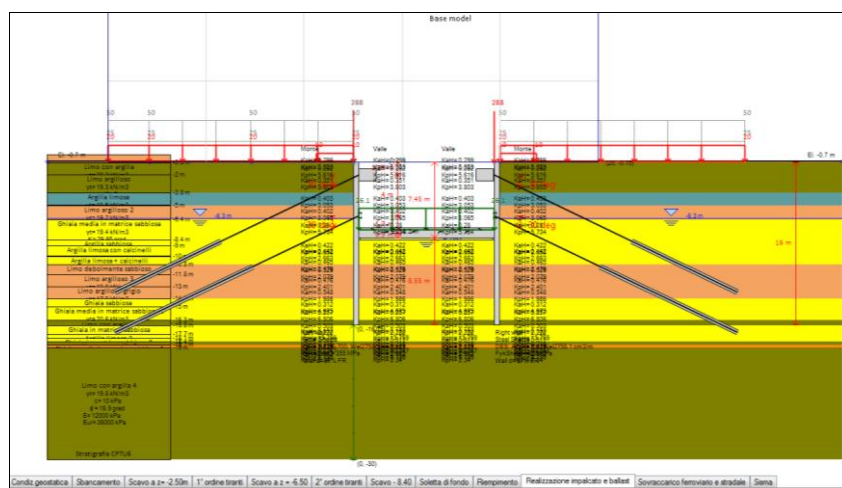


Fase 7 – Realizzazione della soletta di fondo

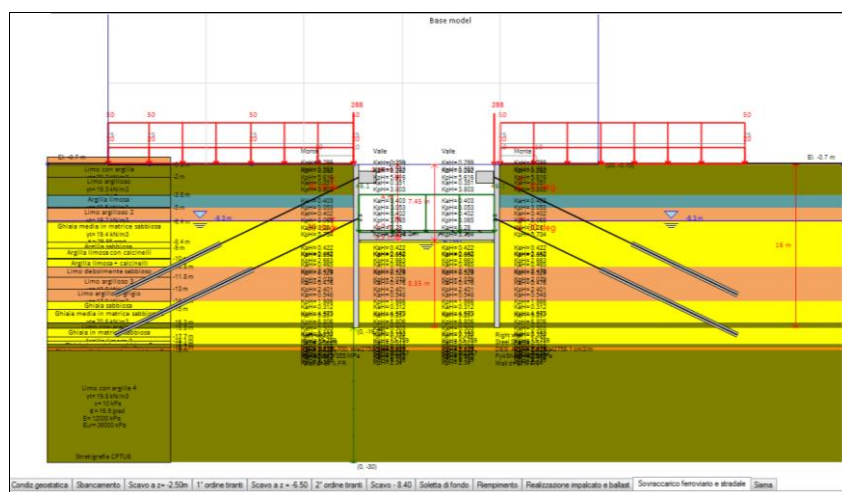
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 50 di 193



Fase 8 – Riempiemento e realizzazione del pacchetto stradale

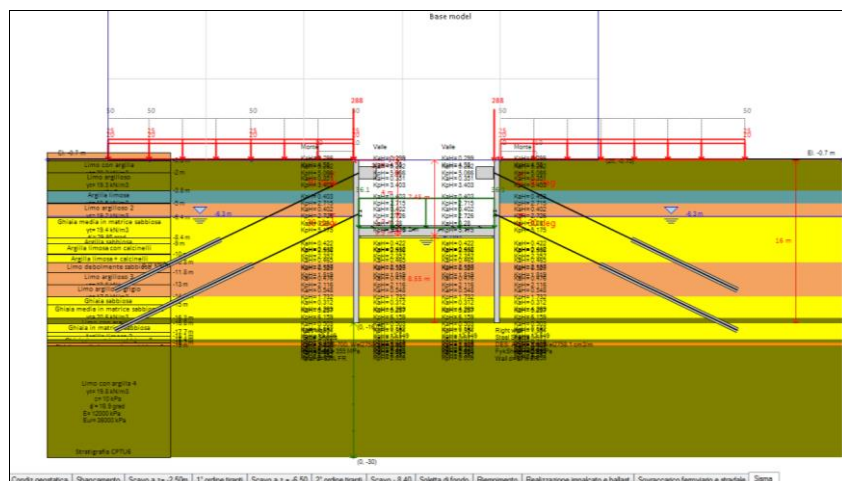


Fase 9 – Realizzazione impalcato ferroviario e posa del ballast



Fase 10 – Applicazione del sovraccarico ferroviario sull'impalcato e sul terreno di monte ($q=50 \text{ kPa}$)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 51 di 193



Fase 11 – Condizioni sismiche

Il livello di falda, stimato a quota -6,30m dal piano campagna, è considerato abbattuto a fondo scavo internamente alle paratie durante le fasi di esecuzione mediante continuo aggotamento.

A monte della paratia si è considerata la presenza di mezzi da cantiere durante le fasi realizzative mediante l'applicazione di un sovraccarico accidentale pari a 10 kPa, mentre in fase di esercizio si è considerato un sovraccarico ferroviario pari a 50 kPa.

La presenza dell'impalcato ferroviario in testa alle paratie è stata considerata mediante l'applicazione delle seguenti forze concentrate per ognuna delle due paratie:

- $V_G = 287.70 \text{ kN/m}$
- $V_Q = 287.70 \text{ kN/m}$
- $H_{\text{sis}} = 176.40 \text{ kN/m}$

in accordo con quanto determinato nella relazione specifica sugli impalcati.

Tali valori derivano dagli involucri delle reazioni vincolari in corrispondenza degli appoggi dell'impalcato; si tratta dunque dei valori massimi emersi dalle varie combinazioni considerate nel calcolo dell'impalcato, distribuiti uniformemente sulla larghezza di appoggio dell'impalcato sulle paratie.

Il riempimento di terreno arido a valle delle paratie, utilizzato per la realizzazione della strada, è stato trascurato ai fini della resistenza passiva e considerato come solo carico verticale sulla soletta di fondo.

Si sottolinea inoltre come le pareti in c.a. di rivestimento interno del sottopasso non siano state considerate collaboranti ai fini strutturali.

Per quanto concerne la valutazione degli effetti dell'azione sismica, applicata a struttura ultimata, si sono considerati i parametri riportati nella seguente figura di input del programma Paratie Plus 2012:

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 52 di 193

Opzioni sisma per entrambe le paratie

1. Accelerazioni di progetto
☒ Attiva sisma nella fase corrente
 kh 0.11 kv 0

2. Normative e parametri sismici
 2.a Opzioni da normativa
 Normativa DM08 - Italian Seismic Code
☒ Usa normativa
 Classe terreno C
 2.b Accelerazione di base ed effetti di sito
 Ag/g 0.204 Coeff. Ss 1.407
 Fo 2.398 Coeff. St 1
 Fattore importanza I 1

3. Comportamento paratia e coefficiente di risposta strutturale R
 3.a Comportamento paratia
☒ Flessibile ☐ Rigido
 3.b calcolo di R (per paratie flessibili)
☐ Manuale ☐ Richards Elms
☒ Da normativa selezionata ☐ Liao Whitman
 3.c Altre opzioni
 3.c.1: R
 R= 3.013
 3.c.3. NTC2008
☐ Modifica manuale
 H paratia 17 m α 0.803125
 Us 5 cm β 0.4762925
 Ricalcola R

4. Spinta sismica
☒ Come carico esterno B= 1
☐ Semirigido
☒ Mononobe-Okabe
 Andamento trapezoidale diagramma spinta
☐ Ridistribuisce
☐ Utente
☒ Da procedura automatica (vedi Manuale Teorico)
☐ Procedura automatica
☐ Procedura automatica (pressioni utente)

5. Comportamento idrodinamico terreno
☒ Pervio ☐ Impervio ☐ Da permeabilità (EC8)
☐ Modifica spinta di Westergaard secondo Kostantakos 2009
 Parametro Ru per sovrappressione = 0 (0 to 1)

6. Zona di applicazione
☒ Paratia fuori terra ☐ Paratia intera

7. Inerzia paratia
☒ Includi contributo inerzia paratia

8. Applica a
☒ Applica impostazioni a tutti i sismi
 Ricalcola kh - kv

Tabella di input parametri sismici

Il programma di calcolo, non effettuando un'analisi modale della struttura (che condurrebbe a risultati di scarsa affidabilità essendo la struttura interrata), considera attivate dall'accelerazione sismica il 100% delle masse dell'impalcato e della paratia stessa, portando a risultati assolutamente cautelativi rispetto a quanto prescritto nel paragrafo 7.3.3.1 delle NTC2008.

Gli effetti sulle paratie dovuti alle eccentricità accidentali sono stati trascurati data la tipologia di opera in esame, essendo le spalle dell'impalcato costituite da strutture correnti con sviluppo di diverse decine di metri, in grado dunque di ripartire tali effetti locali sulla loro lunghezza complessiva.

Considerando l'altezza del livello di falda e la natura dei terreni interessati, si è svolta un'analisi della struttura considerando un comportamento drenato dei terreni.

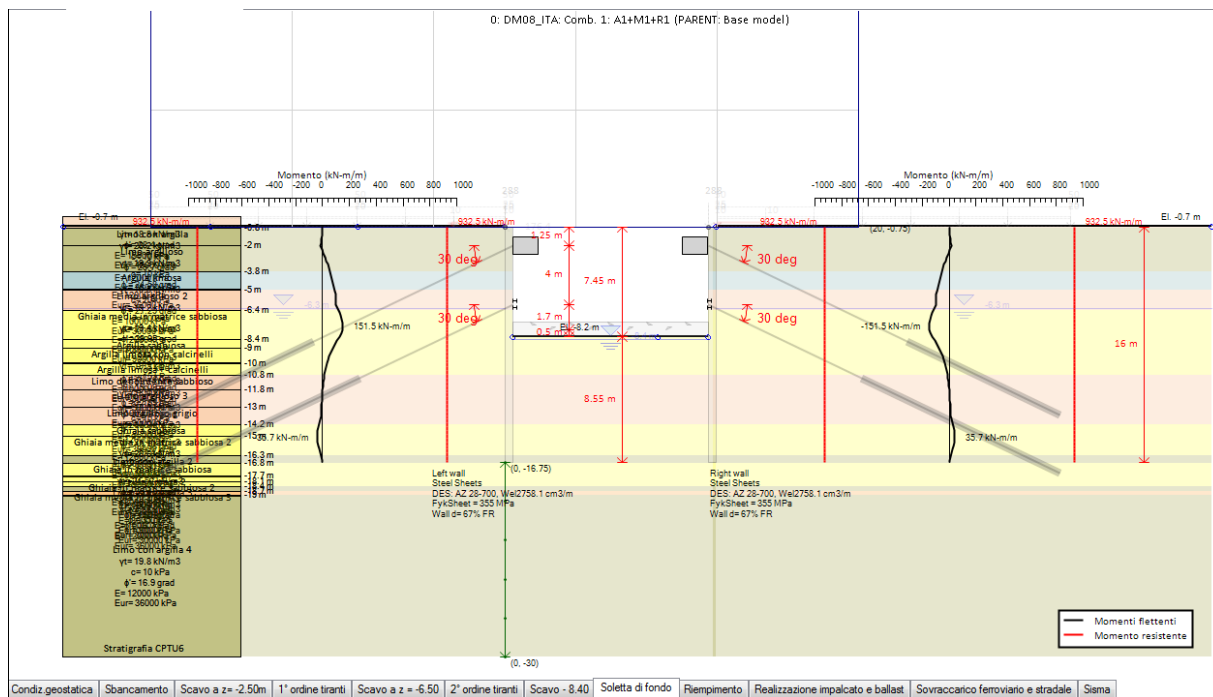
Le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte considerando le seguenti combinazioni, in accordo con la Norma:

- SLE – RARE
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SLU – A1 + M1 + R3;
- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA GEO;
- SISMA STR.

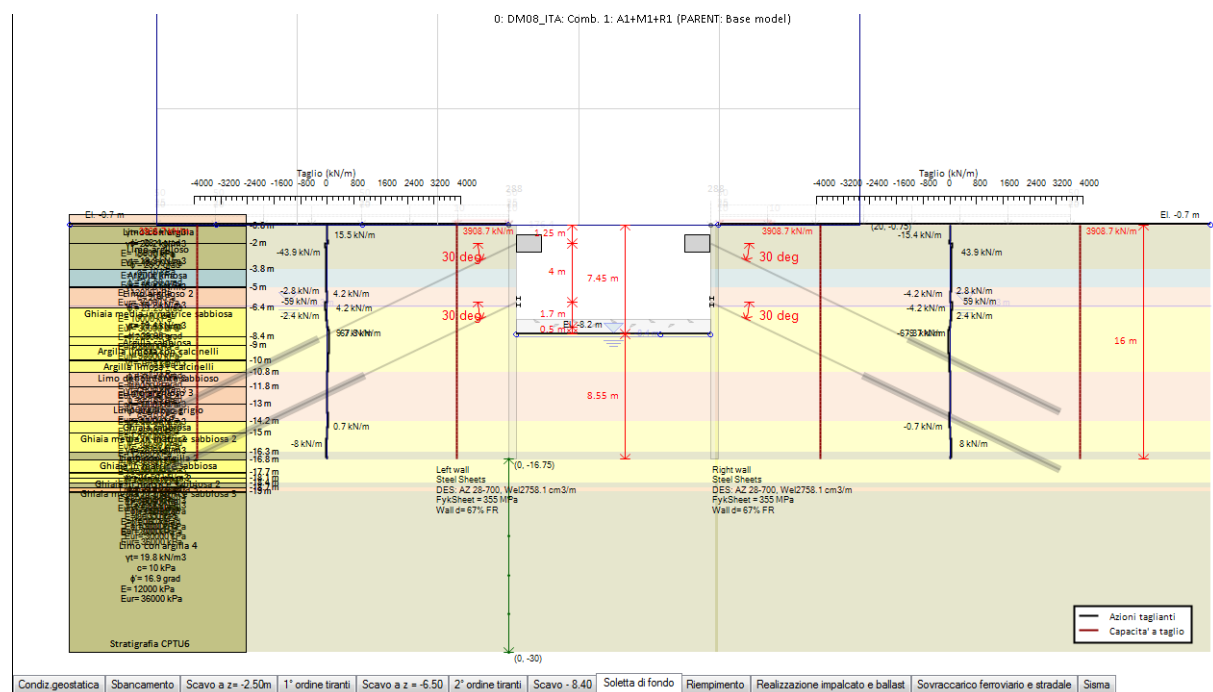
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 53 di 193

8.2 Riepilogo dei risultati

Si riportano ora i diagrammi relativi alle massime componenti di azione interna negli elementi strutturali (pali e tiranti) e ai massimi spostamenti della paratia emersi dal calcolo.

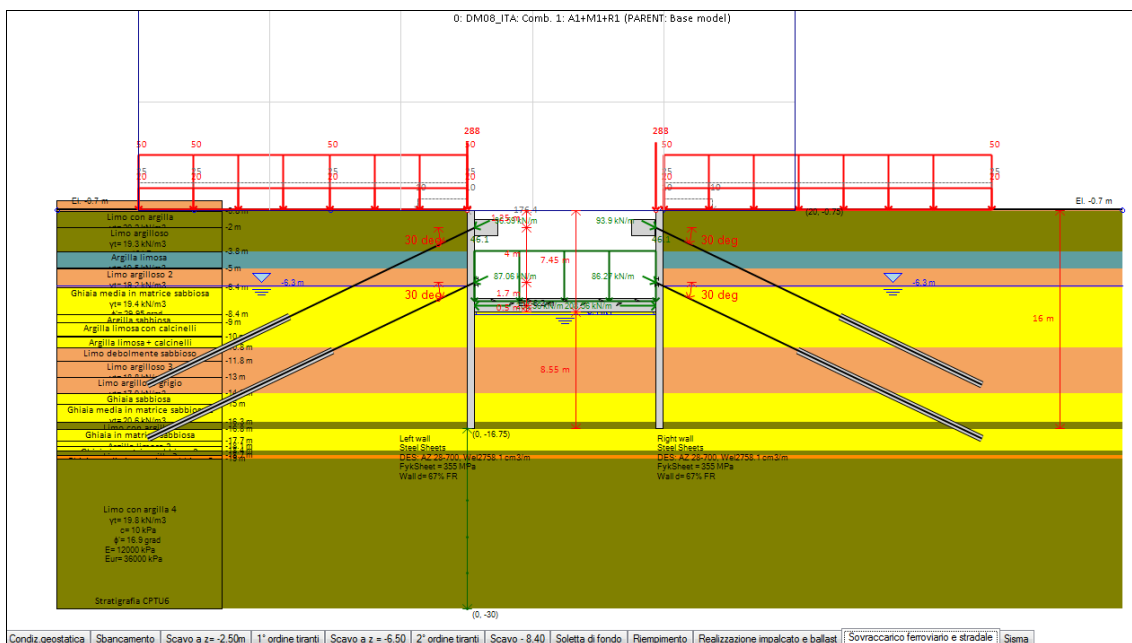


M_{max} nella paratia [kNm/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 - fase 7

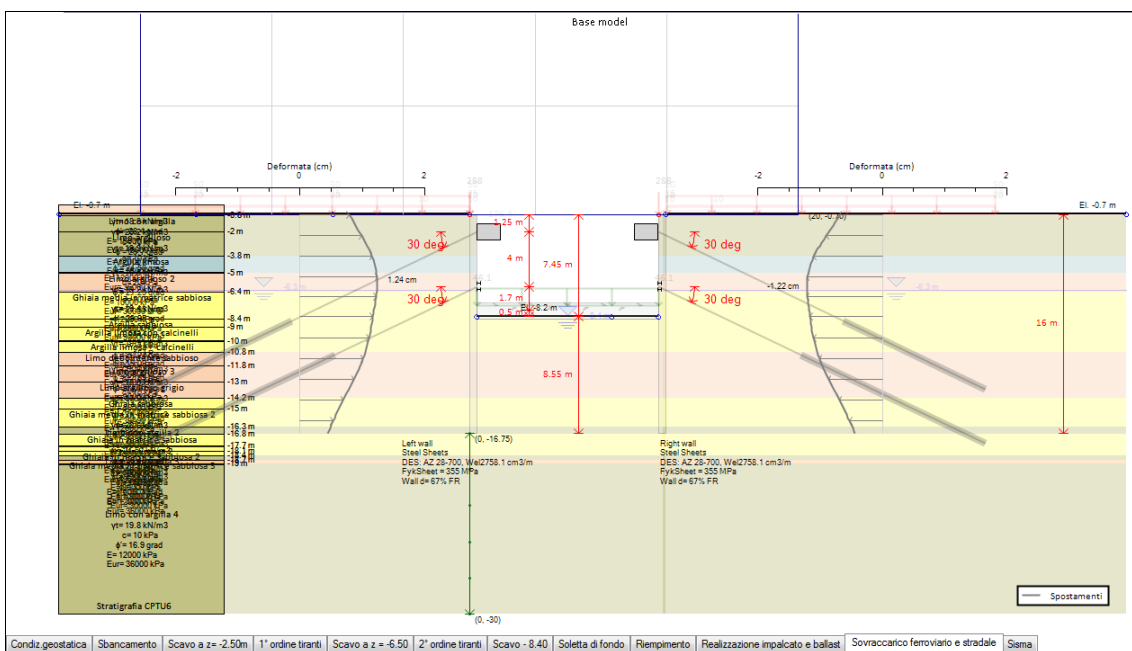


T_{max} nel diaframma [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 7

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 54 di 193



N_{max} nei tiranti [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 10



s_{max} nel diaframma [kNm/m] – comb. SLE - RARE

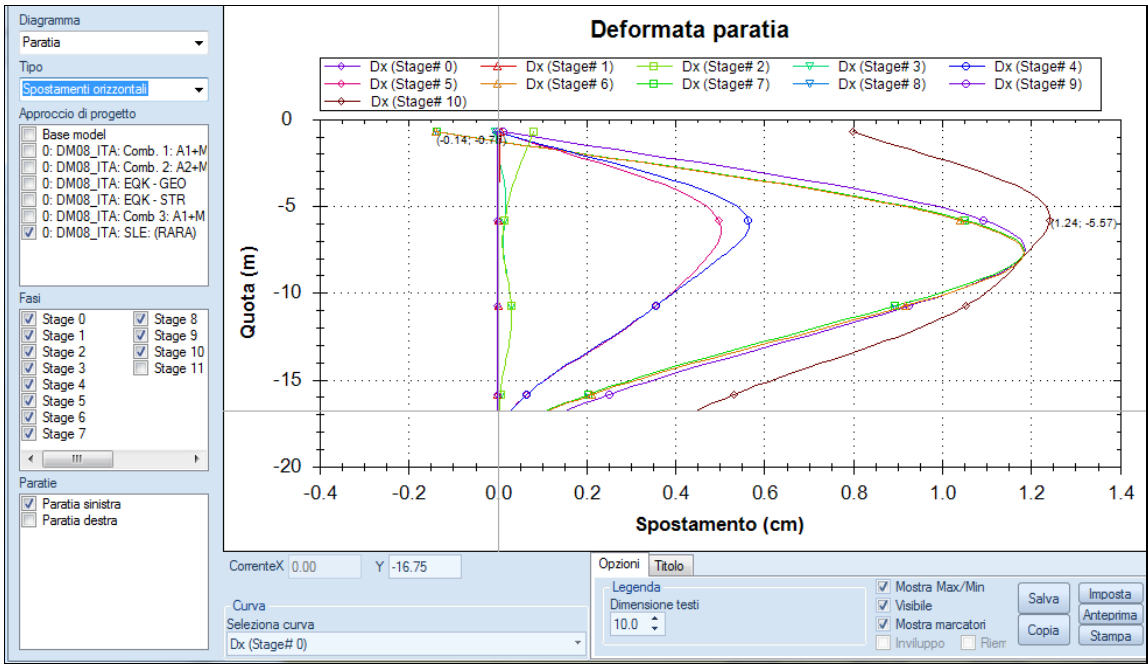
Le sollecitazioni e gli spostamenti negli elementi strutturali e gli sforzi nei terreni emersi dal calcolo, dettagliati fase per fase rispettivamente, sono riportati per esteso nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione.

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 55 di 193

Il massimo spostamento orizzontale della testa della struttura, determinato con la combinazione agli SLE - RARE, risulta pari a:

$$s_{max} = 1.24\text{cm} = \frac{1}{1290} H$$

ove H è l'altezza complessiva della paratia, valore che risulta ampiamente compatibile con la tipologia di opera in questione.



Diagrammi degli spostamenti orizz. paratia sx – comb. SLE - RARE

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 56 di 193

8.3 Verifiche di resistenza

8.3.1 Verifiche dell'interazione terreno-paratia

Le verifiche geotecniche (GEO) della paratia, compresa quella di stabilità globale, eseguite secondo il metodo degli Stati Limite, sono sviluppate per le sollecitazioni massime calcolate nelle diverse fasi di calcolo, considerando le seguenti combinazioni:

- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA - GEO

Si riporta di seguito il report delle verifiche dell'interazione terreno – paratia, in riferimento alle due combinazioni sopracitate:

Esteso								
	Esito calcolo	Spostamento X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)		Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	N/A		1000	4.56	1.592	717.328
Sbancamento	Calculated	0.01	N/A		1000	4.26	1.657	123.998
Scavo a z = -2.50m	Calculated	0.09	0.05		4.12	3.405	1.527	16.021
1° ordine tiranti	Calculated	0.03	0.1		4.12	3.441	1.571	16.021
Scavo a z = -6.50	Calculated	0.99	1.6		1.748	1.786	1.178	3.27
2° ordine tiranti	Calculated	0.92	1.48		1.748	1.81	1.222	3.285
Scavo - 8.40	Calculated	4.75	6.54		1.536	1.35	1.026	2.296
Soletta di fondo	Calculated	4.74	6.73		1.555	1.418	1.038	3.936
Riempimento	Calculated	4.74	6.73		1.555	1.418	1.038	3.936
Realizzazione impalcato e ballast	Calculated	4.73	6.64		1.555	1.379	1.024	4.003
Sovraccarico ferroviario e stradale	Calculated	4.77	6.63		1.555	1.256	1.015	3.999

Approcci di progetto disponibili: 2: 0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1
 Selezione paratia: 0: Left wall
☒ Considera anche elementi aggiuntivi
 Copia tabella dati
 Esci

Verifiche geotecniche – comb. SLU – A2+M2+R1

Esteso								
	Esito calcolo	Spostamento X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)		Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	N/A		1000	4.56	1.592	717.328
Sbancamento	Calculated	0.01	N/A		1000	4.269	1.671	161.457
Scavo a z = -2.50m	Calculated	0.08	0.05		4.12	3.411	1.541	16.021
1° ordine tiranti	Calculated	0.03	0.1		4.12	3.447	1.585	16.021
Scavo a z = -6.50	Calculated	0.92	1.53		1.748	1.791	1.185	3.27
2° ordine tiranti	Calculated	0.85	1.4		1.748	1.815	1.229	3.285
Scavo - 8.40	Calculated	4.58	6.31		1.536	1.355	1.026	2.296
Soletta di fondo	Calculated	4.57	6.49		1.555	1.422	1.039	3.937
Riempimento	Calculated	4.57	6.49		1.555	1.422	1.039	3.937
Realizzazione impalcato e ballast	Calculated	4.56	6.4		1.555	1.382	1.024	4.004
Sovraccarico ferroviario e stradale	Calculated	4.58	6.39		1.555	1.283	1.017	4.001
Sisma	Calculated	4.58	6.36		1.555	1.23	1.049	2.118

Approcci di progetto disponibili: 3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO
 Selezione paratia: 0: Left wall
☒ Considera anche elementi aggiuntivi
 Copia tabella dati
 Esci

Verifiche geotecniche – comb. SISMA – GEO

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 57 di 193

Riguardo alla colonna relativa a “cedimenti terreno” delle tabelle sopra illustrate, questi sono da intendersi quali massimi cedimenti superficiali del terreno a monte delle paratie; si riporta nel seguito il criterio di valutazione (Boone e Westland) utilizzato dal programma di calcolo nell’ambito dell’analisi non lineare condotta sul sistema struttura-terreno (dal manuale teorico del programma):

5.5 Stima dei cedimenti superficiali

Boone and Westland hanno studiato un approccio per stimare i cedimenti superficiali. Questo approccio associa i cedimenti superficiali alla stabilità di base, a un valore modificato della rigidità del sistema e agli spostamenti della paratia come mostrato nella Fig. 12.

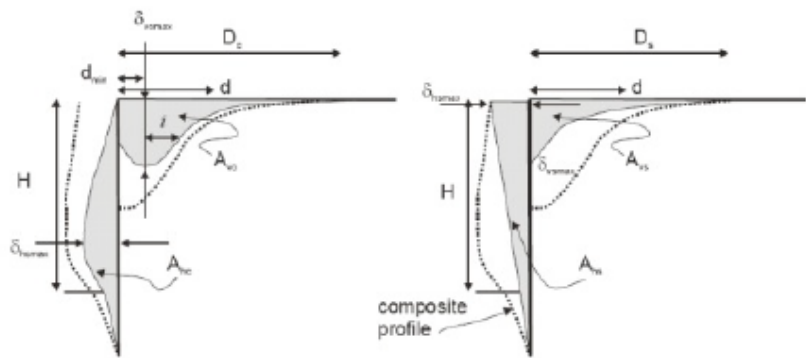


Figura 12: Definizione dei parametri di spostamento verticale ed orizzontale, profilo concavo sulla sinistra, convesso sulla destra (Boone, 2003).

Gli spostamenti della paratia e gli abbassamenti sono suddivisi in due categorie principali:

- Paratie a sbalzo - che generano il volume di cedimenti convesso attraverso A_{vs} ;
- Inflessione della paratia – che genera il profilo di cedimento concavo attraverso A_{vc} .

La combinazione dei due casi genera il profilo di cedimenti superficiali. Entrambe queste aree A_{vs} e A_{vc} sono prese con una determinata percentuale dei corrispondenti movimenti della paratia. Quando viene lanciata un’analisi di tipo NL (trave su suolo elasto-plastico), il programma permette di stimare gli abbassamenti della paratia direttamente dagli spostamenti della stessa. Inoltre, viene aggiunta una componente dovuta alla traslazione del piede della paratia alla configurazione concava. Questo volume aggiuntivo è stimato come un triangolo estrapolando una linea dal massimo spostamento sopra il piede della paratia allo spostamento alla base della paratia stessa. Fig. 13 riporta informazioni e raccomandazioni sull’utilizzo di questo metodo. Se vengono utilizzati gli spostamenti, è fortemente raccomandato abilitare le modifiche dalla scheda relativa alla stima dei cedimenti superficiali nel menù principale (il rischio è quello di sovrastimare gli abbassamenti).

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 58 di 193

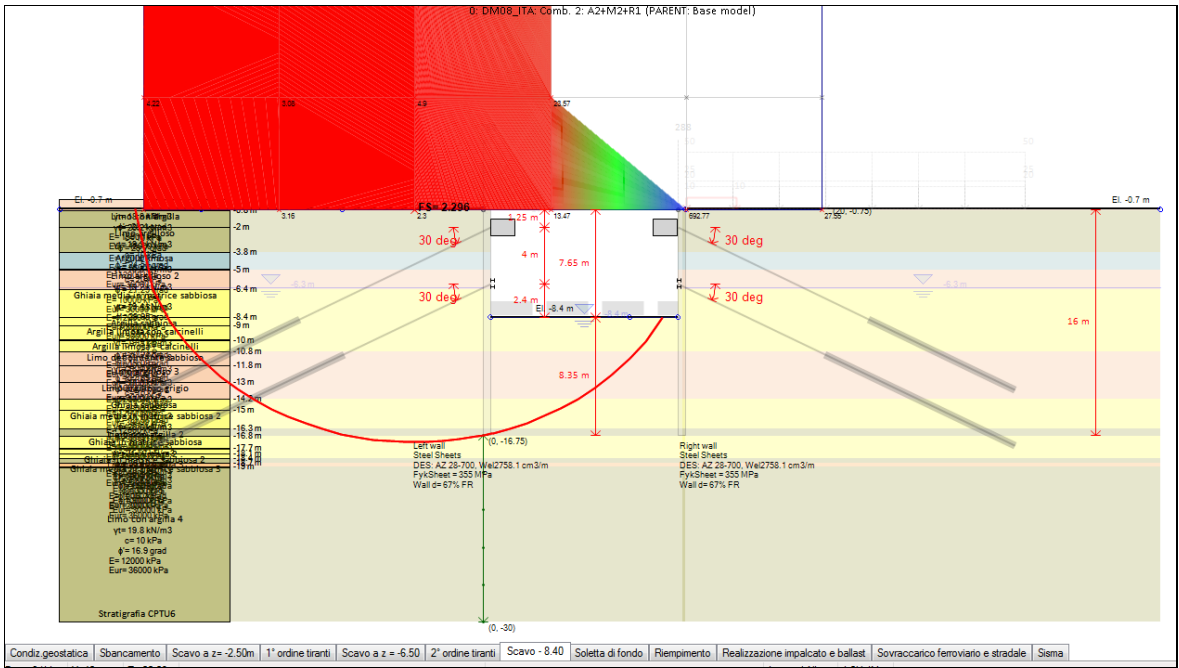
Characteristic	Condition	Equation
Maximum Lateral Displacement		
maximum unfactored lateral displacement, δ_{lmax}	support installation and removal	$\delta_{lmax}^* = (8.5 S_z + 0.4) F S^{-1.7}$
construction Stage, α_{CS}	supports removed	$\alpha_{CS} = 1$
	tiebacks remaining stressed	$\alpha_{CS} = 1 - \frac{(E_{st}/p_a)}{3000/S_z^{0.3} + (E_{st}/p_a)}$
preloading, α_{PL}	percent of preload maintained	$\alpha_{PL} = e^{-(PL/(50+4S_z))}$
excavation width, α_B		$\alpha_B = 0.75 + H/(4B)$
strut stiffness, α_S		$\alpha_S = 0.3(e^{S_z/1000} + e^{S_z/200}) + 0.7$
soil modulus, α_M		$\alpha_M = 6.67 E_{st}^{-2/3}$
max. lateral displacement, δ_{lmax}		$\delta_{lmax} = \delta_{lmax}^* \alpha_{CS} \alpha_{PL} \alpha_S \alpha_B \alpha_M \alpha_{CS}$
Ground Surface Displacements		
maximum lateral displacement at surface, $\delta_{surface}$	Supports remain in place	$\frac{\delta_{surface}}{\delta_{lmax}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{500 + (E_{st}/p_a) S_z^{0.2}}$
	Supports removed	$\frac{\delta_{surface}}{\delta_{lmax}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{700} \leq 1.0$
lateral displacement areas		
Area of lateral spandrel displacement, A_{ls}		$A_{ls} = \delta_{surface} (H + H_p)/2$
Ratio of spandrel displacement to total displacement area, A_{ls}/A_{lt}	End of excavation stage	$\frac{A_{ls}}{A_{lt}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{1,600 + (E_{st}/p_a) S_z^{0.3}}$
	After support removal	$\frac{A_{ls}}{A_{lt}} = \frac{(E_{st}/p_a)}{300 + (E_{st}/p_a)}$
Area of convex displacement, A_{lc}		$A_{lc} = 1 - A_{ls}/A_{lt}$
ratios of vertical and lateral displacement areas		
Ratio of vertical and horizontal displacement areas	Cantilever walls	$A_{vs}/A_{ls} = A_{vc}/A_{lc} = A_{vt}/A_{lt} = 1$
	Supports remain in place	$A_{vs}/A_{ls} = A_{vc}/A_{lc} = A_{vt}/A_{lt} = 0.85$
	Supports removed	$A_{vs}/A_{ls} = A_{vc}/A_{lc} = A_{vt}/A_{lt} = 1.1$ (no dilation)
spandrel portion of settlement trough		
Maximum settlement, δ_{vmax}		$\delta_{vmax} = 3 A_{vs}/D_s; D_s \approx 1.2H$ to $1.5H$
Settlement at any point, δ_{vs}		$\delta_{vs} = \delta_{vmax}^2 [(D_s - d)/D_s]^2; D_s \approx 1.2H$ to $1.5H$
concave settlement portion of settlement trough		
Maximum settlement, δ_{vc}		$\delta_{vc} = \frac{A_{vc}}{[1 - \Phi(0, d_{max}, i)] \sqrt{2\pi} i}$
Settlement at any point, δ_{vc}		$\delta_{vc} = e^{-\frac{(d-d_{max})^2}{2i^2}}$
<small>D_s = twice the distance from the wall top to the position of the load resultant i = inflection point, defined as $(D_s - d_{max})/\text{constant}$, where the constant ≈ 4 to 5 Φ = area of standard normal distribution function, with random variable = 0 (wall position), mean = d_{max}, and standard deviation = i</small>		
complete settlement profile		
Total settlement at any point		$\delta_v = \delta_{vs} + \delta_{vc}$

Figura 13: Sommario delle equazioni di stima degli spostamenti basato su una curva che approssima i risultati di una modellazione numerica NL.

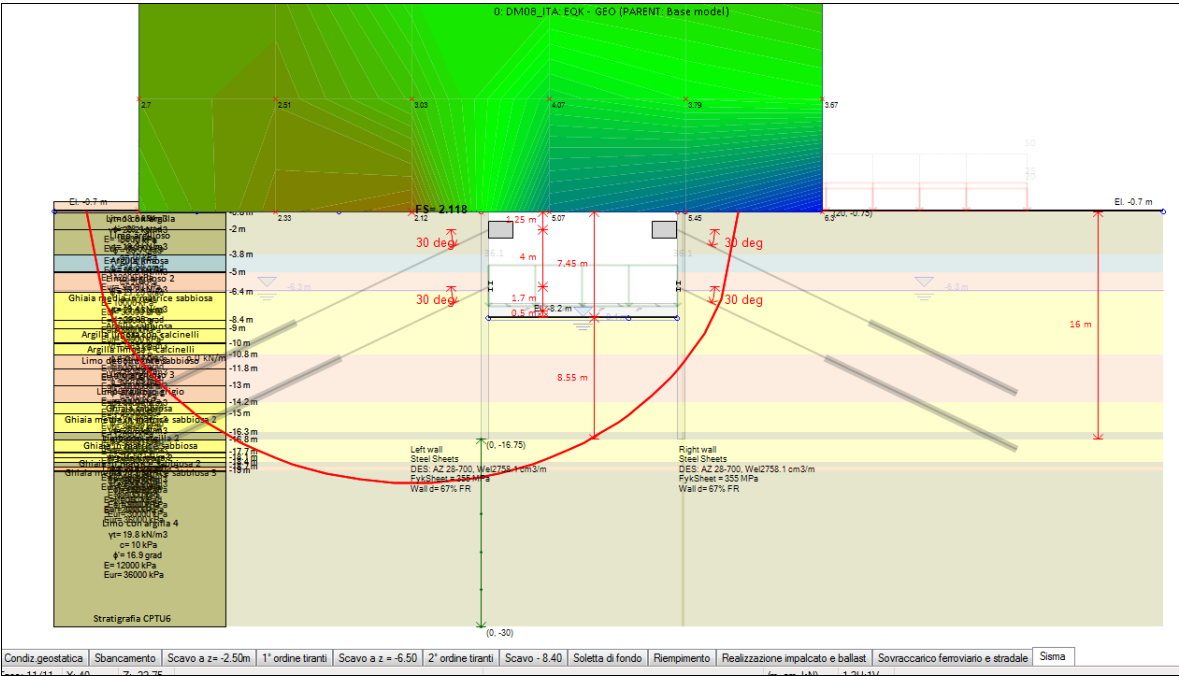
Il valore massimo di tali cedimenti emerso dal calcolo, relativamente alla combinazione SLU A2 + M2 +R1, risulta pari a $\delta = 6.73\text{cm}$, associato alla fase di realizzazione della soletta di fondo a seguito dello scavo alla profondità massima, dunque in fase provvisoria; tale cedimento, nel corso delle successive fasi di lavorazione, non registra incrementi ulteriori bensì un leggero decremento fino al valore finale $\delta = 6.63\text{cm}$. In virtù di quanto esposto si ritiene tale cedimento certamente tollerabile essendo antecedente alle fasi di formazione del rilevato ferroviario di accesso all'impalcato a monte delle paratie.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 59 di 193

Si riporta quindi la rappresentazione grafica della superficie di scivolamento critica, emersa dall'analisi della stabilità globale effettuata sulla configurazione finale dell'opera, rispettivamente per le combinazioni considerate.



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SLU – A2+M2+R1 (fase 6)



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SISMA – GEO (fase 11)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 60 di 193

Nel momento in cui il calcolo non lineare dell'interazione paratia-terreno giunge a convergenza, risulta automaticamente soddisfatta la verifica di portanza della paratia come risultano nulli o trascurabili i cedimenti ai piedi della paratia. Il programma altresì valuta i cedimenti dell'estradosso del terreno a monte della paratia, i cui valori sono riportati nelle tabelle riassuntive sopra illustrate.

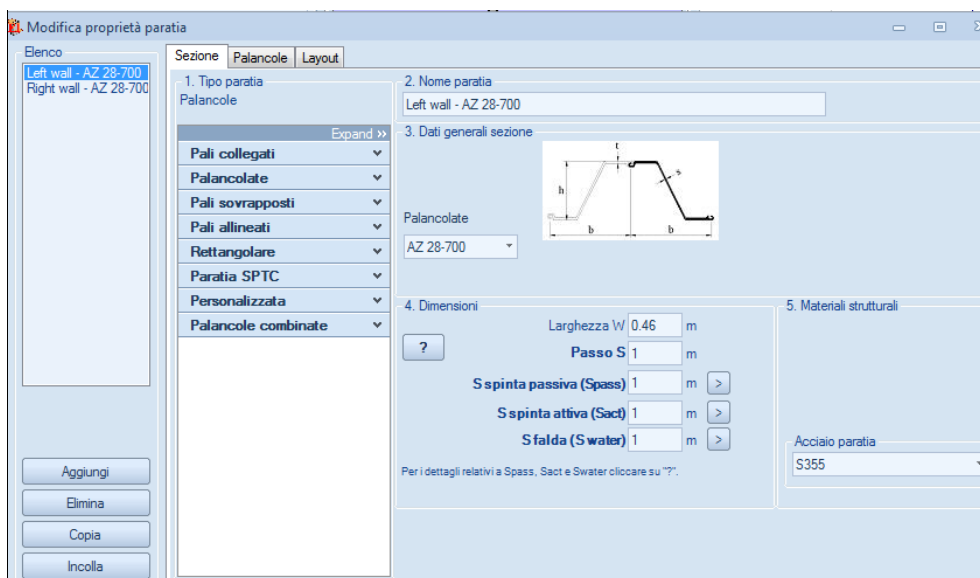
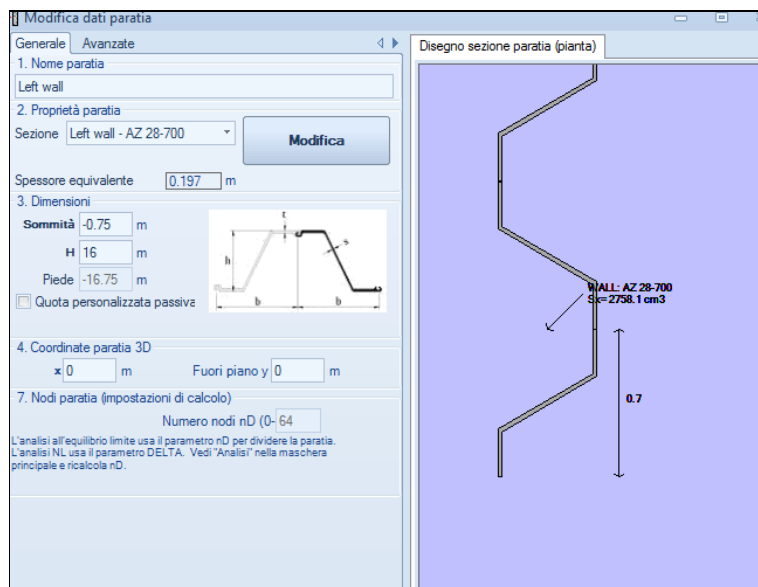
<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 61 di 193

8.3.2 Verifiche strutturali palanca

Si conducono le verifiche strutturali (a pressoflessione e taglio) della palanca, in relazione alle seguenti combinazioni:

- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti figure si illustrano le caratteristiche geometriche e meccaniche della palanca tipo AZ28-700, considerate nel calcolo:



Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 62 di 193

Modifica proprietà paratia

Blenco

Left wall - AZ 28-700
Right wall - AZ 28-700

Sezione Palancole Layout

1. Scelta sezioni (da archivio)

sezione AZ 28-700

2. Proprietà palancolate

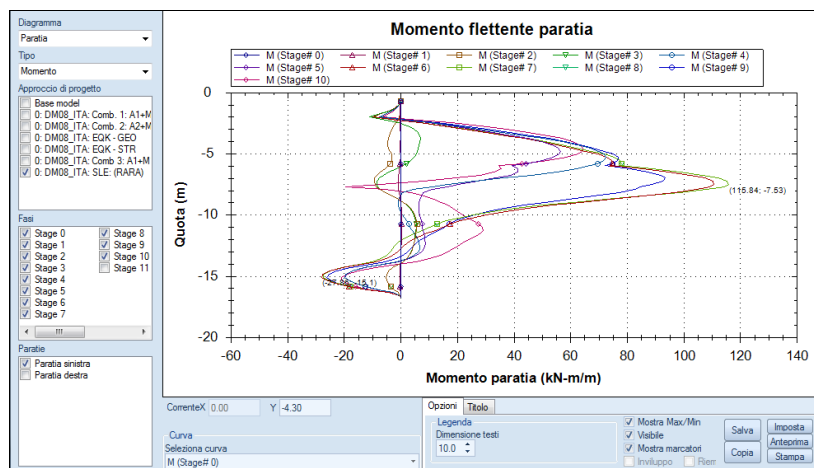
h 46.101 cm A 200.24 cm²/m
b 70.002 cm t_f 1.321 cm
b_{ox} 63622.8 cm⁴/m s 1.321 cm
W_{el} 2758.1 cm³/m α 55.4 °

Libera sotto il fondo scavo 5 volte l'ampiezza della paratia

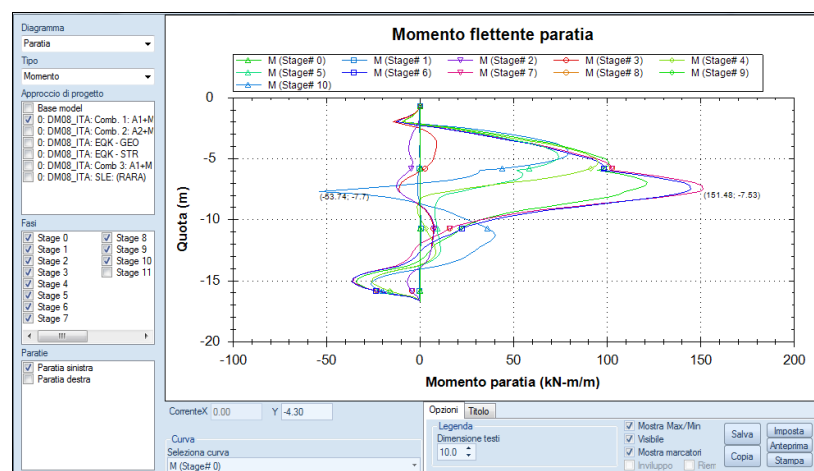
MANUFACTURER: Arcelor, LuxembourgLuxembourg, SHAPE: Z
HOT/COLD ROLLED: HR, INTERLOCK: DH

Aggiungi
Elimina
Copia
Incolla

Effettuando la verifica a pressoflessione del palo della paratia, considerando il valore massimo della sollecitazione da momento flettente e trascurando, a favore di sicurezza, il carico assiale, si ottiene:

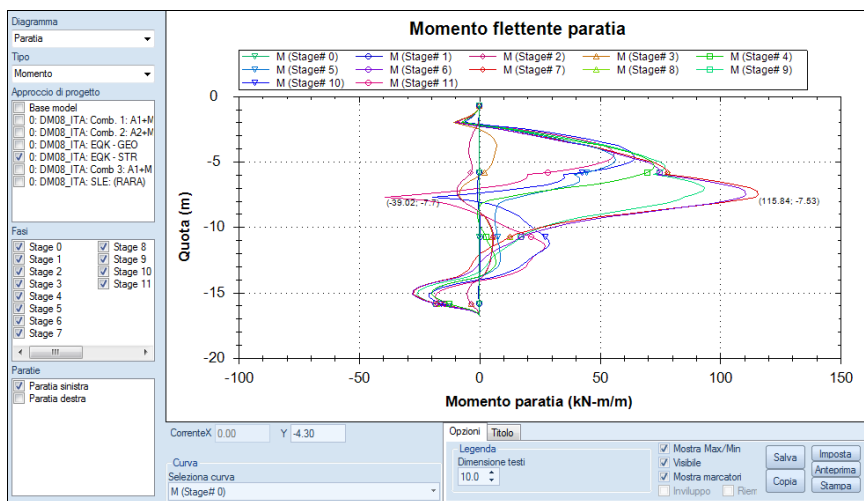


Diagrammi del Momento flettente paratia sx – comb. SLE - RARE



Diagrammi del Momento flettente – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 63 di 193



Diagrammi del Momento flettente – comb. SISMA - STR

Esteso	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica paratia (TSF)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	0	0	0	0	0	0
Sbancamento	Calculated	1.28	1.28	1.34	1.34	0.001	0.0013...	0
Scavo a z = -2.50m	Calculated	12.32	12.32	13.44	13.44	0.013	0.0132...	0.003
1° ordine tiranti	Calculated	14.12	14.12	29.25	29.25	0.015	0.0151...	0.007
Scavo a z = -6.50	Calculated	95.29	95.29	52.15	52.15	0.102	0.1021...	0.013
2° ordine tiranti	Calculated	74.49	74.49	45.7	45.7	0.08	0.0798...	0.012
Scavo - 8.40	Calculated	144.78	144.78	57.46	57.46	0.155	0.1552...	0.015
Soletta di fondo	Calculated	151.48	151.48	67.35	67.35	0.162	0.1624...	0.017
Riempimento	Calculated	151.48	151.48	67.35	67.35	0.162	0.1624...	0.017
Realizzazione impalcato e ballast	Calculated	121.74	121.74	52.02	52.02	0.131	0.1305...	0.013
Sovraccarico ferroviario e stradale	Calculated	79.64	79.64	105.08	105.08	0.085	0.0854...	0.027

Approcci di progetto disponibili

1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1

Selezione par

0: Left wall

Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Esteso	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica paratia (TSF)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	0	0	0	0	0	0
Sbancamento	Calculated	0.86	0.86	0.89	0.89	0.001	0.0009...	0
Scavo a z = -2.50m	Calculated	9.35	9.35	10.22	10.22	0.01	0.0100...	0.003
1° ordine tiranti	Calculated	10.84	10.84	22.54	22.54	0.012	0.0116...	0.006
Scavo a z = -6.50	Calculated	72.6	72.6	39.82	39.82	0.078	0.0778...	0.01
2° ordine tiranti	Calculated	56.72	56.72	34.92	34.92	0.061	0.0608...	0.009
Scavo - 8.40	Calculated	110.58	110.58	44.14	44.14	0.119	0.1185...	0.011
Soletta di fondo	Calculated	115.84	115.84	51.52	51.52	0.124	0.1242...	0.013
Riempimento	Calculated	115.84	115.84	51.52	51.52	0.124	0.1242...	0.013
Realizzazione impalcato e ballast	Calculated	93.48	93.48	39.3	39.3	0.1	0.1002...	0.01
Sovraccarico ferroviario e stradale	Calculated	64.4	64.4	72.71	72.71	0.069	0.0690...	0.019
Sisma	Calculated	55.85	55.85	76.36	76.36	0.06	0.0598...	0.02

Approcci di progetto disponibili

4: 0: DM08_ITA: EQK - STR

Selezione

0: Left wall

Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SISMA - STR

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 64 di 193

8.3.3 Verifica dei tiranti

Per le paratie in esame si prevedono n° 2 ordini di tiranti, che presentano le seguenti caratteristiche:

1° ordine (z = - 1.25m da testa paratia):

- Tipo tirante : n°4 trefoli da 0.6'';
- $\phi_{\text{perf}} = 20$ cm
- $L_{\text{bulbo}} = 10$ m
- $L_{\text{libera}} = 13$ m
- $\alpha = 30^\circ$
- $N_{\text{precar}} = 150$ kN
- $i = 3.0$ m

2° ordine (z = - 5.25m da testa paratia):

- Tipo tirante : n°4 trefoli da 0.6'';
- $\phi_{\text{perf}} = 20$ cm
- $L_{\text{bulbo}} = 13$ m
- $L_{\text{libera}} = 10$ m
- $\alpha = 30^\circ$
- $N_{\text{precar}} = 150$ kN
- $i = 3.0$ m

Si riportano le finestre di input del programma Paratie Plus 2012, riferite ai tiranti di ancoraggio:

Dati di input del 1° ordine di tiranti

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 65 di 193

Modifica dati vincoli, Stage: 5

Generale Avanzate Risultati Note Involuppo

1. Dimensioni

1.1 Punto di inserimento

X 0.5 m

Z -5.25 m

1.2 Inclinazione

α 30 °

1.3 Lunghezze

L libera 10 m

L bulbo 15 m

Eff.L bulbo (η) 80 %

Passo 3 m

Precarico

☒ Precarico

150 kN

Applicato soltanto nella fase durante la quale l'elemento viene attivato per la prima volta

2. Tipo vincolo - Sezione strutturale

☒ Tirante ☐ Tirante elicoidale Sezione strutturale Tiranti 4 trefoli 0.6" Modifica

☐ Modifica tipo di supporto

3. Attiva/Disattiva - Supporto permanente o temporaneo

☒ Attiva nella fase corrente Vincolo permanente

Dati di input del 2° ordine di tiranti

Generale Geotecnica Avanzate

1. Nome

Tiranti 4 trefoli 0.6"

2. Trefolo

Materiale S1860 (Strands fyk) fyk 1670 MPa E 210000 MPa

Tipo

☒ Barre ☐ Trefoli ☐ Area sezione ☐ Micropali (tubolare) ☐ Micropali (profilo)

Parametri

Diametro esterno Φ_e 1.524 cm

Diametro interno Φ_i 0 cm No. 4

A 7.296588 cm²

3. Fondazione

Materiale C32/40 $\Phi_{sfil} = \alpha \times \Phi_{perf}$ Φ_{sfil} 20 cm

Dati di input tiranti

Per quanto riguarda le verifiche strutturali dei tiranti, effettuate secondo le combinazioni:

➤ SLU – A1 + M1 + R1;

➤ SISMA - STR.

si ottiene:

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 66 di 193

Sommario Analisi				
Tutti gli approcci di progetto				
Singolo approccio di progetto				
Reazione vincoli (vincolo singolo)				
	Supporto 0 Reazione (z = -2) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z = -2) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z = -6) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z = -6) kN at 3 m
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0	0	0	0
Fase 3	150	150	0	0
Fase 4	161.199	161.166	0	0
Fase 5	159.96	159.927	150	150
Fase 6	161.688	161.601	186.81	186.795
Fase 7	162.036	161.937	187.359	187.338
Fase 8	162.036	161.937	187.359	187.338
Fase 9	170.34	169.677	189.762	189.456
Fase 10	210.393	204.903	198.168	196.608

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLE - RARE

Sommario Analisi				
Tutti gli approcci di progetto				
Singolo approccio di progetto				
Reazione vincoli (vincolo singolo)				
	Supporto 0 Reazione (z = -2) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z = -2) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z = -6) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z = -6) kN at 3 m
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0	0	0	0
Fase 3	195	195	0	0
Fase 4	209.793	209.742	0	0
Fase 5	208.182	208.131	195	195
Fase 6	210.616	210.51	243.227	243.184
Fase 7	211.119	211.006	243.964	243.918
Fase 8	211.119	211.006	243.964	243.918
Fase 9	222.366	221.411	247.233	246.784
Fase 10	289.778	281.701	261.167	258.796

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLU - A1+M1+R1

Sommario Analisi				
Tutti gli approcci di progetto				
Singolo approccio di progetto				
Reazione vincoli (vincolo singolo)				
	Supporto 0 Reazione (z = -2) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z = -2) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z = -6) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z = -6) kN at 3 m
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0	0	0	0
Fase 3	150	150	0	0
Fase 4	161.199	161.166	0	0
Fase 5	159.96	159.927	150	150
Fase 6	161.688	161.601	186.81	186.795
Fase 7	162.036	161.937	187.359	187.338
Fase 8	162.036	161.937	187.359	187.338
Fase 9	170.34	169.677	189.762	189.456
Fase 10	210.393	204.903	198.168	196.608
Fase 11	231.003	227.688	202.503	201.45

Riepilogo sollecitazioni – comb. SISMA - STR

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 67 di 193

Sommario Analisi

Tutti gli approcci di pr

Singolo approccio di p

Sommario esteso

Reazione supporti (al metro) vs f

Reazione supporti vs Fase

FS paratia vs Fase

Verifica supporti vs Fase

Travi di ripartizione

FS paratia vs Fase (esteso)

Ka e Kp

Prescrizioni armatura

TSF vincoli/fasi

	TSF Supporto 0(z= -2)	TSF Supporto 1(z= -2)	TSF Supporto 2(z= -6)	TSF Supporto 3(z= -6)
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0	0	0	0
Fase 3	0.411	0.411	0	0
Fase 4	0.442	0.442	0	0
Fase 5	0.439	0.438	0.455	0.455
Fase 6	0.444	0.443	0.568	0.567
Fase 7	0.445	0.444	0.569	0.569
Fase 8	0.445	0.444	0.569	0.569
Fase 9	0.468	0.466	0.577	0.576
Fase 10	0.61	0.593	0.609	0.604

Approcci di progetto disponibili

1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Sommaro Analisi

Tutti gli approcci di progetto

Singolo approccio di progetto

Sommario esteso

Reazione supporti (al metro) vs f

Reazione supporti vs Fase

FS paratia vs Fase

Verifica supporti vs Fase

Travi di ripartizione

FS paratia vs Fase (esteso)

Ka e Kp

Prescrizioni armatura

Pannelli

Genera relazione

TSF vincoli/fasi

	TSF Supporto 0(z= -2)	TSF Supporto 1(z= -2)	TSF Supporto 2(z= -6)	TSF Supporto 3(z= -6)
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0	0	0	0
Fase 3	0.234	0.234	0	0
Fase 4	0.252	0.251	0	0
Fase 5	0.25	0.25	0.259	0.259
Fase 6	0.252	0.252	0.323	0.323
Fase 7	0.253	0.253	0.324	0.324
Fase 8	0.253	0.253	0.324	0.324
Fase 9	0.266	0.265	0.328	0.327
Fase 10	0.328	0.32	0.343	0.34
Fase 11	0.36	0.355	0.35	0.348

Approcci di progetto disponibili

4: 0: DM08_ITA: EQK - STR

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo verifiche – comb. SISMA - STR

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 68 di 193

Per quanto riguarda la verifica a sfilamento dei tiranti, effettuata secondo la combinazione:

➤ SLU – A1 + M1 + R3

e considerando un valore limite dell'aderenza cls-terreno pari a 10 kPa (vedi figura):

si ottiene:

TSF vincoli/fasi	TSF Supporto 0(z=-2)	TSF Supporto 1(z=-2)	TSF Supporto 2(z=-6)	TSF Supporto 3(z=-6)
Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0	0	0	0
Fase 3	0.411	0.411	0	0
Fase 4	0.442	0.442	0	0
Fase 5	0.439	0.438	0.455	0.455
Fase 6	0.444	0.443	0.568	0.567
Fase 7	0.445	0.444	0.569	0.569
Fase 8	0.445	0.444	0.569	0.569
Fase 9	0.468	0.466	0.577	0.576
Fase 10	0.61	0.593	0.609	0.604
Fase 11	0.595	0.579	0.606	0.601

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R3

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

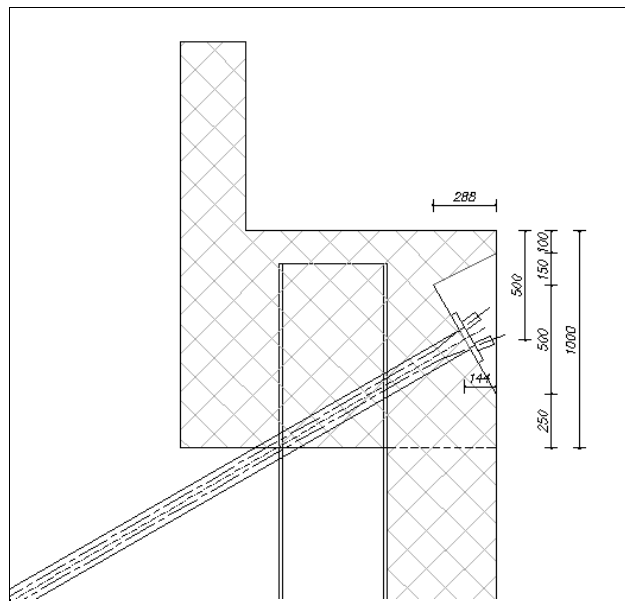
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 69 di 193

8.3.4 Verifica del cordolo di sommità e travi di contrasto e soletta di fondo

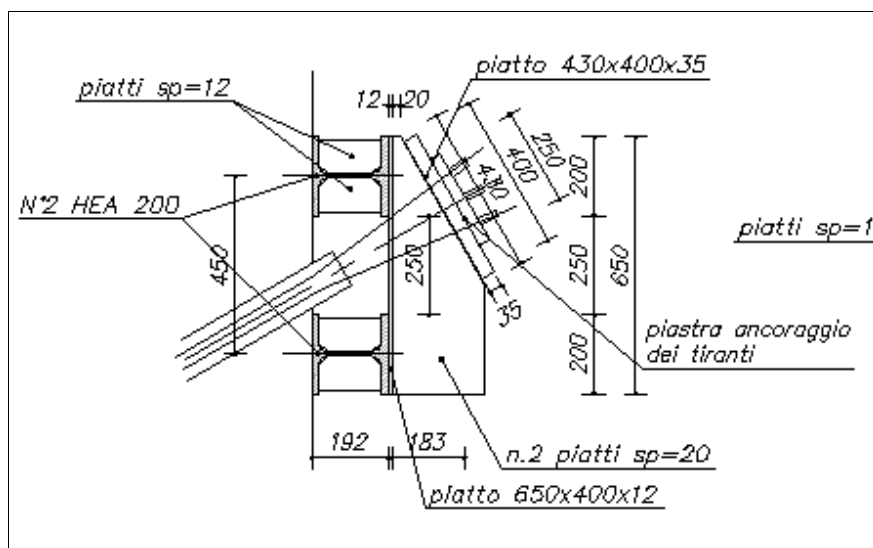
Come elementi strutturali di coronamento e contrasto dei tiranti del 1° ordine(in testa alle palancole) si prevedono travi in c.a. gettate in opera, di dimensioni pari a 100x145cm, per le quali si dispone la seguente armatura minima:

- A_{long} : n° 6+6 ϕ 16 c = 4cm
- A_{taglio} : staffe ϕ 12/2br/20cm

Le travi di ripartizione del 2° ordine di tiranti sono invece costituite da n° 2 profili accoppiati HEA200.



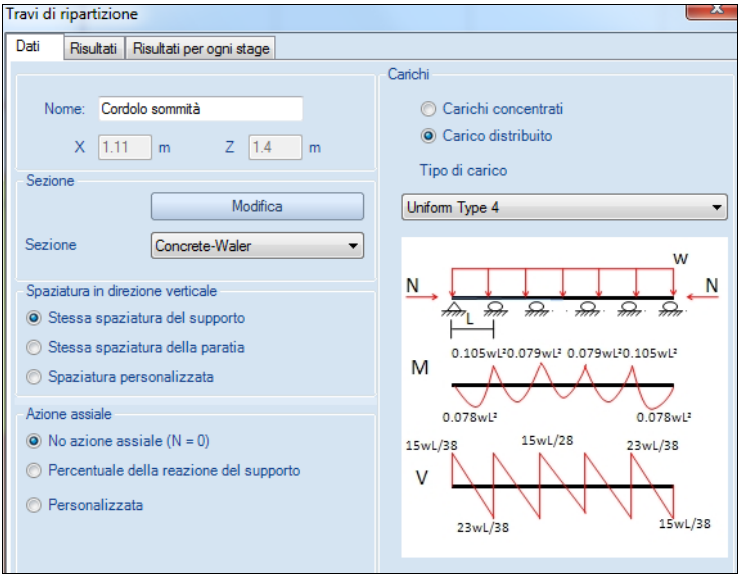
Particolare del cordolo di sommità



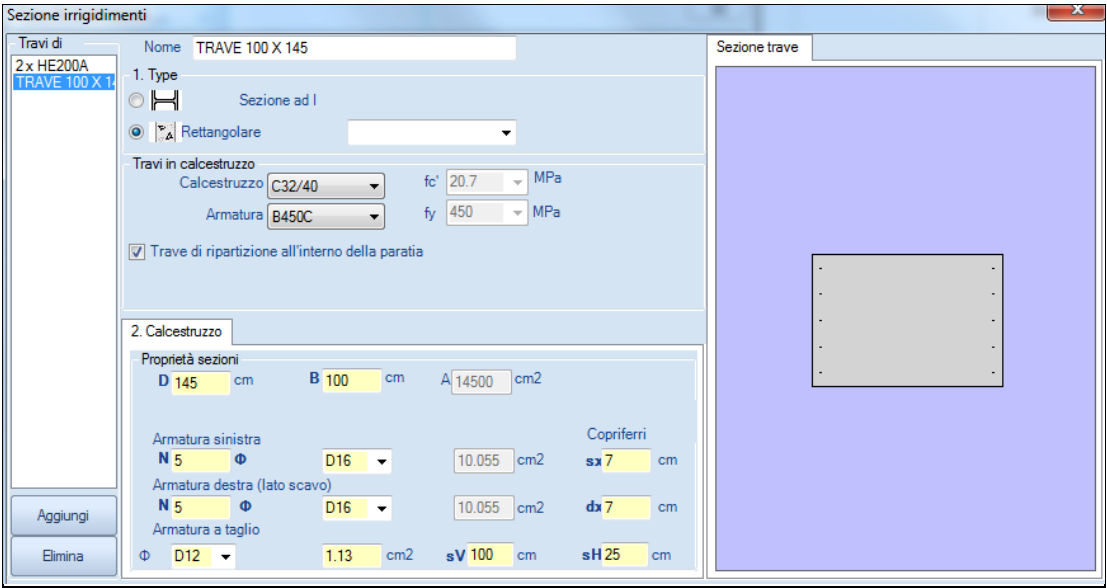
Particolare della trave di ripartizione 2° ordine di tiranti

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 70 di 193

Si ipotizza per il calcolo sia del cordolo che della trave di ripartizione uno schema statico di trave continua su più appoggi, sottoposta a carico uniformemente distribuito.



Schema statico cordolo di sommità e trave di ripartizione 2° ordine



Caratteristiche strutturali del cordolo di sommità

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 71 di 193

Sezione irrigidimenti

Travi di: **2 x HEA200**

1. Type: ☒ Sezione ad I **HE 200A** ☐ Rettangolare

Profili in acciaio: Materiale **S355** f_y **450** MPa

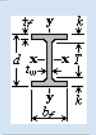
☐ Orienta come il vincolo (es. tiranti)
Angolo rot β **0** ° (Asse debole paratia)

☒ Usa travi multiple **2** Travi Distanza C **25** cm

☐ Modifica proprietà

1. Acciaio

Proprietà sezioni:

D 19 cm	A 53.8 cm ²	tw 0.7 cm	
bf 20 cm	tf 1 cm	k 2.8 cm	
Ixx 3692 cm ⁴	Iyy 1336 cm ⁴	Cw 108 cm ⁶	
Sxx 388.6 cm ³	Syy 133.6 cm ³	rT 5.36 cm	
rx 8.3 cm	ry 5 cm	W 0.414 kN/m	
Zxx 429.5 cm ³	Zyy 203.8 cm ³	J 21 cm ⁴	

☐ Sezione a C

Aggiungi Elimina Ricalcola

Sezione trave

Caratteristiche strutturali della trave di ripartizione 2° ordine di tiranti

Per il calcolo e le verifiche strutturali si considerano le seguenti combinazioni:

- SLE – RARE (Base model);
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti tabelle si riepilogano le sollecitazioni sui cordoli di sommità e sulle travi di ripartizione, determinate col calcolo per ogni combinazione considerata, e le relative verifiche:

Sommario (tutte le fasi)																		
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)
► Cordolo di sommità	1.185	-2	0	TRAVE 100 X 145	0	Left wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.209	0.209	0.717	57.4	106.2	0	110.3	118
Cordolo di sommità	10.775	-2	180	TRAVE 100 X 145	1	Right wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.108	0.082	0.055	55.9	64	0	107.4	9
Trave di ripartizione	0.555	-6	0	2 x HE200A	2	Left wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.485	0.282	0	54.1	31.2	0	103.9	60.6
Trave di ripartizione	11.595	-6	0	2 x HE200A	3	Right wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.499	0.279	0	53.6	31	0	103.1	60.1

Approcci di progetto disponibili

6: 0: DM08_JTA: SLE: (RARA)

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SLE - RARE

Sommario (tutte le fasi)																		
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)
► Cordolo di sommità	1.185	-2	0	TRAVE 100 X 145	0	Left wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.276	0.276	0.962	79.1	139.9	0	151.9	158.4
Cordolo di sommità	10.775	-2	180	TRAVE 100 X 145	1	Right wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.148	0.113	0.088	76.8	83.2	0	147.7	14.6
Trave di ripartizione	0.555	-6	0	2 x HE200A	2	Left wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.67	0.396	0	71.2	41.1	0	136.9	79.8
Trave di ripartizione	11.595	-6	0	2 x HE200A	3	Right wall	Uniform 4	3	3	10: Sovr...	0.664	0.391	0	70.6	40.8	0	135.7	79.1
Approcci di progetto disponibili																		
1: 0: DM08_JTA: Comb. 1: A1+M1+R1														<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati		Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SLU - comb. A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 72 di 193

Sommario (tutte le fasi)																		
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)
► Cordolo di sommità	1.185	-2	0	TRAVE 100 X 145	0	Left wall	Uniform 4	3	3	11: Sisma	0.214	0.214	0.755	63	108.6	0	121.1	124.3
Cordolo di sommità	10.775	-2	180	TRAVE 100 X 145	1	Right wall	Uniform 4	3	3	11: Sisma	0.122	0.091	0.088	62.1	64	0	119.3	14.5
Trave di ripartizione	0.555	-6	0	2x HE200A	2	Left wall	Uniform 4	3	3	11: Sisma	0.522	0.289	0	55.2	31.9	0	106.1	61.9
Trave di ripartizione	11.595	-6	0	2x HE200A	3	Right wall	Uniform 4	3	3	11: Sisma	0.519	0.287	0	55	31.7	0	105.6	61.6

Approcci di progetto disponibili

4: 0: DM08_JTA: EQK - STR

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

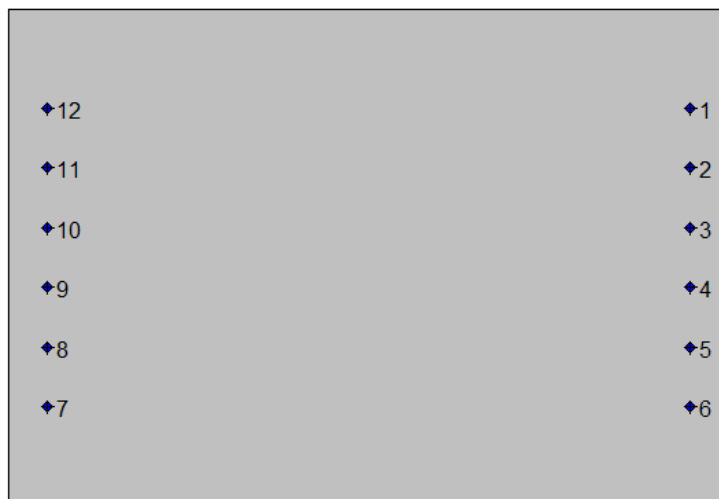
Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SISMA - STR

Effettuando la verifica a flessione del cordolo di sommità, si ottiene:

Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	0,0
2	0,0	100,0
3	145,0	100,0
4	145,0	0,0



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	137,2	80,1	2,0	no
2	137,2	68,1	2,0	no
3	137,2	56,0	2,0	no
4	137,2	44,0	2,0	no
5	137,2	31,9	2,0	no
6	137,2	19,9	2,0	no
7	7,8	19,9	2,0	no
8	7,8	31,9	2,0	no
9	7,8	44,0	2,0	no
10	7,8	56,0	2,0	no
11	7,8	68,1	2,0	no

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 73 di 193

12 7,8 80,1 2,0 no

Normativa di riferimento:

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

Note:

Verifiche SLE per ambiente aggressivo

Materiali:

Calcestruzzo classe: C32/40

R_{ck} (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm²
 f_{ck} (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm²
 f_{ctm} (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm²
 G (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm²
 E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm²
 ν (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050
 Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C

f_{yk} (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm²
 f_{kt} (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm²
 ϵ_{uk} (deformazione di rottura) = 0.075
 G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm²
 E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm²
 ν (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012
 Peso specifico = 7850 daN/mc

Verifiche stato limite ultimo:

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per M_{xu} , M_{yu} e N_u proporzionali (sigla verifica: P)

Verifica con rapporto M_{xu} , M_{yu} assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con N_u costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	79,1	139,9	P	0,0	340,7	602,5	0,230	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	340,7	602,5	0,230	
2	0,0	63,0	108,6	P	0,0	347,0	598,2	0,180	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	347,0	598,2	0,180	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	79,1	139,9	P	0,0	340,7	602,5	0,230	OK
1	0,0	79,1	139,9	M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	OK
1	0,0	79,1	139,9	N	0,0	340,7	602,5	0,230	OK

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: $\sigma_{cL} = 19920,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 74 di 193

Acciaio: $\sigma_{aL} = 360000,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
3 OK	57,4	106,2	0,0	-2415,4	0,12	107471,7	0,30

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $W_{kL} = 0,30$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
4 OK	57,4	106,2	0,0	0,00	0,00

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS: $\sigma_{cL} = 14940,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Fessure: $W_{kL} = 0,20$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
5 OK	57,4	106,2	0,0	-2415,4	0,16	0,00	0,00

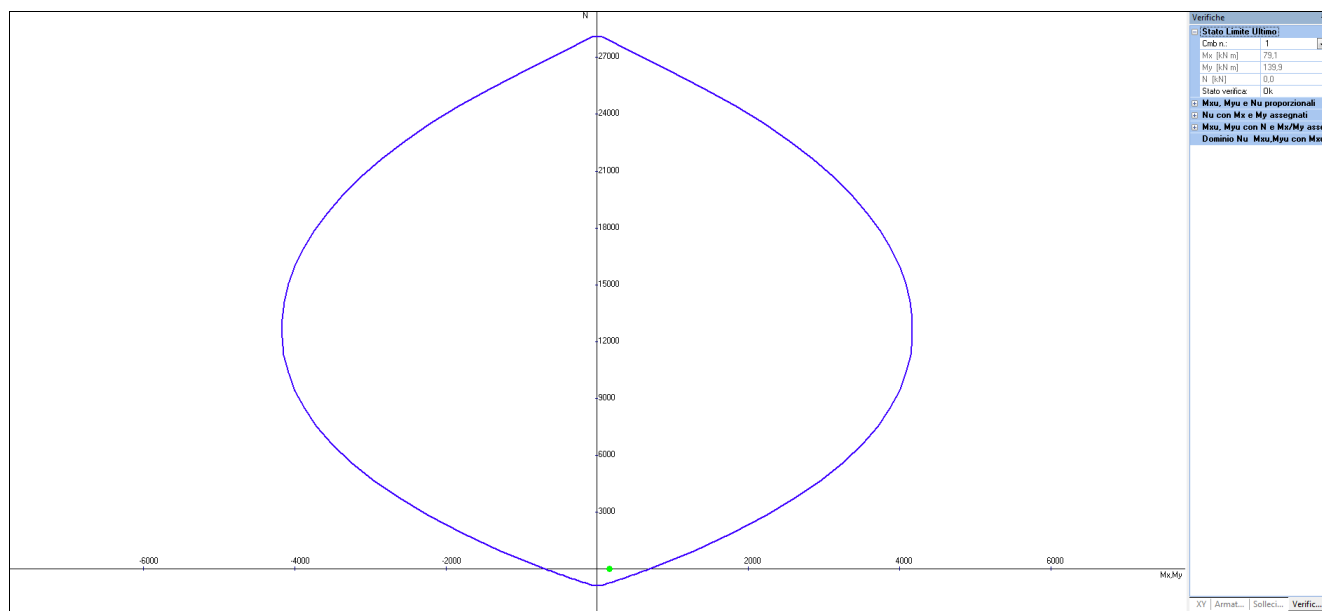
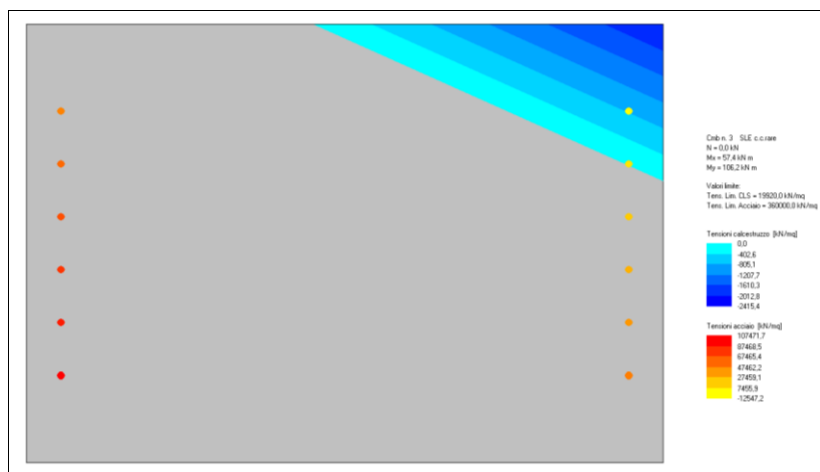
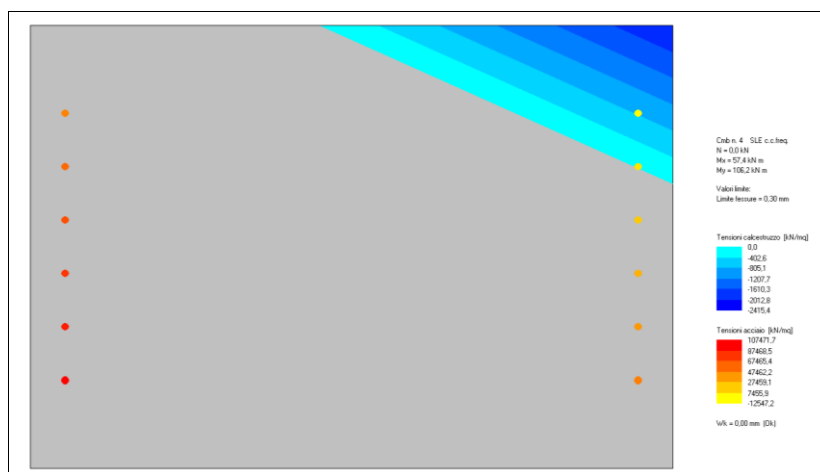


Diagramma d'interazione M-N – comb. SLU - A1+M1+R1

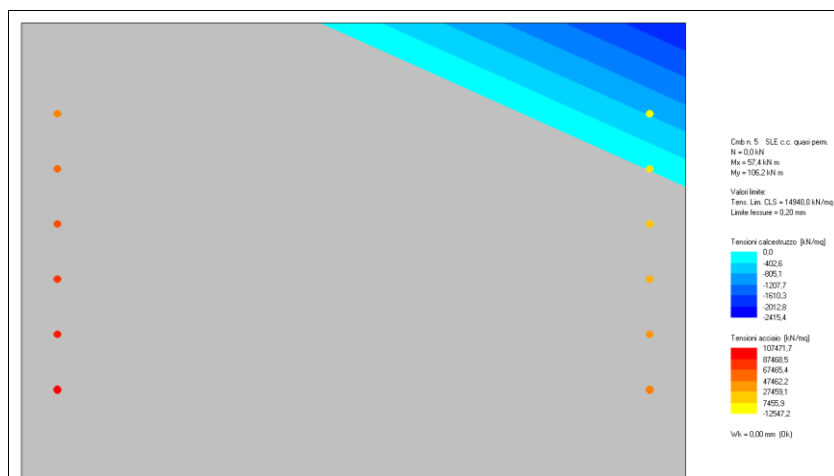
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 75 di 193



Tensioni massime nei materiali – comb. SLE – RARE



Verifica a fessurazione – comb. SLE – FREQUENTI



Verifica a fessurazione – comb. SLE – QUASI PERMANENTI

Tutte le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 76 di 193

Si conduce quindi la verifica a taglio della trave, considerando i valori massimi della sollecitazione da taglio, pari a:

$$T_{\max_SLU} = \sqrt{T_x^2 + T_z^2} = 219.46 \text{ kN/m (COMB. SISMA - STR)}$$

Effettuando la verifica si ottiene:

NTC 2008 - CALCESTRUZZO				
VERIFICA A TAGLIO TRAVI RETTANGOLARI				
UNITA' DI MISURA	forze e carichi:	kN, kN/m, kN/m ²		LEGENDA
	peso specifico:	kN/m ³		
	tensioni e resistenze	N/mm ²		
	momenti (flettente, ecc.)	kNm		
PESI SPECIFICI	γ = 24 kN/m ³ (cls non armato)			
	γ = 25 kN/m ³ (cls armato)			
se $V_{Sd} \leq V_{Rd\text{-senza arm.}}$		armat. minima a taglio		
se $V_{Sd} \geq V_{Rd\text{-senza arm.}}$		armat. a taglio tale che: $V_{Sd} \leq V_{Rd\text{ con arm.}}$		
Elementi che non richiedono armatura a taglio ($V_{Sd} \leq V_{Rd\text{ senza arm.}}$)				
V_{Rd} [kN] =	450,90	>	V_{Ed} [kN] =	219,46 VERIFICATO armatura a taglio minima
Acciaio =	B450C			
Cls =	C32/40			
R_{ck} =	40,00 [N/mm ²]			
f_{ck} =	32,00 [N/mm ²]			
$f_{ctk,0.05}$ =	2,12 [N/mm ²]			
γ _c in uso =	1,50			
V_{Rd} [kN] =	306,61 [kN]		450,90 [kN]	
V_{min} =	0,32			
$k = 1+(200/d)^{1/2}$	1,38	≤ 2	1,38	2
ρ_l =	0,0007 [puro]	≤ 0,02	0,0007	0,02
A_{sl} =	1,005 [mm ²]	Area armat. in trazione che si estende per non meno di $d + l_{b,net}$ oltre la sez. consider. (cioè ancorata oltre l'inters. dell'asse dell'armat. con eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sez.cons.) (EC2)		
b_w =	1.000,00 [mm]	larghezza minima della sezione lungo l'altezza efficace		
α_{cp} =	0,00 [N/mm ²]	N_{Sd}/A_c	0,00	4,426666667
N_{Ed} =	0,00 [kN]	forza longitudinale nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione (compressione positiva)		
A_c =	1.450.000 [mm ²]	area calcestruzzo (valida solo per sezione rettangolare)		
d =	1.410 [mm]	altezza utile sezione		
h =	1.450 [mm]	altezza sezione		
b =	1.000 [mm]	base sezione		
c =	40 [mm]	copriferro		

Non è quindi necessario predisporre specifica armatura a taglio.

Si prevedono comunque staffe $\phi 12/2br/20cm$.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 77 di 193

Effettuando infine la verifica della soletta di fondo in c.a, di spessore pari a 100cm e per la quale si prevede la seguente armatura:

➤ A_{sup_princ} : n° 12 $\phi 24$ $c=4cm$

➤ A_{inf_princ} : n° 12 $\phi 24$ $c=4cm$

si ottiene:

Tutti gli approcci di progetto

Singolo approccio di progetto

Sommario esteso

Reazione supporti (al metro) vs f

Reazione supporti vs Fase

FS paratia vs Fase

Verifica supporti vs Fase

Travi di ripartizione

FS paratia vs Fase (esteso)

Ka e Kp

Prescrizioni armatura

Pannelli

Stabilità locale e cedimenti

Genera relazione

Reazione vincoli (vincolo singolo)

Supporto 4 Reazione (z= -7.7) kN at 1 m

Fase 0	0
Fase 1	0
Fase 2	0
Fase 3	0
Fase 4	0
Fase 5	0
Fase 6	0
Fase 7	-11.08
Fase 8	-11.08
Fase 9	37.69
Fase 10	208.559

Approcci di progetto disponibili

1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLU - A1+M1+R1

Tutti gli approcci di progetto

Singolo approccio di progetto

Sommario esteso

Reazione supporti (al metro) vs fase

Reazione supporti vs Fase

FS paratia vs Fase

Verifica supporti vs Fase

Travi di ripartizione

FS paratia vs Fase (esteso)

Ka e Kp

Prescrizioni armatura

Pannelli

Stabilità locale e cedimenti

Genera relazione

Reazione vincoli (vincolo singolo)

Supporto 4 Reazione (z= -7.7) kN at 1 m

Fase 0	0
Fase 1	0
Fase 2	0
Fase 3	0
Fase 4	0
Fase 5	0
Fase 6	0
Fase 7	-8.651
Fase 8	-8.651
Fase 9	27.927
Fase 10	140.07
Fase 11	149.66

Approcci di progetto

4: 0: DM08_ITA: EQK - STR

Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Riepilogo sollecitazioni – comb. SISMA - STR.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 78 di 193

<div>Tutti gli approcci di progetto</div> <div>Singolo approccio di progetto</div> <div>Sommario esteso</div> <div>Reazione supporti (al metro) vs Fase</div> <div>Reazione supporti vs Fase</div> <div>FS paratia vs Fase</div> <div>Verifica supporti vs Fase</div> <div>Travi di ripartizione</div> <div>FS paratia vs Fase (esteso)</div> <div>Ka e Kp</div> <div>Prescrizioni armatura</div> <div>Pannelli</div>	TSF vincoli/fasi	
	TSF Supporto 4(z= -7.7)	
	Fase 0	0
	Fase 1	0
	Fase 2	0
	Fase 3	0
	Fase 4	0
	Fase 5	0
	Fase 6	0
	Fase 7	0.267
	Fase 8	0.586
	Fase 9	0.583
	Fase 10	0.828
	Fase 11	0.706
	Approcci di progetto disponibili	
1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1		
<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		
Genera relazione		
Copia tabella dati		
Esci		

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

<div>Tutti gli approcci di progetto</div> <div>Singolo approccio di progetto</div> <div>Sommario esteso</div> <div>Reazione supporti (al metro) vs fase</div> <div>Reazione supporti vs Fase</div> <div>FS paratia vs Fase</div> <div>Verifica supporti vs Fase</div> <div>Travi di ripartizione</div> <div>FS paratia vs Fase (esteso)</div> <div>Ka e Kp</div> <div>Prescrizioni armatura</div> <div>Pannelli</div>	TSF vincoli/fasi	
	TSF Supporto 4(z= -7.7)	
	► Fase 0	0
	Fase 1	0
	Fase 2	0
	Fase 3	0
	Fase 4	0
	Fase 5	0
	Fase 6	0
	Fase 7	0.206
	Fase 8	0.418
	Fase 9	0.416
	Fase 10	0.579
	Fase 11	0.498
	Approcci di progetto	
4: 0: DM08 ITA: EQK - STR <input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		
Genera relazione		
Copia tabella dati		
Esci		

Riepilogo verifiche – comb. SISMA - STR.

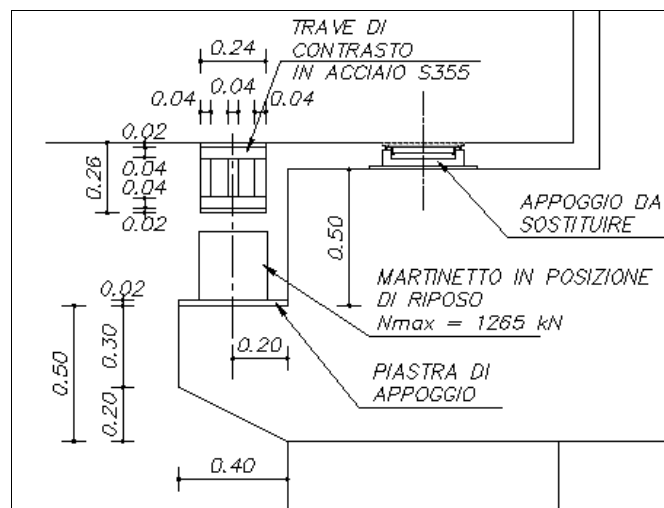
La verifica a pressoflessione della soletta di fondo risulta dunque soddisfatta in quanto:

$$S_{d-max}/R_d = 0.828 \text{ (Comb. SLU – A1+M1+R1)}$$

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 79 di 193

8.3.5 Verifica dello sbalzo in c.a. per la sostituzione degli appoggi

Si effettua il dimensionamento dello sbalzo in c.a. previsto per le operazioni periodiche di sostituzione degli appoggi mediante utilizzo di martinetti per il sollevamento dell'impalcato ferroviario.



Particolare dello sbalzo di appoggio dei martinetti

Essendo lo sbalzo in questione un elemento tozzo, si effettua il calcolo mediante il metodo biella-puntone.

Il valore della reazione vincolare verticale trasmessa dal martinetto allo sbalzo, comprensiva dei pesi propri e dei carichi permanenti portati dall'impalcato ferroviario, risulta pari a:

$$V_{\max-SLU} = 1265 \text{ kN}$$

Scomponendo tale forza secondo le direzioni della biella in acciaio orizzontale e del puntone compresso in cls (inclinato di $\alpha=65^\circ$ rispetto all'orizzontale), si ottiene:

$$N_{cls} = V_{\max-SLU} / \sin 65^\circ = 1396 \text{ kN}$$

$$N_{acc} = N_{cls} \times \sin 25^\circ = 590 \text{ kN}$$

Prevedendo un'armatura principale per lo sbalzo costituita da 1 ϕ 20/10cm, si ottiene:

$$\sigma_{c-\max} = N/A_c = 11.60 \text{ daN/cm}^2 < f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck}/\gamma_c = 0.85 * f_{ck}/1.5 = 18.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{a-\max} = N/A_a = 156.60 \text{ daN/cm}^2 < f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450/1.15 = 391.30 \text{ N/mm}^2$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

Si verifica la trave provvisoria metallica S355 (con piatti saldati di spessore massimo 40 mm) su n.4 appoggi da porre al di sotto dell'impalcato prima di procedere al sollevamento coi martinetti :

$$M_{\max-SLE} = 534.40 \text{ kNm}$$

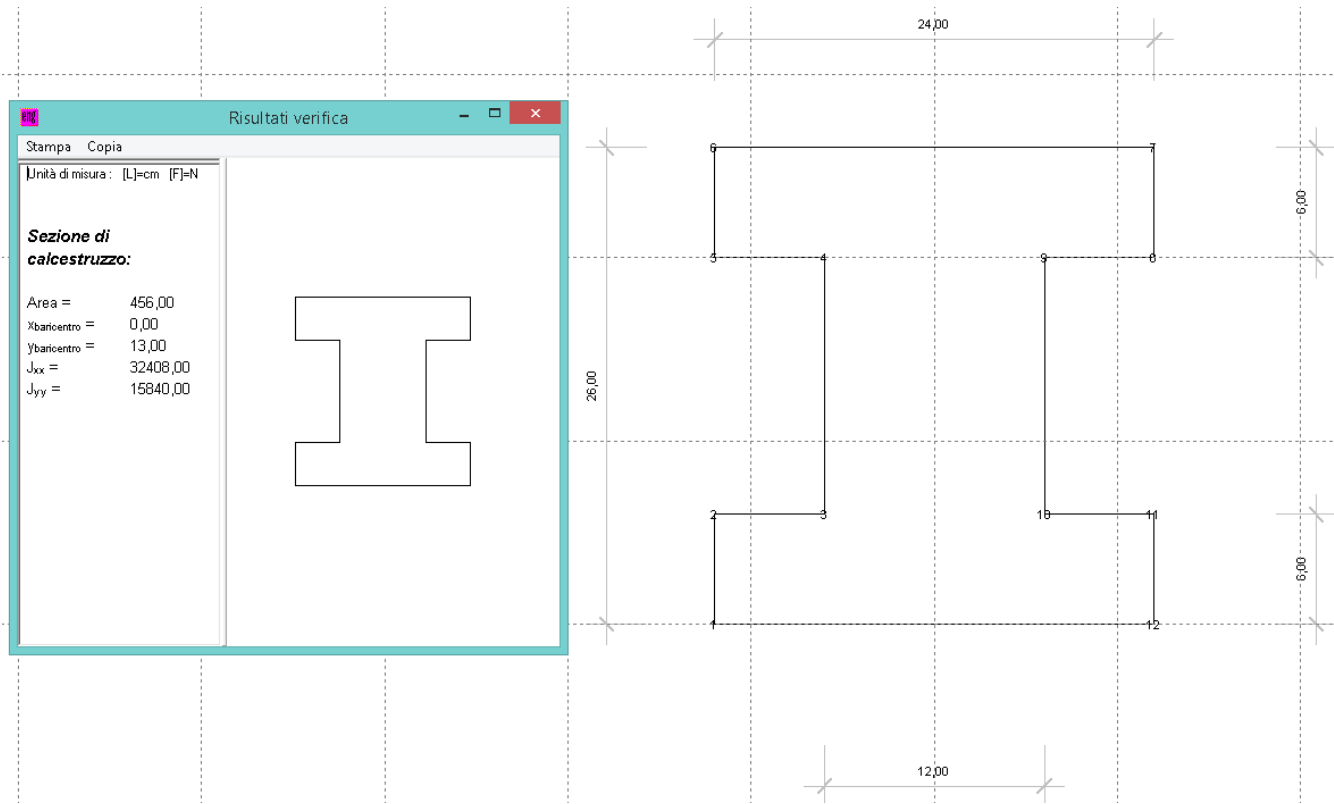
$$T_{\max-SLE} = 698.90 \text{ kN}$$

$$\gamma = 1.40$$

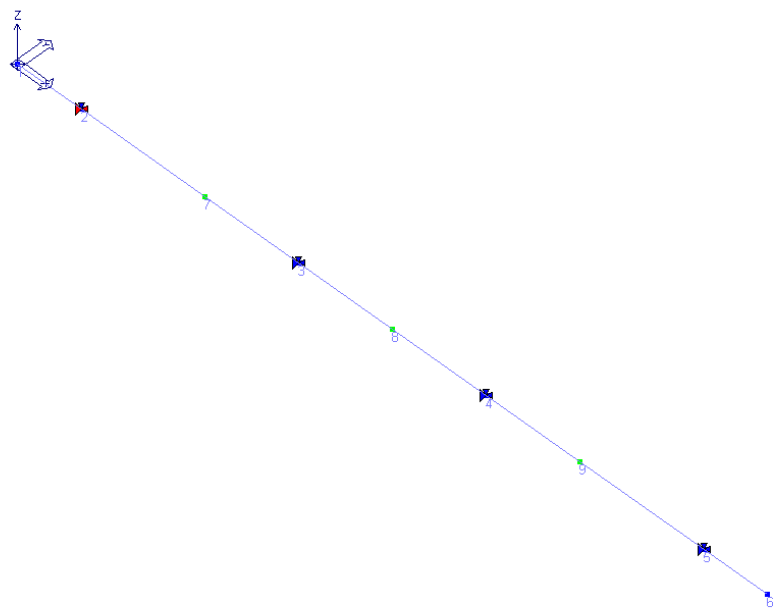
$$H = 26 \text{ cm}$$

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 80 di 193

B = 24 cm
s_a = 4 cm
W = 2492.92 cmc

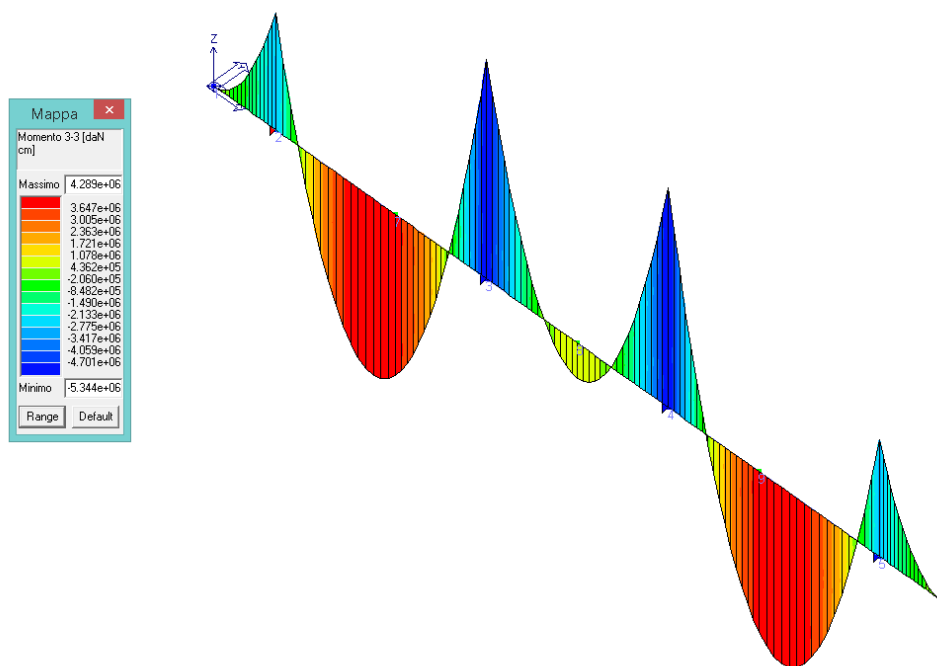


Geometria trave

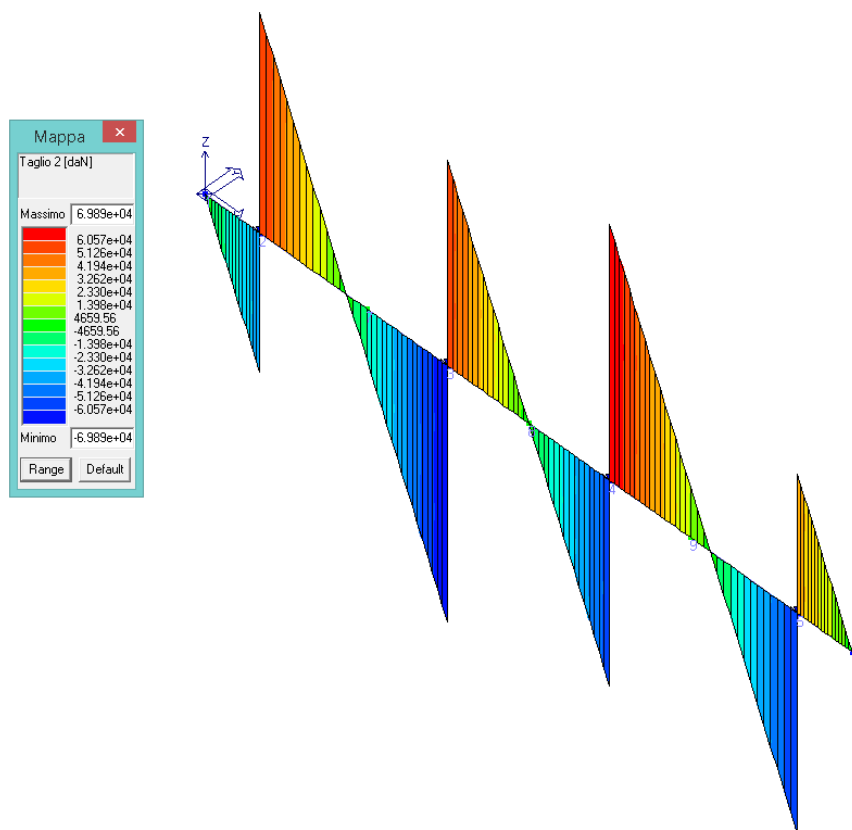


Modello

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 81 di 193



M (daNcm)



T (daN)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 82 di 193

Si calcolano le tensioni massime e si compongono:

$$\sigma_{s-\max} = M_{SLE} \times 100 \times 100 \times \gamma / W = 3001 \text{ daN/cm}^2 < 3550/1,05 = 3380.95 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{s-\max} = T_{SLE} \times 100 \gamma_m / (3 \times s_a \times H) = 314 \text{ daN/cm}^2 < 3550/1,05/(3^{0.5}) = 1951.99 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{s-id-\max} = (\sigma_{s-\max}^2 + 3 \times \tau_{s-\max}^2)^{0.5} = 3050 \text{ daN/cm}^2 < 3550/1,05 = 3380.95 \text{ daN/cm}^2$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 83 di 193

9 CALCOLO DELLE PARATIE DEI TRATTI A CIELO APERTO

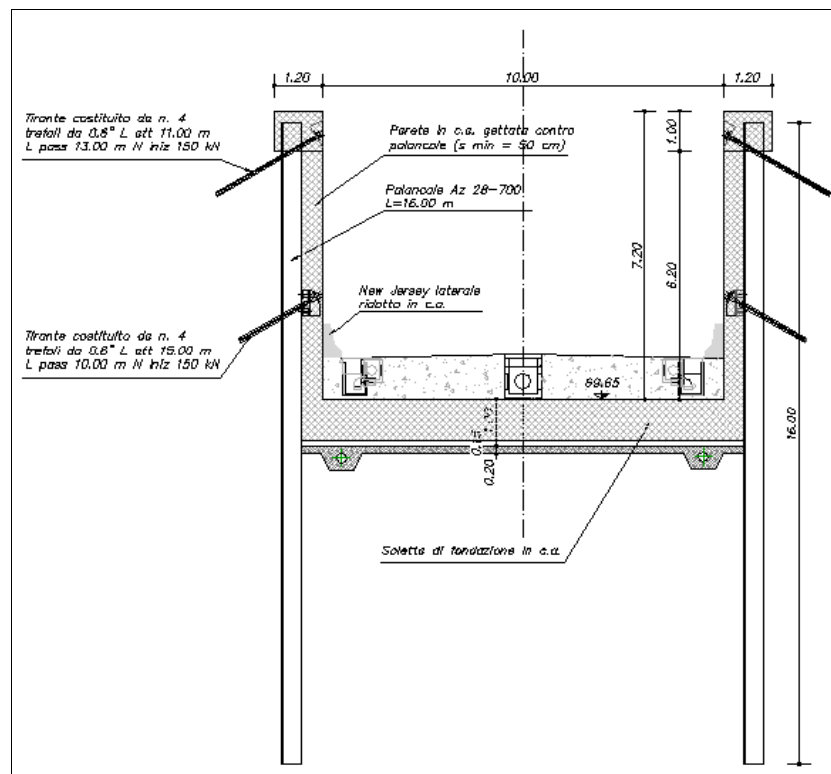
9.1 Modello di calcolo

Oggetto del presente capitolo è il calcolo delle paratie costituenti i tratti a cielo aperto situati tra i due sottopassi (stradale e ferroviario) e alle loro estremità.

Tali paratie sono realizzate mediante l'utilizzo di palancole tipo AZ 28-700, di lunghezza pari a 16,00m e sormontate in sommità da un cordolo in c.a. Alla quota di fondo scavo è prevista la realizzazione di una soletta in c.a. di spessore pari a 1,00m.

La struttura presenta due ordini di tiranti, situati rispettivamente a 0,5m e 4,5m dalla testa delle paratie e costituiti da n° 4 trefoli di diametro pari a 0.6", di lunghezza complessiva pari rispettivamente a 24m e 25m, posti ad un interasse pari a 3,0m, a cui viene applicato un precarico iniziale pari a 150kN.

Nella seguente figura si illustrano le caratteristiche geometriche dell'opera.



Sezione tipo tratto a cielo aperto

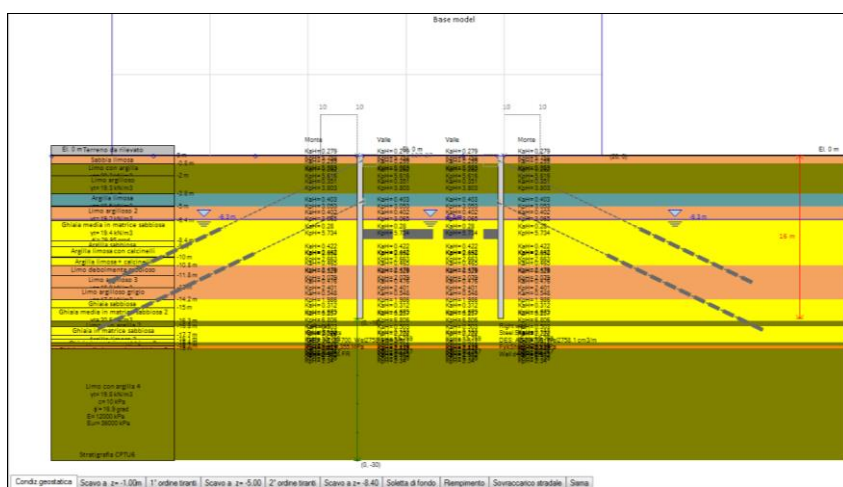
La costruzione dell'opera in oggetto si articola nelle seguenti fasi:

- Infissione palancole e realizzazione del cordolo di sommità;
- Scavo fino a quota -1.00m dal p.c.;
- Realizzazione del 1°ordine di tiranti in testa alla paratia;

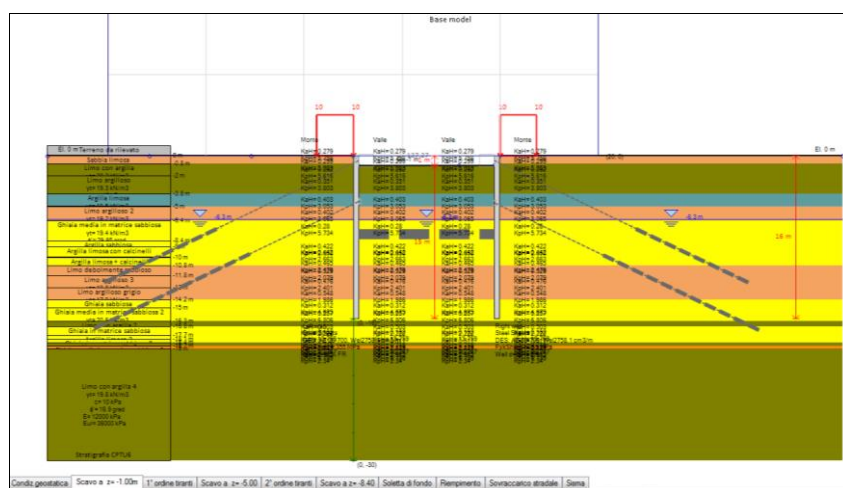
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 84 di 193

- Scavo fino a quota -5.00m dal p.c.;
- Realizzazione del 2°ordine di tiranti;
- Scavo fino a quota -8.40m dal p.c. (fondo scavo);
- Realizzazione della soletta di fondo e delle pareti di rivestimento;
- Riempimento del sottopasso e realizzazione del pacchetto stradale.

Il calcolo non lineare agli elementi finiti dell'interazione terreno – struttura è stato effettuato passo per passo, considerando la seguente successione di fasi (tutte le quote espresse sono riferite al livello del piano campagna):

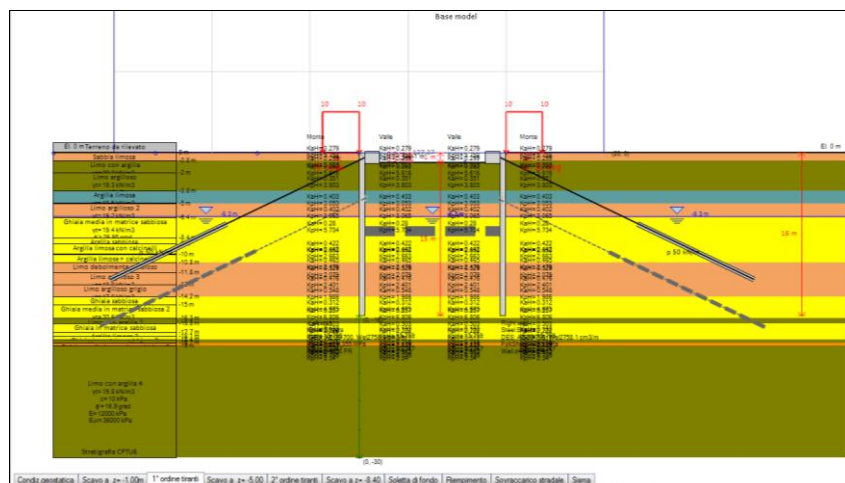


Fase 0 – Condizione geostatica

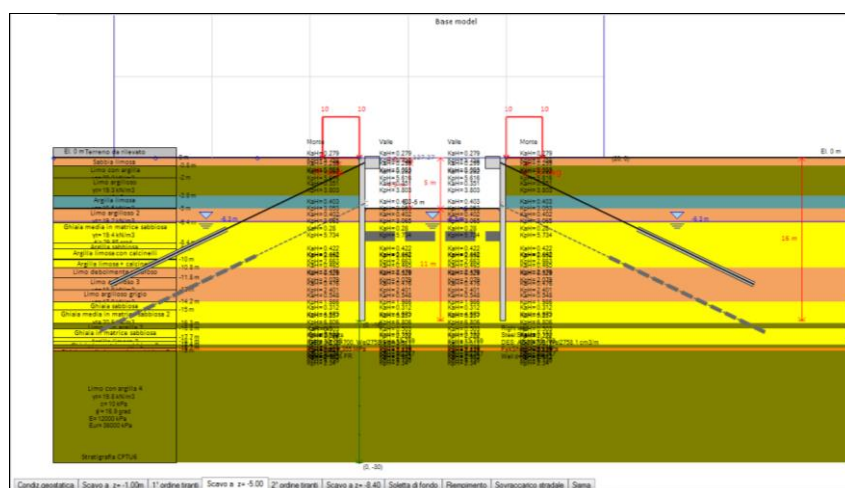


Fase 1 – Scavo a z=-1.00m e applicazione sovraccarico 10 kPa a monte della paratia

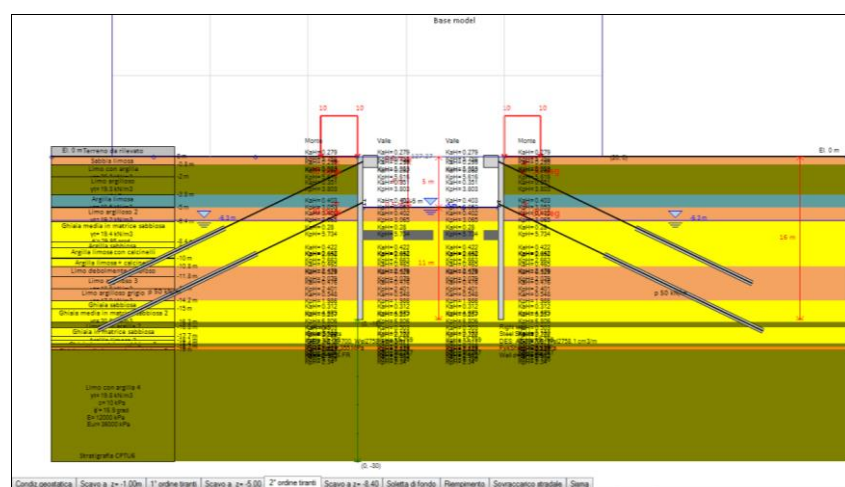
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 85 di 193



Fase 2 – Realizzazione del 1° ordine di tiranti e loro pretensionamento (150 kN/tirante)

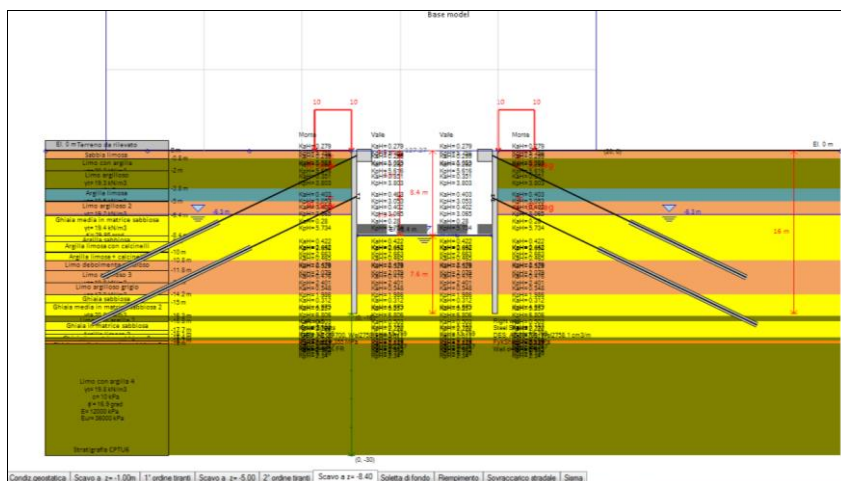


Fase 3 – Scavo a z = - 5.00m

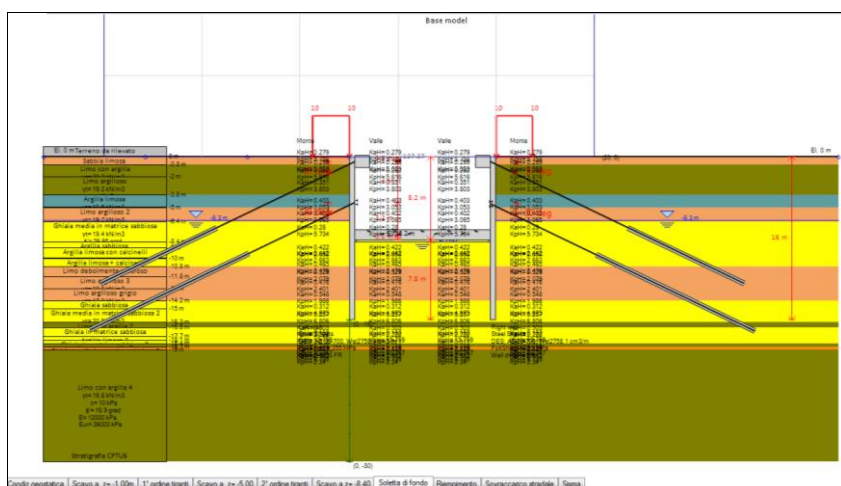


Fase 4 – Realizzazione del 2° ordine di tiranti e loro pretensionamento (150 kN/tirante)

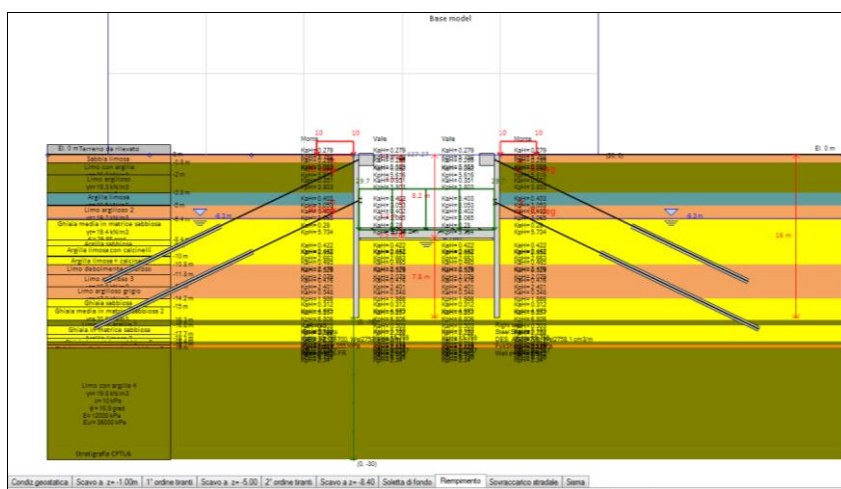
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 86 di 193



Fase 5 – Scavo a $z = -8.40\text{m}$ (fondo scavo)

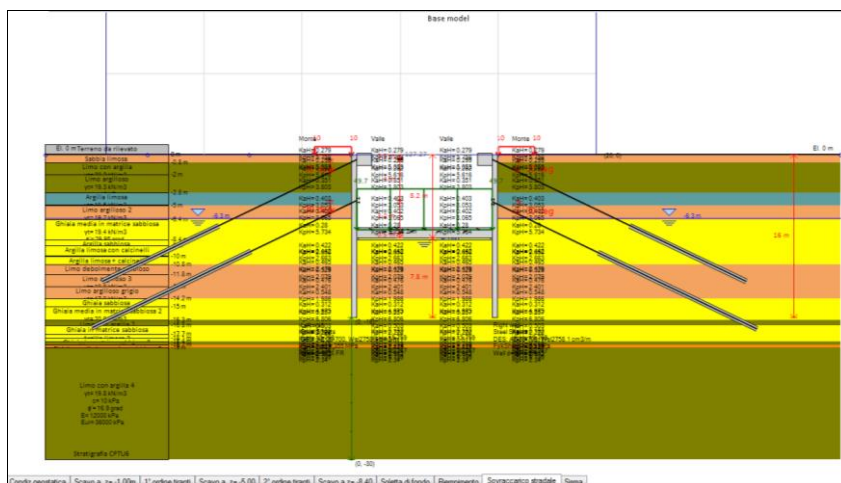


Fase 6 – Realizzazione della soletta di fondo

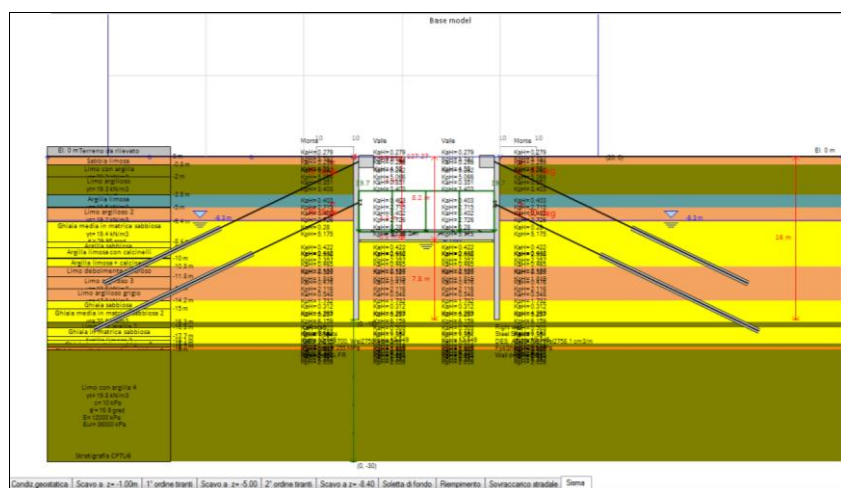


Fase 7 – Riempimento e realizzazione del pacchetto stradale

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 87 di 193



Fase 8 – Applicazione del sovraccarico stradale nel sottopasso ($q=20 \text{ kPa}$)



Fase 9 – Condizioni sismiche

Il livello di falda, stimato a quota -6,30m dal piano campagna, è considerato abbattuto a fondo scavo internamente alle paratie durante le fasi di esecuzione mediante continuo aggotamento.

A monte della paratia si è considerata la presenza di mezzi da cantiere durante le fasi realizzative e di mezzi di manutenzione in fase di esercizio mediante l'applicazione di un sovraccarico accidentale pari a 10 kPa.

Il riempimento di terreno arido a valle delle paratie, utilizzato per la realizzazione della strada, è stato trascurato ai fini della resistenza passiva e considerato come solo carico verticale sulla soletta di fondo.

Si sottolinea inoltre come le pareti in c.a. di rivestimento interno del sottopasso non siano state considerate collaboranti ai fini strutturali.

Per quanto concerne la valutazione degli effetti dell'azione sismica, applicata a struttura ultimata, si sono considerati i parametri riportati nella seguente figura di input del programma Paratie Plus 2012:

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 88 di 193

Opzioni sisma per entrambe le paratie

1. Accelerazioni di progetto
☒ Attiva sisma nella fase corrente
 kh kv

2. Normative e parametri sismici
 2.a Opzioni da normativa
☒ Usa normativa Normativa
 Classe terreno

2.b Accelerazione di base ed effetti di sito
 Ag/g Coeff. Ss >
 Fo Coeff. St >
 Fattore importanza I >

3. Comportamento paratia e coefficiente di risposta strutturale R
 3.a Comportamento paratia
☒ Flessibile ☐ Rigido
 3.b calcolo di R (per paratie flessibili)
☐ Manuale ☐ Richards Elms
☒ Da normativa selezionata ☐ Liao Whitman
 3.c. Altre opzioni
 3.c.1: R
 R= >
 3.c.3. NTC2008
☐ Modifica manuale
 H paratia m α
 U_s cm β
 Ricalcola R

4. Spinta sismica
 Come carico esterno
☐ Semirigido B=
☒ Mononobe-Okabe
 Andamento trapezoidale diagramma spinta
☐ Ridistribuisce
☐ Utente
 Da procedura automatica (vedi Manuale Teorico)
☐ Procedura automatica
☐ Procedura automatica (pressioni utente)

5. Comportamento idrodinamico terreno
☒ Pervio ☐ Impervio ☐ Da permeabilità (EC8)
☐ Modifica spinta di Westergaard secondo Kostantakos 2009
 Parametro Ru per sovrappressione = (0 to 1)

6. Zona di applicazione
☒ Paratia fuori terra ☐ Paratia intera

7. Inerzia paratia
☒ Includi contributo inerzia paratia

8. Applica a
☒ Applica impostazioni a tutti i sismi
 Ricalcola kh - kv

Tabella di input parametri sismici

Considerando l'altezza del livello di falda e la natura dei terreni interessati, si è svolta un'analisi della struttura considerando un comportamento drenato dei terreni.

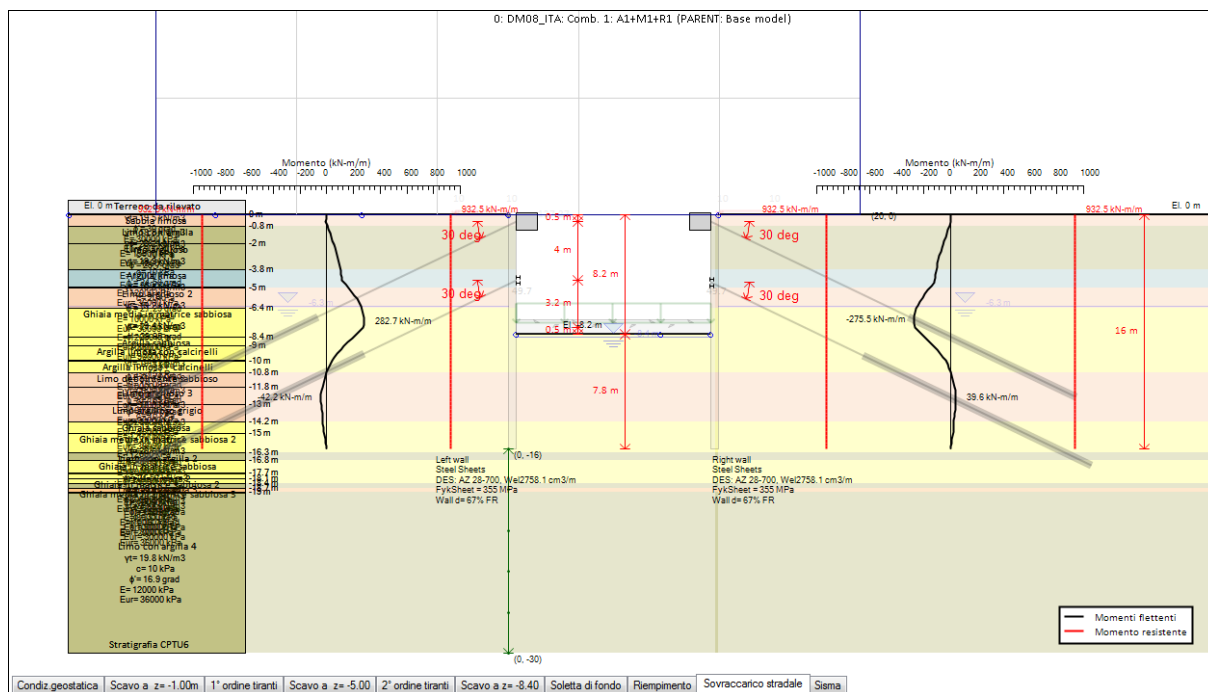
Le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte considerando le seguenti combinazioni, in accordo con la Norma:

- SLE – RARE
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SLU – A1 + M1 + R3;
- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA GEO;
- SISMA STR.

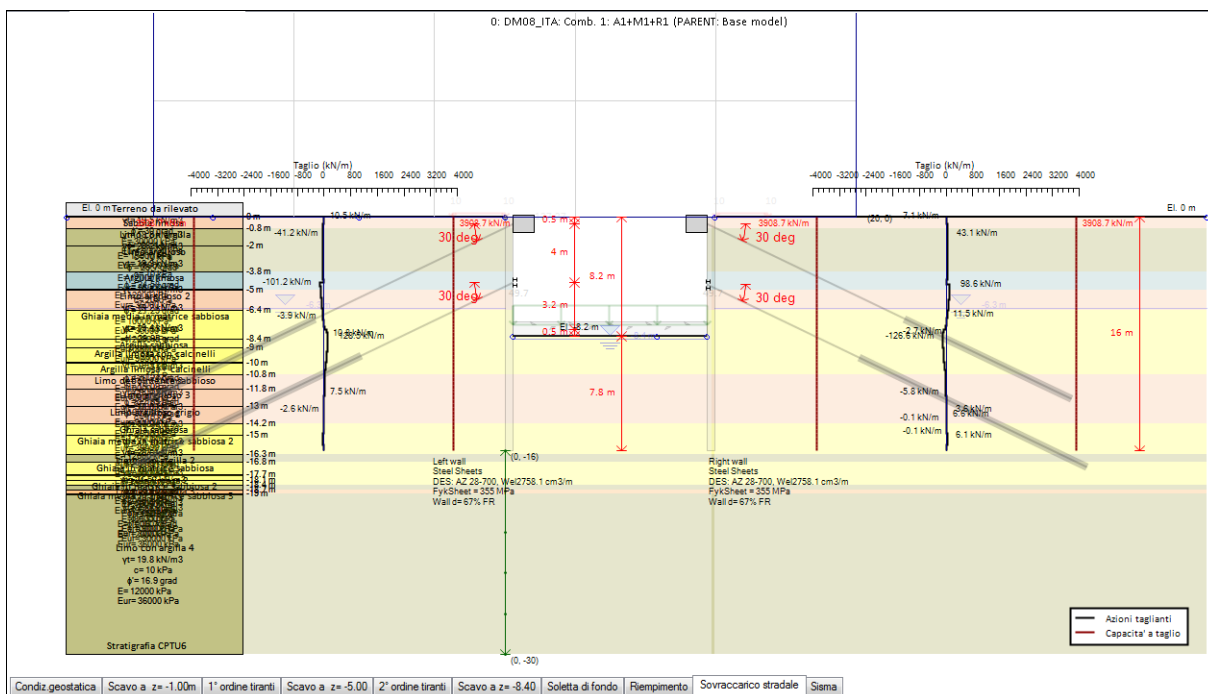
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 89 di 193

9.2 Riepilogo dei risultati

Si riportano ora i diagrammi relativi alle massime componenti di azione interna negli elementi strutturali (pali e tiranti) e ai massimi spostamenti della paratia emersi dal calcolo.

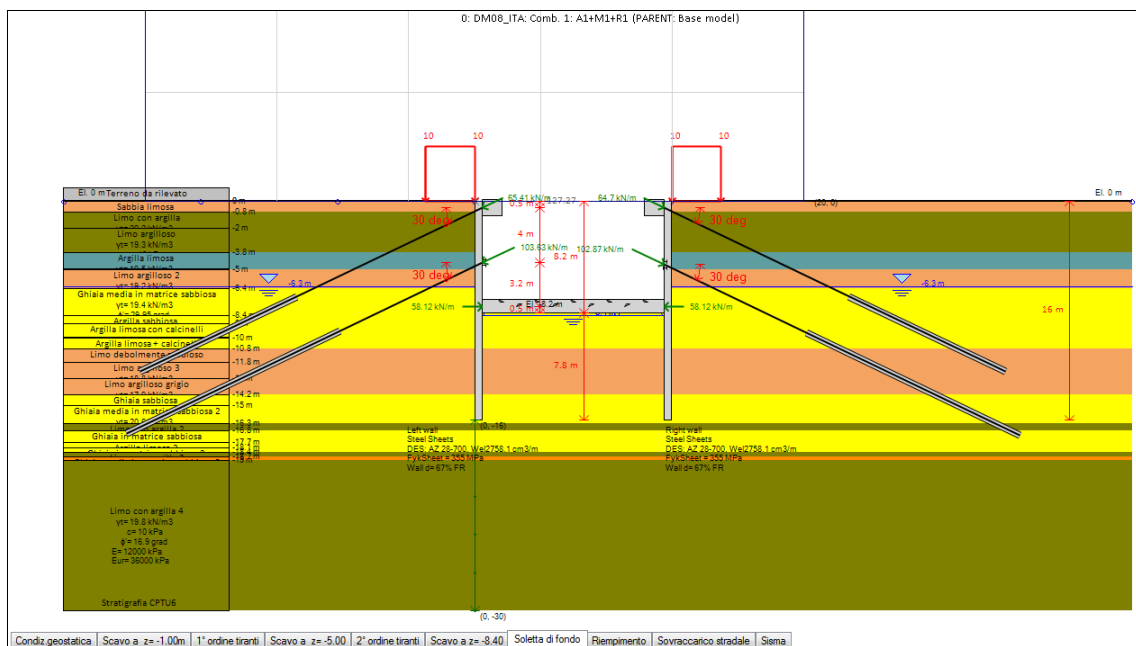


M_{max} nella paratia [kNm/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 - fase 8

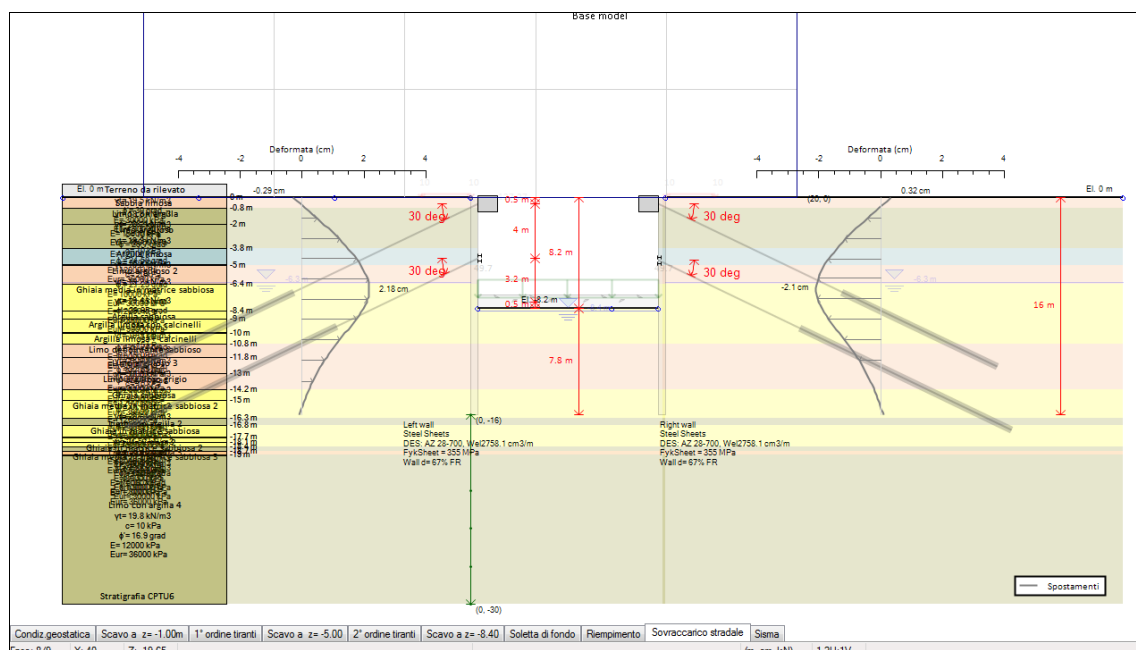


T_{max} nel diaframma [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 8

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 90 di 193



N_{max} nei tiranti [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 6



s_{max} nel diaframma [kNm/m] – comb. SLE - RARE

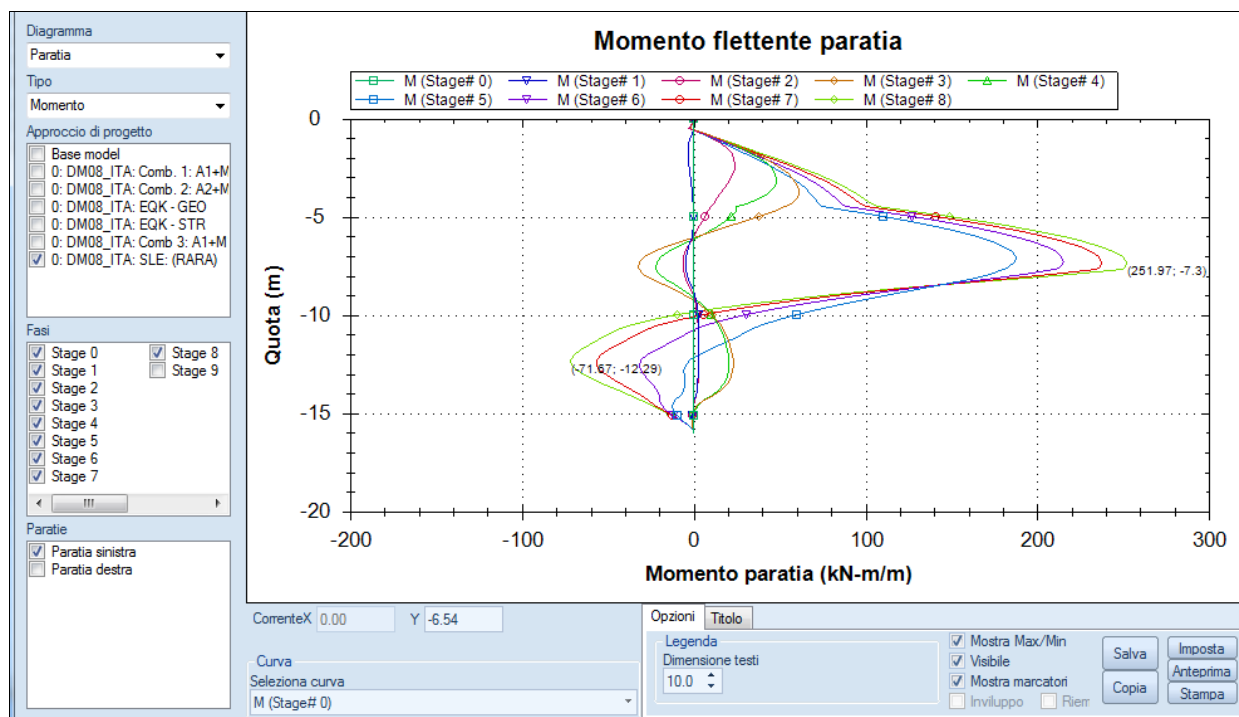
Le sollecitazioni e gli spostamenti negli elementi strutturali e gli sforzi nei terreni emersi dal calcolo, dettagliati fase per fase rispettivamente, sono riportati per esteso nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 91 di 193

Il massimo spostamento orizzontale della testa della struttura, determinato con la combinazione agli SLE - RARE, risulta pari a:

$$s_{max} = 2.18\text{cm} = \frac{1}{734} H$$

ove H è l'altezza complessiva della paratia, valore che risulta compatibile con la tipologia di opera in questione.



Diagrammi degli spostamenti orizz. paratia sx – comb. SLE - RARE

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 92 di 193

9.3 Verifiche di resistenza

9.3.1 Verifiche dell'interazione terreno-paratia

Le verifiche geotecniche (GEO) della paratia, compresa quella di stabilità globale, eseguite secondo il metodo degli Stati Limite, sono sviluppate per le sollecitazioni massime calcolate nelle diverse fasi di calcolo, considerando le seguenti combinazioni:

- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA - GEO

Si riporta di seguito il report delle verifiche dell'interazione terreno – paratia, in riferimento alle due combinazioni sopracitate:

Tutti gli approcci di progetto	Esteso	Esito calcolo	Spostamento X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)	Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
Singolo approccio di progetto								
Sommario esteso								
Reazione supporti (al metro) vs f								
Reazione supporti vs Fase								
FS paratia vs Fase								
Verifica supporti vs Fase								
Travi di ripartizione								
FS paratia vs Fase (esteso)								
Ka e Kp								
Prescrizioni armatura								
Genera relazione	Approcci di progetto disponibili	Selezione paratia	Considera anche elementi aggiuntivi					
	2: 0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1	0: Left wall	Copia tabella dati					
			Esci					

Verifiche geotecniche – comb. SLU – A2+M2+R1

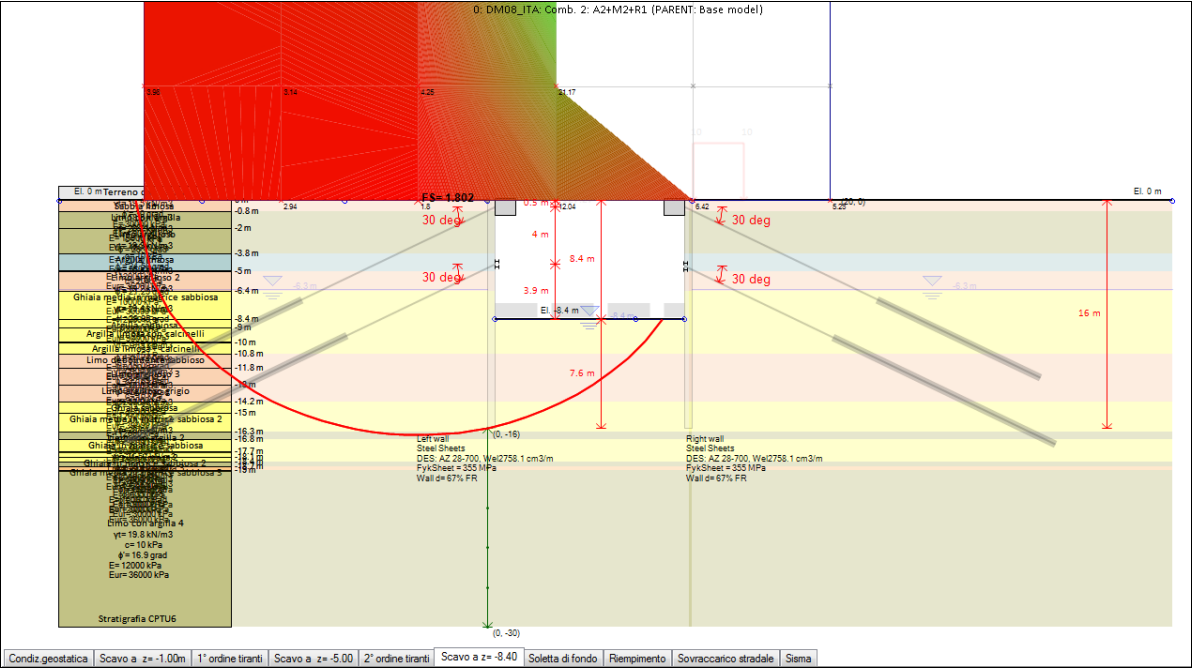
Tutti gli approcci di progetto	Esteso	Esito calcolo	Spostamento X paratia (cm)	Cedimenti Z terreno (cm)	Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
Singolo approccio di progetto								
Sommario esteso								
Reazione supporti (al metro) vs f								
Reazione supporti vs Fase								
FS paratia vs Fase								
Verifica supporti vs Fase								
Travi di ripartizione								
FS paratia vs Fase (esteso)								
Ka e Kp								
Prescrizioni armatura								
Genera relazione	Approcci di progetto disponibili	Selezione paratia	Considera anche elementi aggiuntivi					
	3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO	0: Left wall	Copia tabella dati					
			Esci					

Verifiche geotecniche – comb. SISMA – GEO

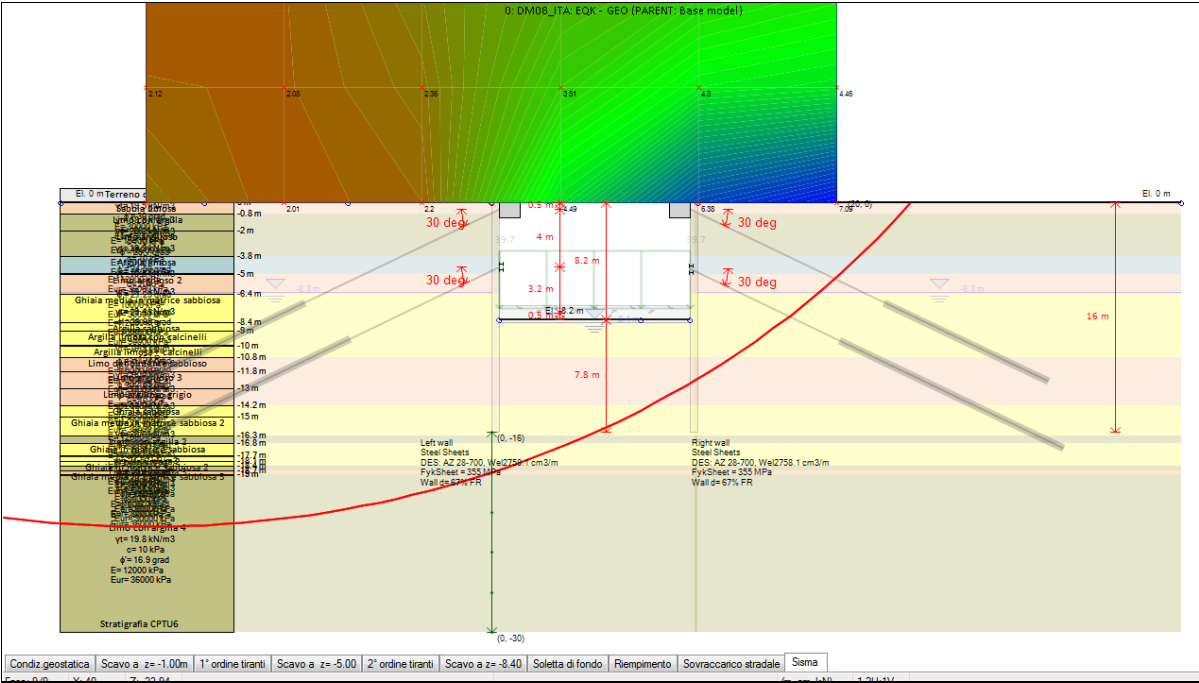
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 93 di 193

Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Si riporta quindi la rappresentazione grafica della superficie di scivolamento critica, emersa dall'analisi della stabilità globale effettuata sulla configurazione finale dell'opera, rispettivamente per le combinazioni considerate.



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SLU – A2+M2+R1 (fase 5)



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SISMA – GEO (fase 9)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 94 di 193

Nel momento in cui il calcolo non lineare dell'interazione paratia-terreno giunge a convergenza, risulta automaticamente soddisfatta la verifica di portanza della paratia come risultano nulli o trascurabili i cedimenti ai piedi della paratia. Il programma altresì valuta i cedimenti dell'estradosso del terreno a monte della paratia, i cui valori sono riportati nelle tabelle riassuntive sopra illustrate.

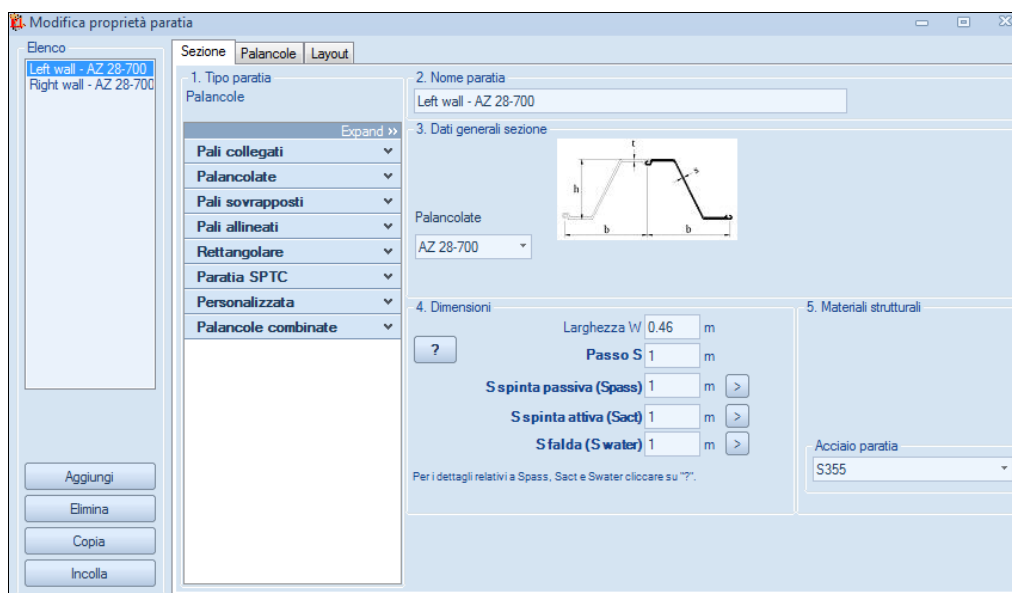
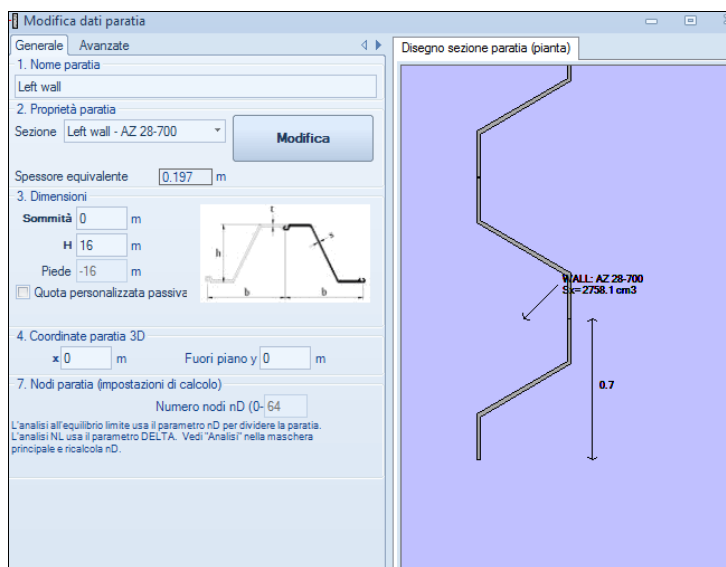
<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 95 di 193

9.3.2 Verifiche strutturali palancola

Si conducono le verifiche strutturali (a pressoflessione e taglio) della palancola, in relazione alle seguenti combinazioni:

- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti figure si illustrano le caratteristiche geometriche e meccaniche della palancola tipo AZ28-700, considerate nel calcolo:



Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 96 di 193

Modifica proprietà paratia

Sezione Palancole Layout

1. Scelta sezioni (da archivio)

sezione AZ 28-700

2. Proprietà palancolate

h 46.101 cm A 200.24 cm²/m

b 70.002 cm t_f 1.321 cm

b_{ox} 63622.8 cm⁴/m s 1.321 cm

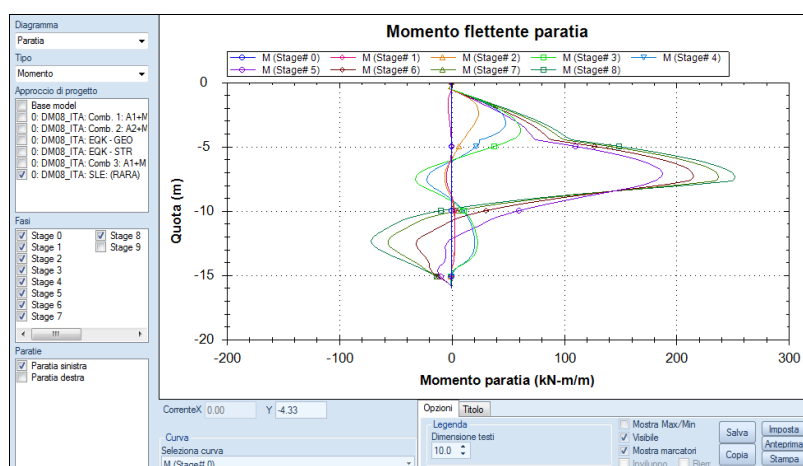
I_{we} 2758.1 cm³/m α 55.4 °

Libera sotto il fondo scavo 5 volte l'ampiezza della paratia

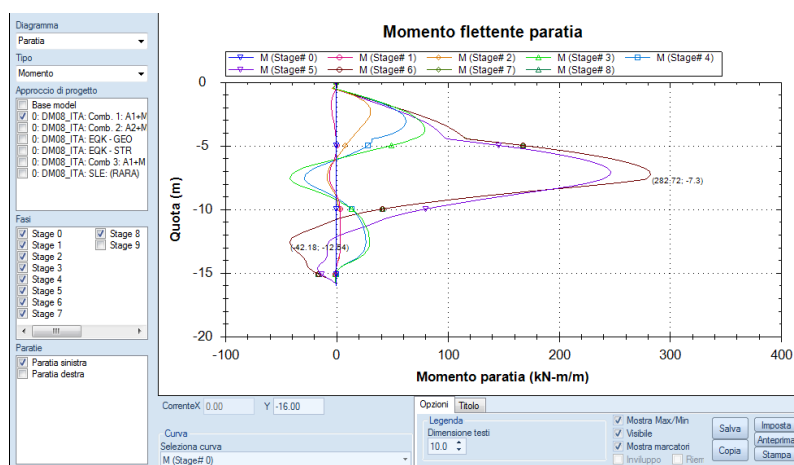
MANUFACTURER: Arcelor, LuxembourgLuxembourg, SHAPE: Z
HOT/COLD ROLLED: HR, INTERLOCK: DH

Aggiungi
Elimina
Copia
Incolla

Effettuando la verifica a pressoflessione del palo della paratia, considerando il valore massimo della sollecitazione da momento flettente e trascurando, a favore di sicurezza, il carico assiale, si ottiene:

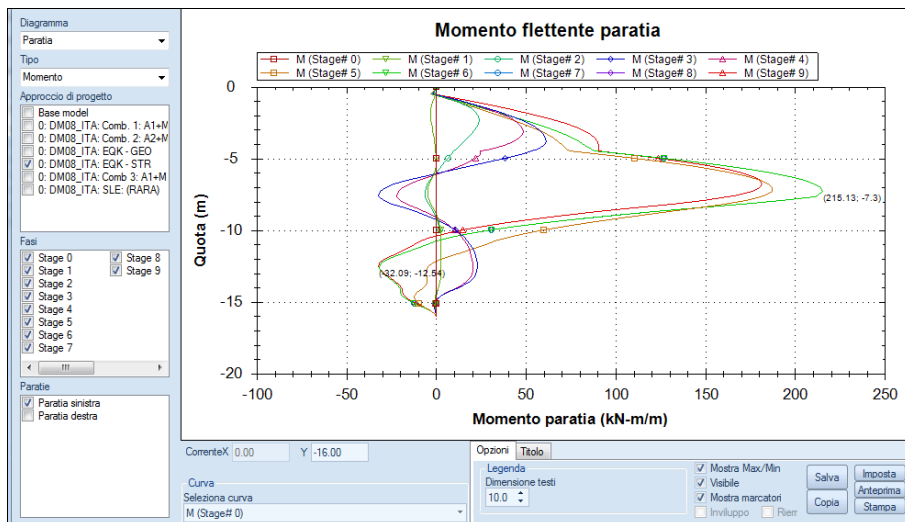


Diagrammi del Momento flettente paratia sx – comb. SLE - RARE



Diagrammi del Momento flettente – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 97 di 193



Diagrammi del Momento flettente – comb. SISMA - STR

	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica paratia (TSF)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	0	0	0	0	0	0
Scavo a z= -1.00m	Calculated	6.32	6.32	7.11	7.11	0.007	0.0067...	0.002
1° ordine tiranti	Calculated	30.67	30.67	38.46	38.46	0.033	0.0328...	0.01
Scavo a z= -5.00	Calculated	79.53	79.53	46.87	46.87	0.085	0.0852...	0.012
2° ordine tiranti	Calculated	62.77	62.77	46.18	46.18	0.067	0.0673...	0.012
Scavo a z= -8.40	Calculated	246.84	246.84	94.64	94.64	0.265	0.2647...	0.024
Soletta di fondo	Calculated	282.72	282.72	128.48	128.48	0.303	0.3031...	0.033
Riempimento	Calculated	282.71	282.71	128.48	128.48	0.303	0.3031...	0.033
Sovraccarico stradale	Calculated	282.71	282.71	128.48	128.48	0.303	0.3031...	0.033

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica paratia (TSF)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Calculated	0	0	0	0	0	0	0
Scavo a z= -1.00m	Calculated	4.66	4.66	5.29	5.29	0.005	0.0049...	0.001
1° ordine tiranti	Calculated	24.02	24.02	29.74	29.74	0.026	0.0257...	0.008
Scavo a z= -5.00	Calculated	61.26	61.26	36	36	0.066	0.0656...	0.009
2° ordine tiranti	Calculated	48.35	48.35	35.42	35.42	0.052	0.0518...	0.009
Scavo a z= -8.40	Calculated	187.49	187.49	72.32	72.32	0.201	0.2010...	0.019
Soletta di fondo	Calculated	215.13	215.13	98.57	98.57	0.231	0.2307...	0.025
Riempimento	Calculated	215.13	215.13	98.57	98.57	0.231	0.2307...	0.025
Sovraccarico stradale	Calculated	215.13	215.13	98.57	98.57	0.231	0.2307...	0.025
Sisma	Calculated	181.76	181.76	83.58	83.58	0.195	0.1949...	0.021

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SISMA - STR

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 98 di 193

9.3.3 Verifica dei tiranti

Per le paratie in esame si prevedono n° 2 ordini di tiranti, che presentano le seguenti caratteristiche:

1° ordine (z = - 0.5m da testa paratia):

- Tipo tirante : n°4 trefoli da 0.6'';
- $\phi_{\text{perf}} = 20\text{cm}$
- $L_{\text{bulbo}} = 11\text{m}$
- $L_{\text{libera}} = 13\text{m}$
- $\alpha = 30^\circ$
- $N_{\text{precar}} = 150\text{kN}$
- $i = 3.0\text{m}$

2° ordine (z = - 4.5m da testa paratia):

- Tipo tirante : n°4 trefoli da 0.6'';
- $\phi_{\text{perf}} = 20\text{ cm}$
- $L_{\text{bulbo}} = 15\text{m}$
- $L_{\text{libera}} = 10\text{m}$
- $\alpha = 30^\circ$
- $N_{\text{precar}} = 150\text{kN}$
- $i = 3.0\text{m}$

Si riportano le finestre di input del programma Paratie Plus 2012, riferite ai tiranti di ancoraggio:

Dati di input 1° ordine di tiranti

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 99 di 193

Generale Avanzate Risultati Note Involuppo

1. Dimensioni

1.1 Punto di inserimento

X 0.46 m

Z -4.5 m

1.2 Inclinazione

α 30 °

1.3 Lunghezze

L libera 10 m

L bulbo 15 m

Eff. L bulbo (n) 80 %

Passo 3 m

Precarico

☐ Precarico

0 kN

Applicato soltanto nella fase e durante la quale l'elemento viene attivato per la prima volta

2. Tipo vincolo - Sezione strutturale

☒ Tirante ☐ Tirante elicoidale Sezione strutturale Tiranti 4 trefoli 0.6" Modifica

☐ Modifica tipo di supporto

3. Attiva/Disattiva - Supporto permanente o temporaneo

☒ Attiva nella fase corrente Vincolo permanente

Dati di input 2° ordine di tiranti

Generale Geotecnica Avanzate

1. Nome

Tiranti 4 trefoli 0.6"

2. Trefolo

Materiale S1860 (Strands fyk) fyk 1670 MPa E 210000 MPa

Tipo

☒ Barre ☐ Trefoli ☐ Area sezione ☐ Micropali (tubolare) ☐ Micropali (profilo)

Parametri

Diametro esterno Φ_e 1.524 cm

Diametro interno Φ_i 0 cm No. 4

A 7.29658 cm²

3. Fondazione

Materiale C32/40 $\Phi_{sfil} = \alpha \times \Phi_{perf}$ Φ_{sfil} 20 cm

Dati di input tiranti

Per quanto riguarda le verifiche strutturali dei tiranti, effettuate secondo le combinazioni:

- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

si ottiene:

Reazione vincoli (vincolo singolo)				
	Supporto 0 Reazione (z= -0.5) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z= -0.5) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z= -4.5) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	150	150	0	0
Fase 3	154.038	154.002	0	0
Fase 4	153.486	153.618	150	150
Fase 5	147.951	146.502	231.897	230.421
Fase 6	150.207	148.629	236.931	235.305
Fase 7	152.103	150.9	240.987	239.952
Fase 8	153.378	151.896	243.591	242.028

Approcci di progetto disponibili

6: 0: DM08_ITA: SLE: (RARA) 0: Lef ☒ Considera anche elementi aggiuntivi Copia tabella dati Esci

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLE - RARE

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 100 di 193

Reazione vincoli (vincolo singolo)				
	Supporto 0 Reazione (z= -0.5) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z= -0.5) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z= -4.5) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	195	195	0	0
Fase 3	200.398	200.339	0	0
Fase 4	199.68	199.84	195	195
Fase 5	193.288	191.194	304.352	302.188
Fase 6	196.217	194.107	310.888	308.607
Fase 7	196.225	194.107	310.9	308.603
Fase 8	196.225	194.107	310.9	308.603

Approcci di progetto disponibili
 1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1 ☒ Considera anche elementi aggiuntivi Copia tabella dati Esci

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLU - A1+M1+R1

Reazione vincoli (vincolo singolo)				
	Supporto 0 Reazione (z= -0.5) kN at 3 m	Supporto 1 Reazione (z= -0.5) kN at 3 m	Supporto 2 Reazione (z= -4.5) kN at 3 m	Supporto 3 Reazione (z= -4.65) kN at 3 m
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	150	150	0	0
Fase 3	154.038	154.002	0	0
Fase 4	153.486	153.618	150	150
Fase 5	147.951	146.502	231.897	230.421
Fase 6	150.207	148.629	236.931	235.305
Fase 7	150.21	148.629	236.934	235.302
Fase 8	150.21	148.629	236.934	235.302
Fase 9	186.978	189.168	253.506	252.771

Approcci di progetto disponibili
 4: 0: DM08_ITA: EQK - STR ☒ Considera anche elementi aggiuntivi Copia tabella dati Esci

Riepilogo sollecitazioni – comb. SISMA - STR

TSF vincoli/fasi				
	TSF Supporto 0 (z= -0.5)	TSF Supporto 1 (z= -0.5)	TSF Supporto 2 (z= -4.5)	TSF Supporto 3 (z= -4.65)
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0.54	0.54	0	0
Fase 3	0.555	0.555	0	0
Fase 4	0.553	0.554	0.364	0.374
Fase 5	0.536	0.53	0.567	0.58
Fase 6	0.544	0.538	0.58	0.592
Fase 7	0.544	0.538	0.58	0.592
Fase 8	0.544	0.538	0.58	0.592

Approcci di progetto disponibili
 1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1 ☒ Considera anche elementi aggiuntivi Copia tabella dati Esci

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 101 di 193

TSF vincoli/rasi				
	TSF Supporto 0(z= -0.5)	TSF Supporto 1(z= -0.5)	TSF Supporto 2(z= -4.5)	TSF Supporto 3(z= -4.65)
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0.308	0.308	0	0
Fase 3	0.316	0.316	0	0
Fase 4	0.315	0.315	0.207	0.213
Fase 5	0.304	0.301	0.32	0.327
Fase 6	0.308	0.305	0.327	0.334
Fase 7	0.308	0.305	0.327	0.334
Fase 8	0.308	0.305	0.327	0.334
Fase 9	0.384	0.388	0.35	0.359

Approcci di progetto disponibili

4: 0: DM08_ITA: EQK - STR

☒ Considera anche
elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo verifiche – comb. SISMA - STR

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 102 di 193

Per quanto riguarda la verifica a sfilamento dei tiranti, effettuata secondo la combinazione:

➤ SLU – A1 + M1 + R3

e considerando un valore limite dell'aderenza cls-terreno pari a 10 kPa (vedi figura):

si ottiene:

TSF vincoli/fasi				
	TSF Supporto 0(z= -0.5)	TSF Supporto 1(z= -0.5)	TSF Supporto 2(z= -4.5)	TSF Supporto 3(z= -4.65)
► Fase 0	0	0	0	0
Fase 1	0	0	0	0
Fase 2	0.54	0.54	0	0
Fase 3	0.555	0.555	0	0
Fase 4	0.553	0.554	0.364	0.374
Fase 5	0.536	0.53	0.567	0.58
Fase 6	0.544	0.538	0.58	0.592
Fase 7	0.544	0.538	0.58	0.592
Fase 8	0.544	0.538	0.58	0.592
Fase 9	0.531	0.532	0.577	0.59

Approcci di progetto disponibili
5: 0: DM08_ITA: Comb 3: A1+M1+R3

☒ Considera anche elementi aggiuntivi

Copia tabella dati

Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SLU - A1+M1+R3

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

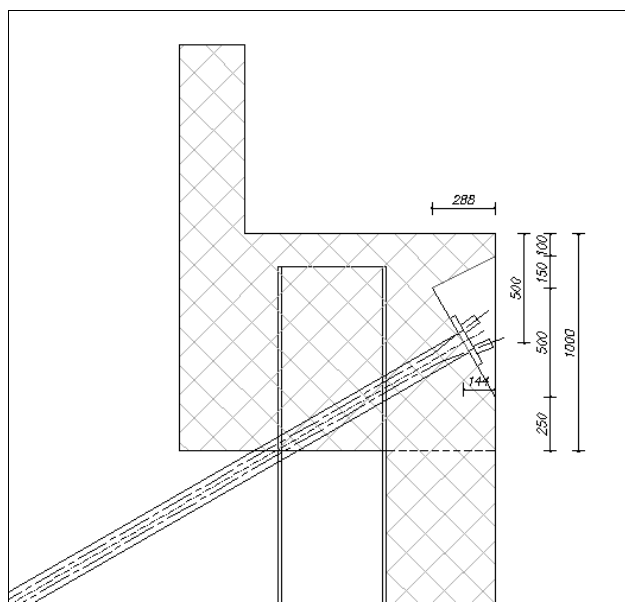
Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 103 di 193

9.3.4 Verifica del cordolo di sommità e travi di contrasto e soletta di fondo

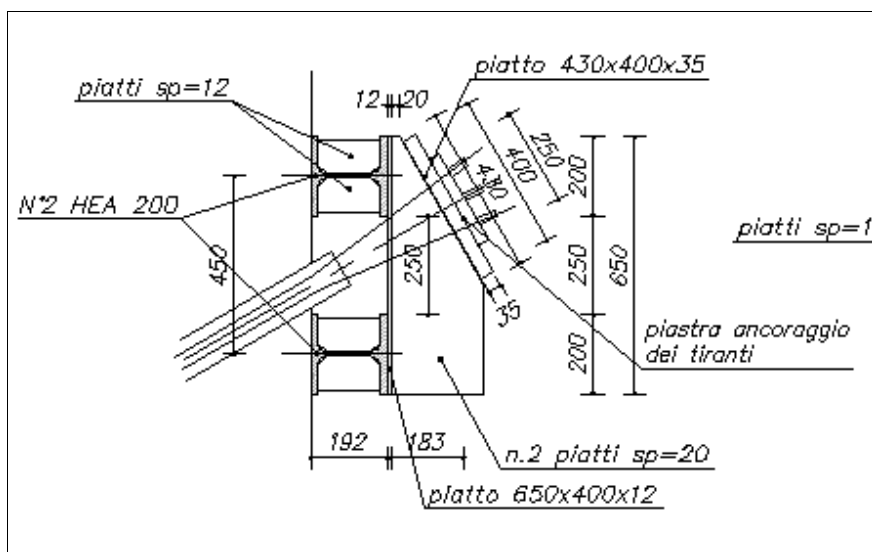
Come elementi strutturali di coronamento e contrasto dei tiranti del 1° ordine (in testa alle palancole) si prevedono travi in c.a. gettate in opera, di dimensioni pari a 100x120cm, per le quali si dispone la seguente armatura minima:

- A_{long} : n° 6+6 $\phi 16$ $c = 4\text{cm}$
- A_{taglio} : staffe $\phi 12/2\text{br}/25\text{cm}$

Le travi di ripartizione del 2° ordine di tiranti sono invece costituite da n° 2 profili accoppiati HEA200.



Particolare del cordolo di sommità



Particolare della trave di ripartizione 2° ordine di tiranti

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 104 di 193

Si ipotizza per il calcolo sia del cordolo che della trave di ripartizione uno schema statico di trave continua su più appoggi, sottoposta a carico uniformemente distribuito.

Schema statico cordolo di sommità e trave di ripartizione 2° ordine

Caratteristiche strutturali del cordolo di sommità

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 105 di 193

Sezione irrigidimenti

Travi di: **2 x HEA200**

1. Type: ☒ Sezione ad I **HE 200A** ☐ Rettangolare

Profili in acciaio: Materiale **S355** f_y **450** MPa

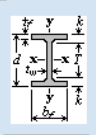
☐ Orienta come il vincolo (es. tiranti)
Angolo rot β **0** ° (Asse debole paratia)

☒ Usa travi multiple **2** Travi Distanza C **25** cm

☐ Modifica proprietà

1. Acciaio

Proprietà sezioni:

D 19 cm	A 53.8 cm ²	tw 0.7 cm	
bf 20 cm	tf 1 cm	k 2.8 cm	
Ixx 3692 cm ⁴	Iyy 1336 cm ⁴	Cw 108 cm ⁶	
Sxx 388.6 cm ³	Syy 133.6 cm ³	rT 5.36 cm	
rx 8.3 cm	ry 5 cm	W 0.414 kN/m	
Zxx 429.5 cm ³	Zyy 203.8 cm ³	J 21 cm ⁴	
<input type="checkbox"/> Sezione a C			

Aggiungi Elimina Ricalcola

Sezione trave

Caratteristiche strutturali della trave di ripartizione 2° ordine di tiranti

Per il calcolo e le verifiche strutturali si considerano le seguenti combinazioni:

- SLE – RARE (Base model);
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti tabelle si riepilogano le sollecitazioni sui cordoli di sommità e sulle travi di ripartizione, determinate col calcolo per ogni combinazione considerata, e le relative verifiche:

Sommario (tutte le fasi)																		
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)
► Cordolo di sommità	1.06	-0.5	0	TRAVE 120 X 100	0	Left wall	Uniform 4	3	3	3: Scavo a z= -5.00	0.124	0.124	0.695	42	51.8	0	80.7	91.6
Cordolo di sommità	10.9	-0.5	180	TRAVE 120 X 100	1	Right wall	Uniform 4	3	3	4: 2° ordine tiranti	0.099	0.075	0.012	42	24.3	0	80.7	1.6
Trave di ripartizione	0.555	-4.5	0	2 X HEA200	2	Left wall	Uniform 4	3	3	8: Sovraccarico str...	0.593	0.361	0	66.5	38.4	0	127.7	74.3
Trave di ripartizione	11.595	-4.65	0	2 X HEA200	3	Right wall	Uniform 4	3	3	8: Sovraccarico str...	0.617	0.358	0	66	38.1	0	126.9	73.9
Approcci di progetto disponibili																		
6: 0: DM08_ITA: SLE: (RARA)														<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati		Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SLE - RARE

Sommario (tutte le fasi)																		
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)
► Cordolo di sommità	1.06	-0.5	0	TRAVE 120 X 100	0	Left wall	Uniform 4	3	3	3: Scavo a z=-5.00	0.162	0.162	0.904	54.7	67.3	0	105	119.1
Cordolo di sommità	10.9	-0.5	180	TRAVE 120 X 100	1	Right wall	Uniform 4	3	3	3: Scavo a z=-5.00	0.126	0.097	0.016	54.7	31.6	0	105	2.1
Trave di ripartizione	0.555	-4.5	0	2 X HEA200	2	Left wall	Uniform 4	3	3	8: Sovraccarico str...	0.798	0.503	0	84.8	49	0	163	94.9
Trave di ripartizione	11.595	-4.65	0	2 X HEA200	3	Right wall	Uniform 4	3	3	8: Sovraccarico str...	0.793	0.498	0	84.2	48.6	0	161.8	94.2
Approcci di progetto disponibili																		
1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1														<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati		Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SLU - comb. A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 106 di 193

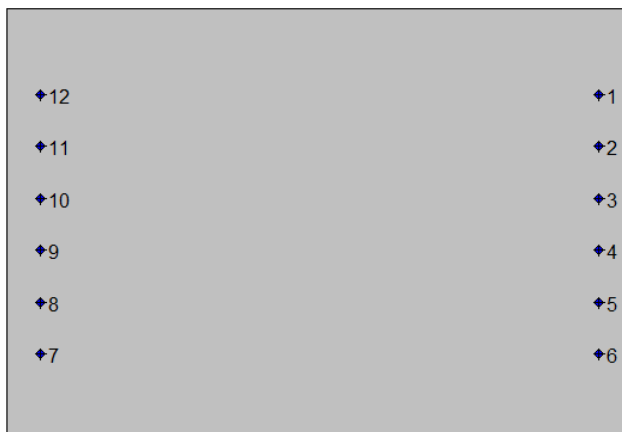
Sommario (tutte le fasi)																		
	X (m)	Z (m)	Angolo (°)	Sezione	Support index	Paratia	Tipo di carico	Lunbraced strong (m)	Lunbraced weak (m)	Fase critica	TSF STR critico	TSF momento	TSF taglio	Momento max XX (kN-m)	Momento max YY (kN-m)	N max (kN)	Taglio massimo XX (kN)	Taglio massimo YY (kN)
► Cordolo di sommità	1.06	-0.5	0	TRAVE 120 X 100	0	Left wall	Uniform 4	3	3	9: Sisma	0.134	0.134	0.771	51	55.6	0	98	101.6
Cordolo di sommità	10.9	-0.5	180	TRAVE 120 X 100	1	Right wall	Uniform 4	3	3	9: Sisma	0.124	0.092	0.093	51.6	29.8	0	99.2	12.2
Trave di ripartizione	0.555	-4.5	0	2 X HEA200	2	Left wall	Uniform 4	3	3	9: Sisma	0.654	0.379	0	69.2	39.9	0	132.9	77.3
Trave di ripartizione	11.595	-4.65	0	2 X HEA200	3	Right wall	Uniform 4	3	3	9: Sisma	0.652	0.378	0	69	39.8	0	132.5	77.1
Approcci di progetto disponibili															<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati	Esci
4: 0: DM08_ITA: EQK - STR																		

Riepilogo sollecitazioni e verifiche cordoli e travi di ripartizione – comb. SISMA - STR

Effettuando la verifica a flessione del cordolo di sommità, si ottiene:

Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	0,0
2	0,0	100,0
3	145,0	100,0
4	145,0	0,0



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	137,2	80,1	2,0	no
2	137,2	68,1	2,0	no
3	137,2	56,0	2,0	no
4	137,2	44,0	2,0	no
5	137,2	31,9	2,0	no
6	137,2	19,9	2,0	no
7	7,8	19,9	2,0	no
8	7,8	31,9	2,0	no
9	7,8	44,0	2,0	no
10	7,8	56,0	2,0	no
11	7,8	68,1	2,0	no
12	7,8	80,1	2,0	no

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 107 di 193

Normativa di riferimento:

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

Note:

Verifiche SLE per ambiente aggressivo

Materiali:**Calcestruzzo classe: C32/40**R_{ck} (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm²f_{ck} (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm²f_{ctm} (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm²G (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm²E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm²

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450Cf_{yk} (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm²f_{kt} (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm²ε_{uk} (deformazione di rottura) = 0.075G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm²E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm²

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

Verifiche stato limite ultimo:

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per M_{xu}, M_{yu} e N_u proporzionali (sigla verifica: P)Verifica con rapporto M_{xu}, M_{yu} assegnato (sigla verifica: M)Verifica con N_u costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	54,7	67,3	P	0,0	409,9	504,4	0,130	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	409,9	504,4	0,130	
2	0,0	51,0	55,6	P	0,0	421,9	459,9	0,120	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	421,9	459,9	0,120	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	54,7	67,3	P	0,0	409,9	504,4	0,130	OK
1	0,0	54,7	67,3	M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	OK
1	0,0	54,7	67,3	N	0,0	409,9	504,4	0,130	OK

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: σ_{cL} = 19920,0 kN/m² (verifica Ok per σ_c/σ_{cL} < 1)Acciaio: σ_{aL} = 360000,0 kN/m² (verifica Ok per σ_a/σ_{aL} < 1)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 108 di 193

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
3 OK	42,0	51,8	0,0	-1459,7	0,07	68708,6	0,19

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $W_{kL} = 0,30$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
4 OK	42,0	51,8	0,0	0,00	0,00

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS: $\sigma_{cL} = 14940,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Fessure: $W_{kL} = 0,20$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
5 OK	42,0	51,8	0,0	-1459,7	0,10	0,00	0,00

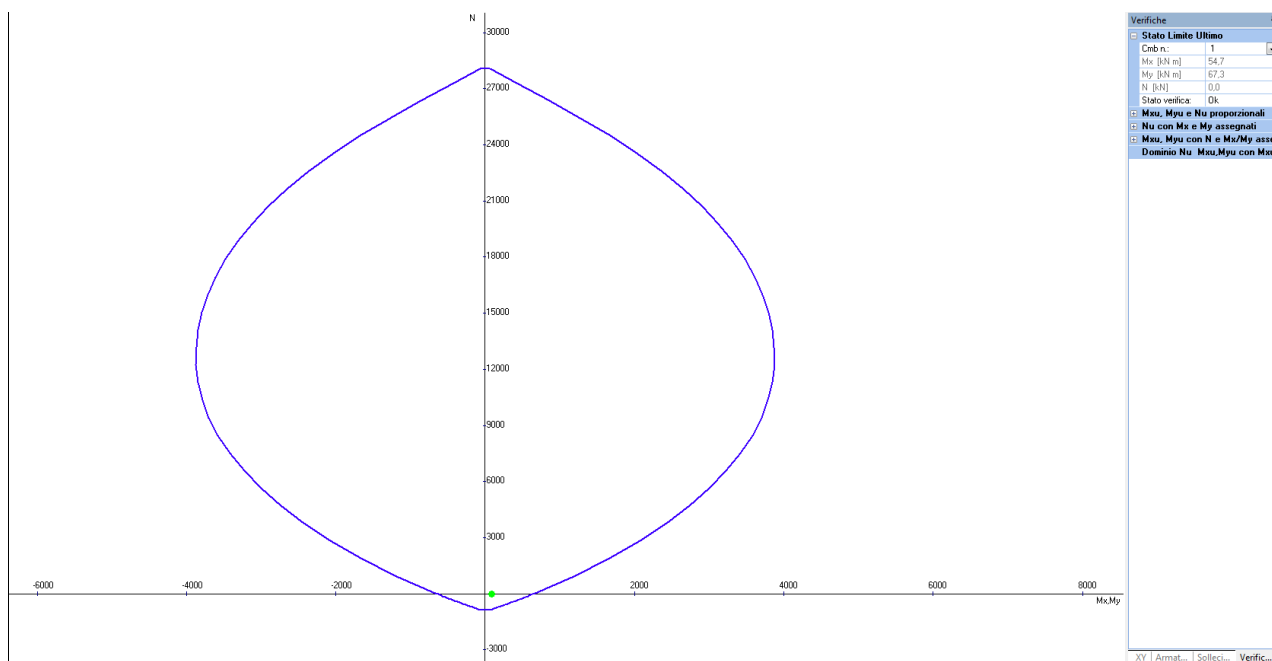
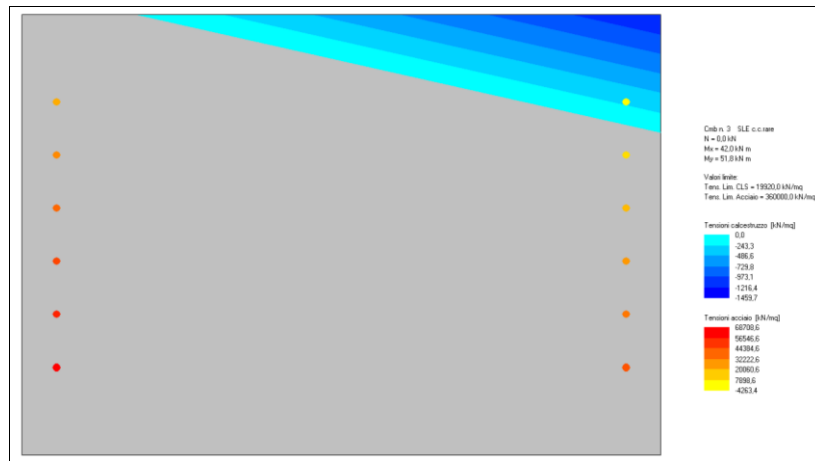
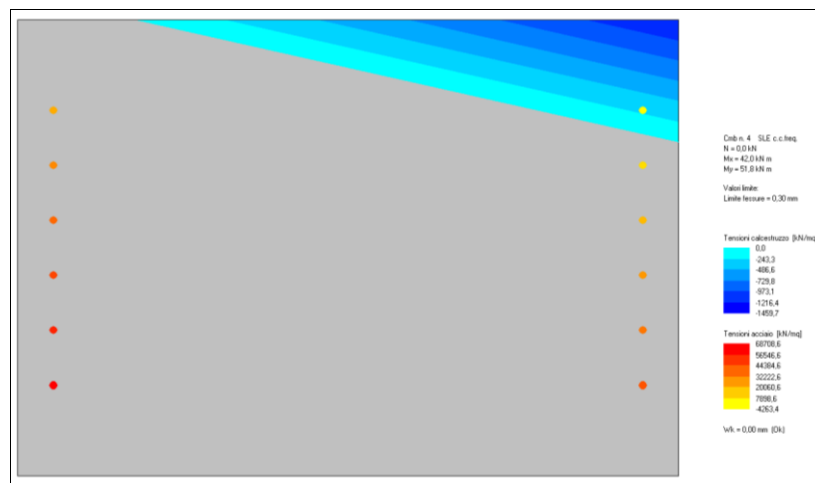


Diagramma d'interazione M-N – comb. SLU - A1+M1+R1

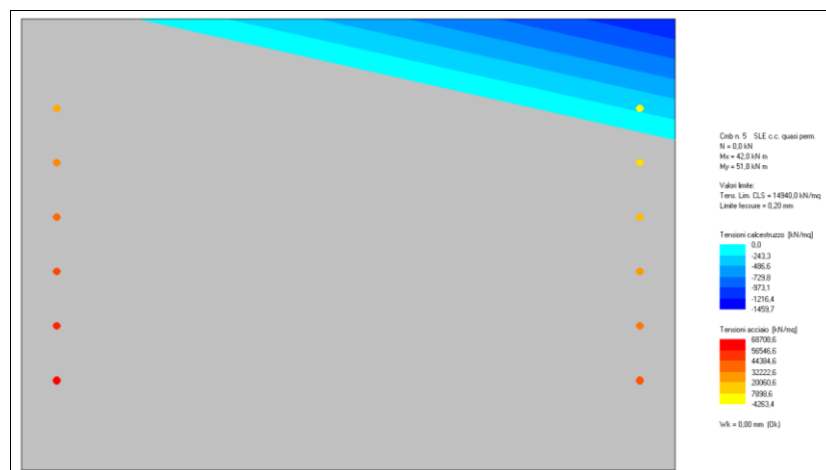
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 109 di 193



Tensioni massime nei materiali – comb. SLE – RARE



Verifica a fessurazione – comb. SLE – FREQUENTI



Verifica a fessurazione – comb. SLE – QUASI PERMANENTI

Tutte le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 110 di 193

Si conduce quindi la verifica a taglio della trave, considerando i valori massimi della sollecitazione da taglio, pari a:

$$T_{\max_SLU} = \sqrt{T_x^2 + T_z^2} = 158.78 \text{ kN/m (COMB. SISMA - STR)}$$

Effettuando la verifica si ottiene:

NTC 2008 - CALCESTRUZZO									
VERIFICA A TAGLIO TRAVI RETTANGOLARI									
UNITA' DI MISURA		forze e carichi:		kN, kN/m, kN/m ²		LEGENDA			
		peso specifico:		kN/m ³		123		dati da inserire	
		tensioni e resistenze		N/mm ²		123		valori calcolati	
		momenti (flettente,ecc.)		kNm				valori notevoli	
PESI SPECIFICI		$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ (cls non armato)						risultati verifiche	
		$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ (cls armato)							
se $V_{Sd} \leq V_{Rd\text{-senza arm.}}$				armat. minima a taglio					
se $V_{Sd} \geq V_{Rd\text{-senza arm.}}$				armat. a taglio tale che:		$V_{Sd} \leq V_{Rd \text{ con arm.}}$			
Elementi che non richiedono armatura a taglio ($V_{Sd} \leq V_{Rd \text{ senza arm.}}$)									
V_{Rd} [kN] =	386,67	>	V_{Ed} [kN] =	158,78	VERIFICATO armatura a taglio minima				
Acciaio =	B450C								
Cls =	C32/40								
R_{ck} =	40,00 [N/mm ²]								
f_{ck} =	32,00 [N/mm ²]								
$f_{ctk,0.05}$ =	2,12 [N/mm ²]								
γ_c in uso =	1,50								
V_{Rd} [kN] =	276,75 [kN]		386,67 [kN]						
v_{min} =	0,33								
$k = 1 + (200/d)^{1/2}$	1,42	≤ 2	1,42	2					
ρ_1 =	0,0009 [puro]	$\leq 0,02$	0,0009	0,02					
A_{sl} =	1,005 [mm ²]	Area armat. in trazione che si estende per non meno di $d + l_{b,net}$ oltre la sez. consider.							
		(cioè ancorata oltre l'inters. dell'asse dell'armat. con eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sez.consид.) (EC2)							
b_w =	1.000,00 [mm]	larghezza minima della sezione lungo l'altezza efficace							
α_{cp} =	0,00 [N/mm ²]	N_{ed}/A_c	0,00	4,426666667					
N_{Ed} =	0,00 [kN]	forza longitudinale nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione (compressione positiva)							
A_c =	1.200.000 [mm ²]	area calcestruzzo (valida solo per sezione rettangolare)							
d =	1.160 [mm]	altezza utile sezione							
h =	1.200 [mm]	altezza sezione							
b =	1.000 [mm]	base sezione							
c =	40 [mm]	copriferro							

Non è quindi necessario predisporre specifica armatura a taglio.

Si prevedono comunque staffe $\phi 12/2br/25cm$.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 111 di 193

Effettuando infine la verifica della soletta di fondo in c.a, di spessore pari a 100cm e per la quale si prevede la seguente armatura:

➤ A_{sup_princ} : n° 12 $\phi 24$ $c=4cm$

➤ A_{inf_princ} : n° 12 $\phi 24$ $c=4cm$

si ottiene:

Tutti gli approcci di progetto	
Singolo approccio di progetto	
Sommarario esteso	
Reazione supporti (al metro) vs f	
Reazione supporti vs Fase	
FS paratia vs Fase	
Verifica supporti vs Fase	
Travi di ripartizione	
FS paratia vs Fase (esteso)	
Ka e Kp	
Prescrizioni armatura	
Pannello	
Genera relazione	
Approcci di progetto disponibili	
1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	
Considera anche elementi aggiuntivi	
Copia tabella dati	
Esci	

Riepilogo sollecitazioni – comb. SLU - A1+M1+R1

Tutti gli approcci di progetto	
Singolo approccio di progetto	
Sommarario esteso	
Reazione supporti (al metro) vs f	
Reazione supporti vs Fase	
FS paratia vs Fase	
Verifica supporti vs Fase	
Travi di ripartizione	
FS paratia vs Fase (esteso)	
Ka e Kp	
Prescrizioni armatura	
Pannello	
Genera relazione	
Approcci di progetto disponibili	
4: 0: DM08_ITA: EQK - STR	
Considera anche elementi aggiuntivi	
Copia tabella dati	
Esci	

Riepilogo sollecitazioni – comb. SISMA - STR.

Tutti gli approcci di progetto	
Singolo approccio di progetto	
Sommarario esteso	
Reazione supporti (al metro) vs f	
Reazione supporti vs Fase	
FS paratia vs Fase	
Verifica supporti vs Fase	
Travi di ripartizione	
FS paratia vs Fase (esteso)	
Ka e Kp	
Pannello	
Genera relazione	
Approcci di progetto disponibili	
1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1	
Considera anche elementi aggiuntivi	
Copia tabella dati	
Esci	

Riepilogo verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 112 di 193

Tutti gli approcci di progetto	TSF vincoli/fasi
Singolo approccio di progetto	TSF Supporto 4(z= -7.7)
Sommario esteso	Fase 0 0
Reazione supporti (al metro) vs f	Fase 1 0
Reazione supporti vs Fase	Fase 2 0
FS paratia vs Fase	Fase 3 0
Verifica supporti vs Fase	Fase 4 0
Travi di ripartizione	Fase 5 0
FS paratia vs Fase (esteso)	Fase 6 0.211
Ka e Kp	Fase 7 0.449
Prescrizioni armatura	Fase 8 0.609
	Fase 9 0.519
Genera relazione	Approcci di progetto di: 4: 0: DM08_ITA: EQK - STR <input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi
	Copia tabella dati
	Esci

Riepilogo verifiche – comb. SISMA - STR.

La verifica a pressoflessione della soletta di fondo risulta dunque soddisfatta in quanto:

$$S_{d-max}/R_d = 0.631 \text{ (Comb. SLU – A1+M1+R1)}$$

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 113 di 193

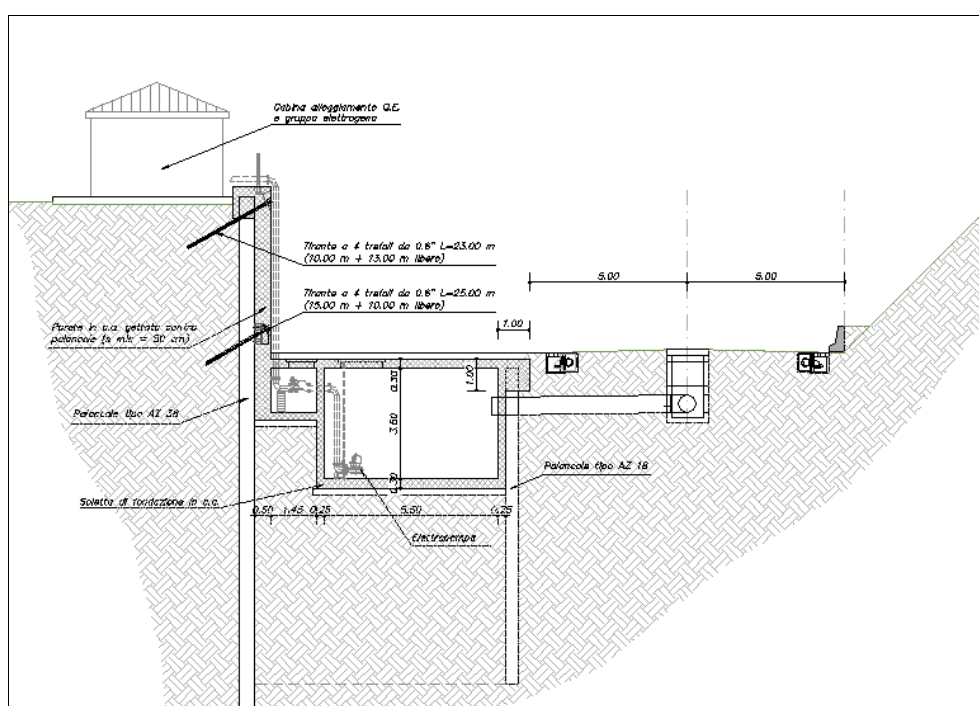
10 CALCOLO DELLE PARATIE DELLA VASCA DI RACCOLTA ACQUE

10.1 Modello di calcolo

Oggetto del presente capitolo è il calcolo delle paratie costituenti le pareti della vasca di raccolta delle acque provenienti dalla piattaforma stradale.

Tali paratie sono realizzate mediante l'utilizzo di palancole tipo AZ 18-700, di lunghezza pari a 10,00m e sormontate in sommità da un cordolo in c.a. Alla quota di fondo scavo è prevista la realizzazione di una soletta in c.a. di spessore pari a 0.30m e un'altra soletta di pari spessore è prevista a copertura della vasca.

Nella seguente figura si illustrano le caratteristiche geometriche dell'opera.



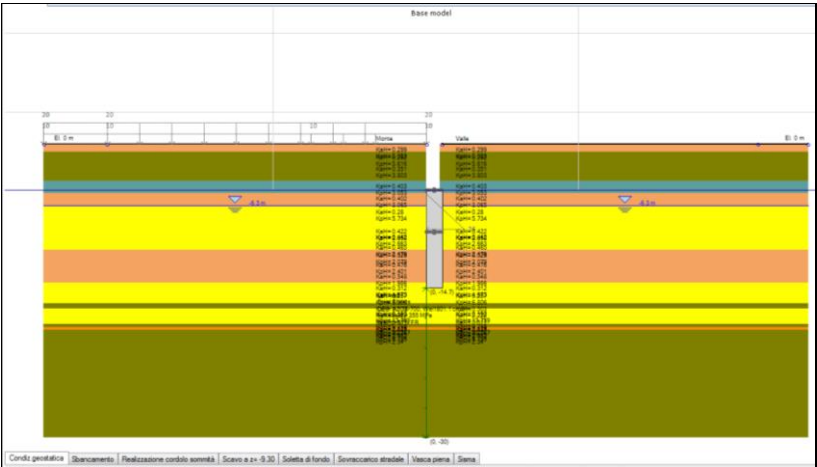
Sezione vasca di raccolta acque

La costruzione dell'opera in oggetto si articola nelle seguenti fasi:

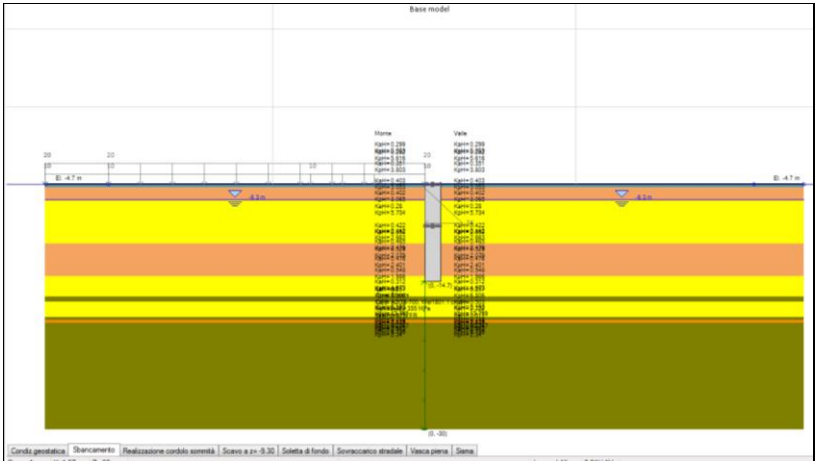
- Sbancamento fino a quota di lavoro ($z = -4.70\text{m}$ da p.c.);
- Infissione palancole e realizzazione del cordolo di sommità;
- Scavo fino a quota -9.30 m dal p.c. (fondo scavo);
- Realizzazione delle solette di fondo e di copertura e delle pareti di rivestimento.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 114 di 193

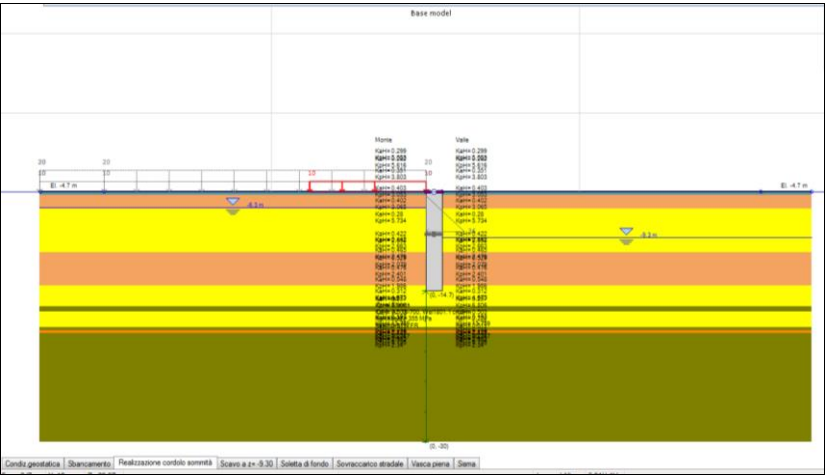
Il calcolo non lineare agli elementi finiti dell'interazione terreno – struttura è stato effettuato passo per passo, considerando la seguente successione di fasi (tutte le quote espresse sono riferite al livello del piano campagna):



Fase 0 – Condizione geostatica

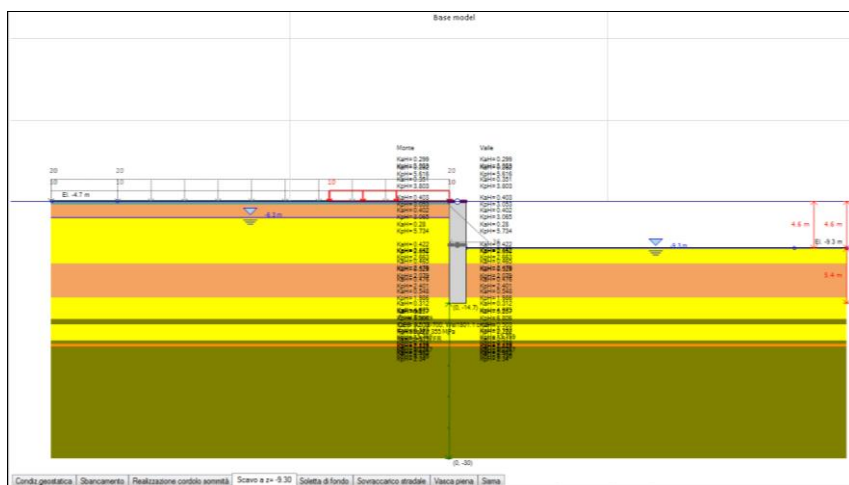


Fase 1 – Sbancamento fino a quota z= - 4.70m

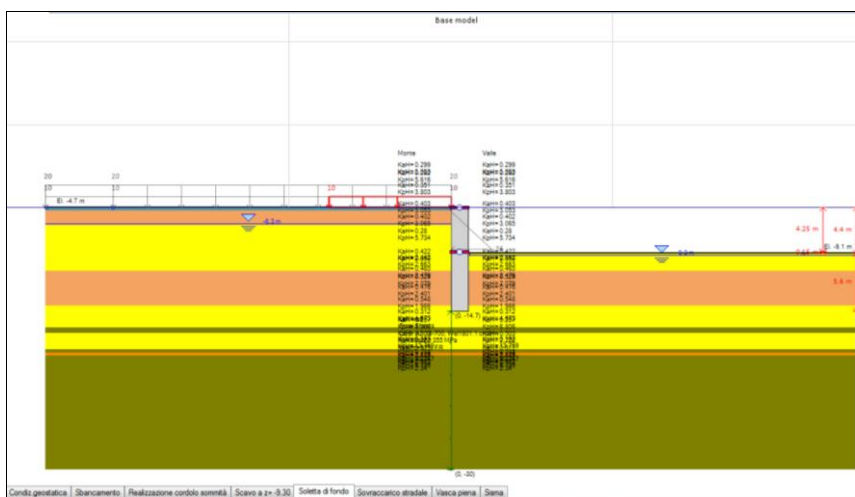


Fase 2 – Realizzazione cordolo di sommità e applicazione sovraccarico 10 kPa a monte della paratia

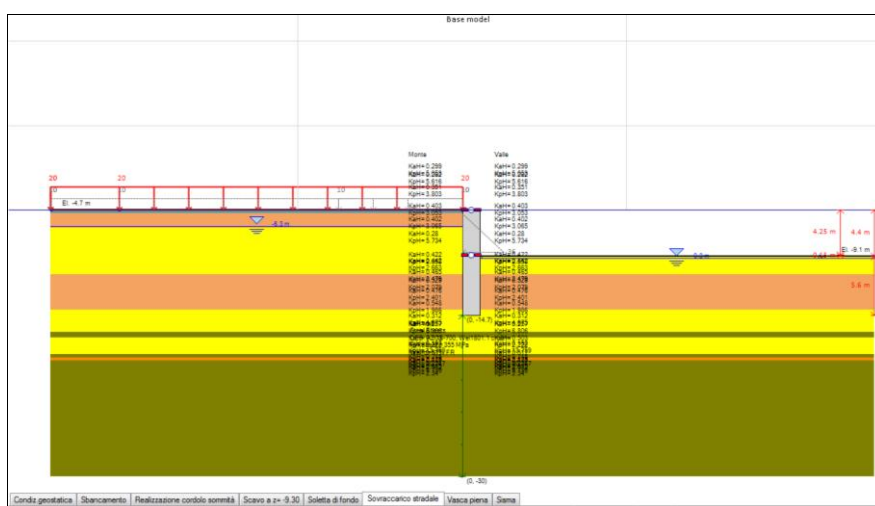
Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 115 di 193



Fase 3 – Scavo a $z = -9.30m$

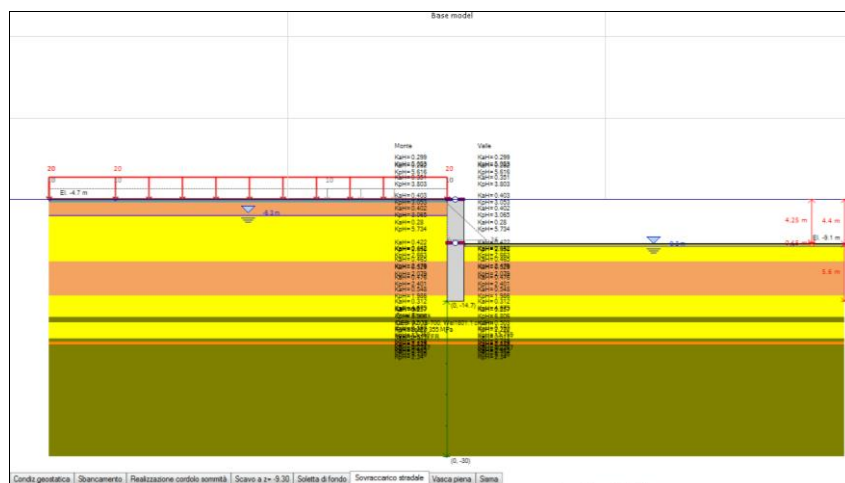


Fase 4 – Realizzazione della soletta di fondo

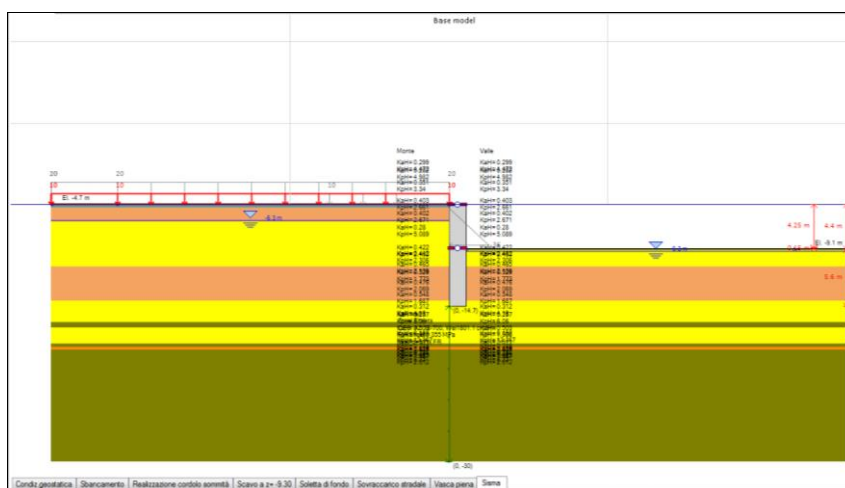


Fase 5 – Applicazione del sovraccarico stradale a monte ($q=20 \text{ kPa}$)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 116 di 193



Fase 6 – Condizioni di esercizio – vasca piena



Fase 7 – Condizioni sismiche

Il livello di falda, stimato a quota -6,30m dal piano campagna, è considerato abbattuto a fondo scavo internamente alle paratie durante le fasi di esecuzione mediante continuo aggettamento.

A monte della paratia si è considerata la presenza di mezzi da cantiere durante le fasi realizzative mediante l'applicazione di un sovraccarico accidentale pari a 10 kPa, mentre in fase di esercizio si è considerato un sovraccarico stradale pari a 20 kPa.

La presenza dell'acqua dentro la vasca in fase di esercizio, è stata schematizzata nel modello mediante un carico triangolare applicato alla paratia a valle della stessa.

La presenza del cordolo di sommità e della soletta di fondo è stata considerata nel modello mediante l'introduzione di vincoli ideali alla traslazione orizzontale; in particolare, tale ipotesi di calcolo è stata assunta per il cordolo di sommità considerando la disposizione a scatola delle palancole e la loro modesta luce, per cui ogni parete esercita su quella adiacente e perpendicolare un'effettiva azione di vincolo.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 117 di 193

Si sottolinea inoltre come le pareti in c.a. di rivestimento interno della vasca non siano state considerate collaboranti ai fini strutturali.

Per quanto concerne la valutazione degli effetti dell'azione sismica, applicata a struttura ultimata, si sono considerati i parametri riportati nella seguente figura di input del programma Paratie Plus 2011:

Tabella di input parametri sismici

Considerando l'altezza del livello di falda e la natura dei terreni interessati, si è svolta un'analisi della struttura considerando un comportamento drenato dei terreni.

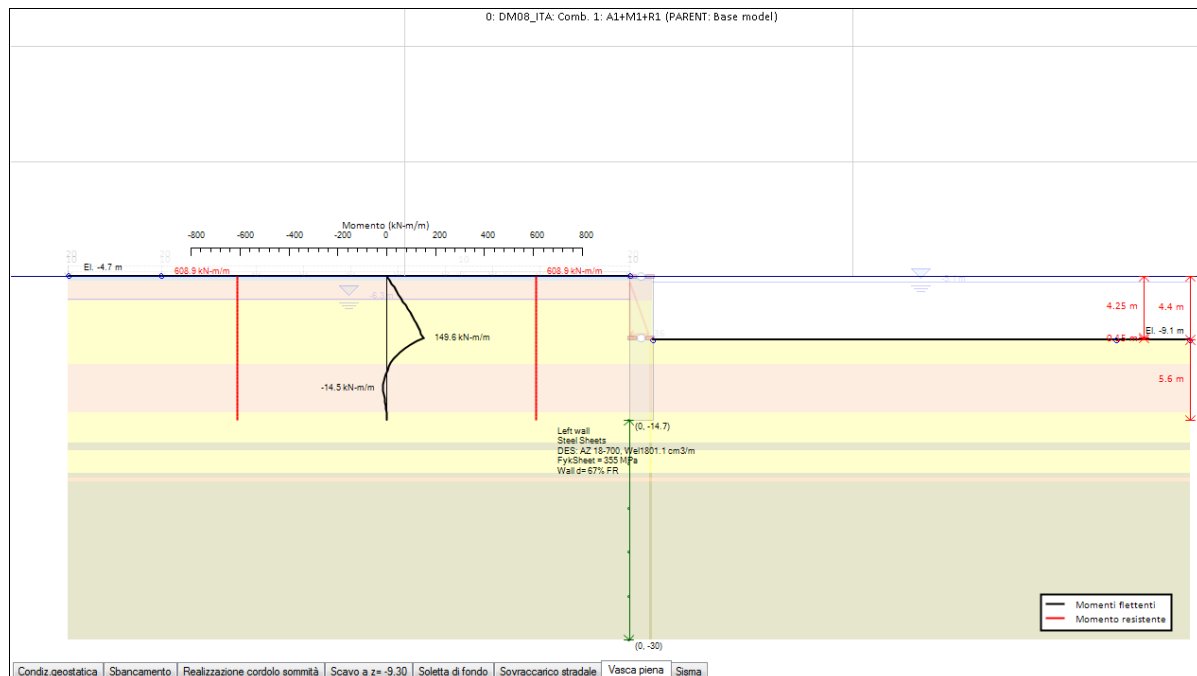
Le verifiche geotecniche e strutturali sono state condotte considerando le seguenti combinazioni, in accordo con la Norma:

- SLE – RARE
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SLU – A1 + M1 + R3;
- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA GEO;
- SISMA STR.

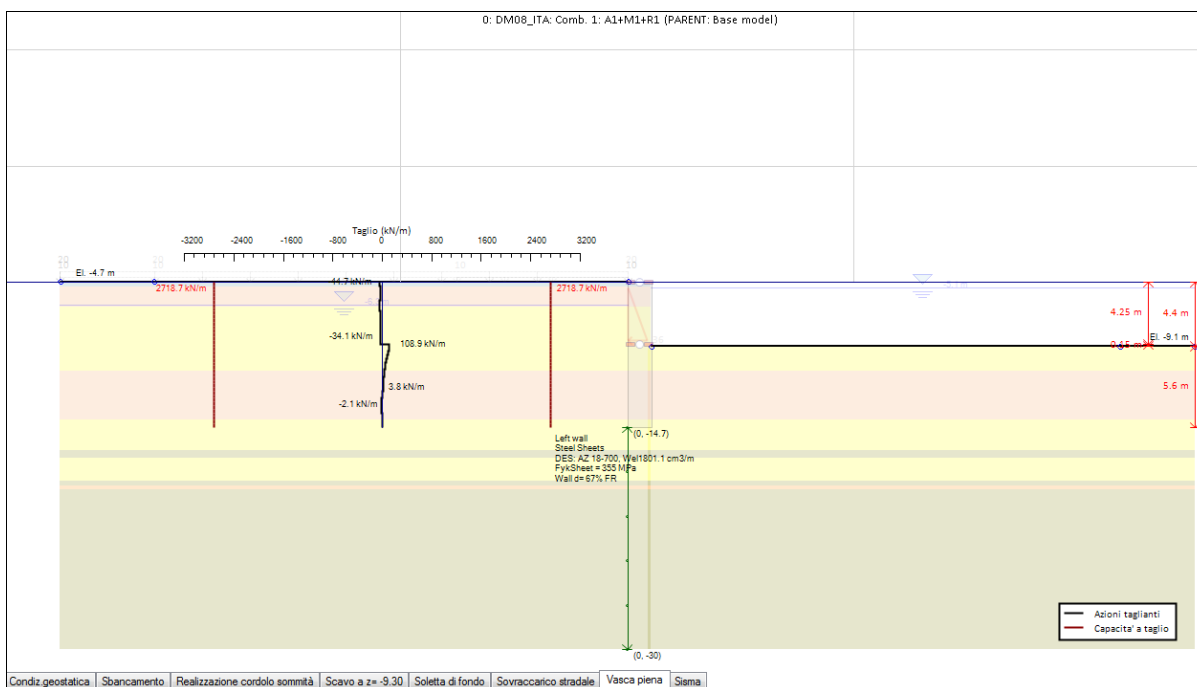
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 118 di 193

10.2 Riepilogo dei risultati

Si riportano ora i diagrammi relativi alle massime componenti di azione interna negli elementi strutturali (pali e tiranti) e ai massimi spostamenti della paratia emersi dal calcolo.

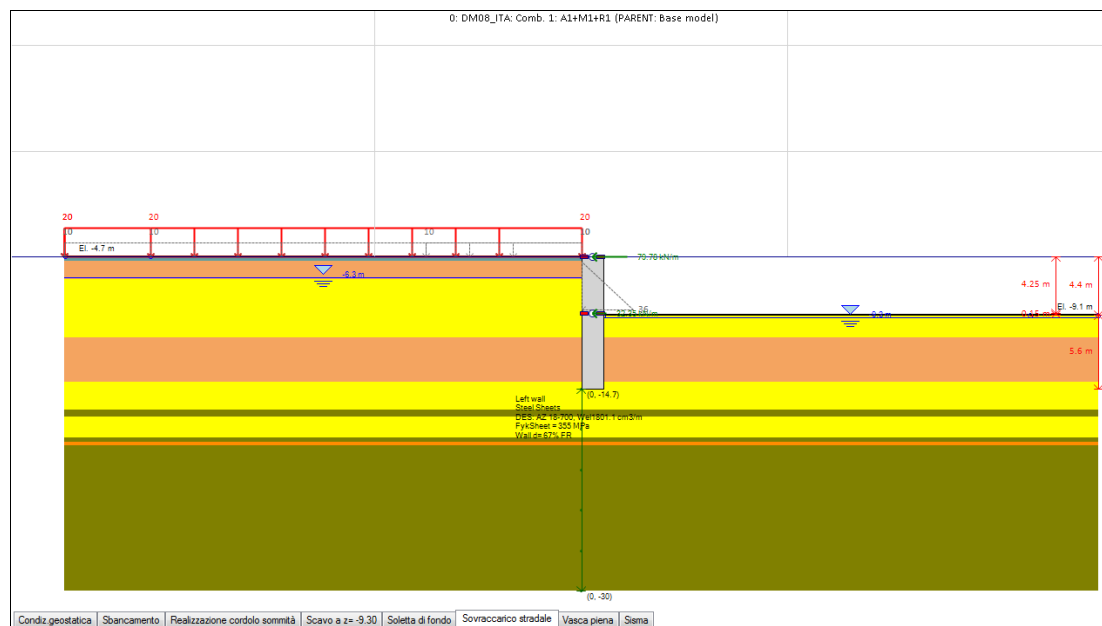


M_{max} nella paratia [kNm/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 - fase 6

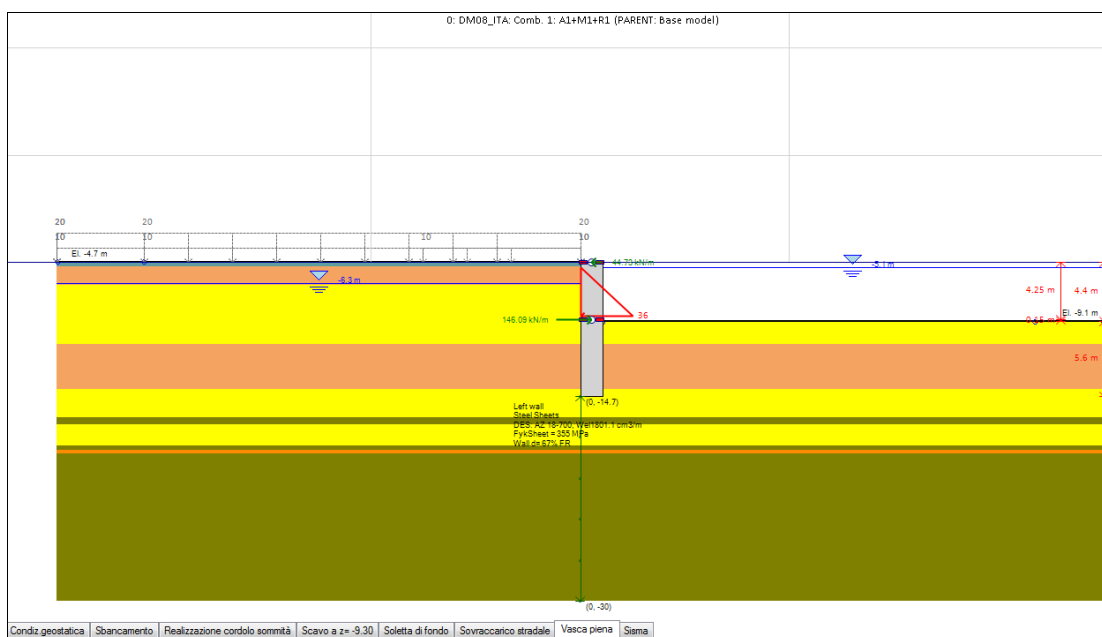


T_{max} nel diaframma [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 6

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 119 di 193

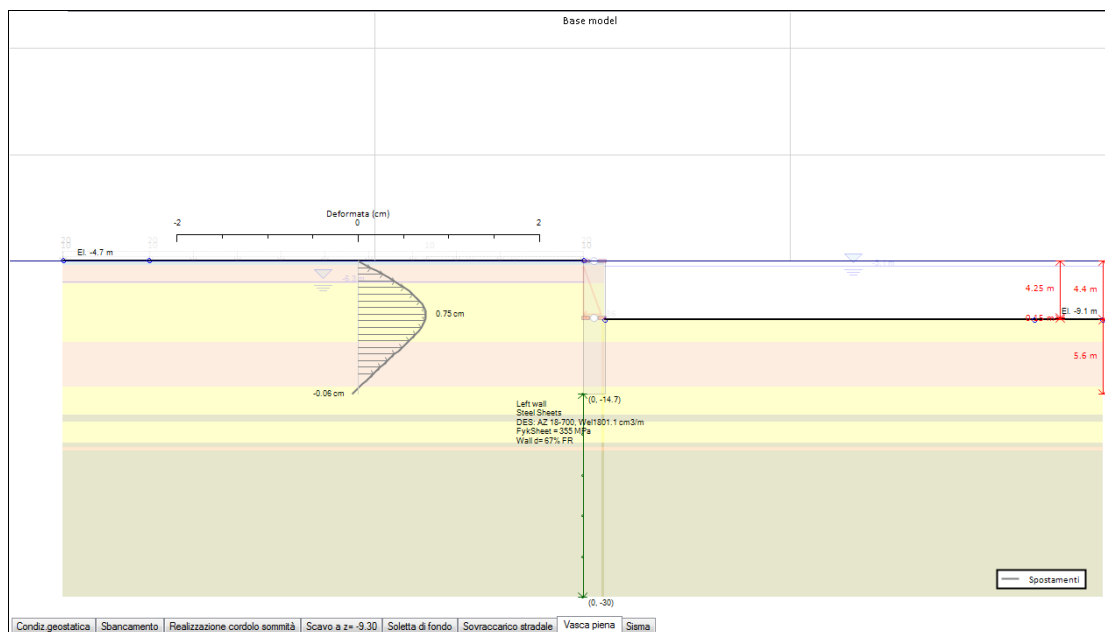


R_{max} nel cordolo di sommità [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 5



R_{max} nel cordolo di sommità [kN/m] – comb. SLU – A1+M1+R1 – fase 6

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 120 di 193



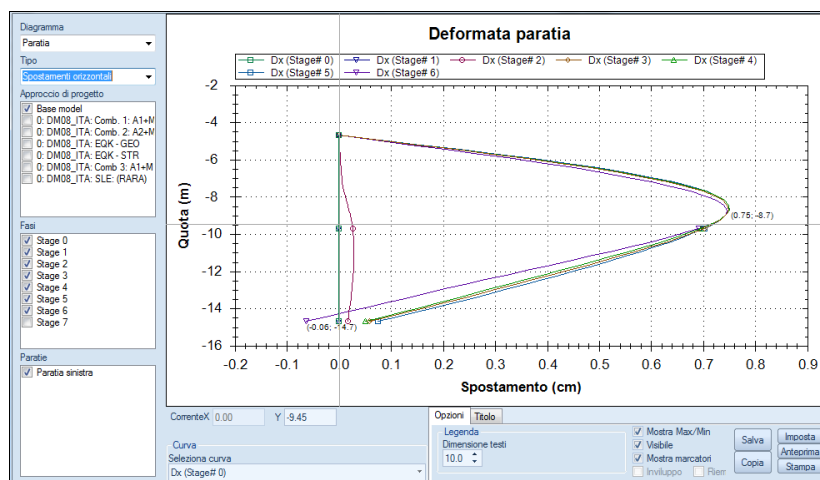
s_{max} nel diaframma [kNm/m] – comb. SLE - RARE

Le sollecitazioni e gli spostamenti negli elementi strutturali e gli sforzi nei terreni emersi dal calcolo, dettagliati fase per fase rispettivamente, sono riportati per esteso nei tabulati di calcolo allegati alla presente relazione.

Il massimo spostamento orizzontale della testa della struttura, determinato con la combinazione agli SLE - RARE, risulta pari a:

$$s_{max} = 0.75 \text{ cm} = \frac{1}{1333} H$$

ove H è l'altezza complessiva della paratia, valore che risulta ampiamente compatibile con la tipologia di opera in questione.



Diagrammi degli spostamenti orizz. paratia sx – comb. SLE - RARE

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 121 di 193

10.3 Verifiche di resistenza

10.3.1 Verifiche dell'interazione terreno-paratia

Le verifiche geotecniche (GEO) della paratia, compresa quella di stabilità globale, eseguite secondo il metodo degli Stati Limite, sono sviluppate per le sollecitazioni massime calcolate nelle diverse fasi di calcolo, considerando le seguenti combinazioni:

- SLU – A2 + M2 + R1;
- SISMA - GEO

Si riporta di seguito il report delle verifiche dell'interazione terreno – paratia, in riferimento alle due combinazioni sopracitate:

Esteso								
	Esito calcolo	Spostamen X paratia (cm)	Cedimen Z terreno (cm)		Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
► Condiz.geostatica	Risolto con successo	0	N/A		1000	3.978	1.543	375.151
Sbancamento	Risolto con successo	0	N/A		1000	2.532	3.073	232.607
Realizzazione cordolo sommità	Risolto con successo	0.03	N/A		1000	2.54	2.53	38.392
Scavo a z= -9.30	Risolto con successo	1.95	3.07		1.371	1.064	1.08	1.545
Soletta di fondo	Risolto con successo	1.95	3.08		1.454	1.155	1.105	1.643
Sovraccarico stradale	Risolto con successo	1.96	3.11		1.454	1.078	1.057	1.492
Vasca piena	Risolto con successo	1.95	3.08		1.921	1.324	1.478	2.466
Approcci di progetto disponibili Selezione paratia								
2: 0: DM08_ITA: Comb. 2: A2+M2+R1		0: Left wall		<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati	Esci	

Verifiche geotecniche – comb. SLU – A2+M2+R1

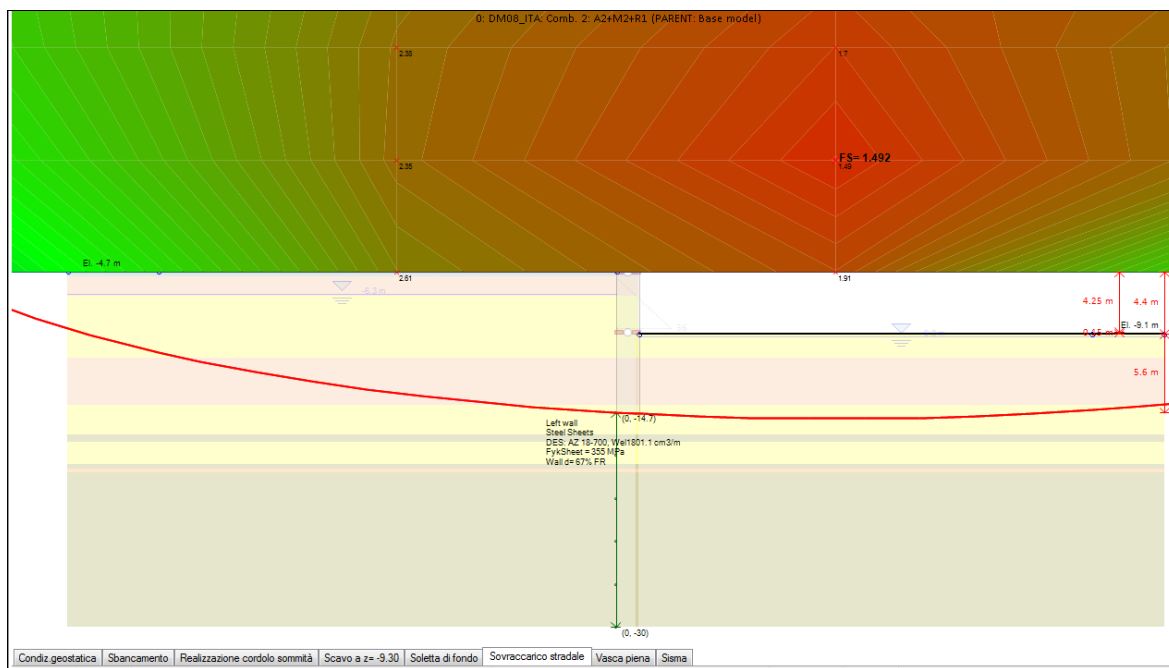
Esteso								
	Esito calcolo	Spostamen X paratia (cm)	Cedimen Z terreno (cm)		Verifica fondo scavo (FS)	Passiva/Vera (analisi NL)	Vera/Attiva (analisi NL)	Verifica stabilità globale (FS)
► Condiz.geostatica	Risolto con successo	0	N/A		1000	3.978	1.543	375.151
Sbancamento	Risolto con successo	0	N/A		1000	2.532	3.073	232.607
Realizzazione cordolo sommità	Risolto con successo	0.03	N/A		1000	2.549	2.583	41.24
Scavo a z= -9.30	Risolto con successo	1.84	2.89		1.371	1.068	1.089	1.544
Soletta di fondo	Risolto con successo	1.84	2.9		1.454	1.159	1.115	1.643
Sovraccarico stradale	Risolto con successo	1.85	2.97		1.454	1.097	1.066	1.517
Vasca piena	Risolto con successo	1.84	2.87		1.921	1.264	1.326	1.176
Sisma	Risolto con successo	1.85	2.97		1.454	1.059	1.081	1.044
Approcci di progetto disponibili Selezione paratia								
3: 0: DM08_ITA: EQK - GEO		0: Left wall		<input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi		Copia tabella dati	Esci	

Verifiche geotecniche – comb. SISMA – GEO

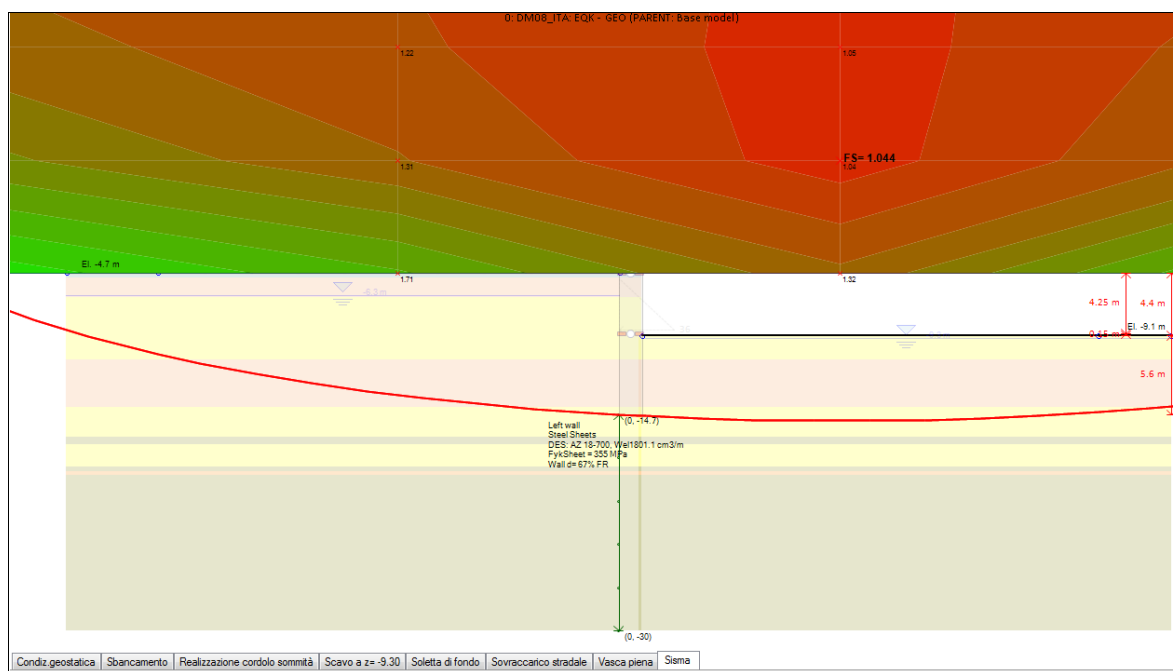
Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Si riporta quindi la rappresentazione grafica della superficie di scivolamento critica, emersa dall'analisi della stabilità globale effettuata sulla configurazione finale dell'opera, rispettivamente per le combinazioni considerate.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 122 di 193



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SLU – A2+M2+R1 (fase 5)



Verifica di stabilità globale: superficie critica – comb. SISMA – GEO (fase 7)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 123 di 193

Nel momento in cui il calcolo non lineare dell'interazione paratia-terreno giunge a convergenza, risulta automaticamente soddisfatta la verifica di portanza della paratia come risultano nulli o trascurabili i cedimenti ai piedi della paratia. Il programma altresì valuta i cedimenti dell'estradosso del terreno a monte della paratia, i cui valori sono riportati nelle tabelle riassuntive sopra illustrate.

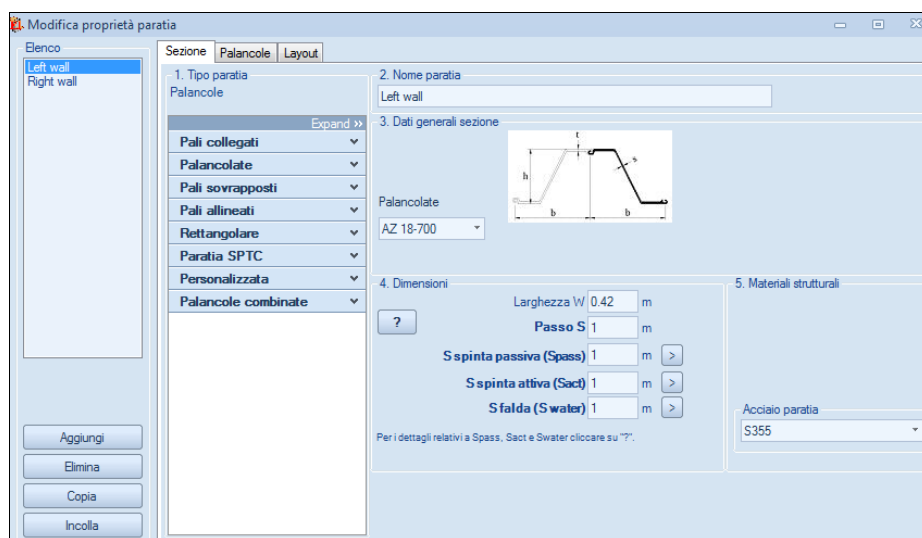
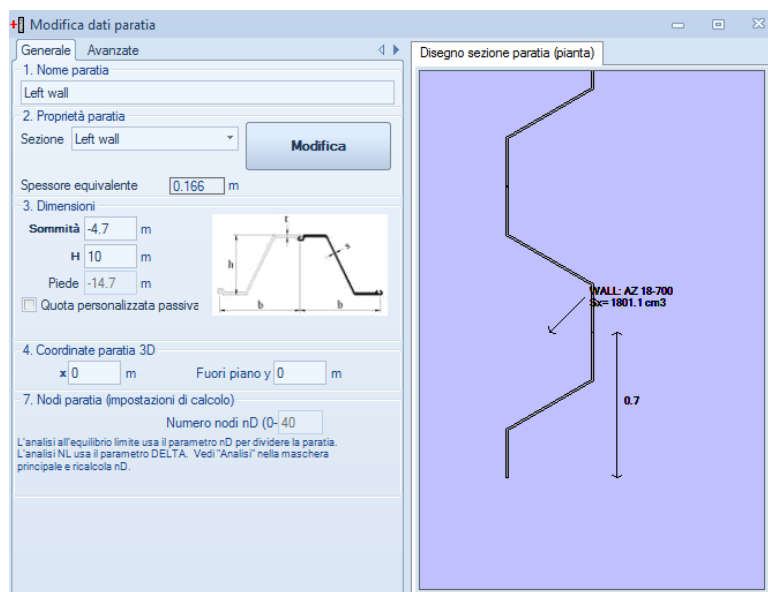
<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 124 di 193

10.3.2 Verifiche strutturali palanca

Si conducono le verifiche strutturali (a pressoflessione e taglio) della palanca, in relazione alle seguenti combinazioni:

- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti figure si illustrano le caratteristiche geometriche e meccaniche della palanca tipo AZ18-700, considerate nel calcolo:



Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 125 di 193

Modifica proprietà paratia

Sezione Palancole Layout

1. Scelta sezioni (da archivio)

sezione AZ 18-700

2. Proprietà palancole

h 42.012 cm A 139.28 cm²/m

b 70.002 cm t_f 0.899 cm

b_{oc} 37799.5 cm⁴/m s 0.899 cm

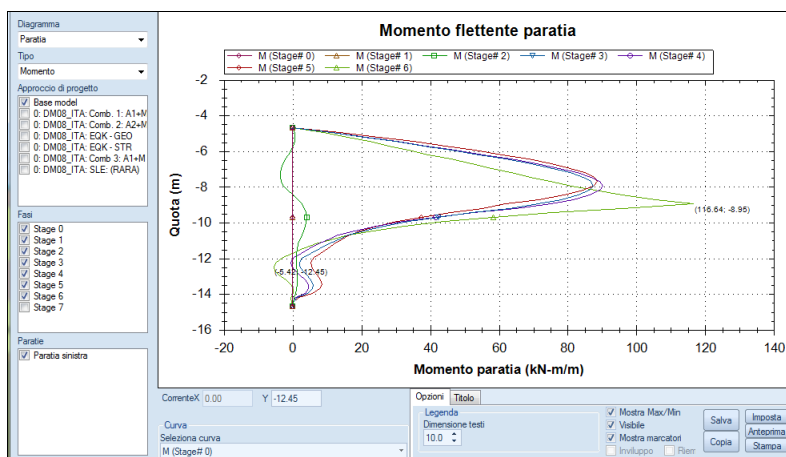
I_{wel} 1801.1 cm³/m α 55.4 °

Libera sotto il fondo scavo 5 volte l'ampiezza della paratia

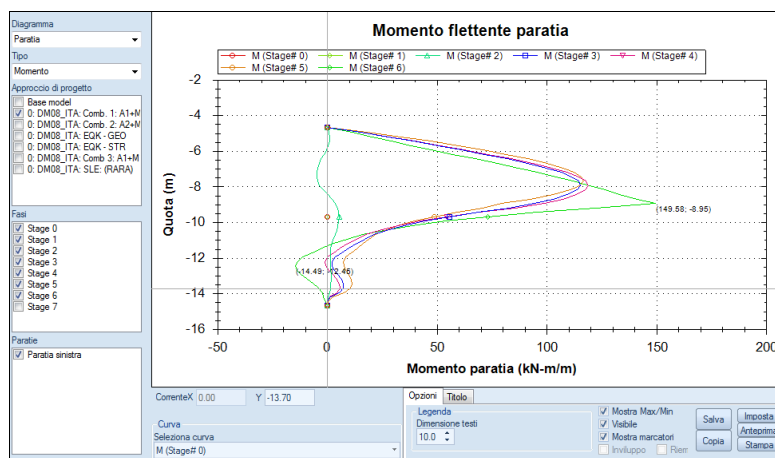
MANUFACTURER: Arcelor, LuxembourgLuxembourg, SHAPE: Z
HOT/COLD ROLLED: HR, INTERLOCK: DH

Aggiungi
Elimina
Copia
Incolla

Effettuando la verifica a pressoflessione del palo della paratia, considerando il valore massimo della sollecitazione da momento flettente e trascurando, a favore di sicurezza, il carico assiale, si ottiene:

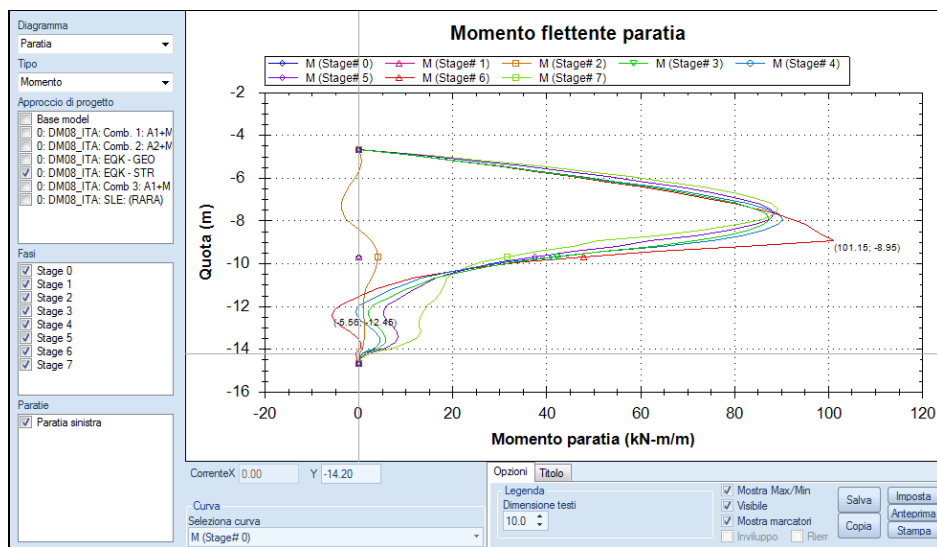


Diagrammi del Momento flettente paratia sx – comb. SLE - RARE



Diagrammi del Momento flettente – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 126 di 193



Diagrammi del Momento flettente – comb. SISMA - STR

Esteso								
	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica paratia (TSF)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Risolto con successo	0	0	0	0	0	0	0
Sbancamento	Risolto con successo	0	0	0	0	0	0	0
Realizzazione cordolo sommità	Risolto con successo	5.39	5.39	9.13	9.13	0.009	0.009	0.003
Scavo a z= -9.30	Risolto con successo	115.39	115.39	60.58	60.58	0.19	0.189	0.022
Soletta di fondo	Risolto con successo	119.02	119.02	65.41	65.41	0.195	0.195	0.024
Sovraccarico stradale	Risolto con successo	116.66	116.66	73.26	73.26	0.192	0.192	0.027
Vasca piena	Risolto con successo	149.58	149.58	108.91	108.91	0.246	0.246	0.04

Approcci di progetto disponibili: 1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1
 Selezione paratia: 0: Left wall
 Considera anche elementi aggiuntivi: ☒
 Copia tabella dati Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SLU - A1+M1+R1

Esteso								
	Esito calcolo	Momento paratia (kN-m/m)	Momento paratia (kN-m)	Taglio paratia (kN/m)	Taglio paratia (kN)	Verifica paratia (TSF)	Verifica presso flessione (TSF)	Verifica taglio (TSF)
► Condiz.geostatica	Risolto con successo	0	0	0	0	0	0	0
Sbancamento	Risolto con successo	0	0	0	0	0	0	0
Realizzazione cordolo sommità	Risolto con successo	4.07	4.07	6.83	6.83	0.007	0.007	0.003
Scavo a z= -9.30	Risolto con successo	87.51	87.51	45.64	45.64	0.144	0.144	0.017
Soletta di fondo	Risolto con successo	90.3	90.3	49.74	49.74	0.148	0.148	0.018
Sovraccarico stradale	Risolto con successo	88.58	88.58	54.5	54.5	0.145	0.145	0.02
Vasca piena	Risolto con successo	101.15	101.15	76.04	76.04	0.166	0.166	0.028
Sisma	Risolto con successo	89.28	89.28	59.9	59.9	0.147	0.147	0.022

Approcci di progetto disponibili: 4: 0: DM08_ITA: EQK - STR
 Selezione pa: 0: Left wall
 Considera anche elementi aggiuntivi: ☒
 Copia tabella dati Esci

Riepilogo sollecitazioni e verifiche – comb. SISMA - STR

Tutte le verifiche risultano dunque soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 127 di 193

10.3.3 Verifica del cordolo di sommità

Come elementi strutturali di coronamento in testa alle palancole si prevedono travi in c.a. gettate in opera, di sezione pari a 100x100cm, per le quali si dispone la seguente armatura:

- A_{long} : n° 10+5 $\phi 16$ $c = 4\text{cm}$
- A_{taglio} : staffe $\phi 12/2br/25\text{cm}$

Particolare del cordolo di sommità

Si ipotizza per il calcolo del cordolo uno schema statico di trave incastrata alle estremità, sottoposta a carico uniformemente distribuito, su una luce massima pari a 8.30m.

Per il calcolo e le verifiche strutturali si considerano le seguenti combinazioni:

- SLE – RARE (Base model);
- SLU – A1 + M1 + R1;
- SISMA - STR.

Nelle seguenti tabelle si riepilogano le reazioni vincolari massime del puntello in testa che simula la presenza del cordolo, determinate col calcolo per ogni combinazione considerata:

<div>Tutti gli approcci di pr</div> <div>Singolo approccio di p</div> <div>Sommario esteso</div> <div>Reazione supporti (al metro) vs f</div> <div>Reazione supporti vs Fase</div> <div>FS paratia vs Fase</div> <div>Verifica supporti vs Fase</div> <div>Travi di ripartizione</div> <div>FS paratia vs Fase (esteso)</div> <div>Genera relazione</div>	Reazione vincoli (vincolo singolo)	
		Supporto 1 Reazione (z= -4.7) kN at 1 m
	Fase 0	0
	Fase 1	0
	Fase 2	6.422
	Fase 3	49.891
	Fase 4	50.572
	Fase 5	59.38
	Fase 6	37.58
Approcci di pro: 0: Base model <input checked="" type="checkbox"/> Considera anche elementi aggiuntivi <input type="checkbox"/> Copia tabel		

Reazioni vincolari cordolo di sommità – comb. SLE - RARE

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 128 di 193

Reazione vincoli (vincolo singolo)	
Supporto 1 Reazione (z= -4.7) kN at 1 m	
Fase 0	0
Fase 1	0
Fase 2	9.111
Fase 3	66.26
Fase 4	67.145
Fase 5	79.784
Fase 6	44.729

Tutti gli approcci di progetto
 Singolo approccio di progetto
 Sommario esteso
 Reazione supporti (al metro) vs f
 Reazione supporti vs Fase
 FS paratia vs Fase
 Verifica supporti vs Fase
 Travi di ripartizione
 FS paratia vs Fase (esteso)
 Genera relazione

Approcci di progetto disponibili
 1: 0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1
 Considera anche elementi aggiuntivi

Reazioni vincolari cordolo di sommità – comb. SLU - A1+M1+R1

Reazione vincoli (vincolo singolo)	
Supporto 1 Reazione (z= -4.7) kN at 1 m	
Fase 0	0
Fase 1	0
Fase 2	6.422
Fase 3	49.891
Fase 4	50.572
Fase 5	59.38
Fase 6	47.216
Fase 7	65.363

Tutti gli approcci di progetto
 Singolo approccio di progetto
 Sommario esteso
 Reazione supporti (al metro) vs f
 Reazione supporti vs Fase
 FS paratia vs Fase
 Verifica supporti vs Fase
 Travi di ripartizione
 FS paratia vs Fase (esteso)
 Ka e Kp
 Genera relazione

Approcci di progetto disponibili
 4: 0: DM08_ITA: EQK - STR
 Considera anche elementi aggiuntivi

Reazioni vincolari cordolo di sommità – comb. SISMA - STR

da cui derivano le seguenti sollecitazioni:

$$\text{➤ } M_{\text{SLU}} = \frac{q \times L^2}{12} = \frac{79.78 \times 8.30^2}{12} = 458.00 \text{ kNm}$$

$$\text{➤ } M_{\text{SIS}} = \frac{q \times L^2}{12} = \frac{65.36 \times 8.30^2}{12} = 375.22 \text{ kNm}$$

$$\text{➤ } M_{\text{SLE}} = \frac{q \times L^2}{12} = \frac{50.57 \times 8.30^2}{12} = 290.31 \text{ kNm}$$

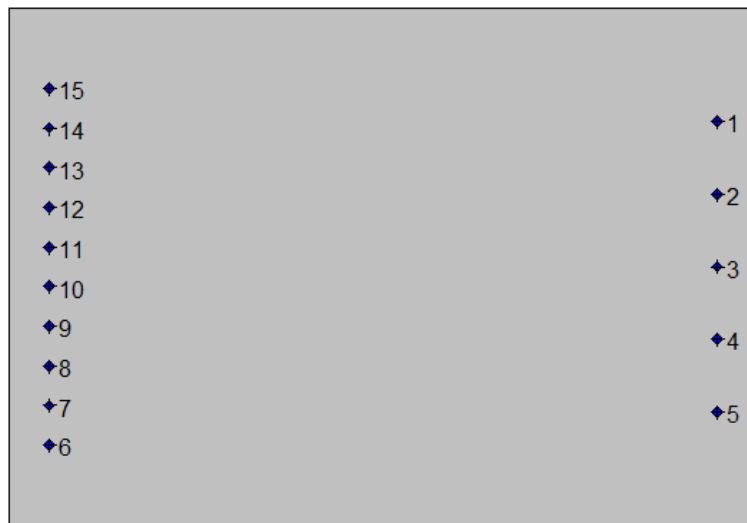
$$\text{➤ } T_{\text{SLU}} = \frac{q \times L}{2} = \frac{79.78 \times 8.30}{2} = 331.09 \text{ kNm}$$

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 129 di 193

Effettuando la verifica a flessione del cordolo di sommità, si ottiene:

Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	0,0
2	0,0	100,0
3	145,0	100,0
4	145,0	0,0



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	137,2	78,1	2,0	no
2	137,2	64,1	2,0	no
3	137,2	50,0	2,0	no
4	137,2	35,9	2,0	no
5	137,2	21,9	2,0	no
6	7,8	15,5	2,0	no
7	7,8	23,1	2,0	no
8	7,8	30,8	2,0	no
9	7,8	38,5	2,0	no
10	7,8	46,2	2,0	no
11	7,8	53,8	2,0	no
12	7,8	61,5	2,0	no
13	7,8	69,2	2,0	no
14	7,8	76,9	2,0	no
15	7,8	84,5	2,0	no

Normativa di riferimento:

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

Note:

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 130 di 193

Verifiche SLE per ambiente aggressivo

Materiali:

Calcestruzzo classe: C32/40

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm²
 fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm²
 fctm (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm²
 G (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm²
 E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm²
 C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050
 Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C

f_{yk} (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm²
 f_{kt} (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm²
 ε_{uk} (deformazione di rottura) = 0.075
 G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm²
 E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm²
 C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012
 Peso specifico = 7850 daN/mc

Verifiche stato limite ultimo:

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:
 Verifica per M_{xu}, M_{yu} e N_u proporzionali (sigla verifica: P)
 Verifica con rapporto M_{xu}, M_{yu} assegnato (sigla verifica: M)
 Verifica con N_u costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	0,0	458,0	P	0,0	0,0	1067,7	0,430	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	0,0	1067,7	0,430	
2	0,0	0,0	375,2	P	0,0	0,0	1067,7	0,350	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	0,0	0,0	1067,7	0,350	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	0,0	0,0	458,0	P	0,0	0,0	1067,7	0,430	OK
1	0,0	0,0	458,0	M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	OK
1	0,0	0,0	458,0	N	0,0	0,0	1067,7	0,430	OK

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: σ_{cL} = 19920,0 kN/mq (verifica Ok per σ_c/σ_{cL} < 1)

Acciaio: σ_{aL} = 360000,0 kN/mq (verifica Ok per σ_a/σ_{aL} < 1)

Cmb	Mx	My	N	σ _c	σ _c /σ _{cL}	σ _a	σ _a /σ _{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
3 OK	0,0	290,3	0,0	-1663,7	0,08	112008,6	0,31

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 131 di 193

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $W_{kL} = 0,30$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
4 OK	0,0	290,3	0,0	0.00	0,00

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:

Valori limite:

CLS: $\sigma_{cL} = 14940,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Fessure: $W_{kL} = 0,20$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
5 OK	0,0	290,3	0,0	-1663,7	0,11	0.00	0,00

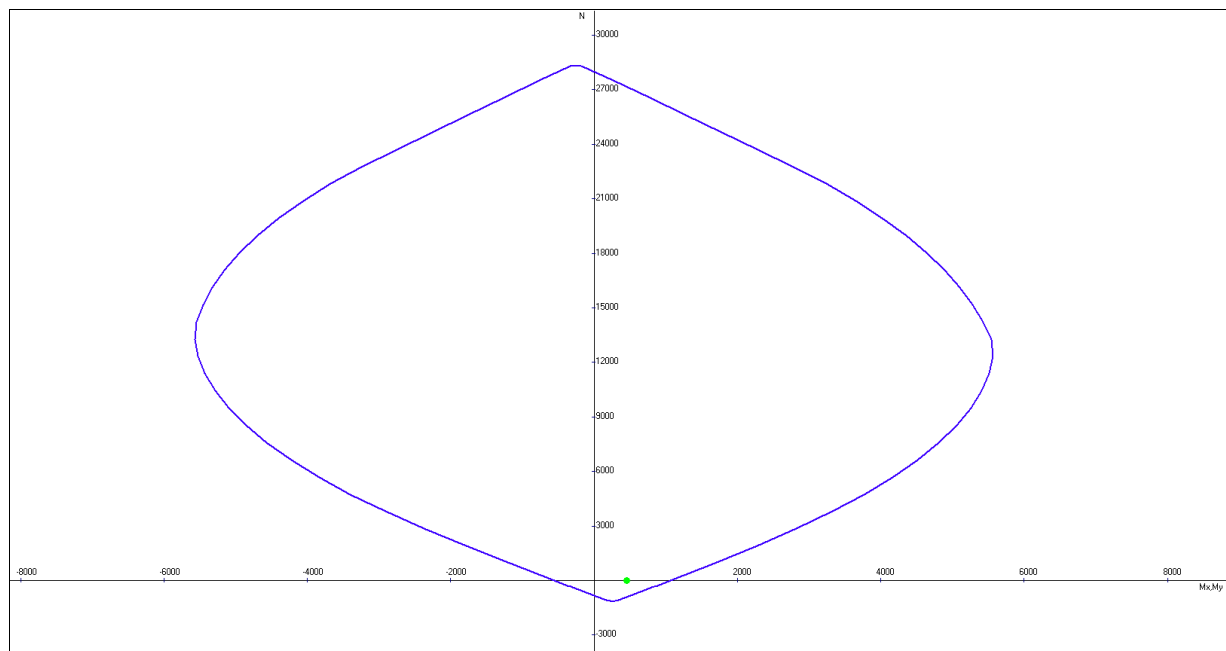
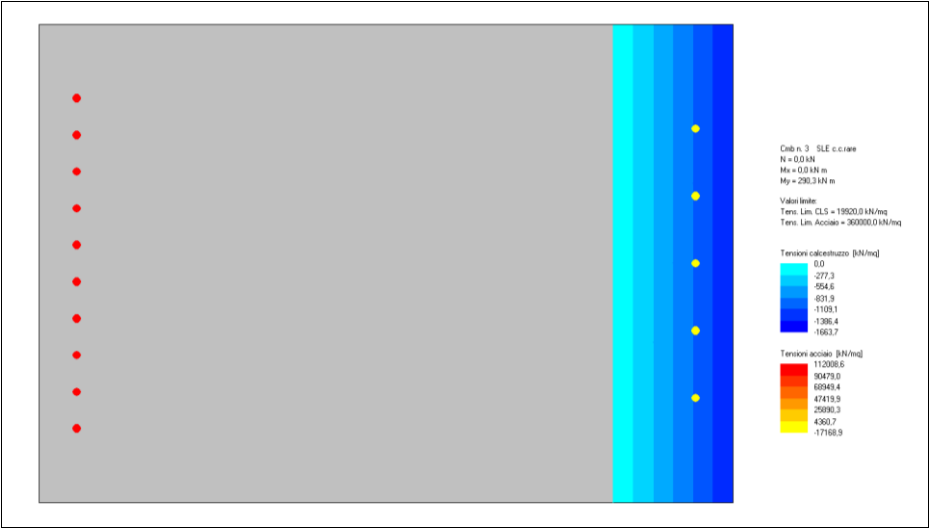
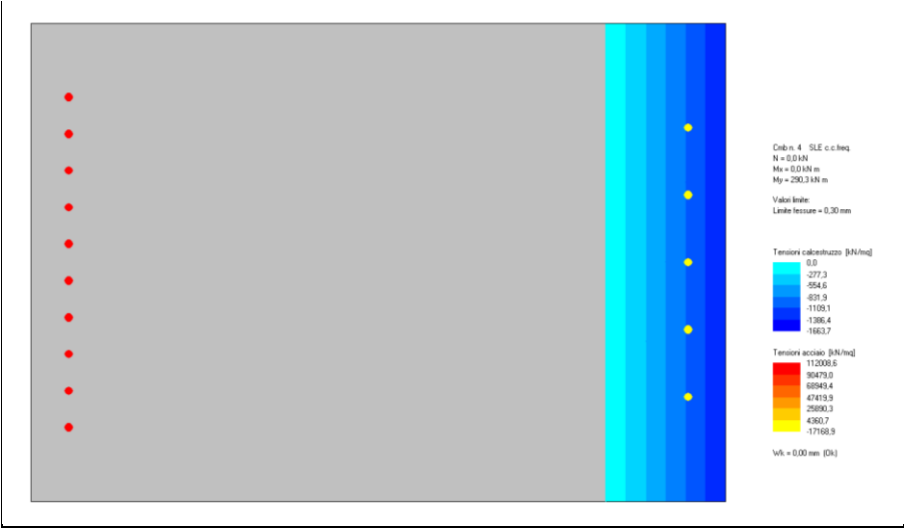


Diagramma d'interazione M-N – comb. SLU - A1+M1+R1

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 132 di 193

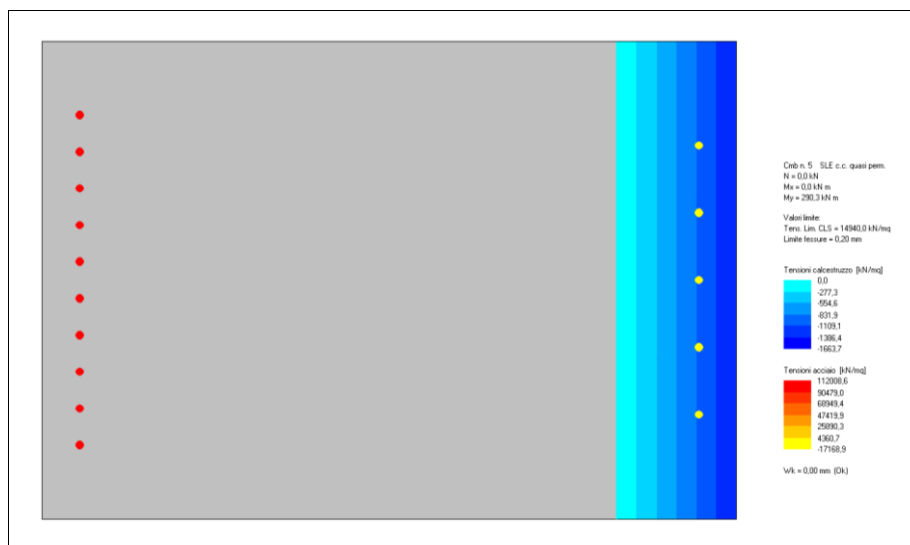


Tensioni massime nei materiali – comb. SLE – RARE



Verifica a fessurazione – comb. SLE – FREQUENTI

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 133 di 193



Verifica a fessurazione – comb. SLE – QUASI PERMANENTI

Tutte le verifiche risultano pertanto soddisfatte.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 134 di 193

Si conduce quindi la verifica a taglio della trave, considerando i valori massimi della sollecitazione da taglio, pari a:

$$T_{\max_SLU} = 331.09 \text{ kN (COMB. SISMA - STR)}$$

Effettuando la verifica si ottiene:

NTC 2008 - CALCESTRUZZO				
VERIFICA A TAGLIO TRAVI RETTANGOLARI				
UNITA' DI MISURA	forze e carichi:	kN, kN/m, kN/m ²		LEGENDA
	peso specifico:	kN/m ³		
	tensioni e resistenze	N/mm ²		
	momenti (flettente,ecc.)	kNm		
PESI SPECIFICI	γ = 24 kN/m ³ (cls non armato)			
	γ = 25 kN/m ³ (cls armato)			
se V _{Sd} ≤ V _{Rd} -senza arm.		armat. minima a taglio		
se V _{Sd} ≥ V _{Rd} -senza arm.		armat. a taglio tale che: V _{Sd} ≤ V _{Rd} con arm.		
Elementi che non richiedono armatura a taglio (V _{Sd} ≤ V _{Rd} senza arm.)				
V _{Rd} [kN] =	334,08	<	V _{Ed} [kN] =	331,09 NON VERIFICATO si deve armare a taglio
Acciaio =	B450C			
Clis =	C32/40			
R _{ck} =	40,00 [N/mm ²]			
f _{ck} =	32,00 [N/mm ²]			
f _{ctk,0.05} =	2,12 [N/mm ²]			
γ _c in uso =	1,50			
V _{Rd} [kN] =	316,30 [kN]		334,08 [kN]	
V _{min} =	0,35			
k = 1+(200/d) ^{1/2}	1,46	≤ 2	1,46	2
ρ ₁ =	0,0021 [puro]	≤ 0,02	0,0021	0,02
A _{sl} =	2.010 [mm ²]	Area armat. in trazione che si estende per non meno di d+ l _{b,net} oltre la sez. consider.		
		(cioè ancorata oltre l'inters. dell'asse dell'armat. con eventuale fessura a 45° che si innesci nella sez.cons.) (EC2)		
b _w =	1.000,00 [mm]	larghezza minima della sezione lungo l'altezza efficace		
σ _{cp} =	0,00 [N/mm ²]	N _{sd} /A _c	0,00	4,426666667
N _{Ed} =	0,00 [kN]	forza longitudinale nella sezione dovuta ai carichi o alla precompressione (compressione positiva)		
A _c =	1.000.000 [mm ²]	area calcestruzzo (valida solo per sezione rettangolare)		
d =	960 [mm]	altezza utile sezione		
h =	1.000 [mm]	altezza sezione		
b =	1.000 [mm]	base sezione		
c =	40 [mm]	copriferro		

Non è quindi necessario predisporre specifica armatura a taglio.

Si prevedono comunque staffe $\phi 12/2br/25cm$.

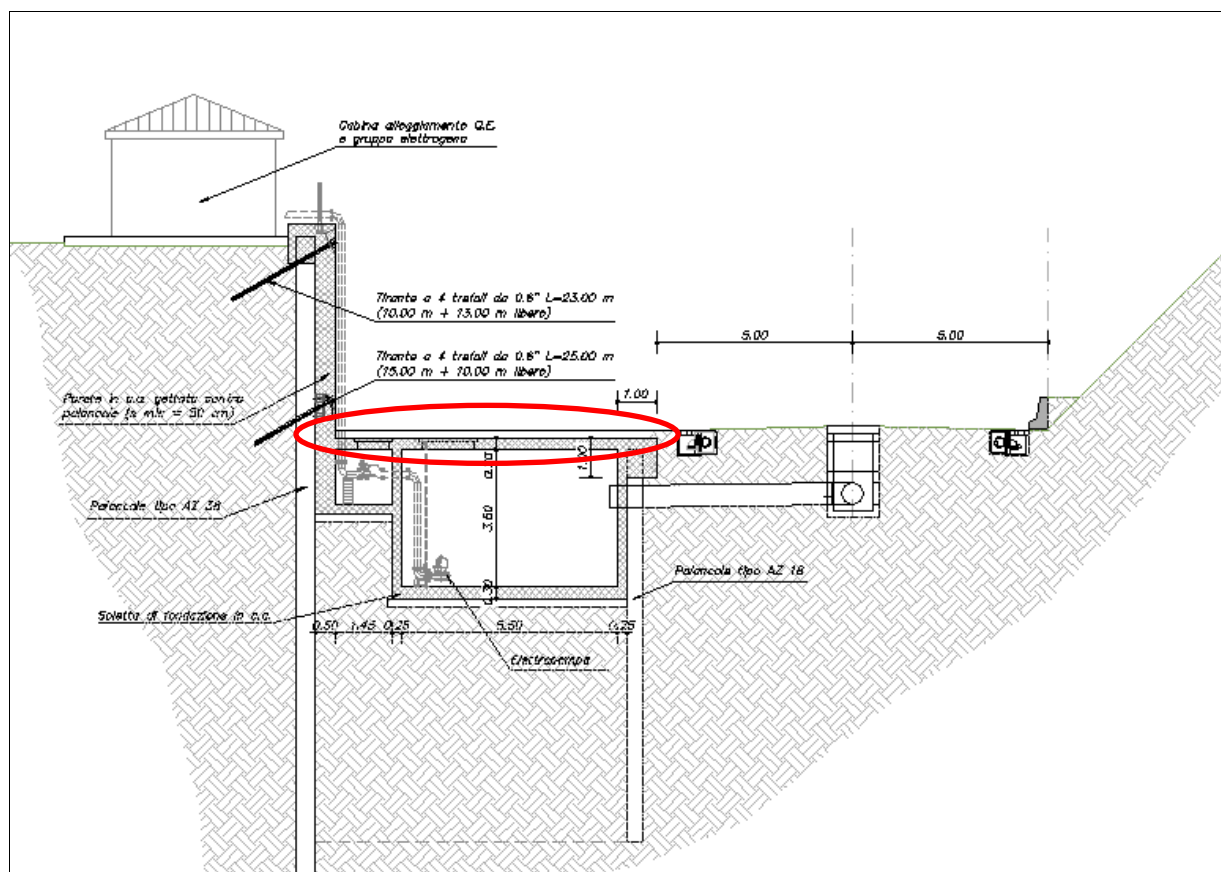
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 135 di 193

11 CALCOLO DELLA SOLETTA SUPERIORE DELLA VASCA DI RACCOLTA ACQUE

Oggetto del presente capitolo è il calcolo della soletta superiore della vasca di raccolta acque.

Tale elemento strutturale, di dimensioni in pianta pari a 7.00m x 5.00m, è previsto in c.a. gettato in opera, di spessore pari a 30cm e presenta due aperture per consentire l'accesso alla vasca, di dimensioni pari rispettivamente a 1.50m x 1.50m e 1.00m x 1.00m.

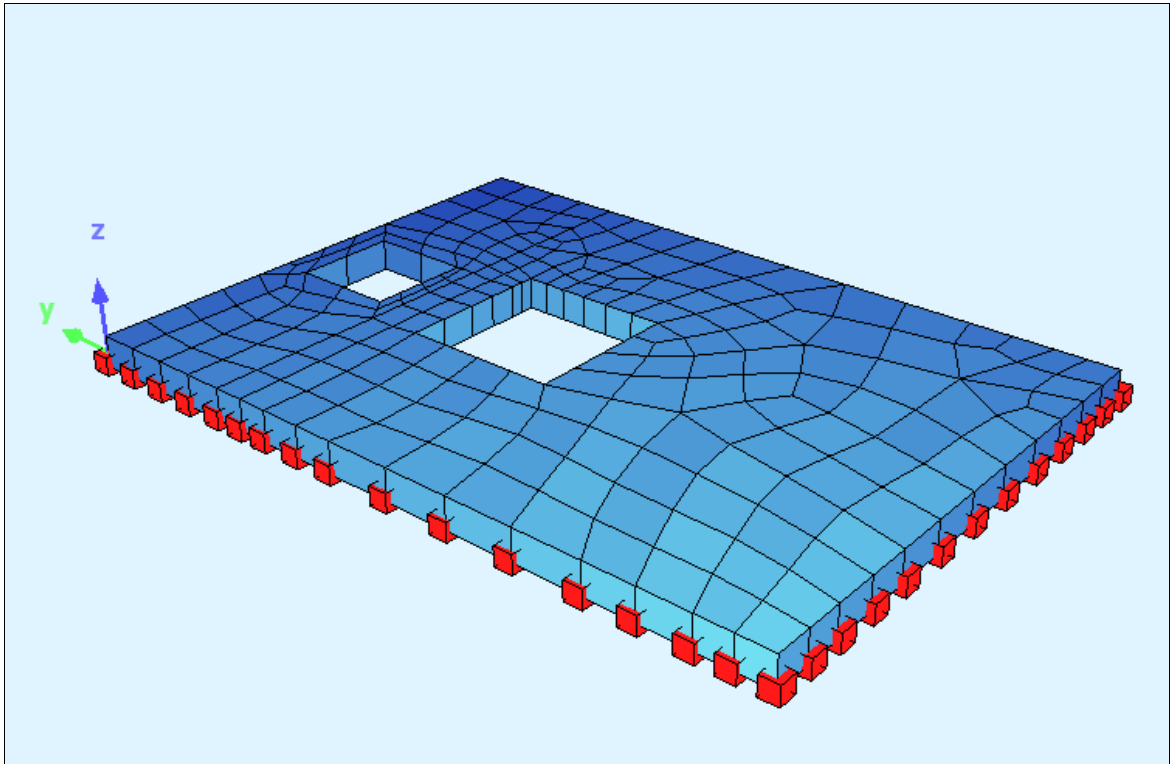
Nella seguente figura si illustrano le caratteristiche geometriche dell'elemento:



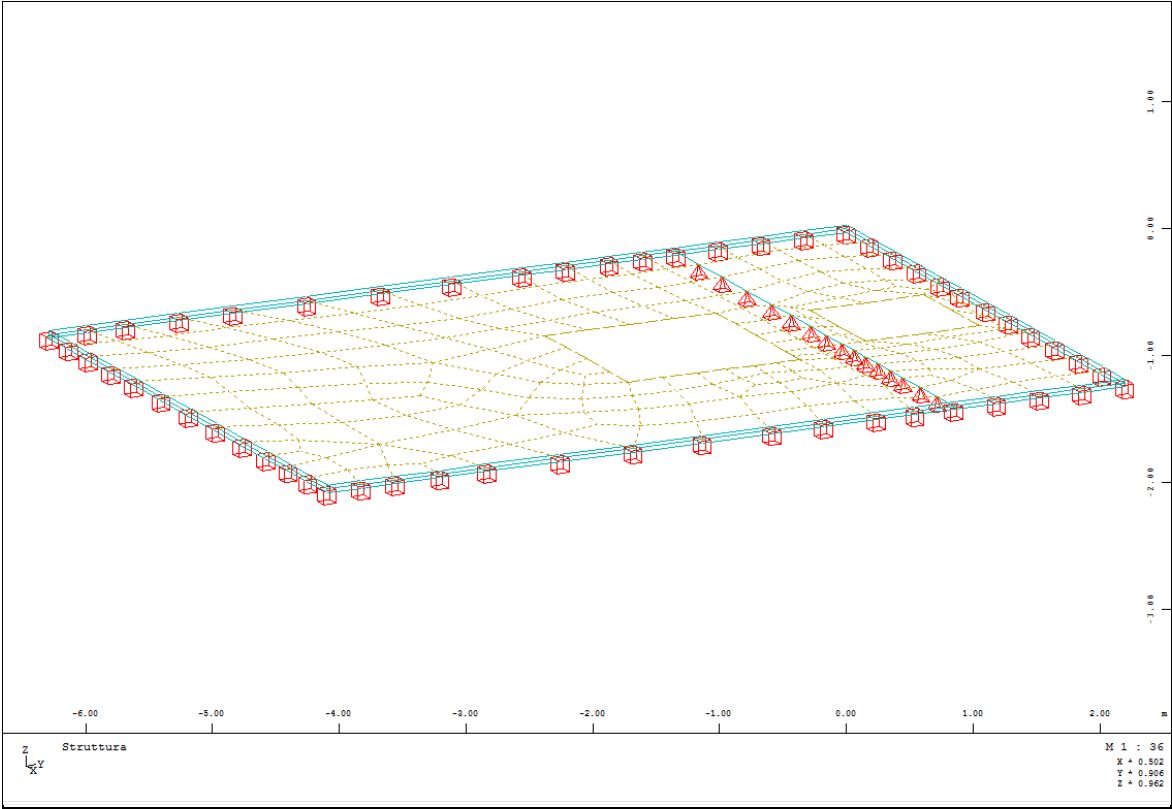
Sezione vasca di raccolta acque

Si è condotto per tale soletta un calcolo agli elementi finiti modellando un elemento a lastra incastrato sui quattro lati e appoggiato su un setto intermedio.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 136 di 193



Rendering strutturale della soletta



Geometria strutturale dell'opera

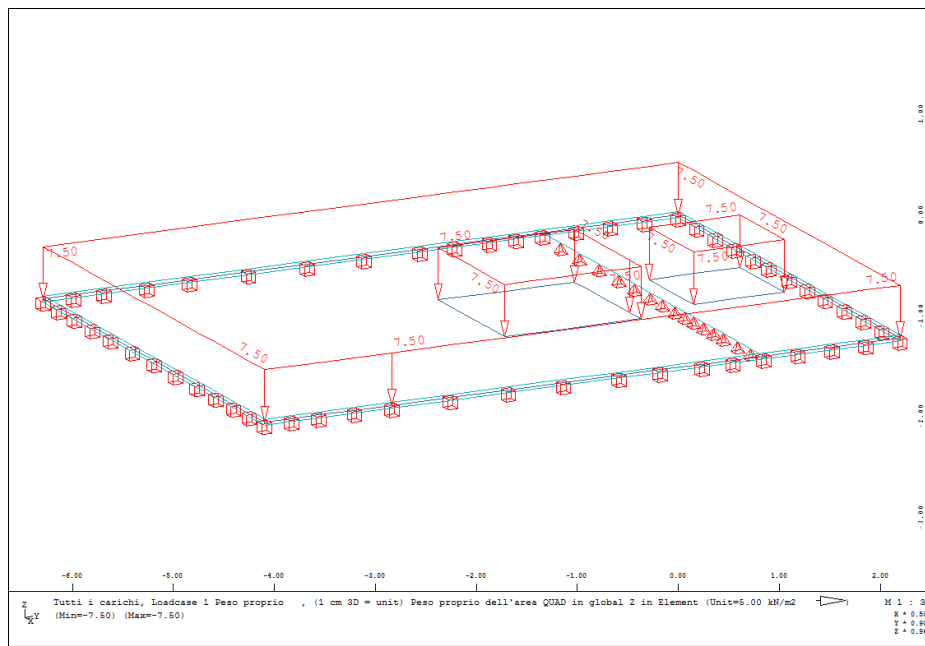
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 137 di 193

A tale struttura si considerano applicati i seguenti carichi:

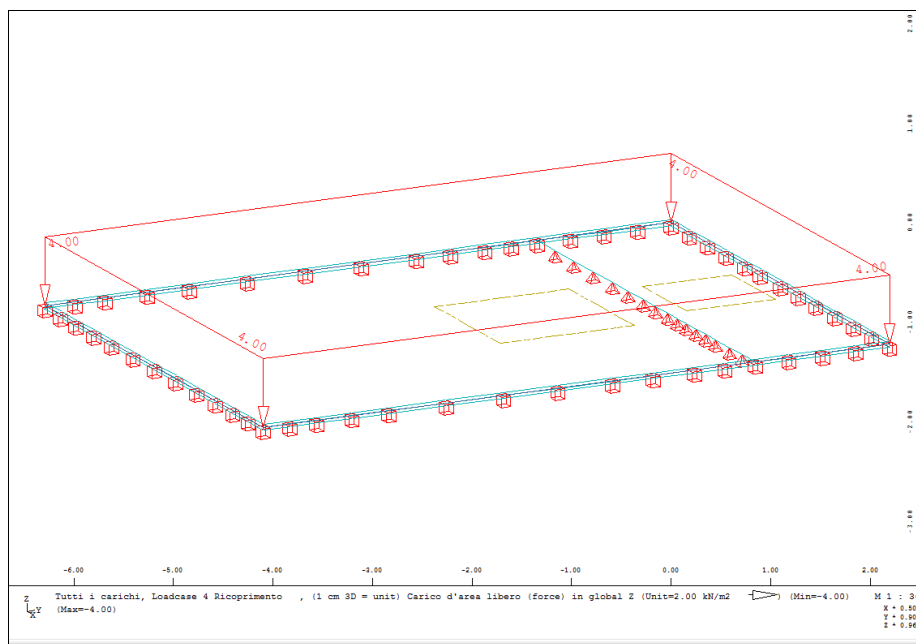
- Peso proprio strutturale della soletta ($\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$);
- Carico permanente del ricoprimento del terreno sp.20 cm ($q_{ric} = 4.00 \text{ kN/m}^2$);
- Sovraccarico variabile da mezzo pesante (10.00 kN/m^2)

Trattandosi di una verifica strutturale locale, inoltre, e vista l'esiguità delle masse in gioco, si è trascurato il contributo delle azioni inerziali attivate dalle accelerazioni sismiche.

Nelle seguenti figure si illustrano in forma grafica i carichi considerati nel calcolo:

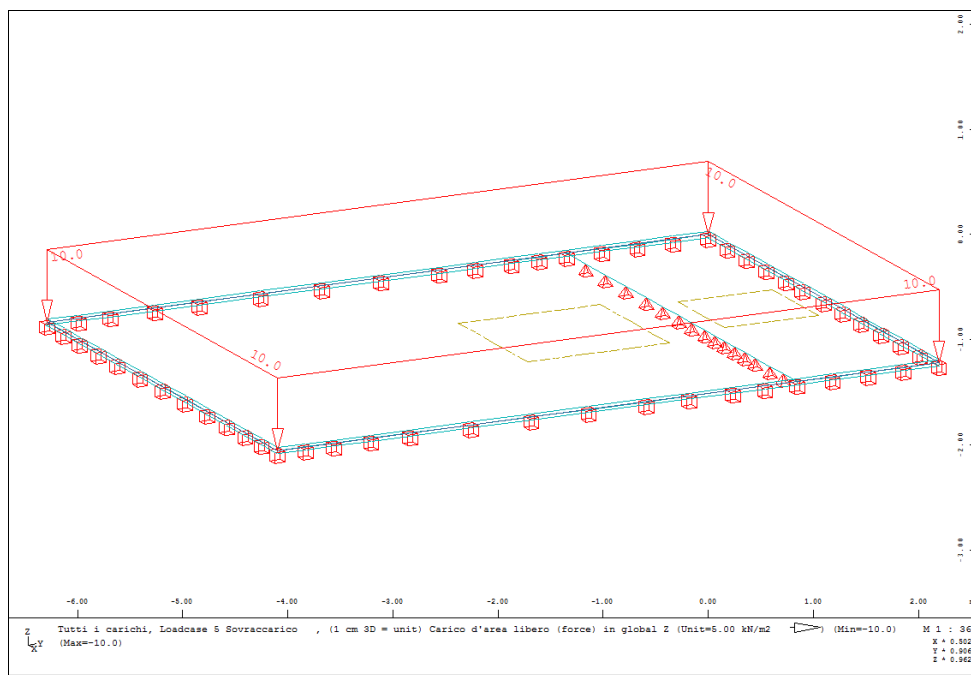


Peso proprio strutturale



Carichi permanenti portati (pavimentazione stradale e veletta

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 138 di 193



Sovraccarico variabile $q=10\text{kN/m}^2$

Nelle seguenti figure si riportano i diagrammi delle massime componenti di azione interna (M,N,T) nel cordolo oggetto dell'intervento emersi dal calcolo:

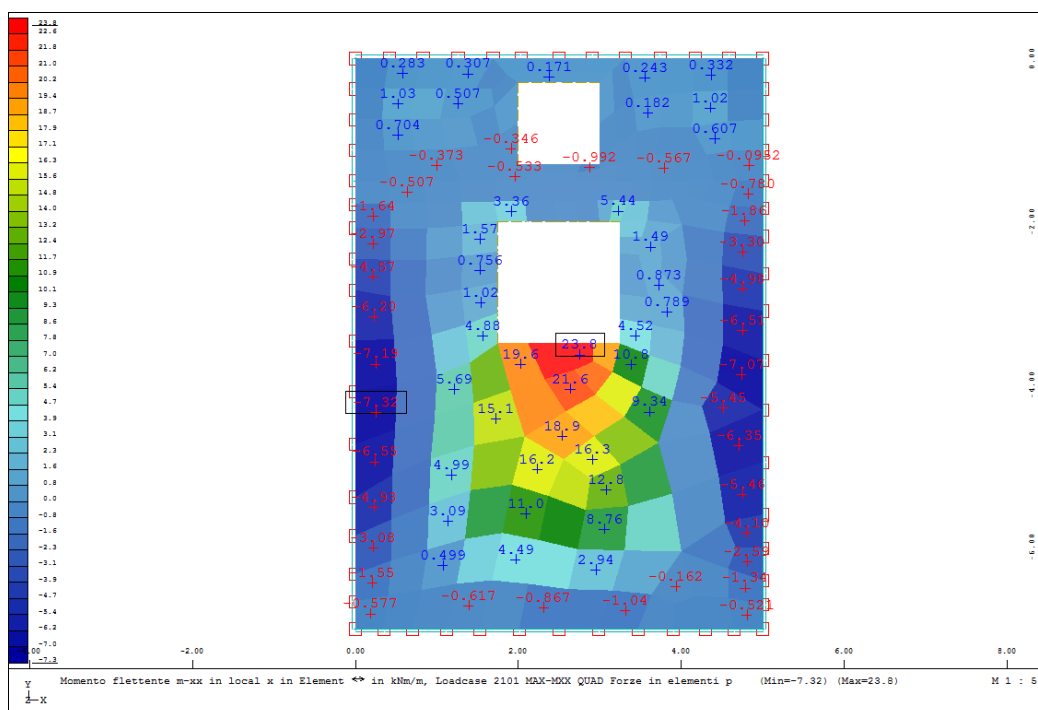


Diagramma $m^{+}_{xx\text{-max}}$ (coordin. loc.) – COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 139 di 193

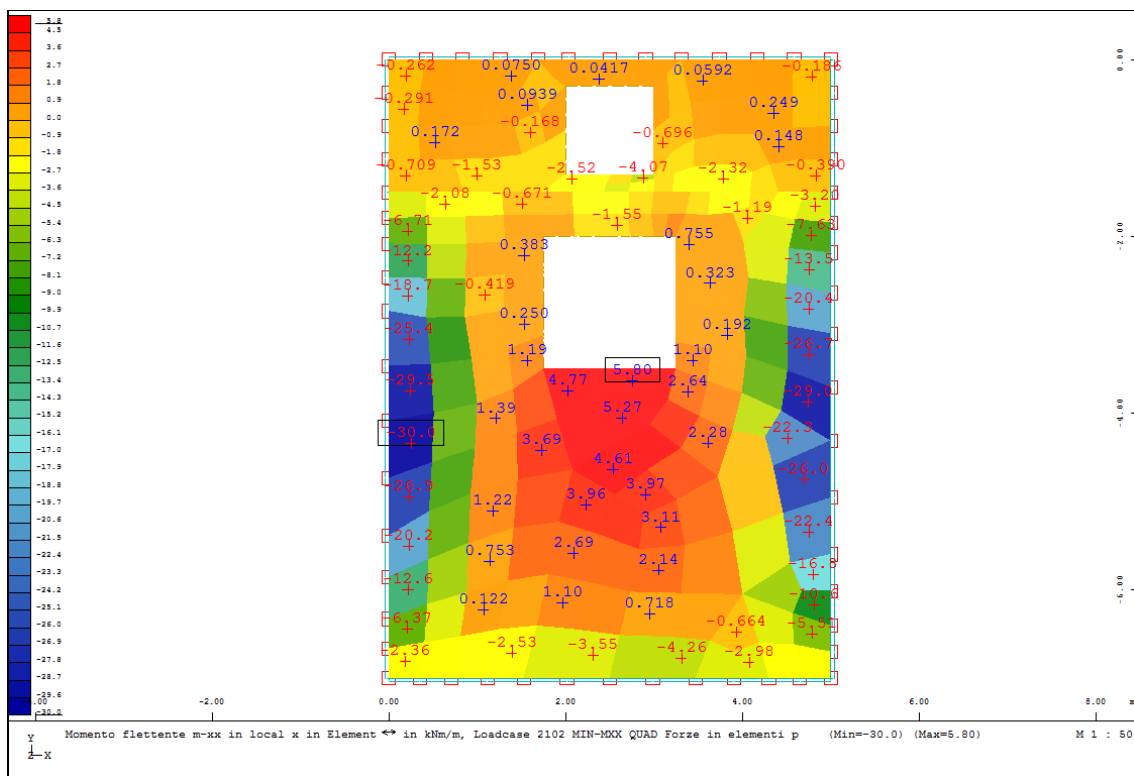


Diagramma m^{xx-max} (coord. loc.) - COMB. SLU

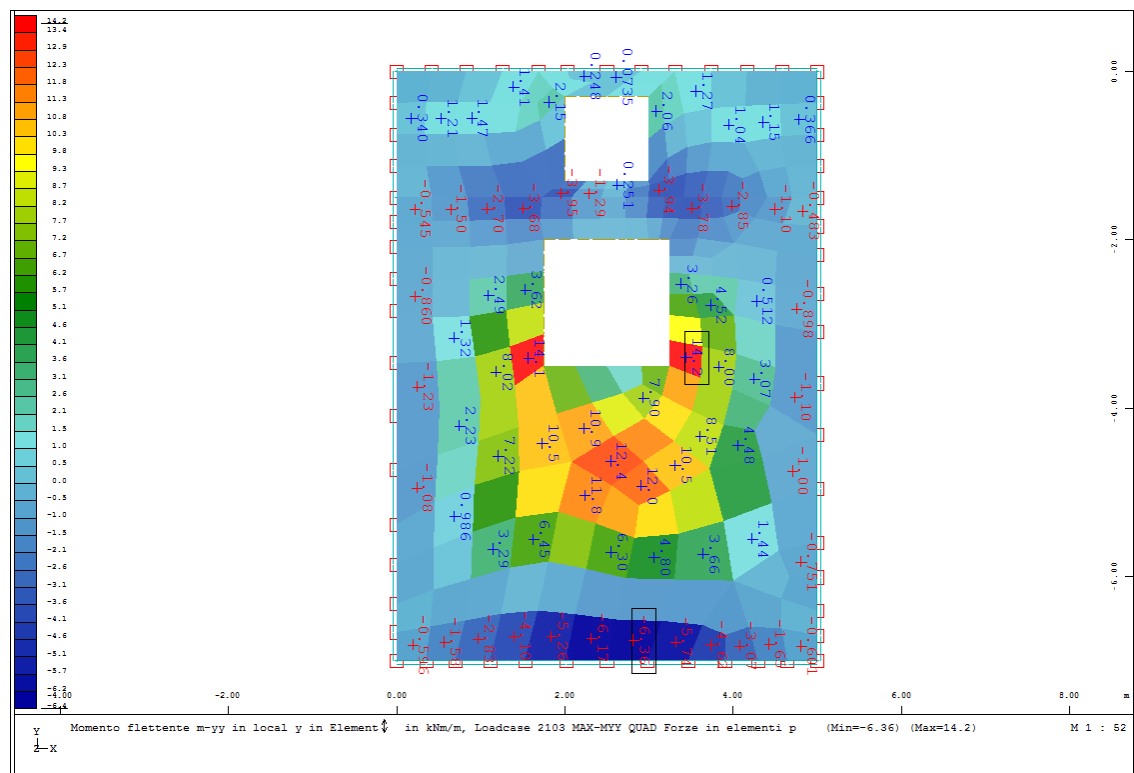


Diagramma m^{yy-max} (coord. loc.) - COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 140 di 193

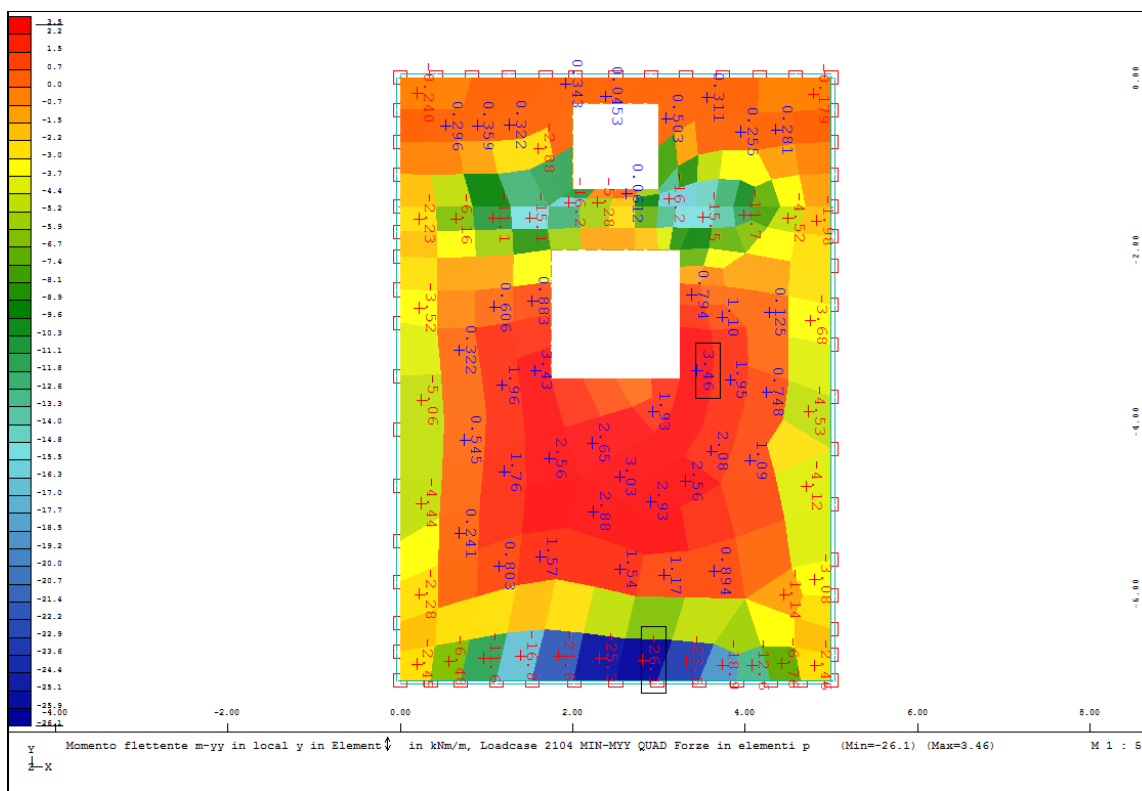


Diagramma m_{yy}^{-} -max (coord.loc.) - COMB. SLU

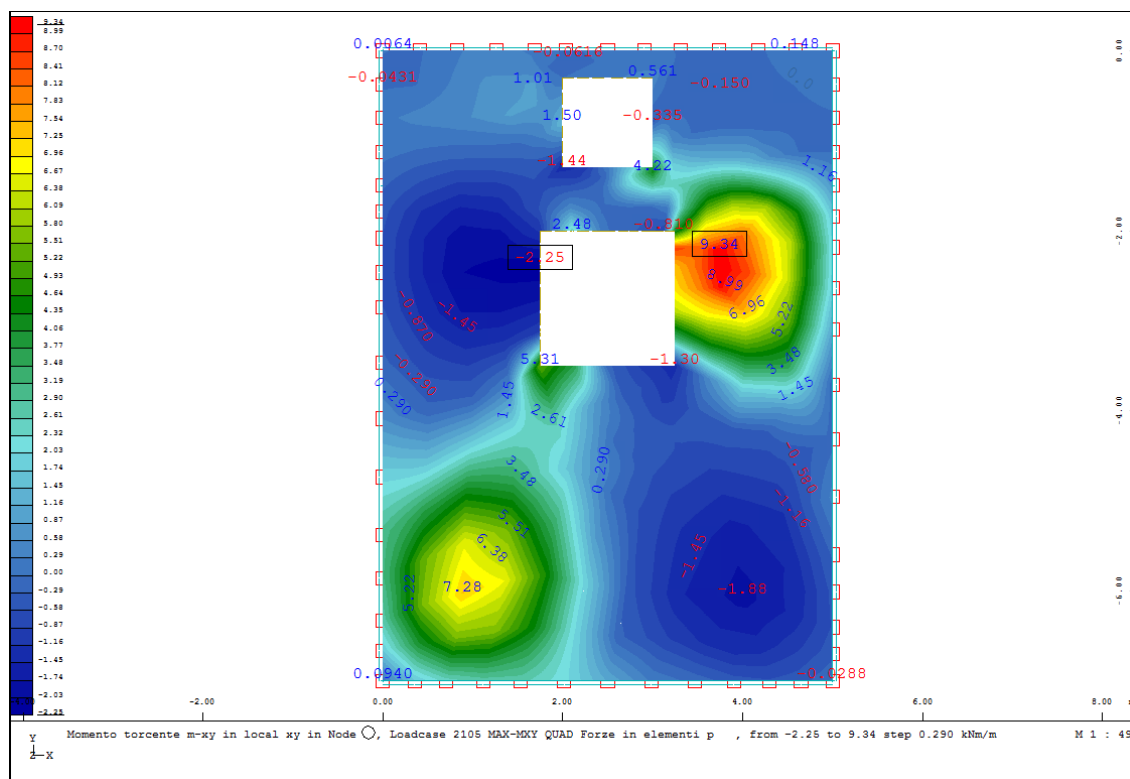


Diagramma m_{xy}^{+} -max (coord.loc.) - COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 141 di 193

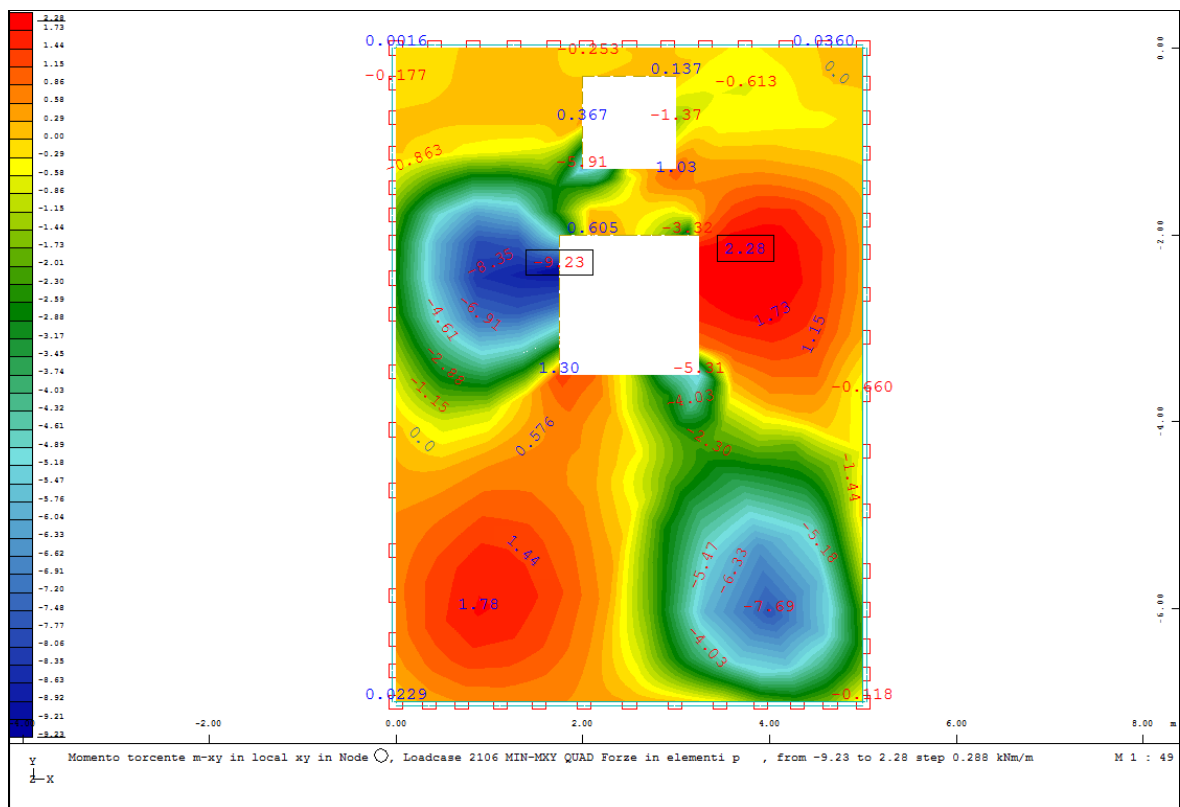


Diagramma m_{xy-max}^{-} (coord.loc.) – COMB. SLU

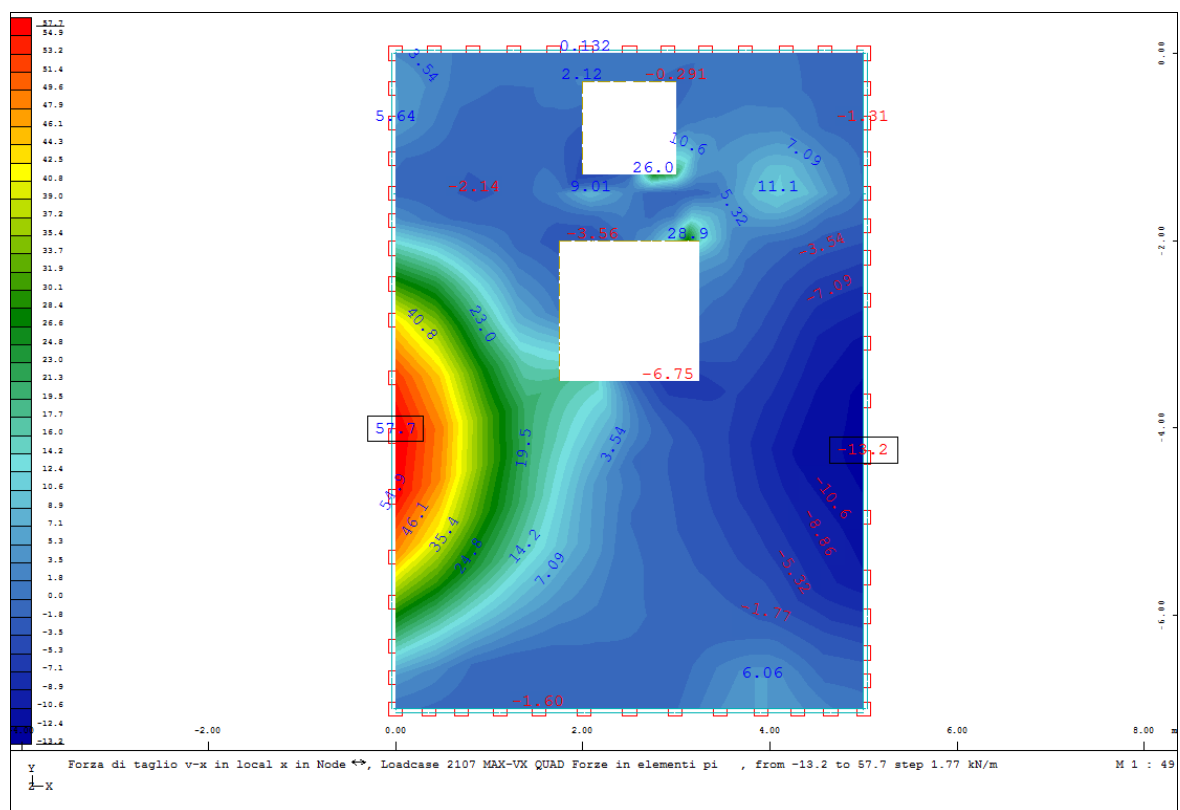


Diagramma v_{x-max}^{+} (coord.loc.) – COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 142 di 193

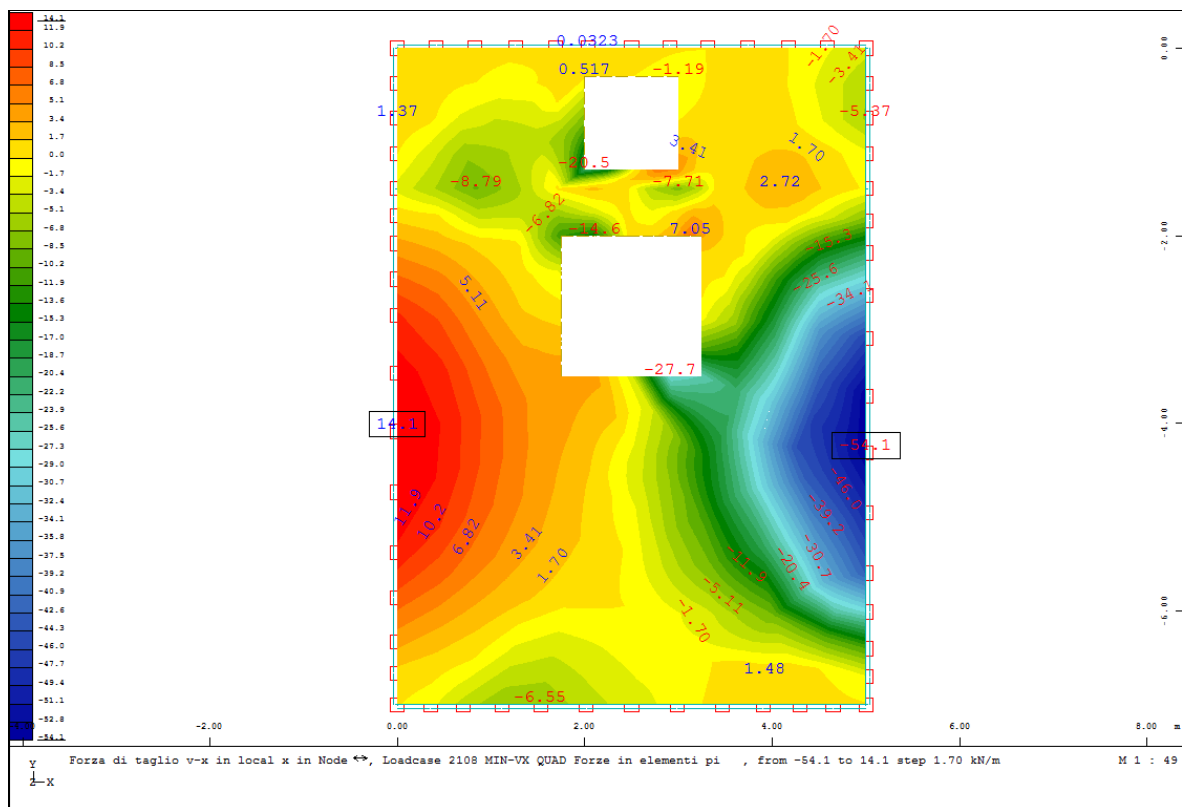


Diagramma v^-_{x-max} (coord.loc.) - COMB. SLU

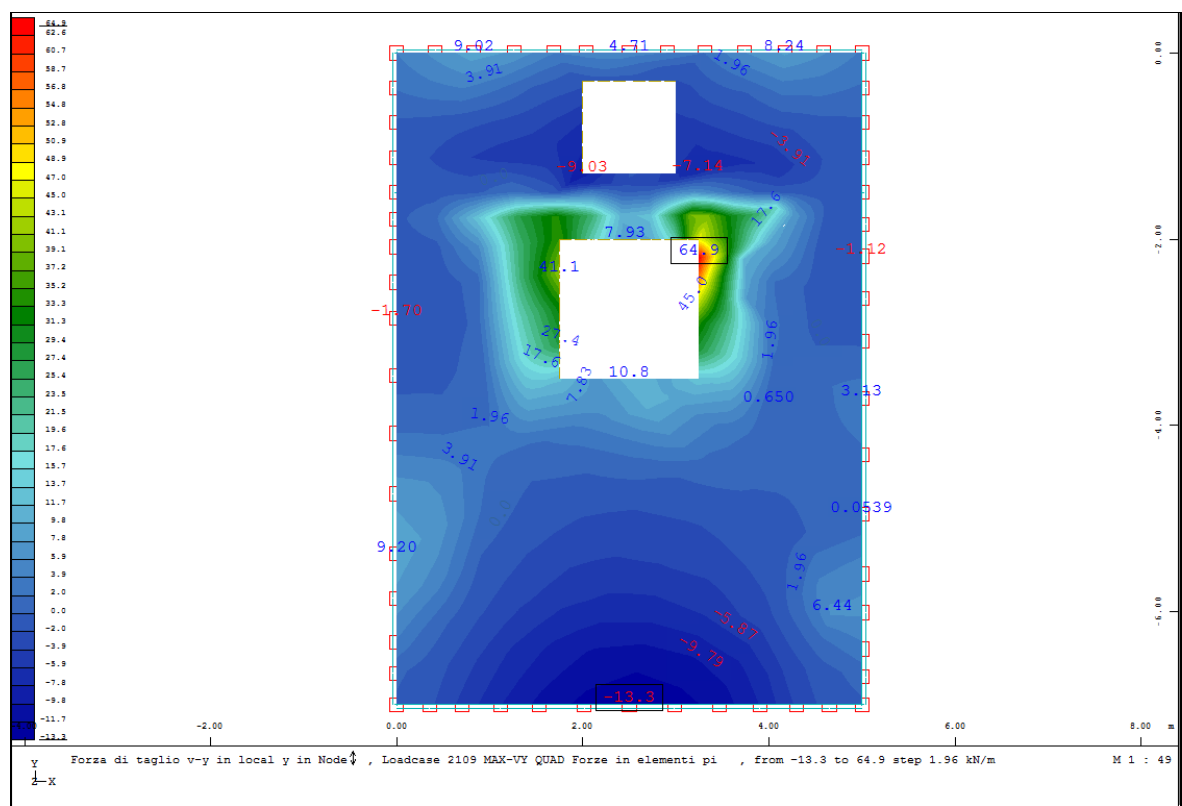


Diagramma v^+_{y-max} (coord.loc.) - COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 143 di 193

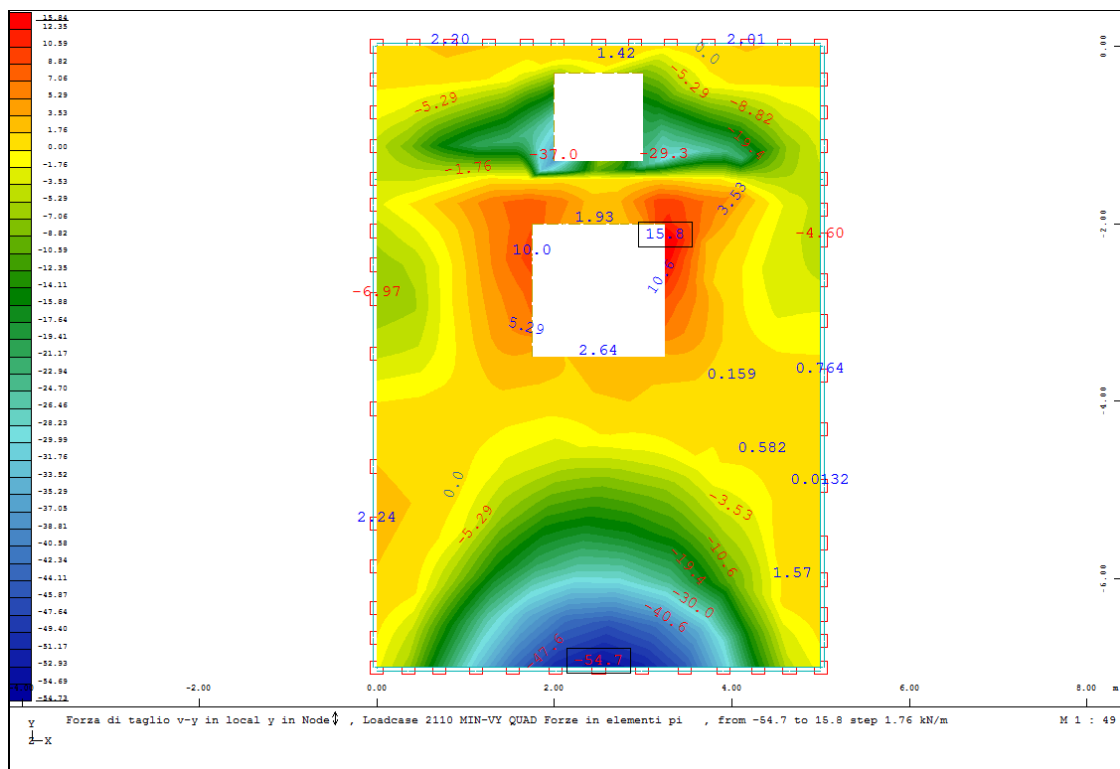


Diagramma $v_{y\text{-max}}$ (coord.loc.)— COMB. SLU

Gli spostamenti verticali dei nodi della soletta, valutati per le combinazioni agli Stati Limite di Esercizio- Rare, risultano:

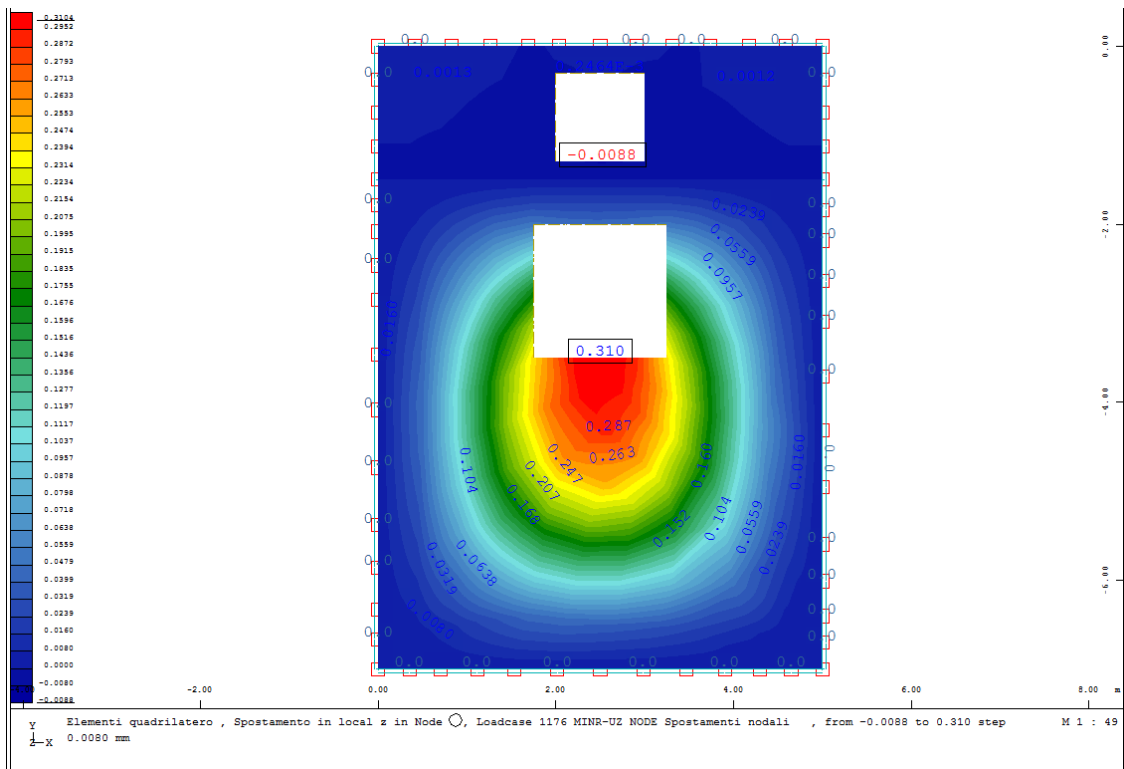


Diagramma z_{max} — COMB. SLE RARE

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 144 di 193

La freccia massima della soletta risulta dunque pari a 0.31mm, valore ampiamente ammissibile per l'opera in esame.

Effettuando infine le verifiche agli SLU e agli SLE, si ottiene:

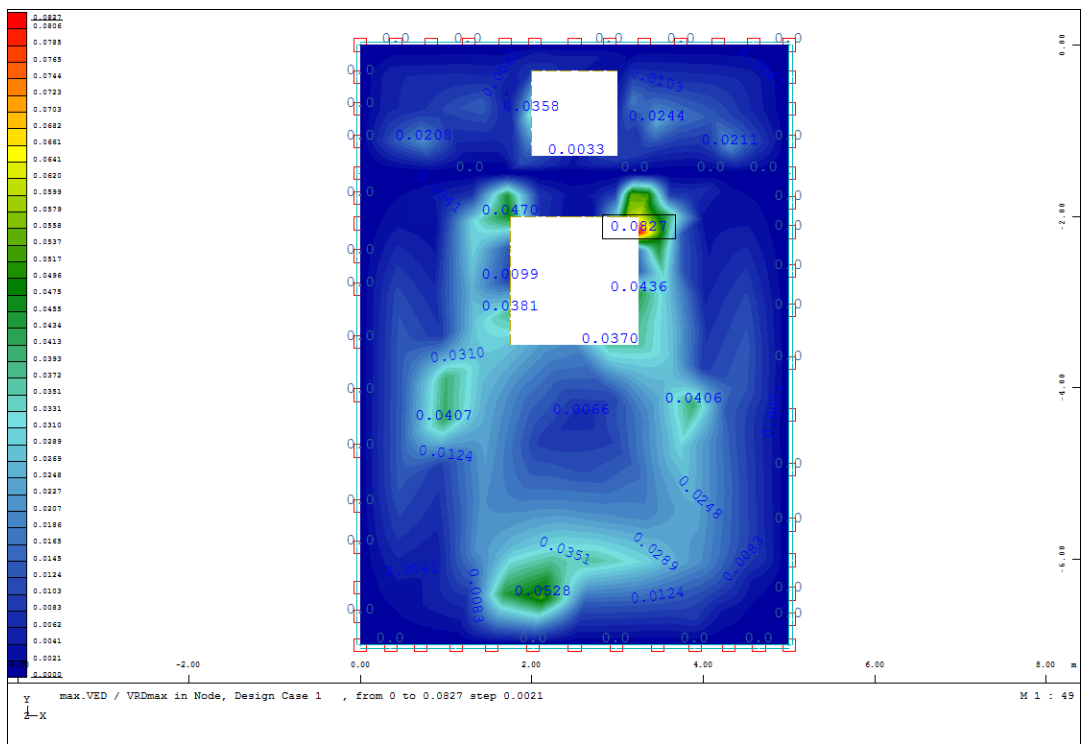


Diagramma V_{ED}/V_{RD-max} – COMB. SLU

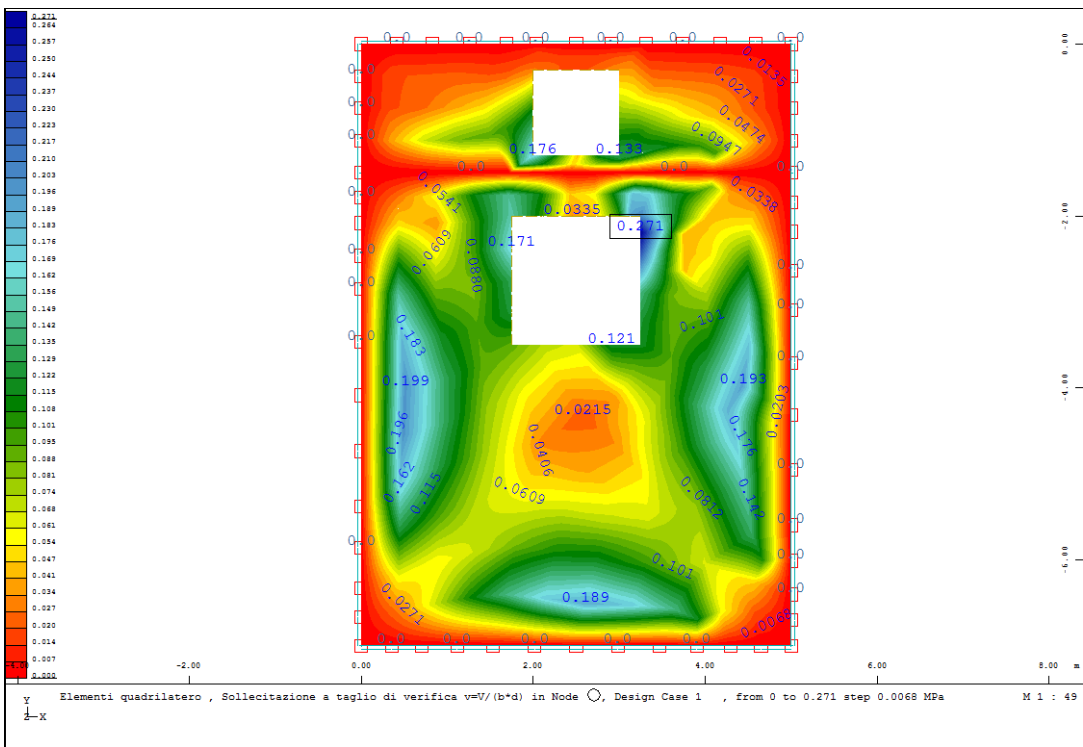


Diagramma delle tensioni tangenziali [Mpa] – COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 145 di 193

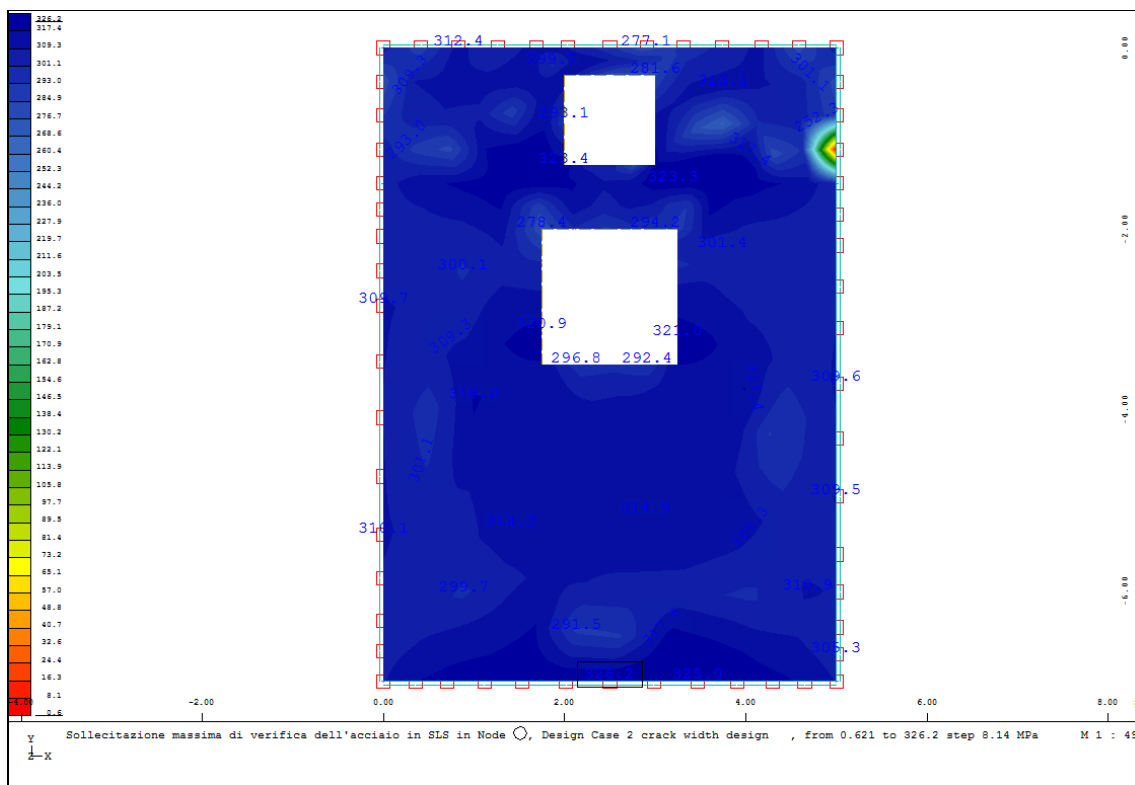


Diagramma delle tensioni massime nell'acciaio – COMB. SLE – RARE [Mpa]

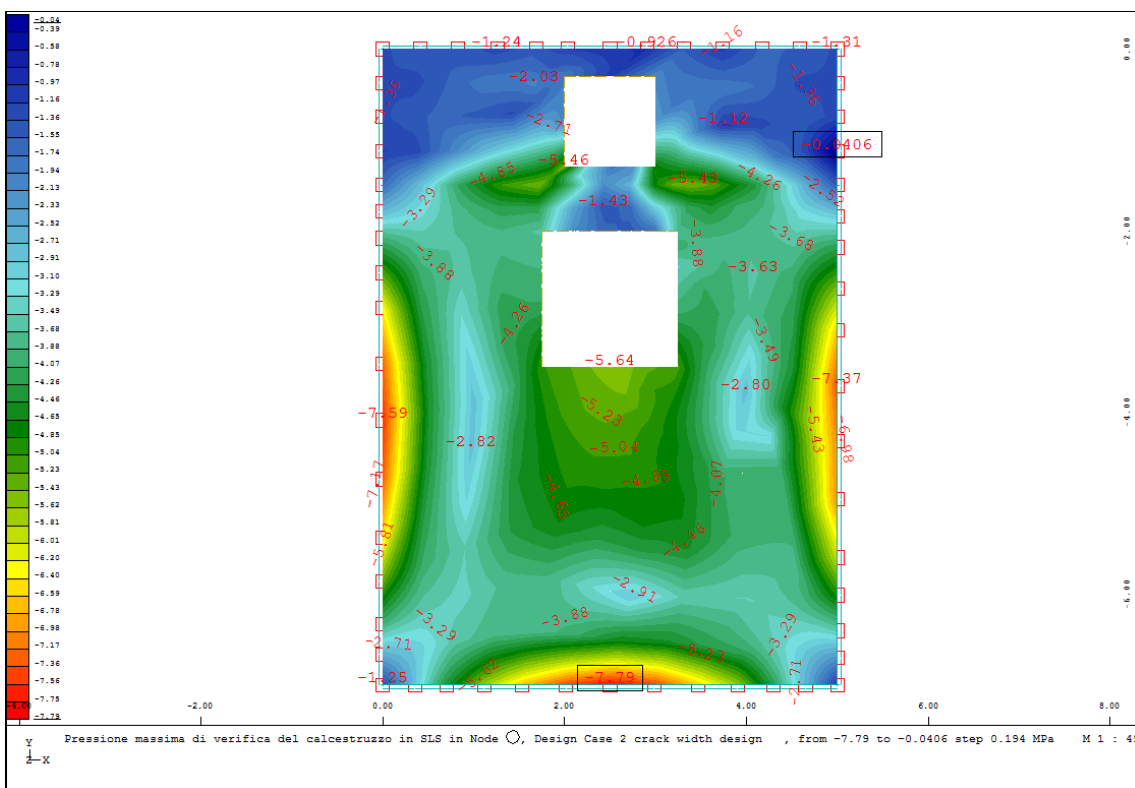
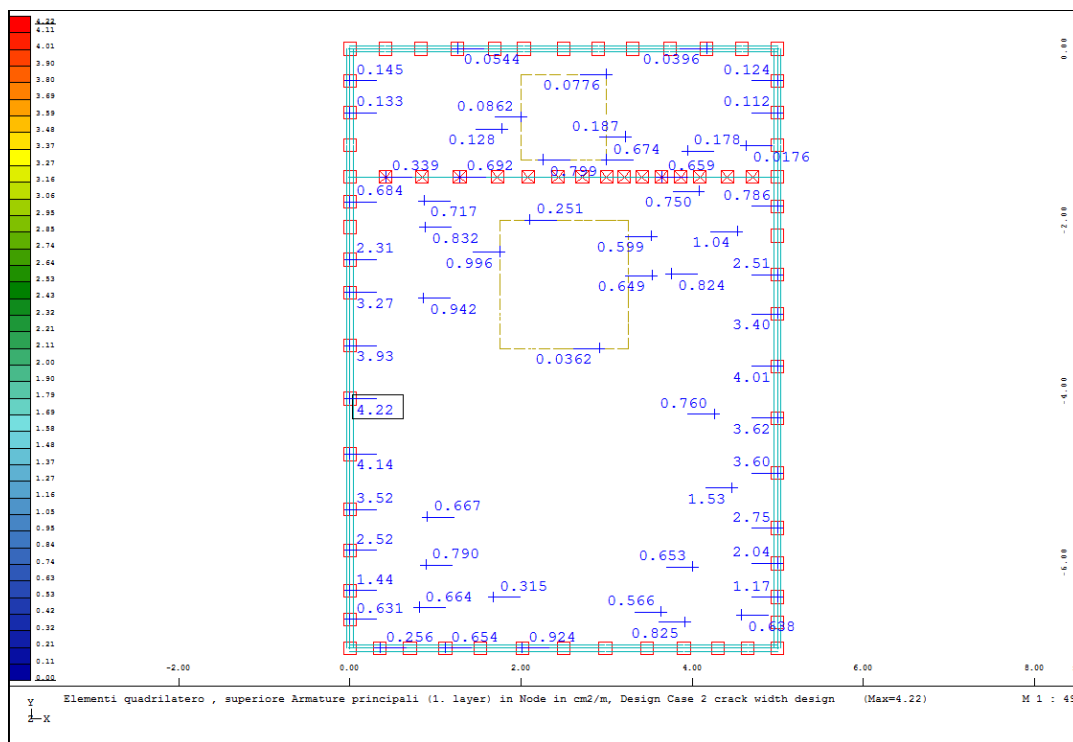
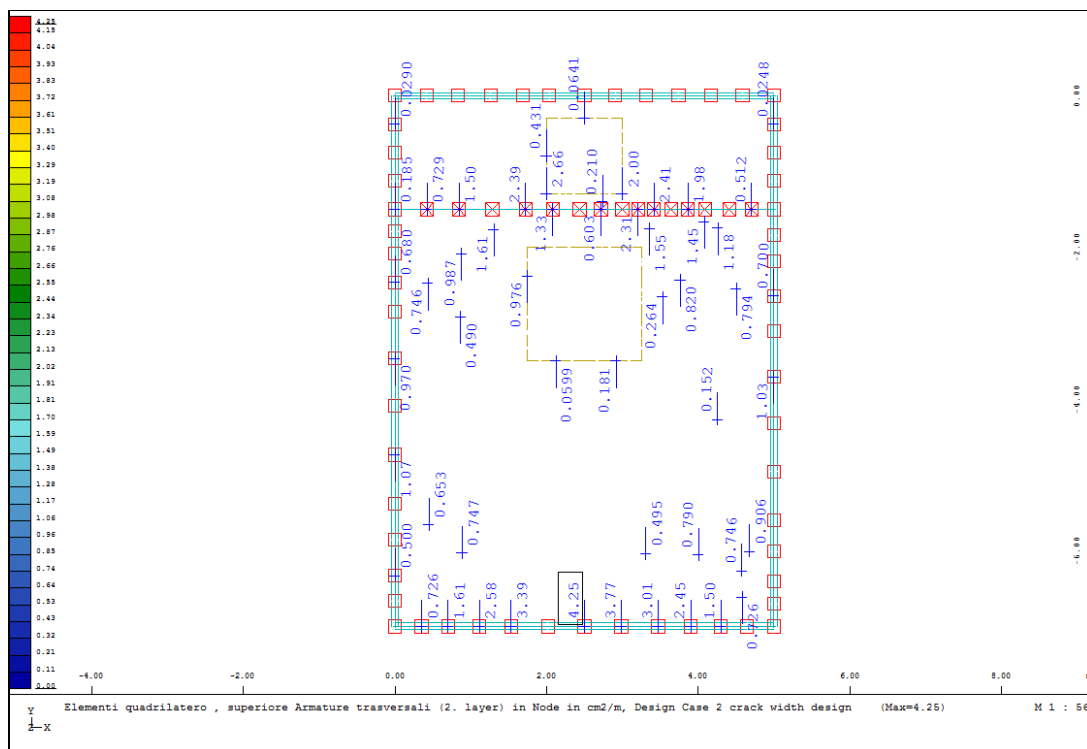


Diagramma delle tensioni nel calcestruzzo – COMB. SLE – RARE [Mpa]

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 146 di 193

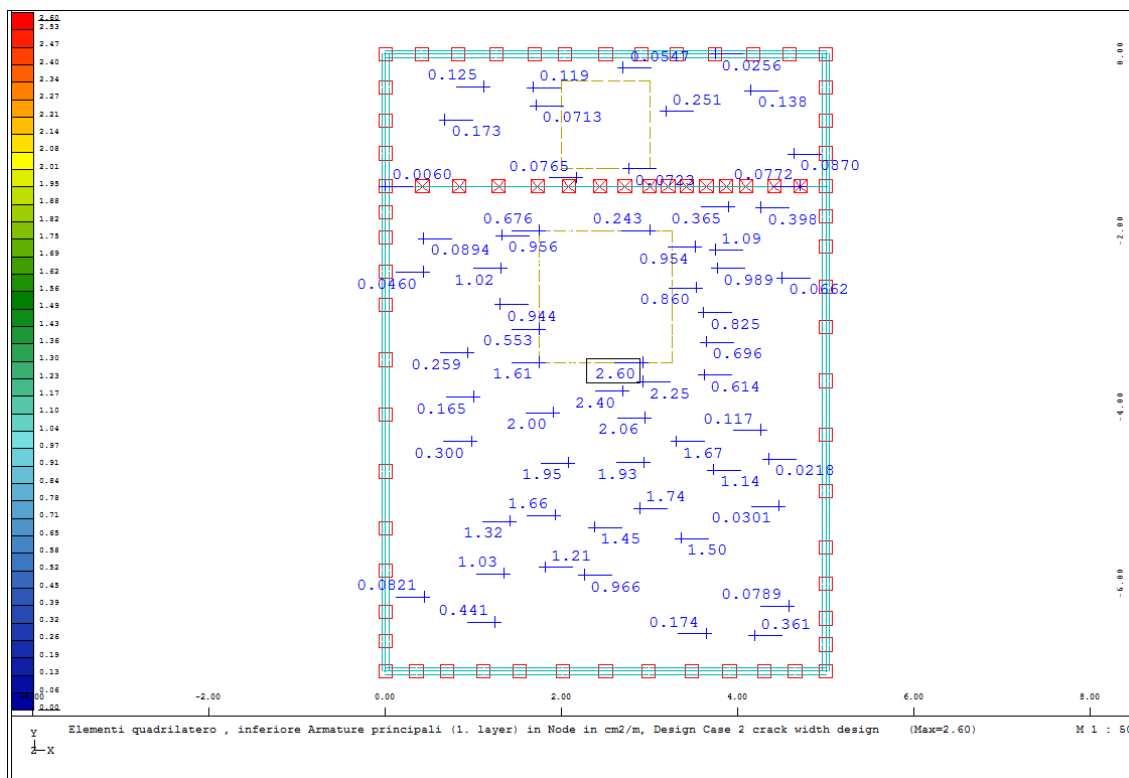


Armatura minima superiore longitudinale della soletta [cm²/m]

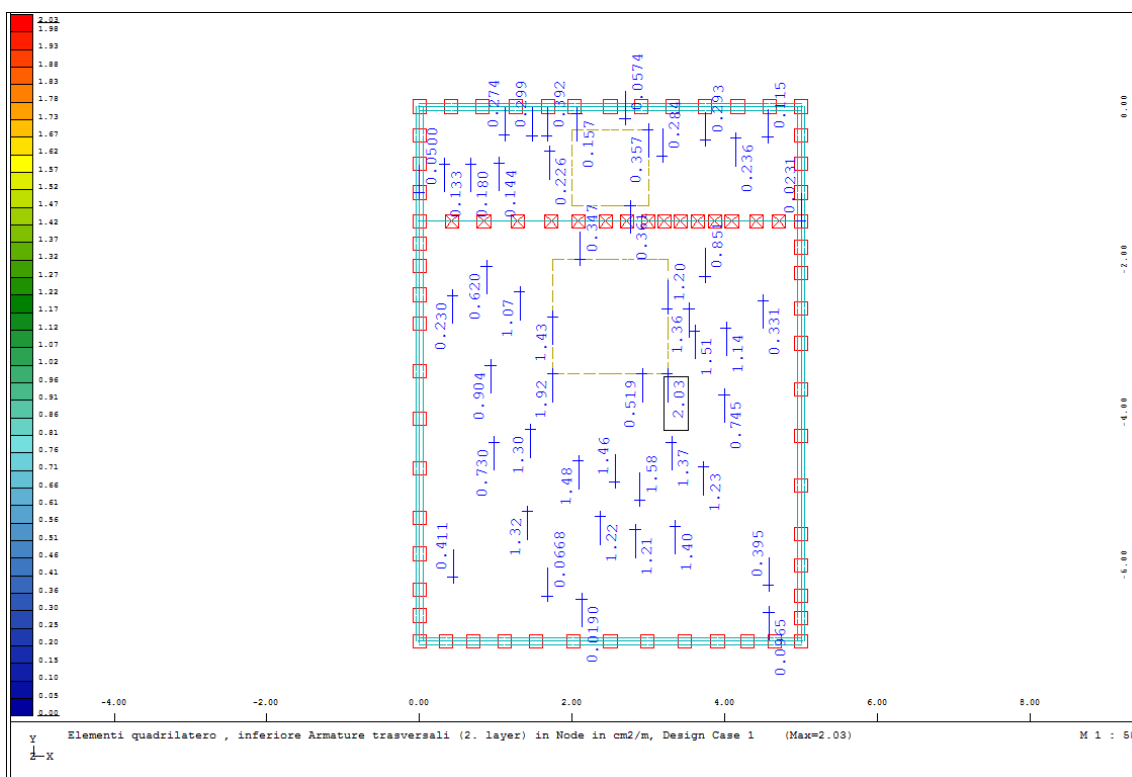


Armatura minima superiore trasversale della soletta [cm²/m]

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 147 di 193



Armadura minima inferiore longitudinale di cordolo e soletta [cm²/m]



Armadura minima inferiore trasversale di cordolo e soletta [cm²/m]

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 148 di 193

Prevedendo dunque la seguente armatura per il cordolo e la soletta in esame:

Cordolo

- $A_{s-sup-long}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$);
- $A_{s-sup-trasv}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$);
- $A_{s-inf-long}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$);
- $A_{s-inf-long}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$).

Soletta

- $A_{s-sup-long}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$);
- $A_{s-sup-trasv}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$);
- $A_{s-inf-long}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$);
- $A_{s-inf-long}$: n° 5 ϕ 18 al metro ($A = 12.72 \text{ cm}^2/\text{m}$).

tutte le verifiche agli SLU e agli SLE sono automaticamente soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 149 di 193

12 VERIFICA DELLE TESTATE DEI TIRANTI DEL SECONDO ORDINE

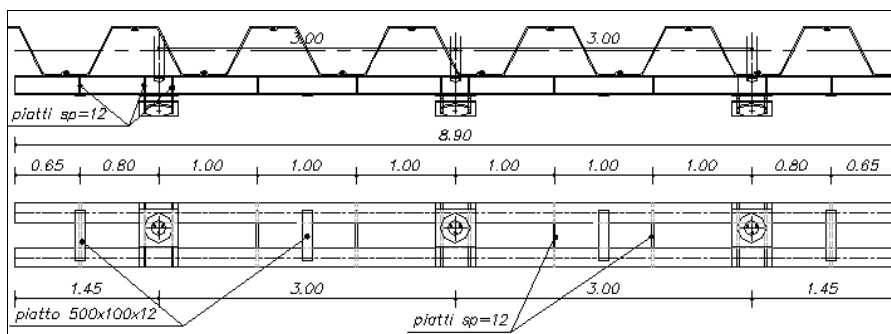
Si conduce la verifica della struttura in acciaio che funge da contrasto delle testate dei tiranti appartenenti al 2° ordine, contrastati dunque dal doppio profilo in acciaio HEA200.

Tale elemento strutturale, di forma sostanzialmente scatolare, risulta costituito da piatti saldati e precisamente:

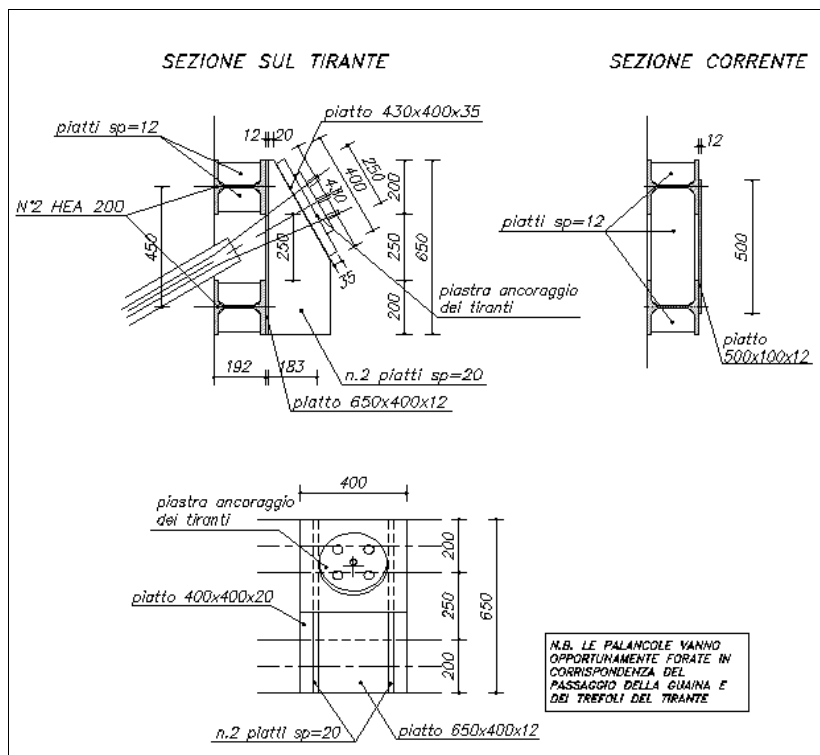
- n° 1 piatto verticale posteriore di dimensioni 650x400x12mm;
- n° 2 piatti verticali laterali di forma trapezoidale, H=650mm, sp.20mm;
- n° 1 piatto inclinato anteriore di dimensioni pari a 430x400x35mm.

Sono inoltre presenti delle piastre di irrigidimento verticale (sp.12mm) delle travi di contrasto.

Nelle seguenti figure sono illustrate le caratteristiche geometriche dell'elemento strutturale:



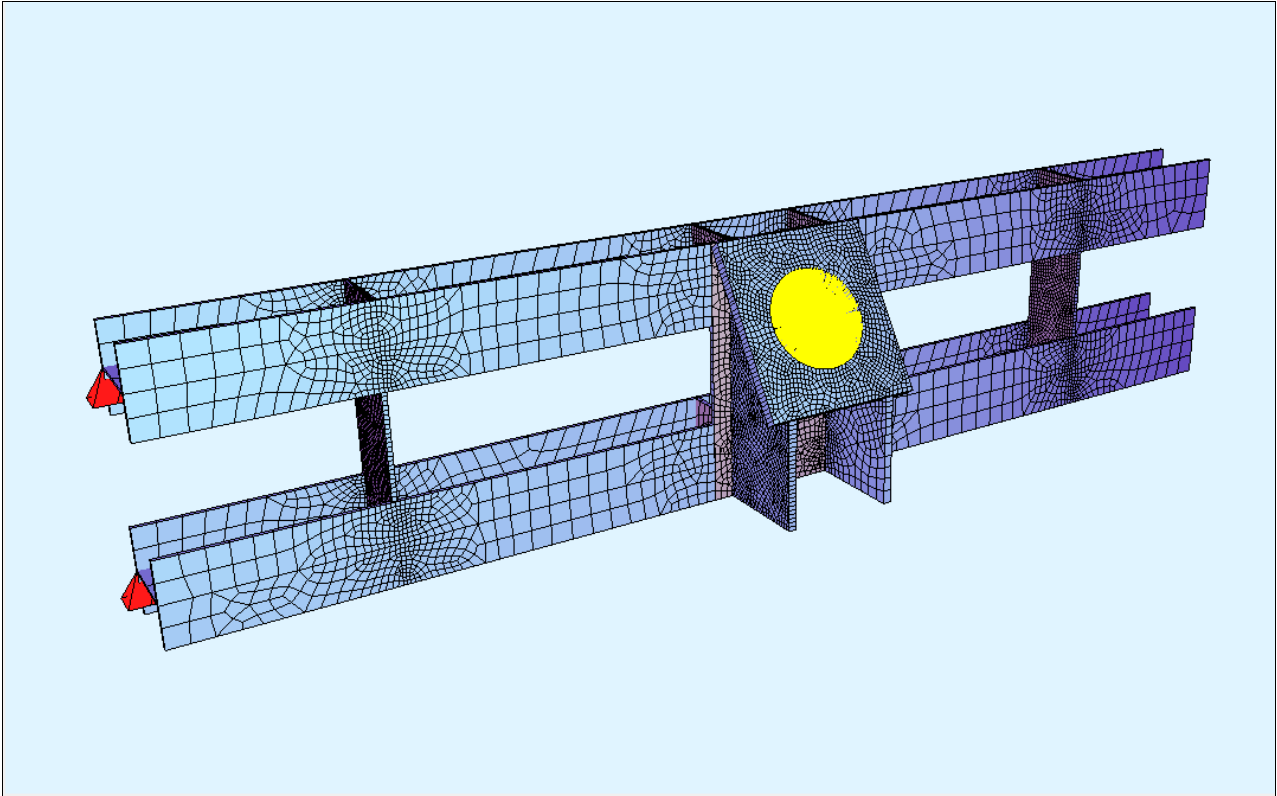
Particolari testate tiranti 2° ordine



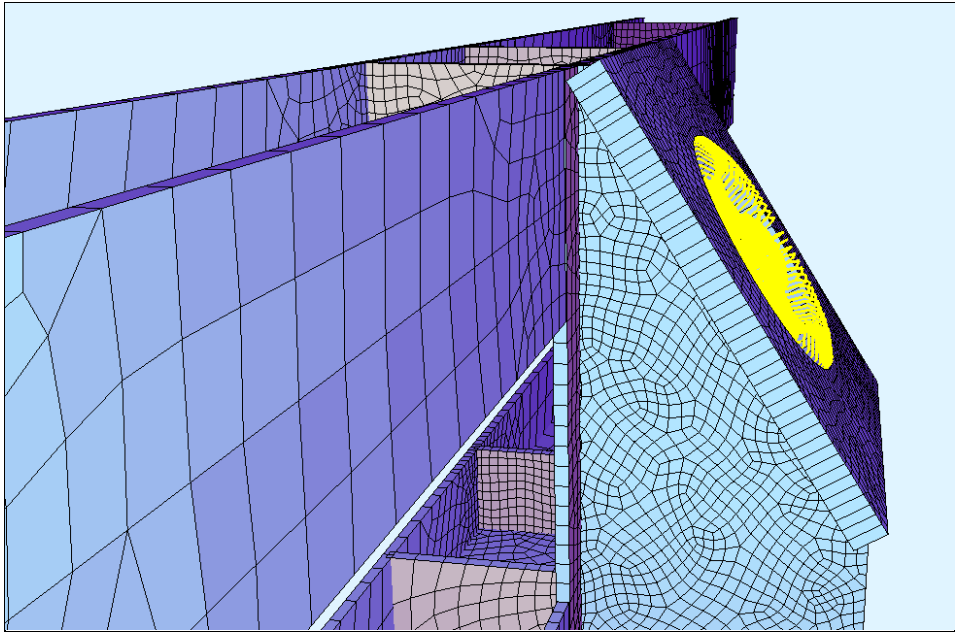
Particolari testate tiranti 2° ordine

Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 150 di 193

L'elemento strutturale in esame, di larghezza pari a 3.00m, ossia un modulo intero pari all'interasse dei tiranti, è stato modellato mediante elementi finiti a "shell"; i vincoli della struttura, a simulare l'attacco delle travi di contrasto alle paratie, sono schematizzati mediante appoggi fissi (sono impedito le traslazioni nelle tre direzioni ma non le rotazioni).

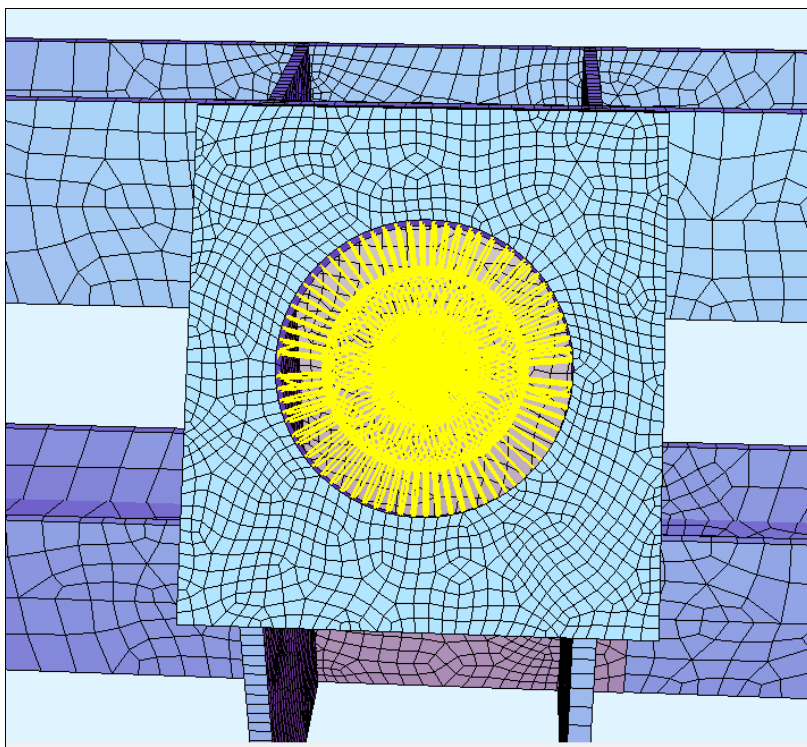


Rendering strutturale

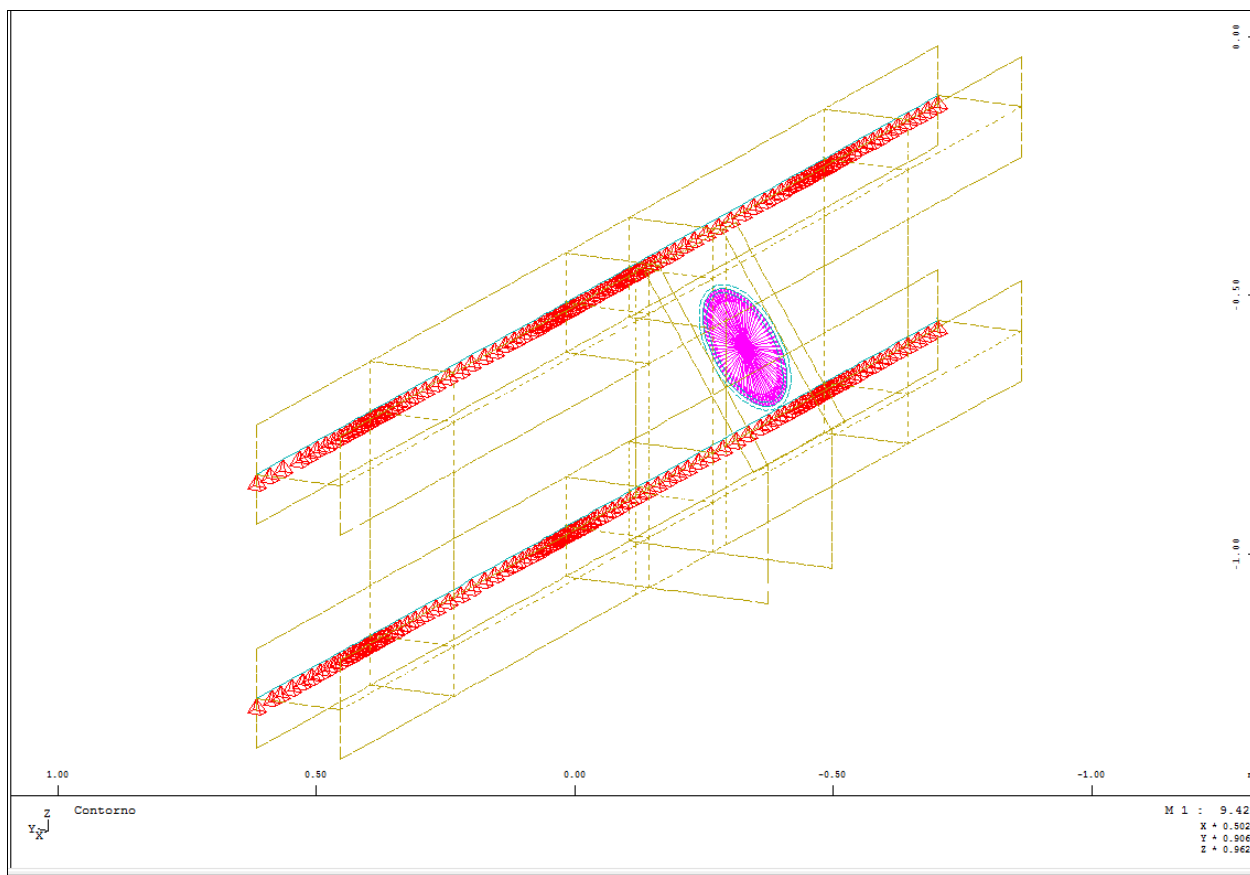


Rendering strutturale

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 151 di 193



Rendering strutturale



Modello di calcolo

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 152 di 193

Si è considerato applicato a tale struttura, oltre al peso proprio, lo sforzo normale massimo emerso dal calcolo di tutte le paratie dell'opera in esame, e più precisamente determinato per le paratie del sottopasso stradale il cui calcolo è presentato al capitolo 7 di questa relazione:

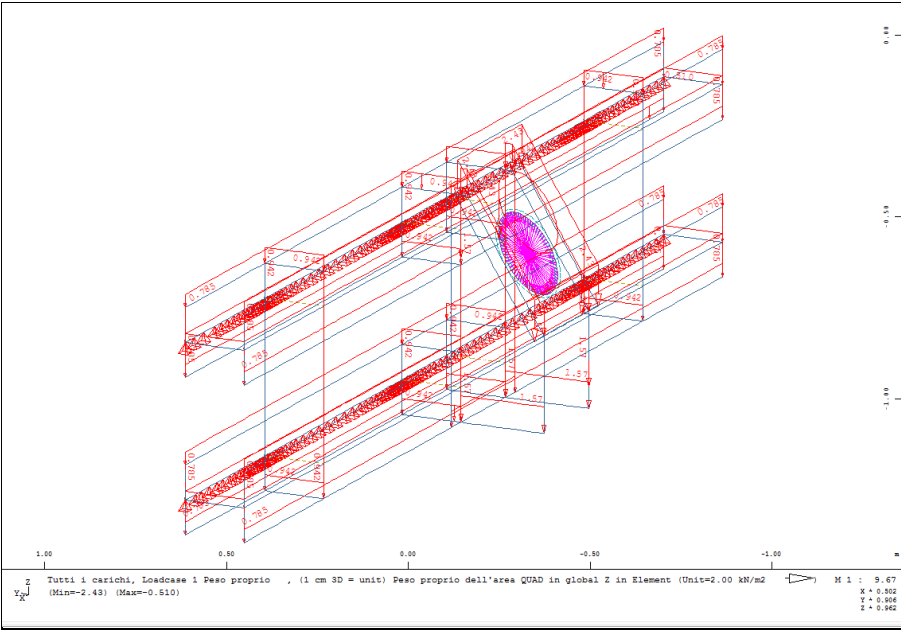
$$N_{max} = 333.5 \text{ kN (COMB. SLU - A1+M1+R1)}$$

scomposto nelle sue due componenti:

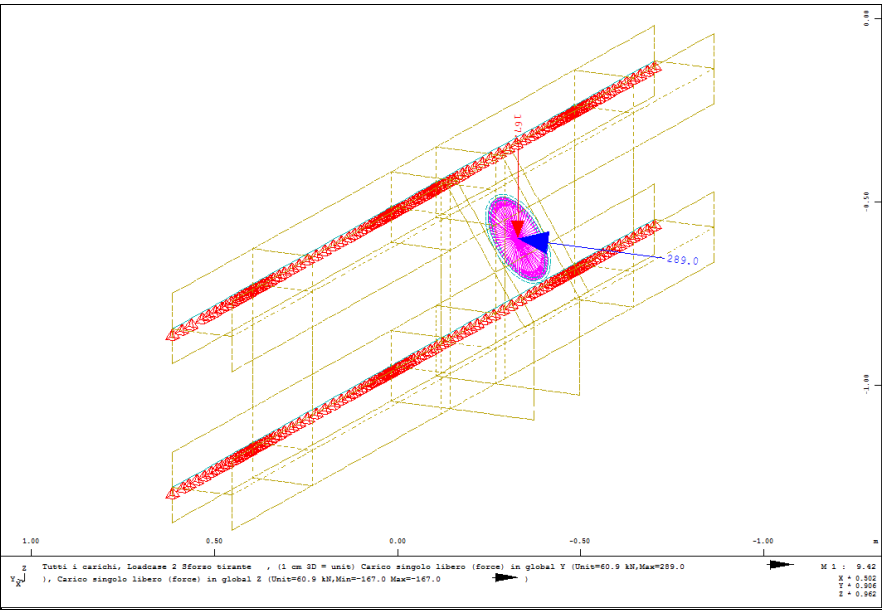
$$N_h = N_{max} \times \cos 30^\circ = 289 \text{ kN}$$

$$N_v = N_{max} \times \sin 30^\circ = 167 \text{ kN}$$

Nelle seguenti figure si illustrano in forma grafica i carichi considerati nel calcolo:



Peso proprio strutturale



Sforzo normale tirante

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 153 di 193

Nelle seguenti figure si riportano i diagrammi delle massime componenti di azione interna (M,N,T) emersi dal calcolo:

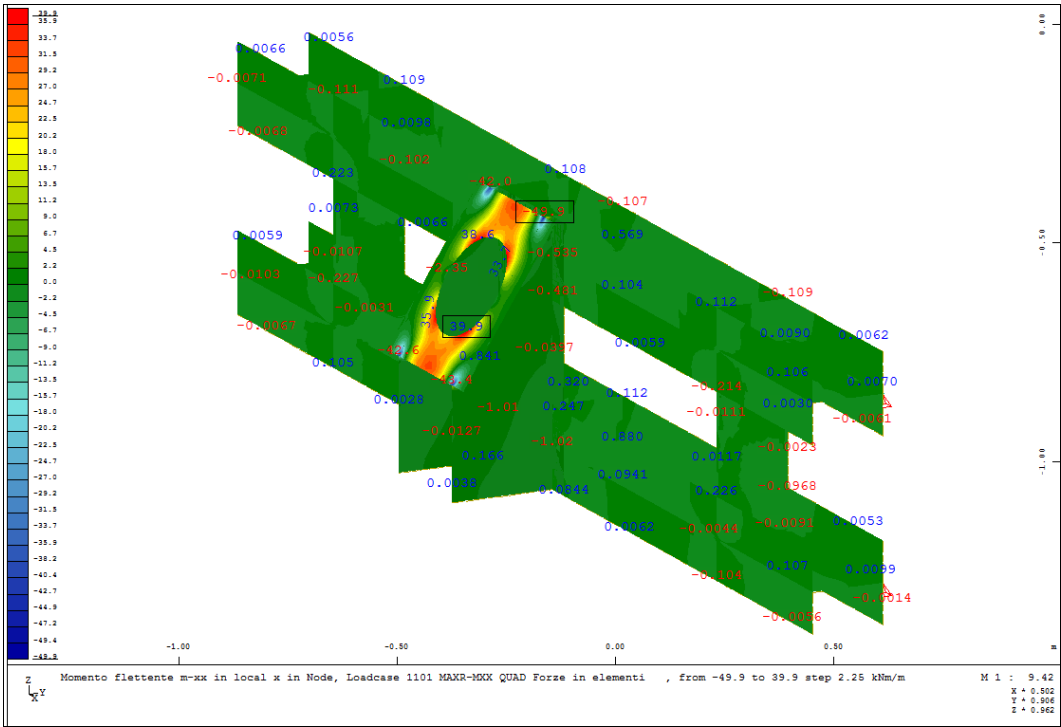


Diagramma m_{xx} -max (coordin. loc.) - COMB. SLU

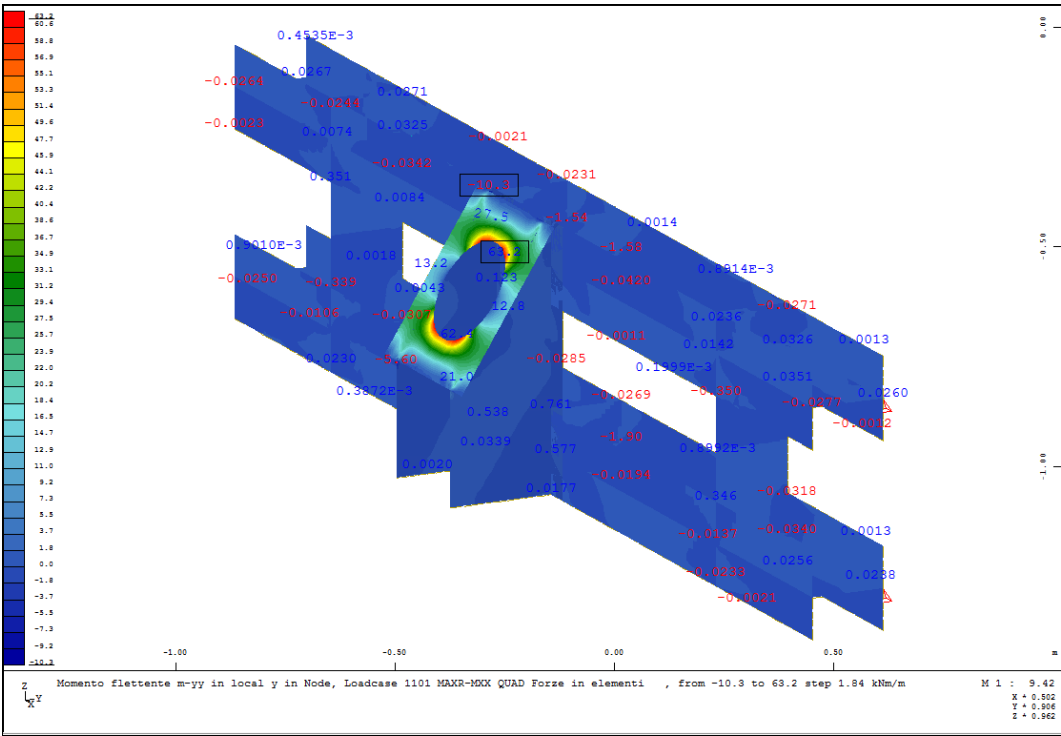


Diagramma m_{yy} -max (coord.loc.) - COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 154 di 193

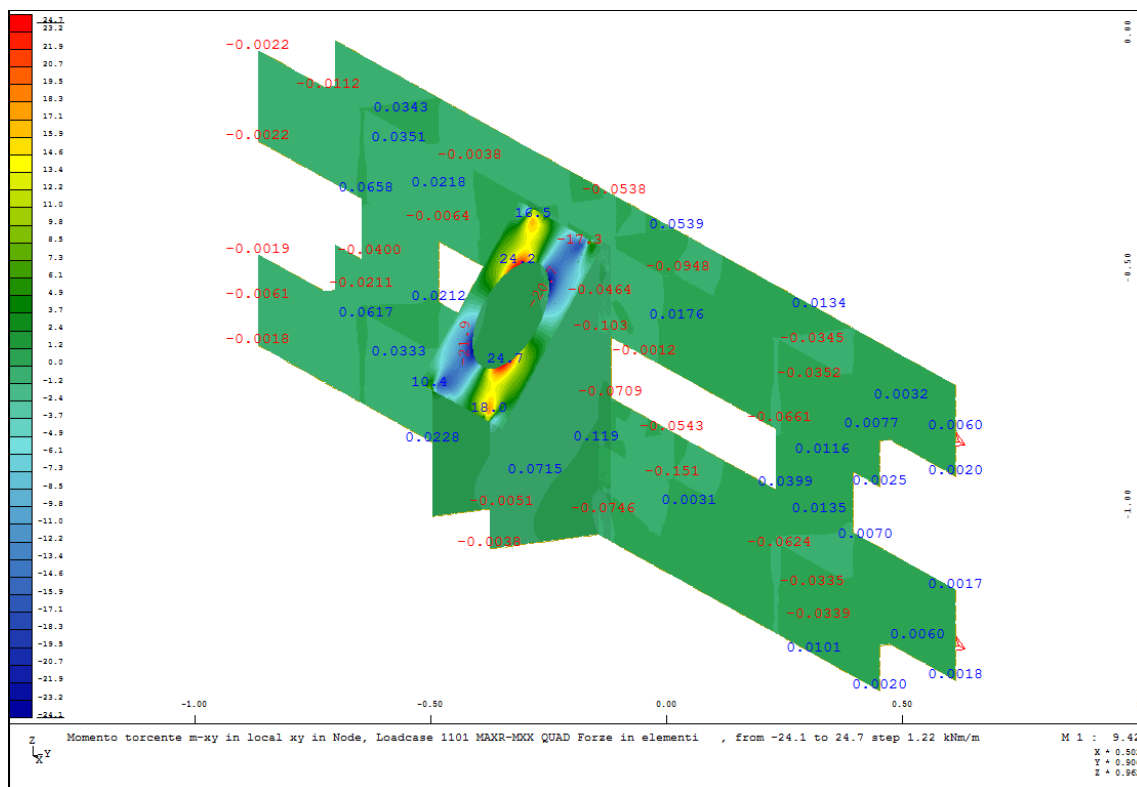


Diagramma m_{xy-max} (coord.loc.) – COMB. SLU

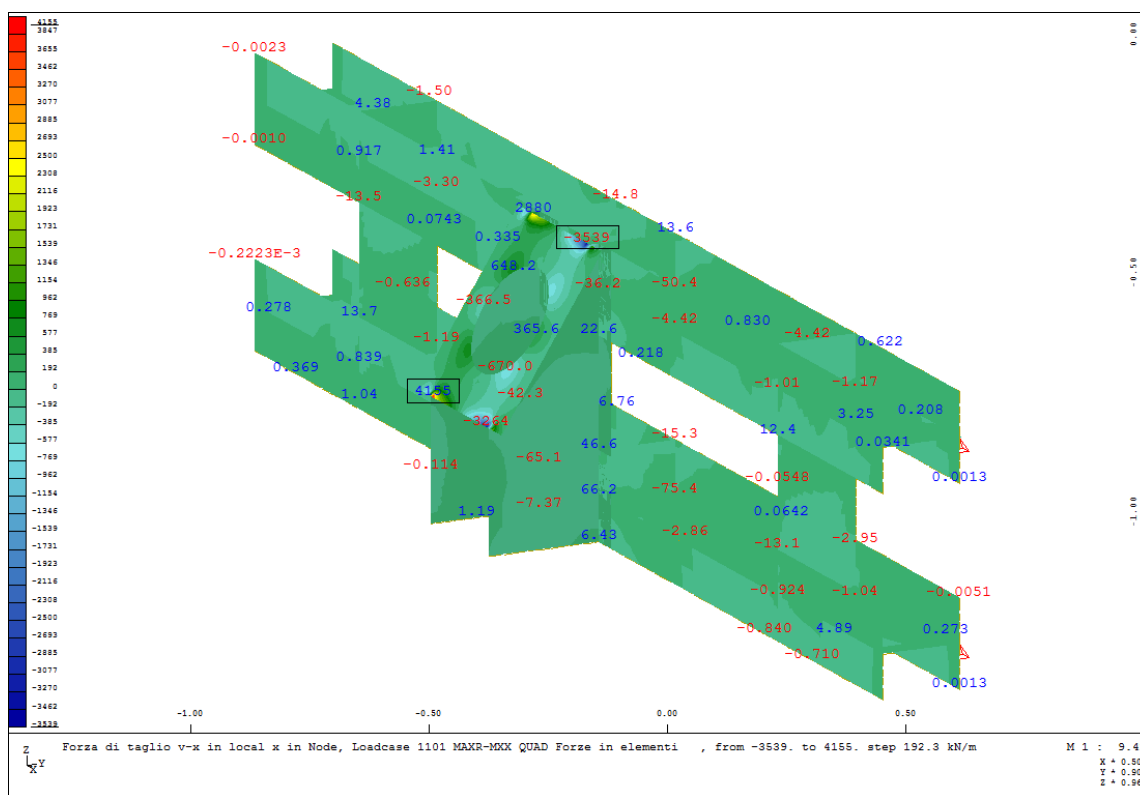


Diagramma v_{x-max} (coord.loc.) – COMB. SLU

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 155 di 193

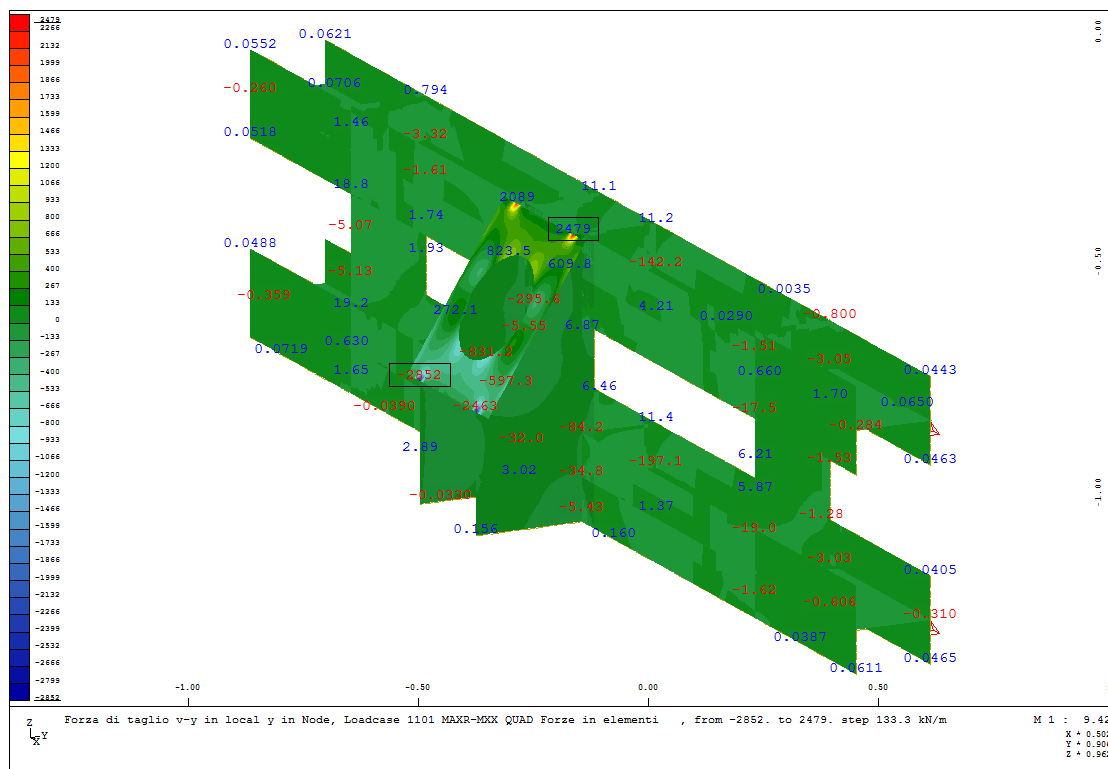
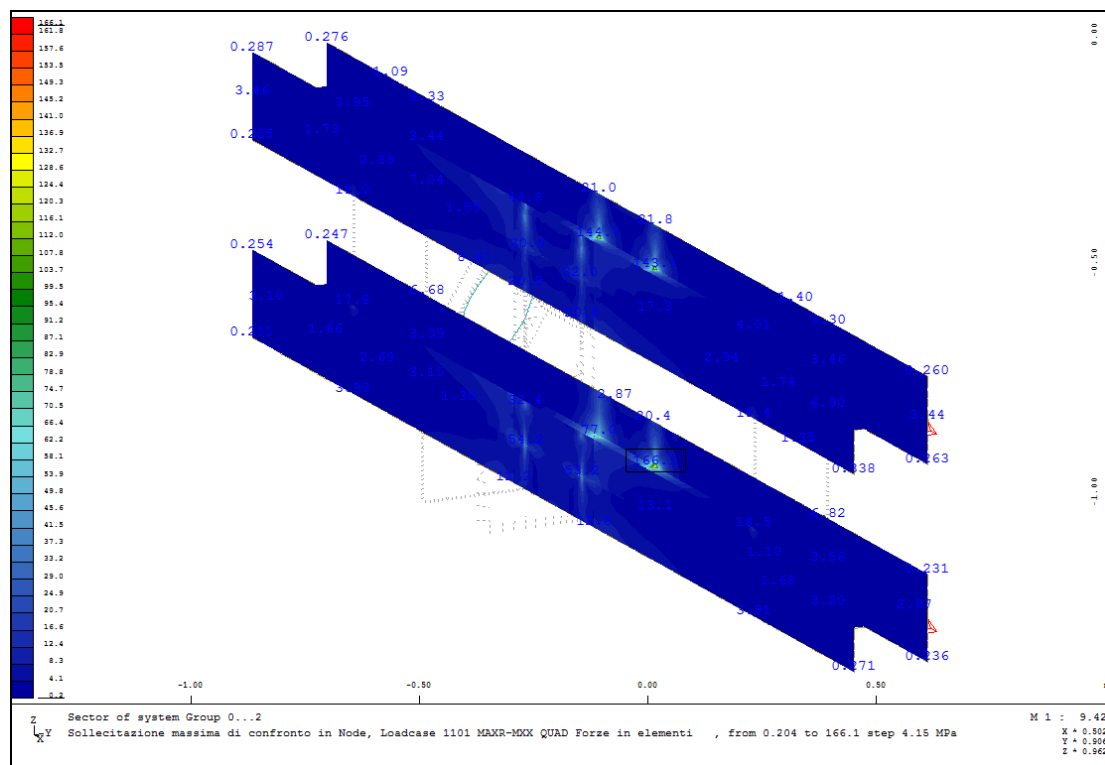


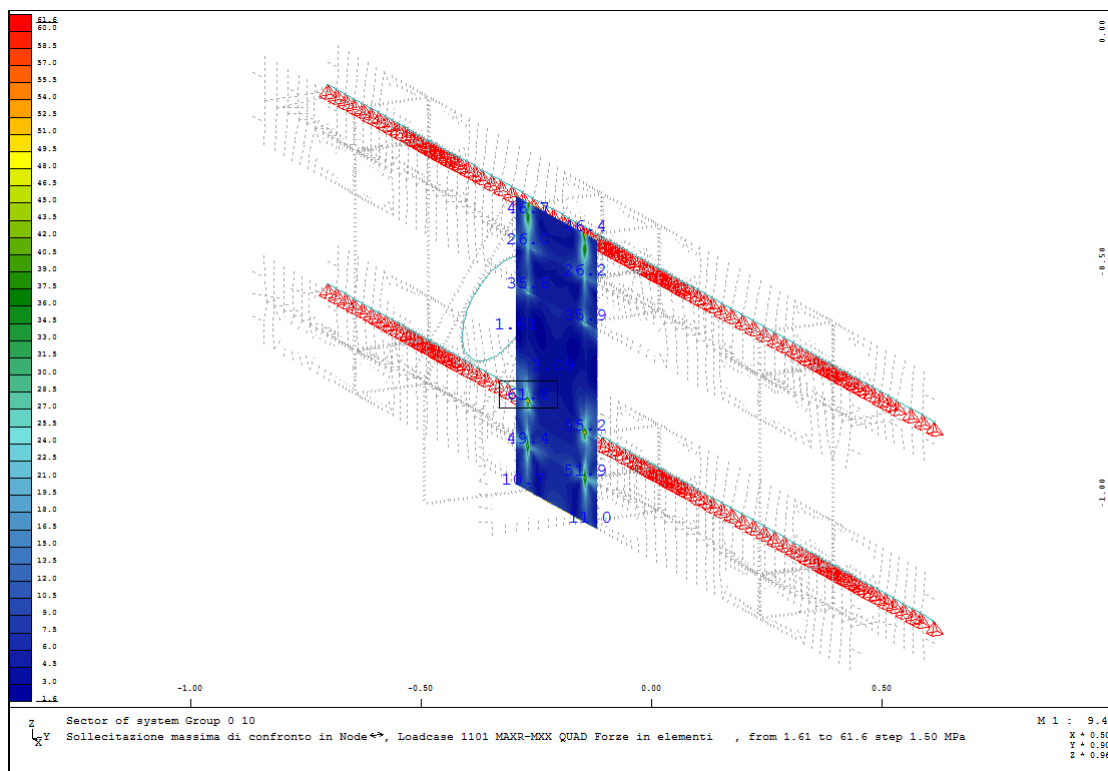
Diagramma v_{y-max} (coord.loc.) – COMB. SLU

Seguono i diagrammi delle tensioni ideali determinate con il criterio di von Mises nei diversi piatti che compongono la struttura di contrasto della testata del tirante:

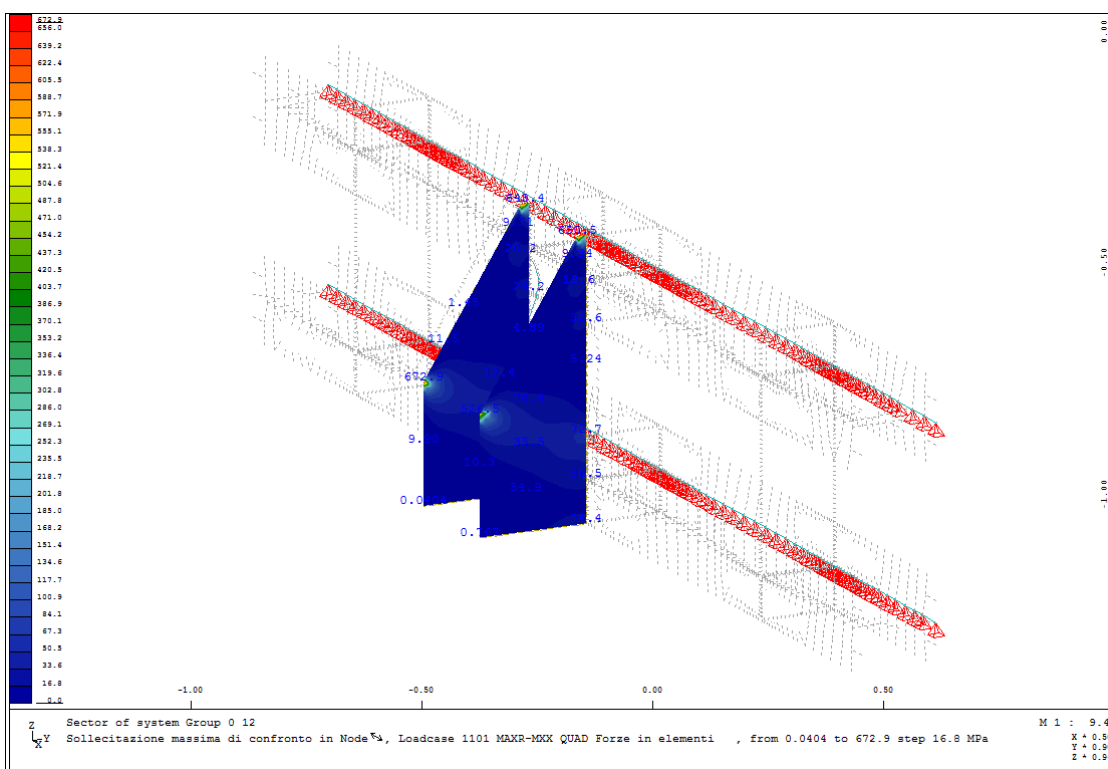


Travi di contrasto - Diagramma delle tensioni ideali (Von Mises) – COMB. SLU [Mpa]

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 156 di 193

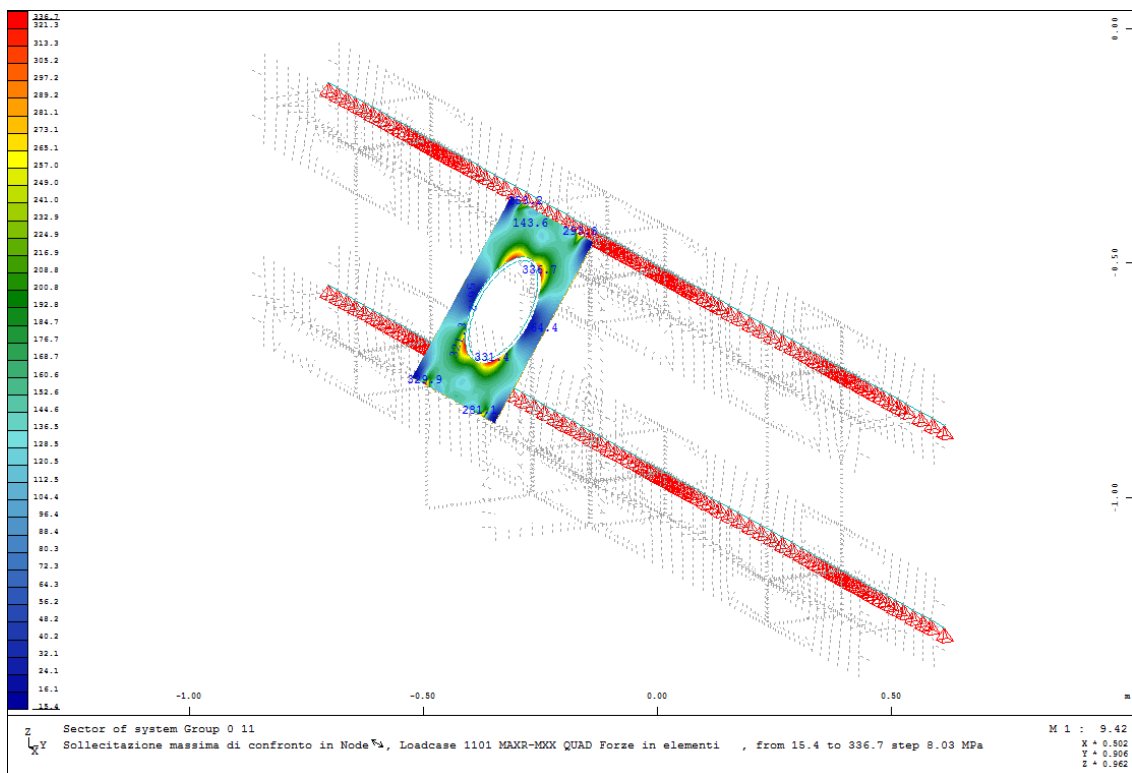


Piatto posteriore - Diagramma delle tensioni ideali (Von Mises) – COMB. SLU [Mpa]

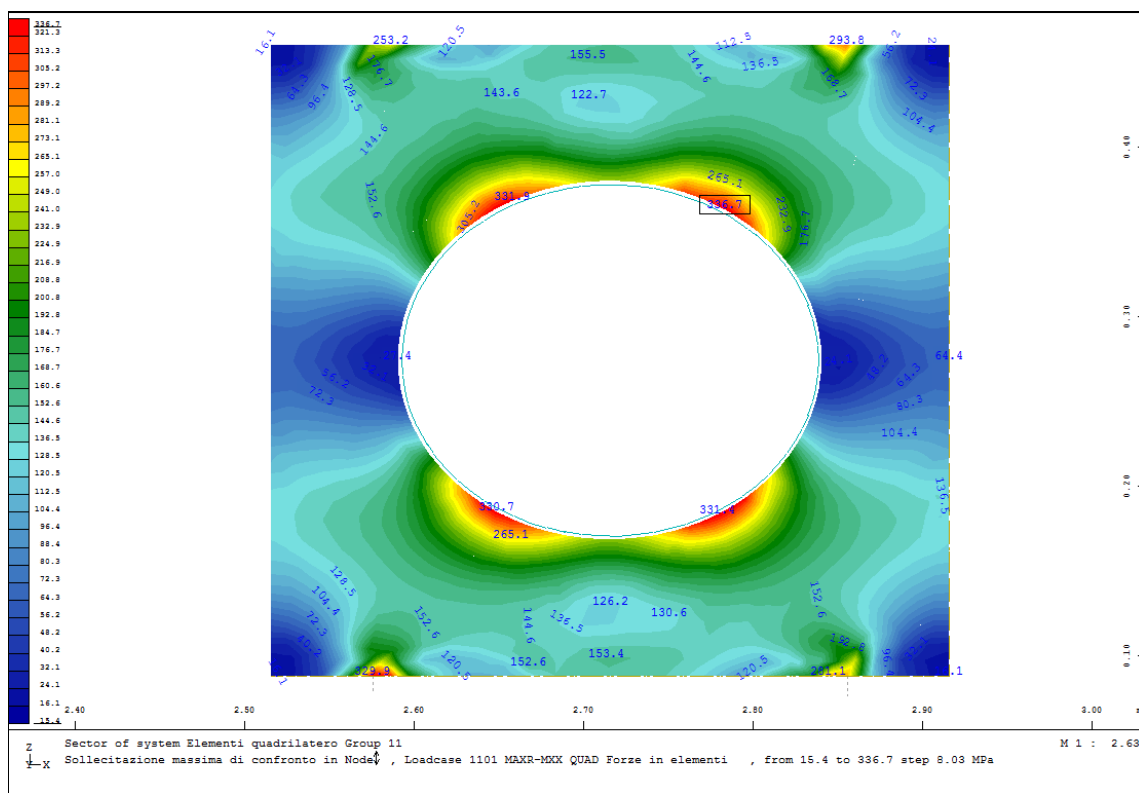


Piatti laterali - Diagramma delle tensioni ideali (Von Mises) – COMB. SLU [Mpa]

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 157 di 193

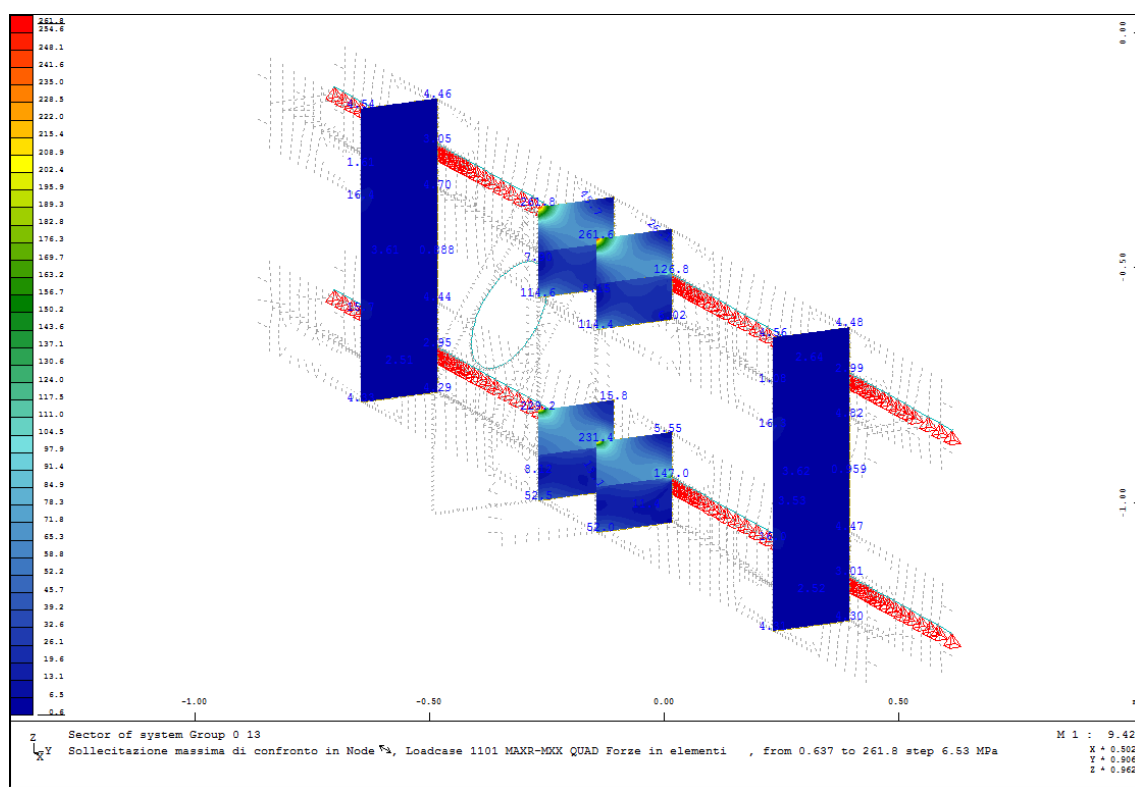


Piatto anteriore - Diagramma delle tensioni ideali (Von Mises) – COMB. SLU [Mpa]



Piatto anteriore - Diagramma delle tensioni ideali (Von Mises) – COMB. SLU [Mpa]

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 158 di 193



Irrigidimenti verticali - Diagramma delle tensioni ideali (Von Mises) – COMB. SLU [Mpa]

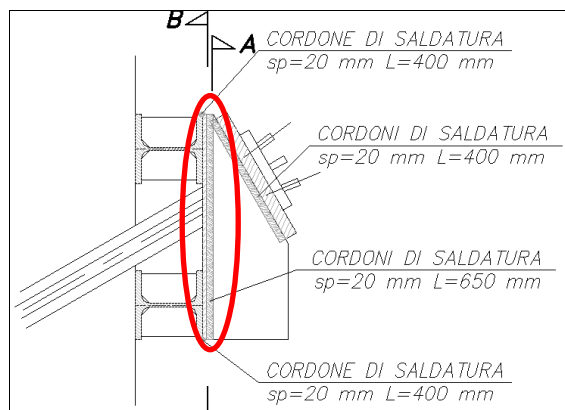
Le tensioni ideali emerse dal calcolo, a meno di localizzazioni in alcuni vertici dovute alla modellazione agli elementi finiti, risultano inferiori al valore della f_{yd} pari a:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} = 355/1.05 = 338 \text{ Mpa}$$

L'elemento strutturale risulta dunque verificato.

Effettuando infine la verifica dei cordoni di saldatura utilizzati per collegare i piatti, si ottiene:

- Saldatura tra il piatto posteriore di dimensioni 650x400x12mm e il piatto verticale laterale di forma trapezoidale, H=650mm, sp.20mm:



Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 159 di 193

$N_{max} = 333.5 \text{ kN}$ (N massimo sul tirante - COMB. SLU - A1+M1+R1)

$N_v = N_{max} \times \cos 30^\circ = 167 \text{ kN}$

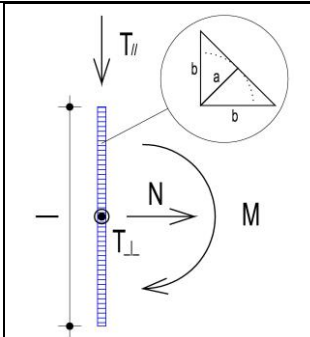
$N_d = T_{parall} = N_v/2 = 83.5 \text{ kN}$

n° cordoni = 1

b cordoni = 20mm

L cordoni = 650mm

Sollecitazioni	
N (N)	0
T _{//} (N)	83500
T _⊥ (N)	0
M (Nmm)	0
Dati saldatura	
Acciaio	S355
b (mm)	20
l (mm)	650
n° cordoni	1
γ _{M2}	1,25
a (mm)	14,14



f _{yk} (N/mm ²)	355
f _{tk} (N/mm ²)	510

F _{T TOT} (N/mm)	128,462
F _{⊥ N} (N/mm)	0,000
F _{⊥ M} (N/mm)	0,000
F _{⊥ TOT} (N/mm)	0,000

F _{w,Ed} (N/mm)	128,462
F _{w,Rd} (N/mm)	3701,451

Verifica con formula 4.2.76

F_{w,Ed}/F_{w,Rd} ≤ 1 con F_{w,Rd} = a·f_{tk}/(√3·β·γ_{M2})

β _w	0,9
f _{v,w,d} (N/mm ²)	261,732
F _{T//} (N/mm)	128,462
F _{T⊥} (N/mm)	0,000

S/R	OK
0,035	

n _{⊥ N} (N/mm ²)	0,0000
n _{⊥ M} (N/mm ²)	0,0000
n _⊥ (N/mm ²)	0,0000

S/R	OK
0,04	

Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79

√(n_⊥² + t_⊥² + t_{//}²) ≤ β₁·f_{yk}

|n_⊥| + |t_⊥| ≤ β₂·f_{yk}

β ₁	0,7
β ₂	0,85
t _{//} (N/mm ²)	9,0836
t _⊥ (N/mm ²)	0,0000

√(n _⊥ ² + t _⊥ ² + t _{//} ²)	9,0836
β ₁ ·f _{yk}	248,5000

n _⊥ + t _⊥	0,0000
β ₂ ·f _{yk}	301,7500

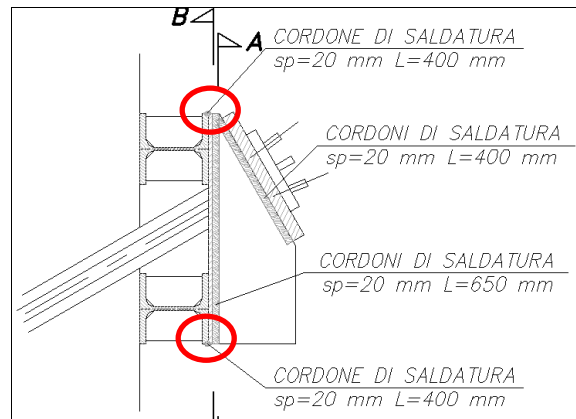
S/R	OK
0,00	

Acciaio	f _{yk} (N/mm ²)	f _{tk} (N/mm ²)	β _w	β ₁	β ₂
S235	235	360	0,8	0,85	1
S275	275	430	0,85	0,7	0,85
S355	355	510	0,9	0,7	0,85
S450	440	550			
S235 N/NL	275	390			
S355 N/NL	355	490	0,9		
S420 N/NL	420	520	1	0,62	0,75
S460 N/NL	460	540	1	0,62	0,75
S235 M/NL	275	370			
S355 M/NL	355	470	0,9		
S420 M/NL	420	520	1		
S460 M/NL	460	540	1		
S235 W	235	360	0,8		
S355 W	355	510	0,9		

La verifica è soddisfatta.

Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 160 di 193	

- Saldatura tra il piatto posteriore di dimensioni 650x400x12mm e i profili HEA200 (travi di contrasto):



$N_{max} = 333.5 \text{ kN}$ (N massimo sul tirante - COMB. SLU - A1+M1+R1)

$N_v = N_{max} \times \cos 30^\circ = 167.0 \text{ kN}$

$P_{p.testata} = 1.50 \text{ kN}$ (valore cautelativo)

$N_d = T_{\perp} = (N_v + P_{p.testata})/2 = (167.0 + 1.50)/2 = 84.25 \text{ kN}$

$n^\circ \text{ cordoni} = 1$

$b \text{ cordoni} = 20 \text{ mm}$

$L \text{ cordoni} = 400 \text{ mm}$

Sollecitazioni	
N (N)	0
T _{//} (N)	0
T _⊥ (N)	84250
M (Nmm)	0
Dati saldatura	
Acciaio	S355
b (mm)	20
l (mm)	400
n° cordoni	1
γ _{M2}	1,25
a (mm)	14,14

f _{yk} (N/mm ²)	355
f _{tk} (N/mm ²)	510

F _{T TOT} (N/mm)	210,625
F _{⊥ N} (N/mm)	0,000
F _{⊥ M} (N/mm)	0,000
F _{⊥ TOT} (N/mm)	0,000

F _{w,Ed} (N/mm)	210,625
F _{w,Rd} (N/mm)	3701,451

S/R	OK
0,057	

Acciaio	f _{yk} (N/mm ²)	f _{tk} (N/mm ²)	β _w	β ₁	β ₂
S235	235	360	0,8	0,85	1
S275	275	430	0,85	0,7	0,85
S355	355	510	0,9	0,7	0,85
S450	440	550			
S235 N/NL	275	390			
S355 N/NL	355	490	0,9		
S420 N/NL	420	520	1	0,62	0,75
S460 N/NL	460	540	1	0,62	0,75
S235 M/M/L	275	370			
S355 M/M/L	355	470	0,9		
S420 M/M/L	420	520	1		
S460 M/M/L	460	540	1		
S235 W	235	360	0,8		
S355 W	355	510	0,9		

Elaborato

Sottopasso di via Ca' Rossa

Revisione

1

Data

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Pagina 161 di 193

Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	14,8934

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	0,0000
n_{\perp} (N/mm ²)	0,0000

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	14,8934
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	248,5000

S/R	OK
0,06	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	14,8934
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	301,7500

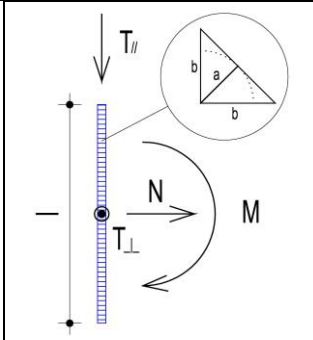
S/R	OK
0,05	

La verifica è soddisfatta.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 162 di 193

Sollecitazioni	
N (N)	0
T _{//} (N)	83500
T _⊥ (N)	0
M (Nmm)	0

Dati saldatura	
Acciaio	S355
b (mm)	20
l (mm)	650
n° cordoni	1
γ _{M2}	1,25
a (mm)	14,14



f _{yk} (N/mm ²)	355
f _{tk} (N/mm ²)	510

f _{yk} (N/mm ²)	f _{tk} (N/mm ²)	β _w	β ₁	β ₂	
S235	235	360	0,8	0,85	1
S275	275	430	0,85	0,7	0,85
S355	355	510	0,9	0,7	0,85
S450	440	550			
S235 N/NL	275	390			
S355 N/NL	355	490	0,9		
S420 N/NL	420	520	1	0,62	0,75
S460 N/NL	460	540	1	0,62	0,75
S235 M/ML	275	370			
S355 M/ML	355	470	0,9		
S420 M/ML	420	520	1		
S460 M/ML	460	540	1		
S235 W	235	360	0,8		
S355 W	355	510	0,9		

F _{T TOT} (N/mm)	128,462
F _{⊥ N} (N/mm)	0,000
F _{⊥ M} (N/mm)	0,000
F _{⊥ TOT} (N/mm)	0,000

F _{w,Ed} (N/mm)	128,462
F _{w,Rd} (N/mm)	3701,451

S/R	OK
0,035	

Verifica con formula 4.2.76

F_{w,Ed}/F_{w,Rd} ≤ 1 con F_{w,Rd} = a·f_{tk}/(√3·β·γ_{M2})

β _w	0,9
f _{w,d} (N/mm ²)	261,732
F _{T//} (N/mm)	128,462
F _{T⊥} (N/mm)	0,000

F _{w,Ed} (N/mm)	128,462
F _{w,Rd} (N/mm)	3701,451

Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79

√(n_⊥² + t_⊥² + t_{//}²) ≤ β₁·f_{yk}

|n_⊥| + |t_⊥| ≤ β₂·f_{yk}

β ₁	0,7
β ₂	0,85
t _{//} (N/mm ²)	9,0836
t _⊥ (N/mm ²)	0,0000

n _{⊥ N} (N/mm ²)	0,0000
n _{⊥ M} (N/mm ²)	0,0000
n _⊥ (N/mm ²)	0,0000

√(n _⊥ ² + t _⊥ ² + t _{//} ²)	9,0836
β ₁ ·f _{yk}	248,5000

n _⊥ + t _⊥	0,0000
β ₂ ·f _{yk}	301,7500

S/R	OK
0,04	

S/R	OK
0,00	

La verifica è soddisfatta.

Analogamente, tutte le altre saldature, sollecitate dalle massime azioni derivanti dal calcolo, risultano ampiamente soddisfatte.

13 **CALCOLO DEGLI IMPALCATI**

Per il calcolo degli impalcati del sottopasso stradale e ferroviario si rimanda alle specifiche relazioni.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 164 di 193

14 VERIFICA GIUNTI

Si riporta la verifica dei giunti di impalcato.

I giunti sono disposti in corrispondenza di ogni pila e spalla, la verifica è condotta valutando la dilatazione minima consentita come prodotto di lunghezza impalcato (L), coefficiente di dilatazione (α) e delta T termico (Dt) e si indica nell'ultima colonna un giunto con dilatazione consentita (DL) superiore rispetto a quella calcolata (DL min).

Spalla

GIUNTI DI DILATAZIONE TERMICI PER IMPALCATI						
OPERE	DL min (mm)	L (m)	alfa (puro)	Dt (°C)	DL (mm)	
e-26 "SOTTOP VIA CA' ROSSA" - SP01	+/- 4	12,20	0,000012	30	+/-	10
e-26 "SOTTOP VIA CA' ROSSA" - SP02	+/- 4	12,20	0,000012	30	+/-	10

Le verifiche sono soddisfatte :

DL = 10 mm > 4 mm

Si riportano le caratteristiche del giunto tipo RAN dal catalogo FIP:

GIUNTI STRADALI IN GOMMA ARMATA

DESCRIZIONE

Sono giunti normalmente costituiti da una struttura in elastomero nella quale, mediante il processo di vulcanizzazione o altro processo tecnologico, vengono inseriti dei profili metallici atti a modificare, in determinati punti, la rigidità o la capacità portante della struttura elastomerica.

Si distinguono due fondamentali sottogruppi in funzione del meccanismo con cui viene ottenuta la capacità di dilatazione/contrazione del giunto e precisamente:

- deformando elasticamente, con sollecitazione di tipo tagliente, idonee zone elastomeriche opportunamente predisposte;
- deformando elasticamente dei profili elastomerici la cui studiata geometria viene modificata da sollecitazioni normalmente flessionali.

Caratteristica di questa tipologia di giunti è la presenza, a livello della superficie trafficata, di una serie di varchi trasversali necessari allo sviluppo delle deformazioni elastiche richieste.



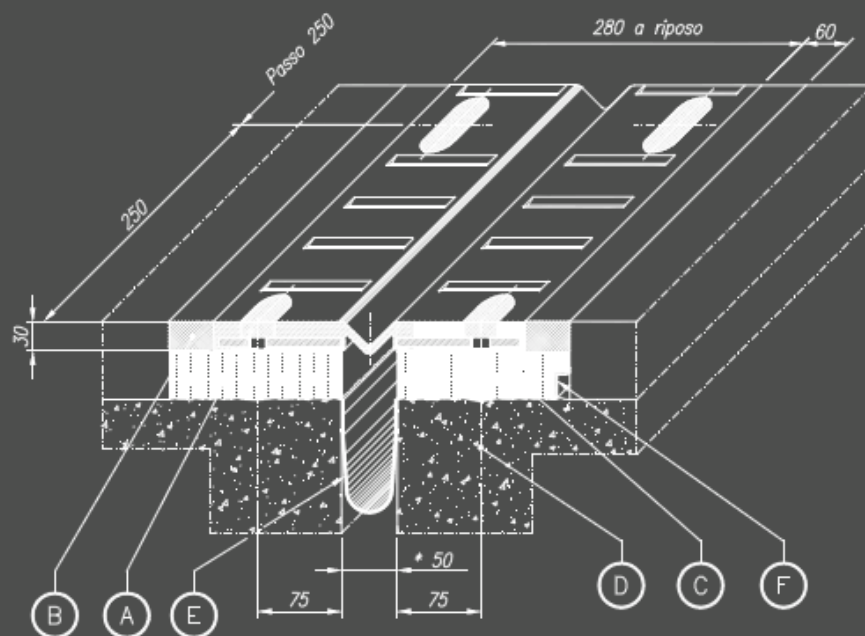
Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 165 di 193

► RAN

Giunto di dilatazione ed impermeabilità costituito da:

- moduli in gomma armata a norme CNR 10018/85 realizzati mediante due piastre unite per vulcanizzazione ad un coprivarco in gomma di tenuta e smaltimento acque superficiali;
- sistema di ancoraggio meccanico realizzato mediante tasselli di acciaio ad espansione o zanche multidirezionali e tirafondi o barre filettate, a seconda delle esigenze di cantiere;
- scossalina di raccolta acque in hypalon;
- profilo a "L" in acciaio inox per drenaggio acque di sottopavimentazione;
- massetti di malta epossidica di raccordo fra gli elementi di giunto e la pavimentazione bituminosa.

RAN 50 S



* varco medio

POS.	DESCRIZIONE	MATERIALE
A	Sigillatura	EPOBLOCK ME LEGANTE
B	Massetto laterale	EPOBLOCK ME 3C
C	Allettamento	MALTA CEMENTIZIA FIBRORINFORZATA
D	Ancoraggio M12	
E	Scossalina	Hypalon
F	Profilo di drenaggio a "L"	X5 CrNi 1810-UNI 8317

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 166 di 193

15 VERIFICA APPOGGI

Si riporta la verifica degli appoggi tipo Elastofip High tutti modello EF-HIGH 100-10 per la campata con carichi stradali e la campata di scavalco ferroviario appoggi tipo Vasoflon HIGH come da tabella seguente di tipologia FIP.

Spalla – Carichi stradali

APPOGGI PER IMPALCATI - CARICHI MINIMI PER GLI APPARECCHI															
SLE															
OPERE	Φ_{gin}		(P_p+C_p) semi-impatto		Stessa Caric.horiz. [m]	β -	N_{pp+cp} Singolo app. [kN]	N_{cac_stat} Singolo app. [kN]	$F_{ren\ long}$ [kN]	$V_{ento\ trasv}$ [kN]	$N_{preco\ mpres.}$ Singolo app. [kN]	N_{tot} Singolo app. [kN]	T_{transv} Singolo app. [kN]	T_{long} Singolo app. [kN]	
	L_{min}	L_{max}	L_{min} [kN]	L_{max} [kN]											
SPALLE E PILE FISSE					[N. di appoggi reagenti per le azioni agenti]								16	16	16
SP Strada Fissa n.1 (12,20x1) - 16 travi	1	1	2 268,11	2 268,11	12,20	1,0	141,76	256,48	392,94	70,46	0,00	398,24	4,40	24,56	
SP Strada Fissa n.1 (12,20x1) - 16 travi	1	1	2 268,11	2 268,11	12,20	1,0	141,76	256,48	392,94	70,46	0,00	398,24	4,40	24,56	
N.B.: le reazioni per Pp+Cp e per Cac_stat devono essere calcolate per la reazione massima sulla trave in base alla ripartizione trasversale ed al n. delle colonne di carico che occupano la sezione															
SIU															
OPERE	Φ_{gin}		(P_p+C_p) semi-impatto		Stessa Caric.horiz. [m]	β -	N_{pp+cp} Singolo app. [kN]	N_{cac_stat} Singolo app. [kN]	$C_k\ max$ -	I -	$N_{preco\ mpres.}$ Singolo app. [kN]	N_{tot} Singolo app. [kN]	T_{transv} Singolo app. [kN]	T_{long} Singolo app. [kN]	
	L_{min}	L_{max}	L_{min} [kN]	L_{max} [kN]											
SPALLE E PILE FISSE					[N. di appoggi reagenti per le azioni agenti]								16	32	32
SP Strada Fissa n.1 (12,20x1) - 16 travi	1	1	2 268,11	2 268,11	12,20	1,0	141,76	256,48	0,688	1	0,00	537,62	97,53	97,53	
SP Strada Fissa n.1 (12,20x1) - 16 travi	1	1	2 268,11	2 268,11	12,20	1,0	141,76	256,48	0,688	1	0,00	537,62	97,53	97,53	
N.B.: le reazioni per Pp+Cp e per Cac_stat devono essere calcolate per la reazione massima sulla trave in base alla ripartizione trasversale ed al n. delle colonne di carico che occupano la sezione															

Rd = 100 kN > Sd = 97.53 kN

Le verifiche sono soddisfatte in base al catalogo della FIP.

Spalla – Carichi ferroviari

N.	Appoggi	Nz [kN]	Forizz [kN]	Codice
12	Fissi	579.97	253.34	VF-150-45
12	Uni long	579.97	253.34	VU 100/100-30
12	Uni trasv	579.97	253.34	VU*100-30/50
12	Multi	579.97	0	VM 100/100/50

Rd_{fissi} = 450 kN > Sd = 253.34 kN

Rd_{fissi} = 1500 kN > Sd = 579.97 kN

Rd_{uni_long} = 300 kN > Sd = 253.34 kN

Rd_{uni_trasv} = 300 kN > Sd = 253.34 kN

Rd_{multi} = 1000 kN > Sd = 579.97 kN

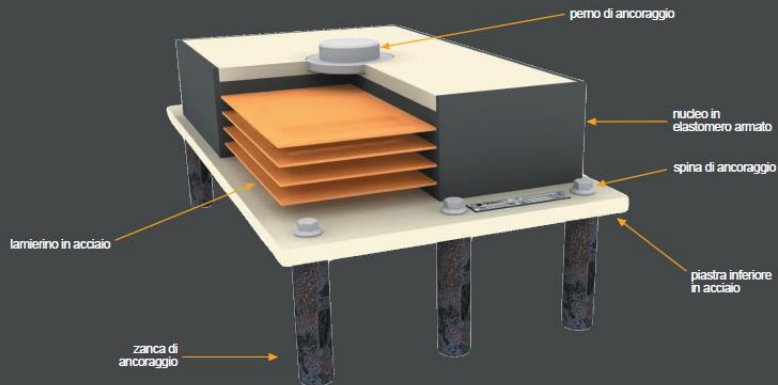
Le verifiche sono soddisfatte in base al catalogo della FIP.

Si riportano le caratteristiche degli appoggi impiegati da catalogo FIP:

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 167 di 193

COMPONENTI DELL'APPOGGIO

ELEMENTI



Facendo riferimento allo sketch illustrativo, si suggerisce che nel caso di appoggio con due zanche d'ancoraggio queste vengano posizionate sull'asse trasversale dell'appoggio, nel caso siano quattro andranno nei vertici, mentre nel caso di sei come da sketch. Se il numero di zanche risultasse superiore, si consiglia una disposizione comunque simmetrica rispetto agli assi.

E' sconsigliabile la disposizione di due o più appoggi accostati nella direzione longitudinale della trave.

MATERIALI

Gli appoggi in catalogo sono dimensionati secondo la norma europea UNI EN 1337-3 nella quale vengono classificati come appoggi di tipo C.

L'elastomero che costituisce il nucleo è in gomma naturale (NR) o gomma cloroprenica (CR), durezza 60 ± 5 ShA. Al suo interno piastre di rinforzo in acciaio di categoria S275 o superiore, spessore minimo 2 mm. Le piastre di ancoraggio sono in acciaio di categoria S275 o superiore.

ACCESSORI

Ogni apparecchio d'appoggio è fornito di un'etichetta identificativa nella quale vengono riportate le principali informazioni sullo stesso.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 168 di 193

**EF
HIGH**

CARICO VERTICALE
NOMINALE

MASSIMA FORZA
ORIZZONTALE

DEFORMAZIONE
EQUIVALENTE A F_{xy}

RIGIDEZZA
ORIZZONTALE

RIGIDEZZA VERTICALE

NUMERO STRATI IN
ELASTOMERO

SIGLA	F_{zd} kN	F_{xy} kN	v_{eq} mm	K_o kN/mm	K_v kN/mm	n n
EF 25-3	250	30	20,3	1,48	227	3
EF 50-5	500	50	20,8	2,40	610	3
EF 75-8	750	80	35,6	2,25	760	5
EF 100-10	1000	100	44,4	2,25	922	6
EF 125-13	1250	130	40,4	3,22	993	4
EF 150-15	1500	150	41,9	3,58	1195	4
EF 175-18	1750	180	47,9	3,94	1285	4
EF 200-20	2000	200	46,9	4,27	1464	4
EF 225-23	2250	230	46,7	4,92	1834	4
EF 250-25	2500	250	47,6	5,25	2023	4
EF 275-28	2750	280	43,8	6,40	1994	3
EF 300-30	3000	300	44,1	6,80	2193	3
EF 325-33	3250	330	48,9	6,75	2024	3
EF 350-35	3500	350	49,0	7,15	2217	3
EF 375-38	3750	380	53,6	7,08	2173	3
EF 400-40	4000	400	53,3	7,50	2387	3
EF 450-45	4500	450	57,0	7,89	2441	3
EF 500-50	5000	500	76,0	6,58	2323	4
EF 550-55	5500	550	79,2	6,95	2547	4
EF 600-60	6000	600	95,2	6,30	2577	5
EF 650-65	6500	650	98,3	6,62	2796	5
EF 700-70	7000	700	107,7	6,50	3261	6
EF 750-75	7500	750	125,0	6,00	3242	7
EF 800-80	8000	800	138,3	5,79	2849	7
EF 850-85	8500	850	149,5	5,68	3216	8
EF 900-90	9000	900	156,9	5,74	3177	8
EF 950-95	9500	950	175,9	5,40	3144	9
EF 1000-100	10000	1000	194,9	5,13	3126	10
EF 1100-105	11000	1050	192,5	5,45	3016	9
EF 1200-110	12000	1100	192,1	5,73	3295	9
EF 1300-115	13000	1150	191,7	6,00	3581	9
EF 1400-120	14000	1200	185,5	6,47	3515	8
EF 1500-125	15000	1250	192,9	6,48	3422	8
EF 1750-130	17500	1300	169,1	7,69	4167	7
EF 2000-135	20000	1350	175,0	7,71	4202	7

SPESSORE STRATI IN ELASTOMERO	NUMERO LAMIERINI IN ACCIAIO	SPESSORE LAMIERINI IN ACCIAIO	DIMENSIONI NUCLEO IN ELASTOMERO ARMATO	DIMENSIONI IN PIANTA PIASTRA INFERIORE IN ACCIAIO	DIAMETRO PERNO	SPORGENZA PERNO	ZANCHE INFERIORI		INTERASSE TRASVERSALE ZANCHE	ALTEZZA TOTALE APOGGIO	PESO APOGGIO INCLUSI ANCORAGGI
t _i mm	n _s n	t _s mm	a x b mm	X x Y mm	F _p mm	h _p mm	n _{zan} n tipo		i mm	H _{tot} mm	W kg
7	2	2	150 x 230	170 x 320	55	15	2	1	275	60	14
7	2	2	200 x 280	220 x 370	55	15	2	1	325	60	22
8	4	2	250 x 400	270 x 490	55	15	2	1	445	83	42
8	5	2	300 x 400	320 x 490	55	15	2	1	445	93	53
11	3	2	350 x 450	370 x 540	55	15	4	1	495	88	69
11	3	2	350 x 500	370 x 590	55	15	4	1	545	88	76
12	3	2	350 x 600	370 x 690	55	15	4	1	645	92	91
12	3	2	350 x 650	370 x 780	55	15	2	2	715	97	110
12	3	2	350 x 750	370 x 880	55	15	2	2	815	97	126
12	3	2	350 x 800	370 x 930	55	15	2	2	865	97	133
15	2	2	400 x 800	420 x 930	80	17	4	2	865	92	148
15	2	2	400 x 850	420 x 980	80	17	4	2	915	92	157
17	2	2	450 x 850	470 x 980	80	17	4	2	915	98	178
17	2	2	450 x 900	470 x 1030	80	17	4	2	965	98	188
18	2	2	500 x 850	520 x 980	80	17	4	2	915	101	199
18	2	2	500 x 900	520 x 1030	80	17	4	2	965	101	210
19	2	2	500 x 1000	520 x 1130	80	17	4	2	1065	109	253
20	3	2	650 x 900	670 x 1090	80	17	2	3	995	131	321
20	3	2	650 x 950	670 x 1140	80	17	4	3	1045	136	369
20	4	2	700 x 1000	720 x 1190	80	17	4	3	1095	158	443
20	4	2	700 x 1050	720 x 1240	140	17	4	3	1145	158	463
18	5	2	650 x 1200	670 x 1390	140	17	4	3	1295	168	508
18	6	2	700 x 1200	720 x 1390	140	17	4	3	1295	188	578
20	6	3	750 x 1200	770 x 1390	140	17	4	3	1295	208	675
19	7	2	800 x 1200	820 x 1390	140	17	4	3	1295	216	704
20	7	3	850 x 1200	870 x 1390	140	17	4	3	1295	231	812
20	8	3	900 x 1200	920 x 1390	140	17	4	3	1295	254	911
20	9	3	950 x 1200	970 x 1390	140	17	4	3	1295	277	1015
22	8	3	1000 x 1200	1020 x 1390	140	17	4	3	1295	272	1037
22	8	3	1050 x 1200	1070 x 1390	200	20	6	3	1295	272	1096
22	8	3	1100 x 1200	1120 x 1390	200	20	6	3	1295	272	1147
24	7	3	1150 x 1200	1170 x 1390	200	20	6	3	1295	263	1156
25	7	3	1200 x 1200	1220 x 1390	200	20	6	3	1295	271	1219
25	6	4	1150 x 1300	1170 x 1490	200	20	6	3	1395	249	1250
25	6	4	1200 x 1250	1220 x 1440	200	20	6	3	1345	249	1256

16 VERIFICA BAGGIOLO

Per le opere in oggetto non sono previsti baggioli.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 171 di 193

17 VERIFICA RITEGNO SISMICO

Per le opere in oggetto non sono previsti ritegni sismici.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 172 di 193

18 VERIFICA PER URTO SULLE BARRIERE DI SICUREZZA

Si riporta la verifica della sezione più sollecitata di soletta e cordolo di impalcato relativamente all'azione di urto di veicolo in svio (q8) con le seguenti forze agenti :

Soletta e cordolo : C35/45 e B450C

$$C_{p \text{ barriera}} = 1.50 \text{ kN/m}$$

$$C_{p \text{ veletta}} = 0.75 \times 0.06 \times 25.00 = 1.125 \text{ kN/m}$$

$$C_{p \text{ neri}} = 3.00 \text{ kN/mq}$$

$F_{\text{urto}} = 167.00 \text{ kN}$ A favore di sicurezza si considera agente su un solo montante (nella UNI EN 1317-1, nell'appendice B della medesima norma, è riportato un prospetto esemplificativo dal quale desumere la forza media agente nella parte della barriera colpita in funzione dello spostamento subito dalla parte rivolta verso il traffico. Interpolando i dati relativi alla barriera di classe H4a per spostamenti prossimi alla larghezza operativa W5 delle barriere scelte a favore di sicurezza si ottiene una forza media di circa 167.0 kN)

$$H_{\text{urto}} = 1.00 \text{ m}$$

Asse carico accidentale presente : Schema 2 = 200x2 kN a 2.00 m di interasse

Si realizza un modello FEM 3D relativo alla soletta di bordo laterale con lo spessore di 27 cm della soletta e di 40 cm del cordolo porta barriera largo 109 cm.

L'armatura presente è la seguente :

$$A_{\text{trav. soletta}} = \varnothing 16/20 \text{ cm}$$

$$A_{\text{long. soletta}} = \varnothing 16/20 \text{ cm}$$

$$A_{\text{trav. cordolo}} = \varnothing 16/20 \text{ cm} + \varnothing 16/20 \text{ cm sul cordolo}$$

$$A_{\text{long. cordolo}} = \varnothing 16/20 \text{ cm} + \varnothing 16/20 \text{ cm sul cordolo}$$

Segue il modello di calcolo.

Materiali:

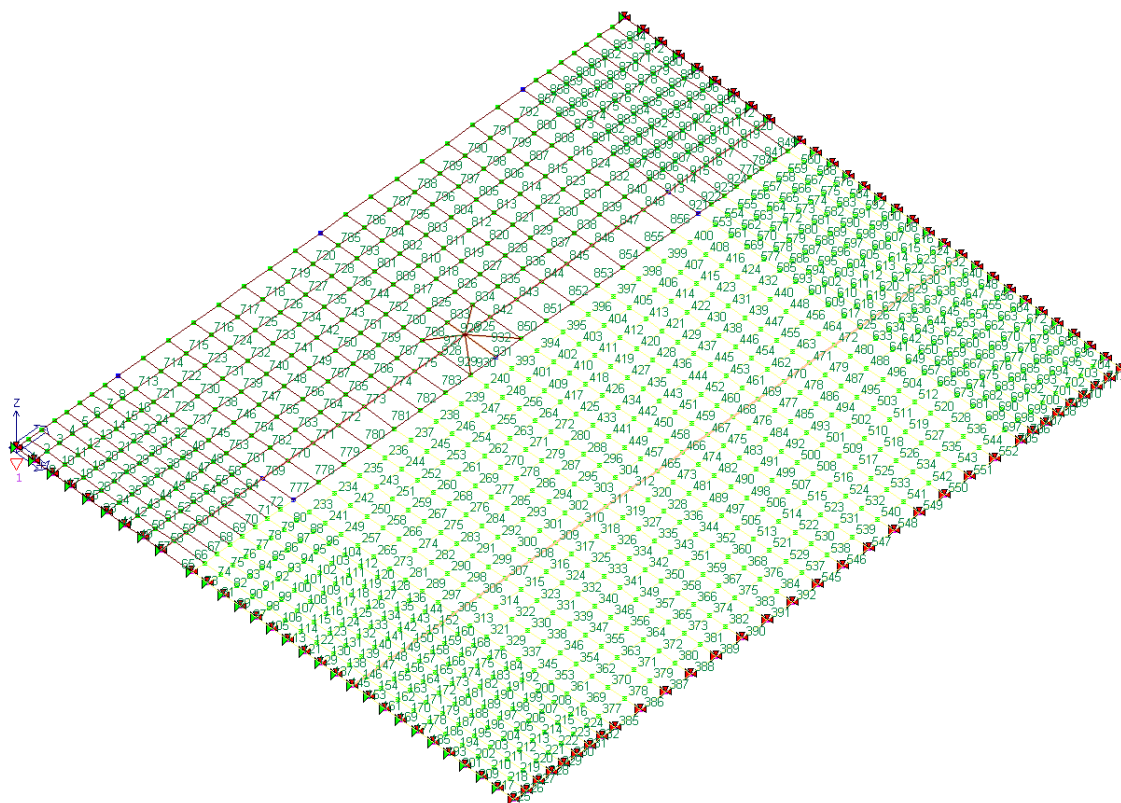
Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 173 di 193

Id	Tipo / Note		Young	Poisson	G	Gamma	Alfa
		daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm3	
5	Calcestruzzo Classe C35/45		3.460e+05	0.20	1.442e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	450.0					
	fctm	33.5					
7	Calcestruzzo Classe C45/55		3.640e+05	0.20	1.517e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	550.0					
	fctm	38.3					
47	acciaio inf. rigi.		2.100e+09	0.30	8.077e+08	7.80e-03	1.00e-05
	ft	3600.0					
	fy	2350.0					
	fd	2350.0					
	fdt	2100.0					
	sadm	1600.0					
	sadmt	1400.0					

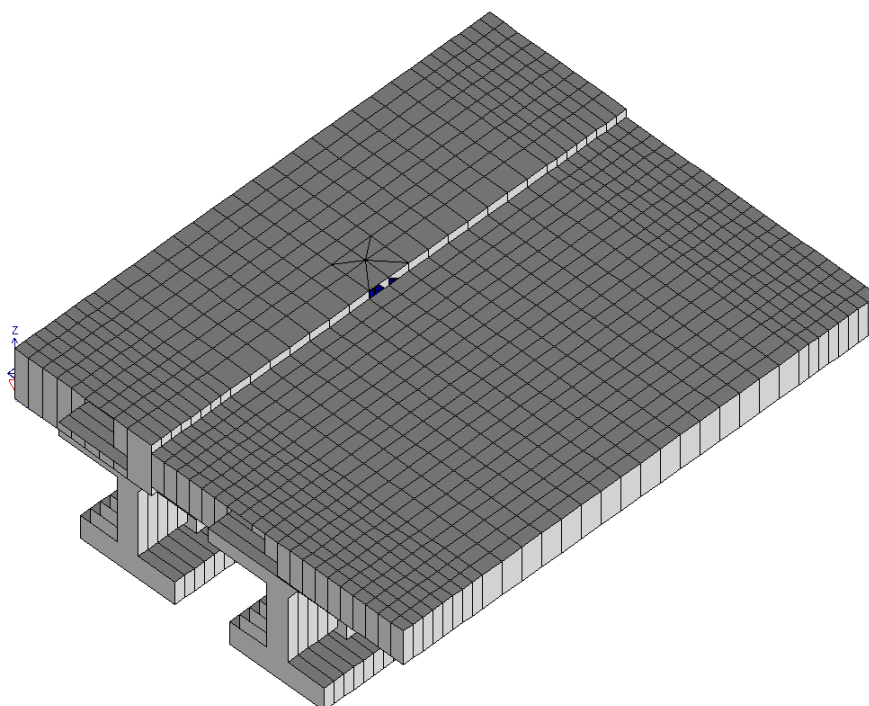
Sezioni:

Id	Tipo	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
		cm2	cm2	cm2	cm4	cm4	cm4	cm3	cm3	cm3	cm3
1	Trave H80 - Doppio T: bi=75.00 ba=17.00 bs=110.00 ht=80.00 hi=18.00 hs=11.00	3427.00	0.0	0.0	2.830e+05	1.874e+06	2.982e+06	3.407e+04	7.300e+04	3.513e+04	7.122e+04
2	Circolare: r=5.00	78.54	66.27	66.27	981.75	490.87	490.87	98.17	98.17	166.67	166.67

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 174 di 193



Modello 3D con numerazione shell



Rendering

Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 175 di 193	

Seguono carichi, casi di carico e combinazioni :

Carichi

Tipo		carico concentrato nodale					
Id	Tipo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		daN	daN	daN	daN cm	daN cm	daN cm
1	Fz barriere - CN:Fz=-189.00	0.0	0.0	-189.00	0.0	0.0	0.0
2	Fz veletta - CN:Fz=-17.00	0.0	0.0	-17.00	0.0	0.0	0.0
4	Urto F=167 kN ed M=Fx1.00 - CN:Fx=-1.670e+04 My=-1.670e+06	-1.670e+04	0.0	0.0	0.0	-1.670e+06	0.0

Tipo		carico variabile generale			
Id	Tipo	ascissa	valore	ascissa	valore
		cm	daN/cm2	cm	daN/cm2
3	Cp neri 3.00 kN/mq - QV:var x - Qz - Area				
	X - X Qz Area L2=0.0	109.00	-0.03	350.00	-0.03

Tipo		gruppo di carichi con impronta su piastra								
Id	Tipo	Ripet. X	Ripet. Y	Carico FZ	Centro X	Centro Y	dim. X	dim. Y	Passo X	Passo Y
				daN	cm	cm	cm	cm	cm	cm
5	Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-12.000e+04	1	2	-2.000e+04	130.00	89.00	35.00	60.00	0.0	200.00

Casi di carico

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Gk	CDC=G1k - Cp neri, barriera e veletta	Nodo: 5 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 8 Azione : Fz barriere - CN:Fz=-189.00
			Nodo: 9 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 12 Azione : Fz barriere - CN:Fz=-189.00
			Nodo: 13 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 16 Azione : Fz barriere - CN:Fz=-189.00
			Nodo: 21 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 24 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 26 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 28 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 30 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 32 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 34 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 781 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 783 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 785 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 787 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 789 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 176 di 193

CDC	Tipo	Sigla Id	Note
			Nodo: 791 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 793 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 851 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 853 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 855 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 857 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 859 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 861 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 863 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 921 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 923 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 925 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 927 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 929 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 931 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			Nodo: 933 Azione : Fz veletta - CN:Fz=-17.00
			D3 :da 73 a 712 Azione : Cp neri 3.00 kN/mq - QV:var x - Qz - Area
3	Qk	CDC=Qk - Fx urto 167 kN	Nodo: 12 Azione : Urto F=167 kN ed M=Fx1.00 - CN:Fx=-1.670e+04 My=-1.670e+06
4	Qk	CDC=Qk - Assi schema 2: 200x2 kN	D3 :da 65 a 72 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04
			D3 :da 73 a 712 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04
			D3 :da 776 a 784 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04
			D3 : 841 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04
			D3 :da 849 a 856 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04
			D3 :da 921 a 924 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04
			D3 :da 929 a 930 Azione : Schema 2 asse 200x2 kN - CGI:n. 2 FZ=-2.000e+04

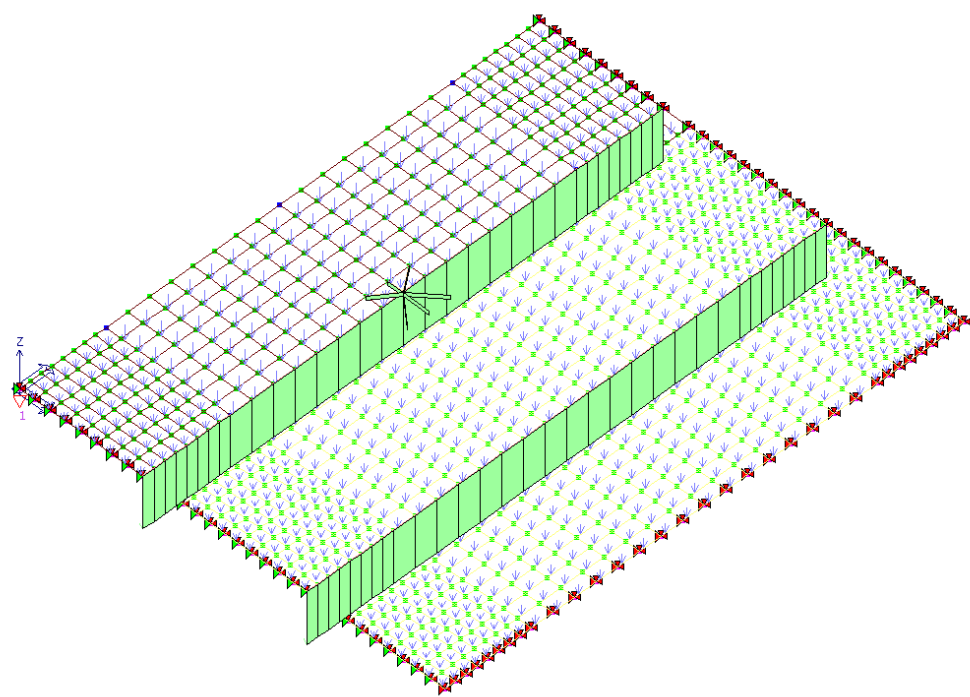
Combinazioni

Cmb	Tipo	Sigla Id	effetto P-delta
1	SLU	C01 SLU - Pp+Cp	
2	SLU	C02 SLU - Pp+Cp+Furto+Cacc	
3	SLU	C03 SLU ecc. - Pp+Cp+Furto+Cacc	
4	SLE(r)	C04 SLE rare - Pp+Cp+Furto+Cacc	
5	SLE(r)	C05 SLE rare ecc. - Pp+Cp+Furto+Cacc	
6	T.AMM.	C06 TA - Pp+Cp+Furto+Cacc	

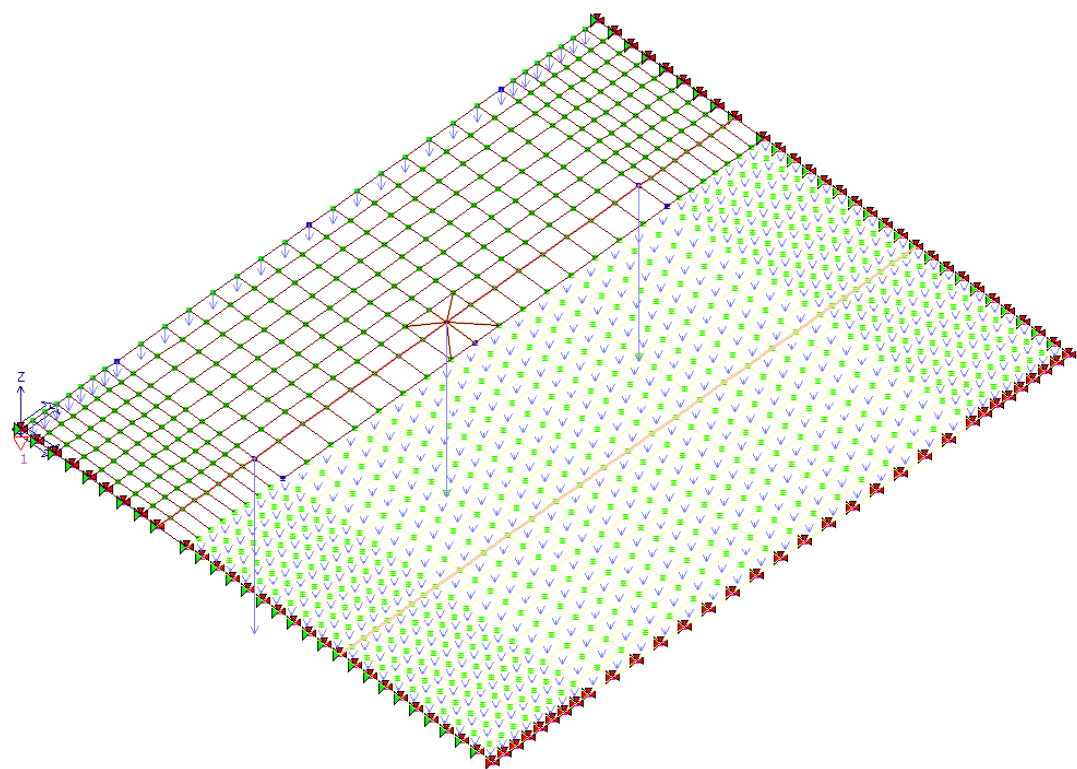
Cmb	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC
	1/15...	2/16...	3/17...	4/18...	5/19...	6/20...	7/21...	8/22...	9/23...	10/24...	11/25...	12/26...	13/27...	14/28...
1	1.35	1.35	0.0	0.0										
2	1.35	1.35	1.50	0.0										
3	1.00	1.00	1.00	0.20										
4	1.00	1.00	1.00	0.0										
5	1.00	1.00	1.00	0.20										
6	1.00	1.00	1.00	1.00										

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 177 di 193

Seguono i carichi applicati :

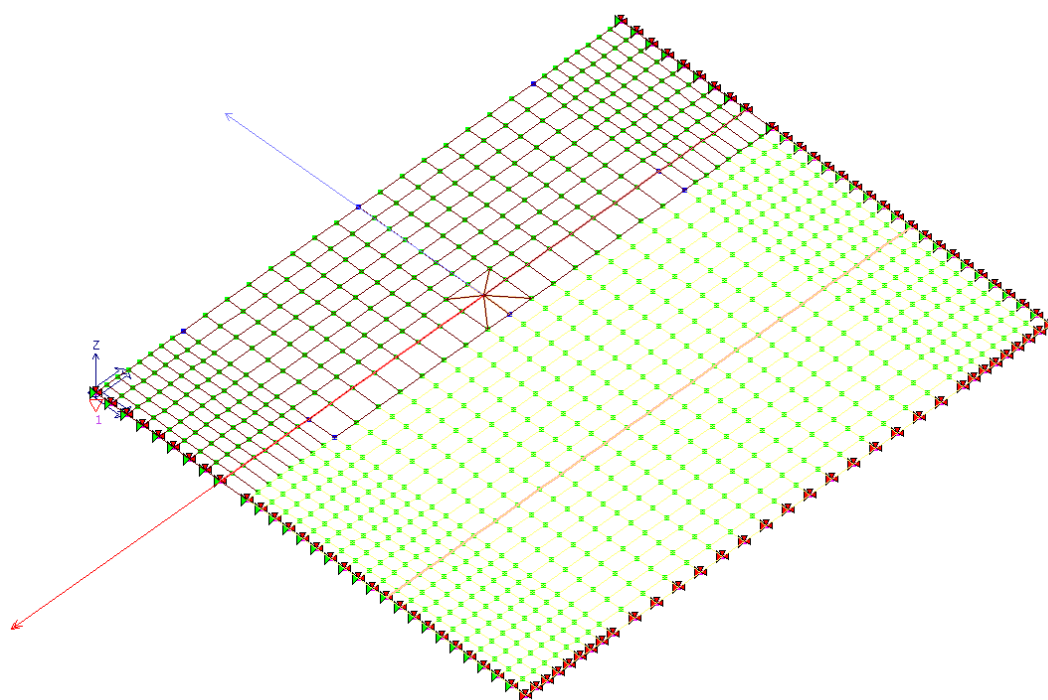


Pp

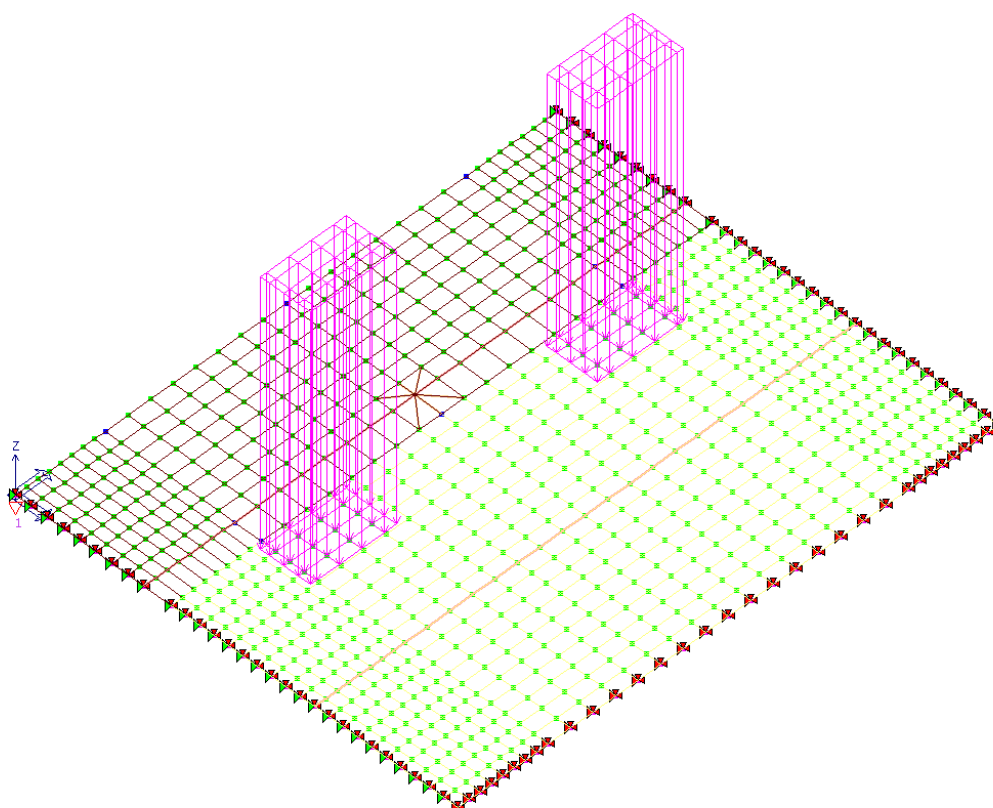


Cp (barriere, velette e sovrastruttura)

Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 178 di 193



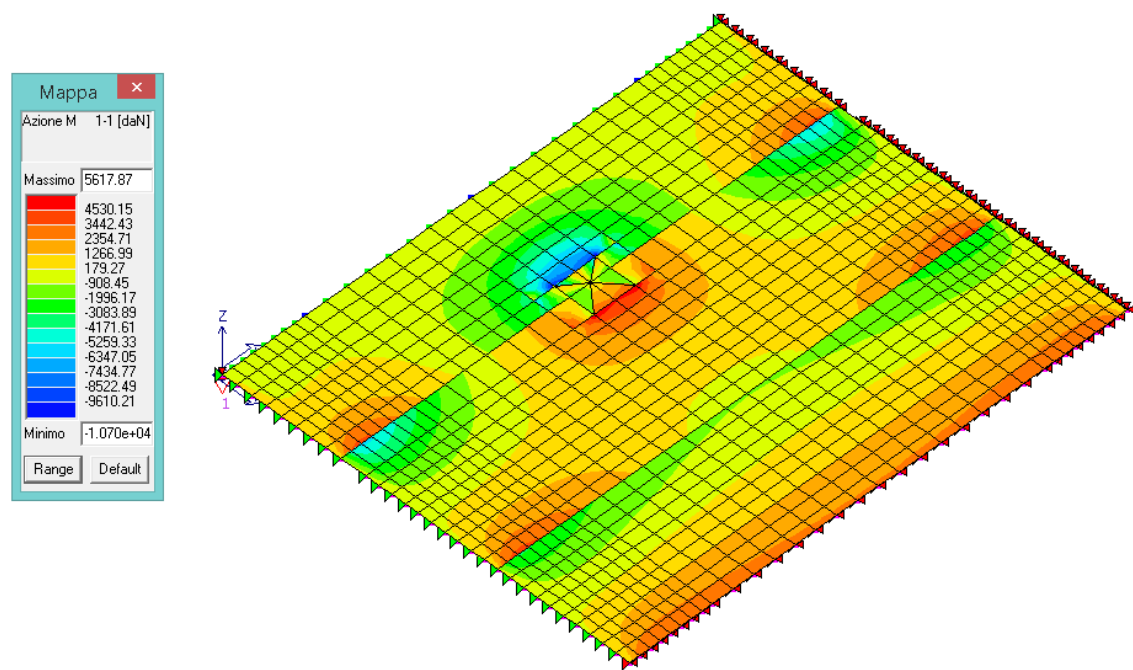
Urto barriera



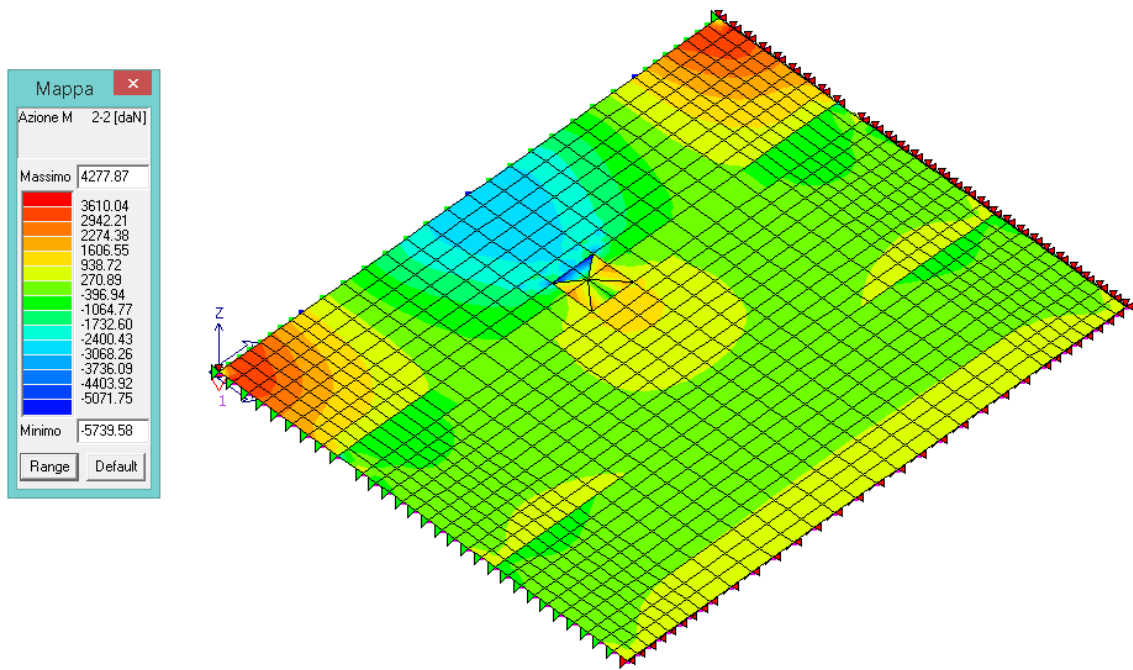
Schema 2 – Associato in posizione peggiore

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 179 di 193

Seguono le azioni interne massime:

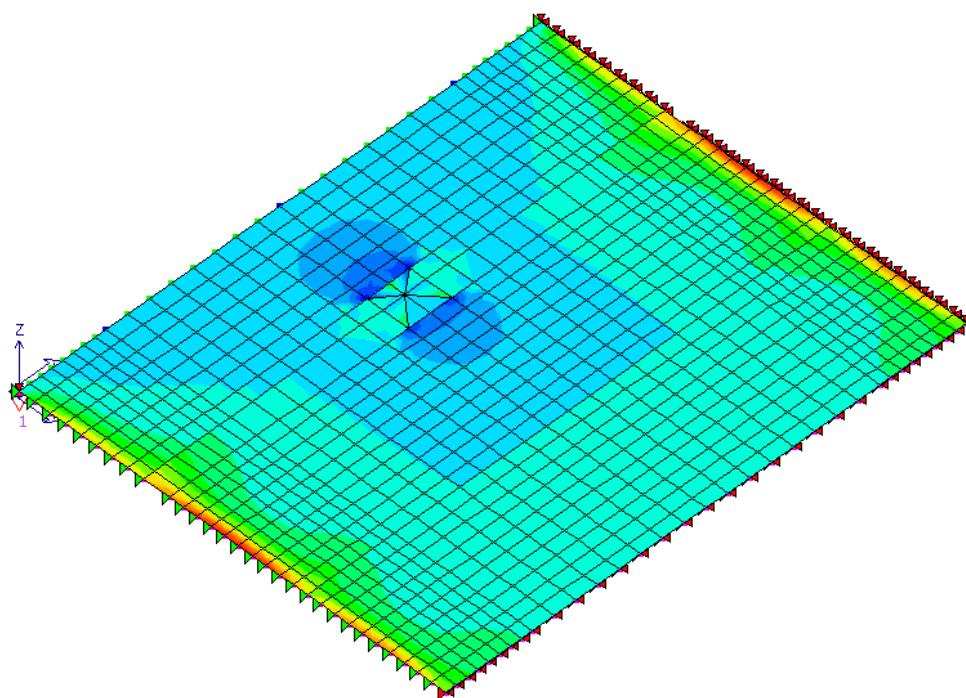
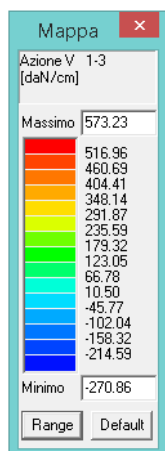


M1-1 (daNcm/cm)

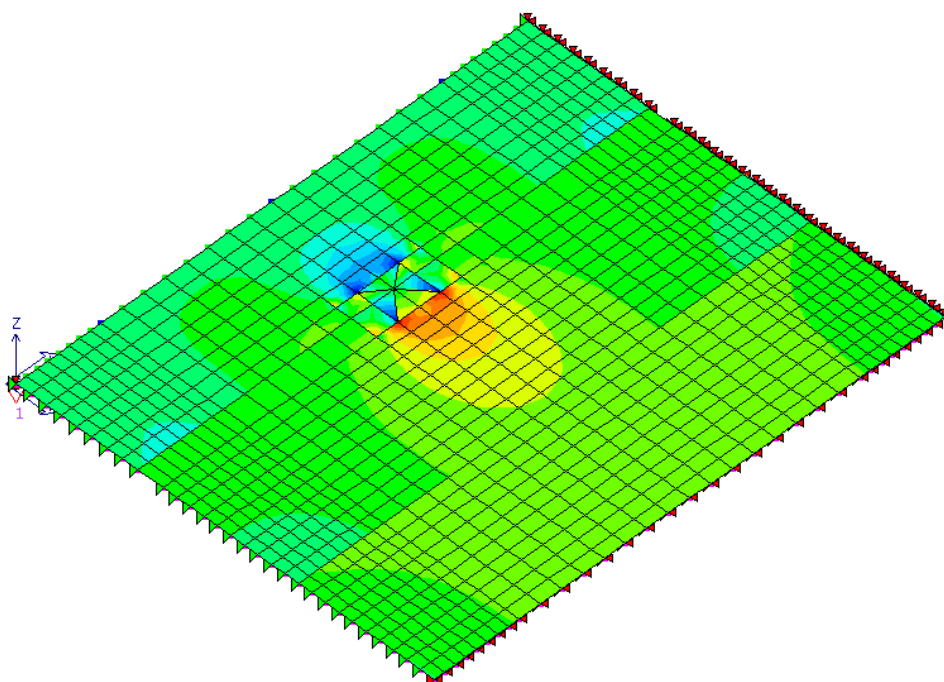
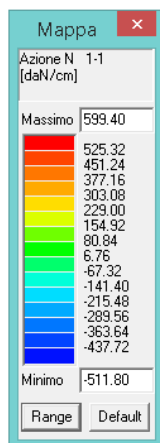


M2-2 (daNcm/cm)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 180 di 193



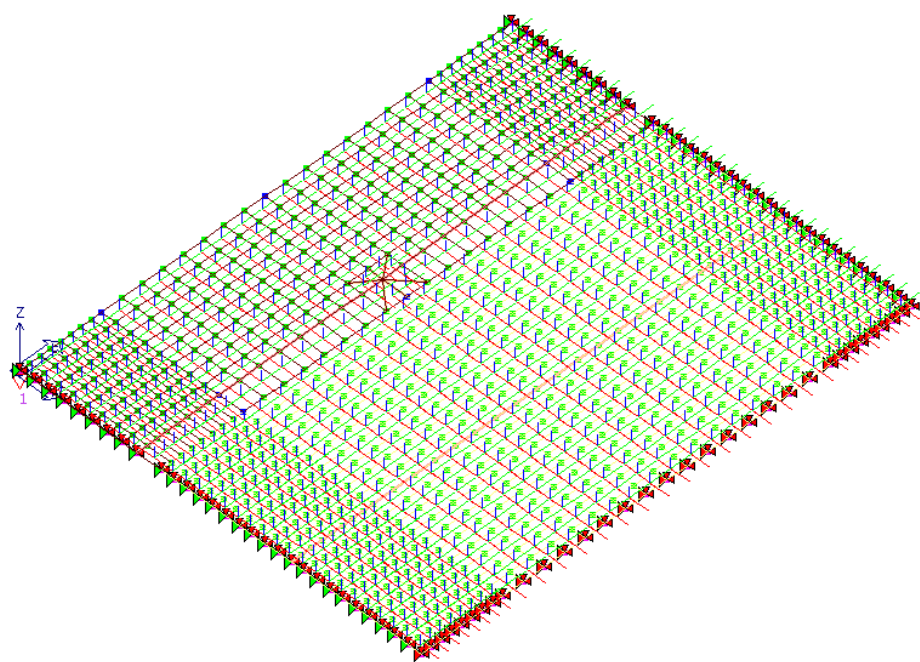
T1-3 (daN/cm)



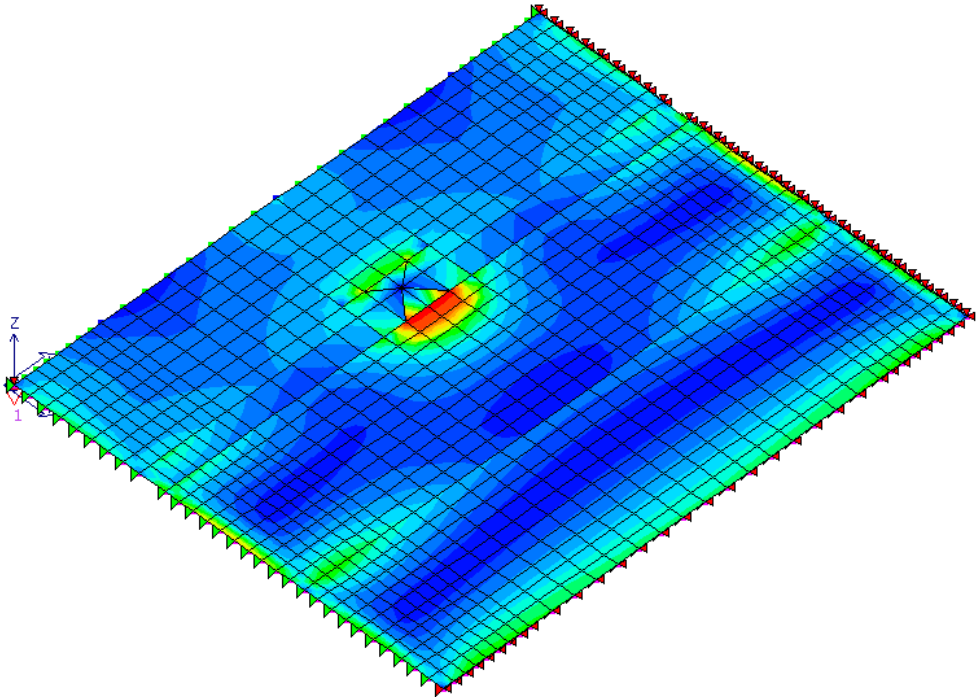
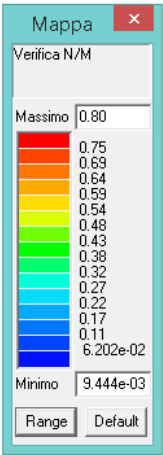
N1-1 (daN/cm)

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 181 di 193

Seguono le verifiche.

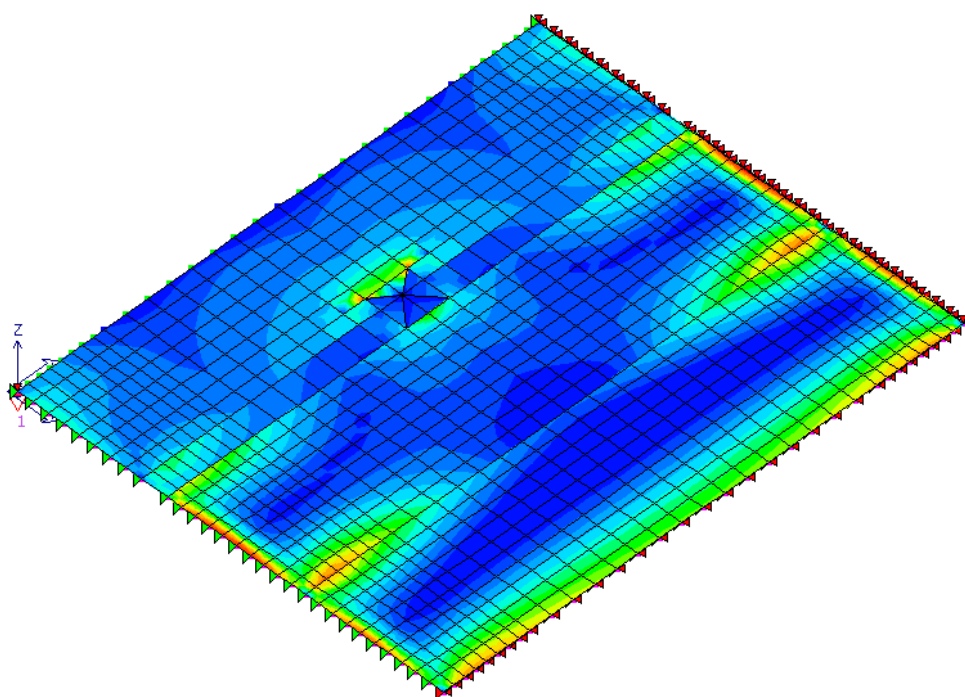
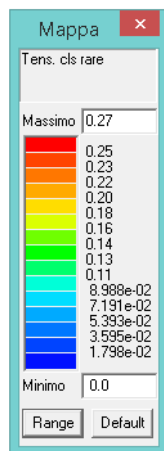


Disposizione armature (red=principale)

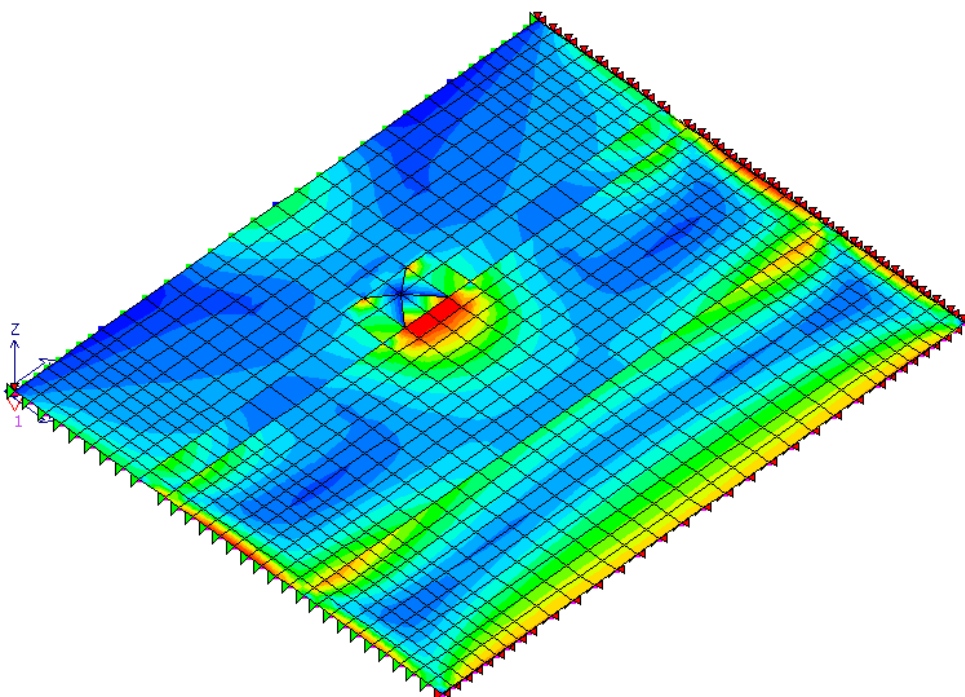
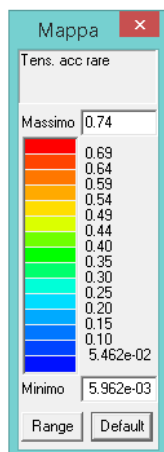


Verifica N/M SLU

Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 182 di 193

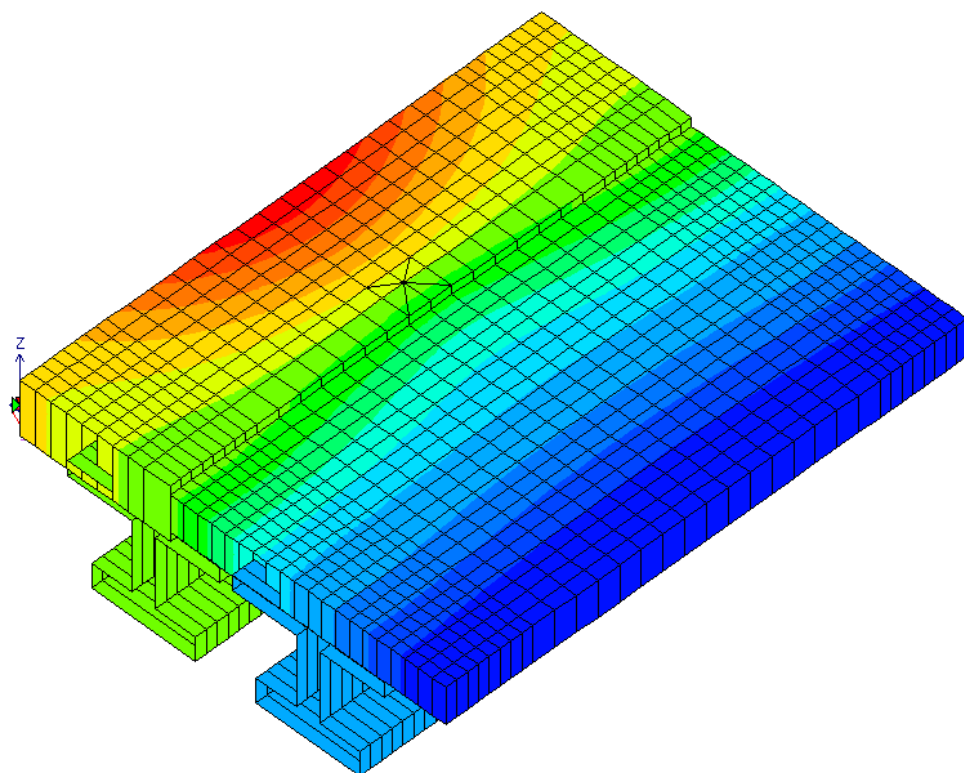
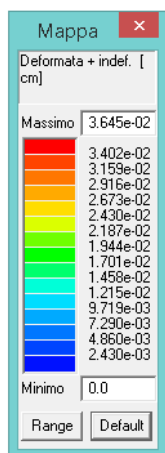


Verifica Tensioni CLS SLE rare



Verifica Tensioni Acciaio SLE rare

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 183 di 193



Verifica Deformate SLE rare (cm)

Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 184 di 193

19 VERIFICHE A FATICA

In base alle indicazioni contenute nel paragrafo P.5.1.4 e P.5.2.3 delle NTC'08 per opera stradale :

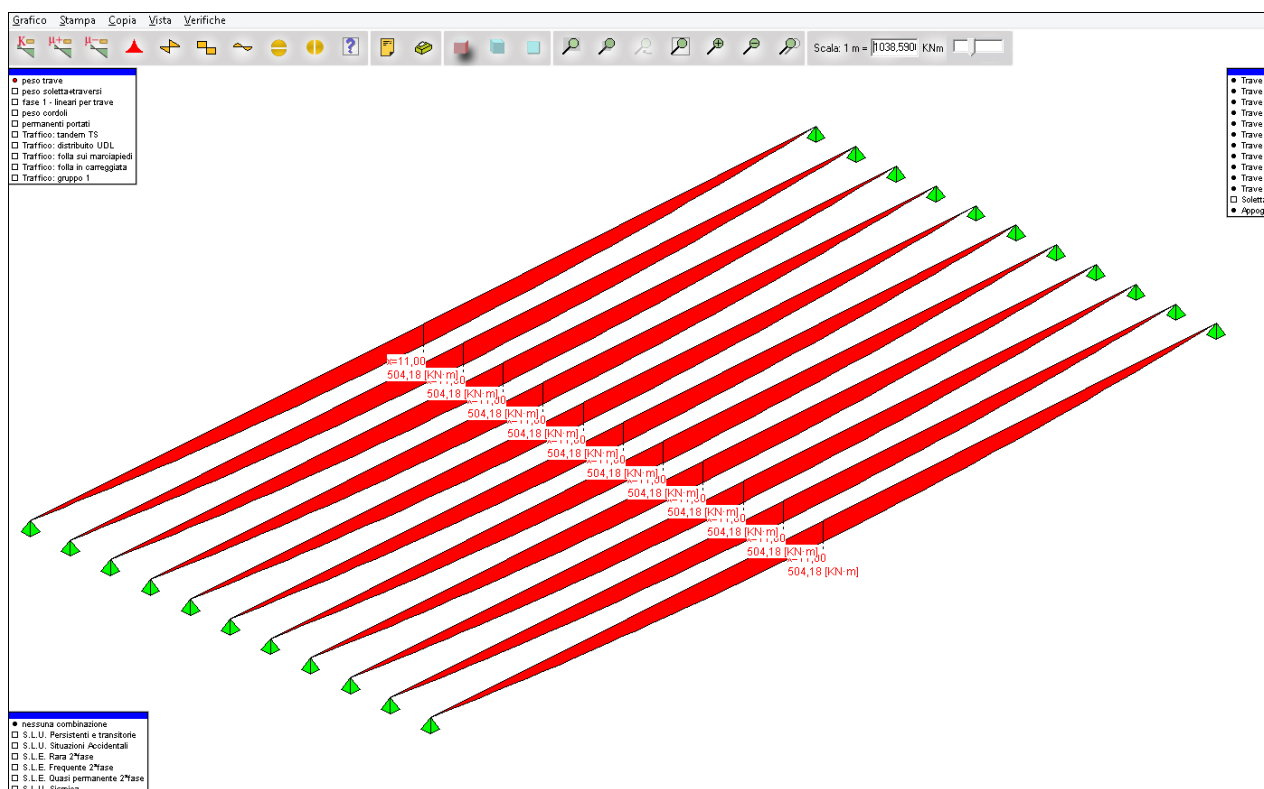
5.1.4.3 Verifiche allo stato limite di fatica

Per strutture, elementi strutturali e dettagli sensibili a fenomeni di fatica vanno eseguite opportune verifiche.

Le verifiche saranno condotte considerando spettri di carico differenziati, a seconda che si conduca una verifica per vita illimitata o una verifica a danneggiamento. In assenza di studi specifici, volti alla determinazione dell'effettivo spettro di carico che interessa il ponte, si potrà far riferimento ai modelli descritti nel seguito.

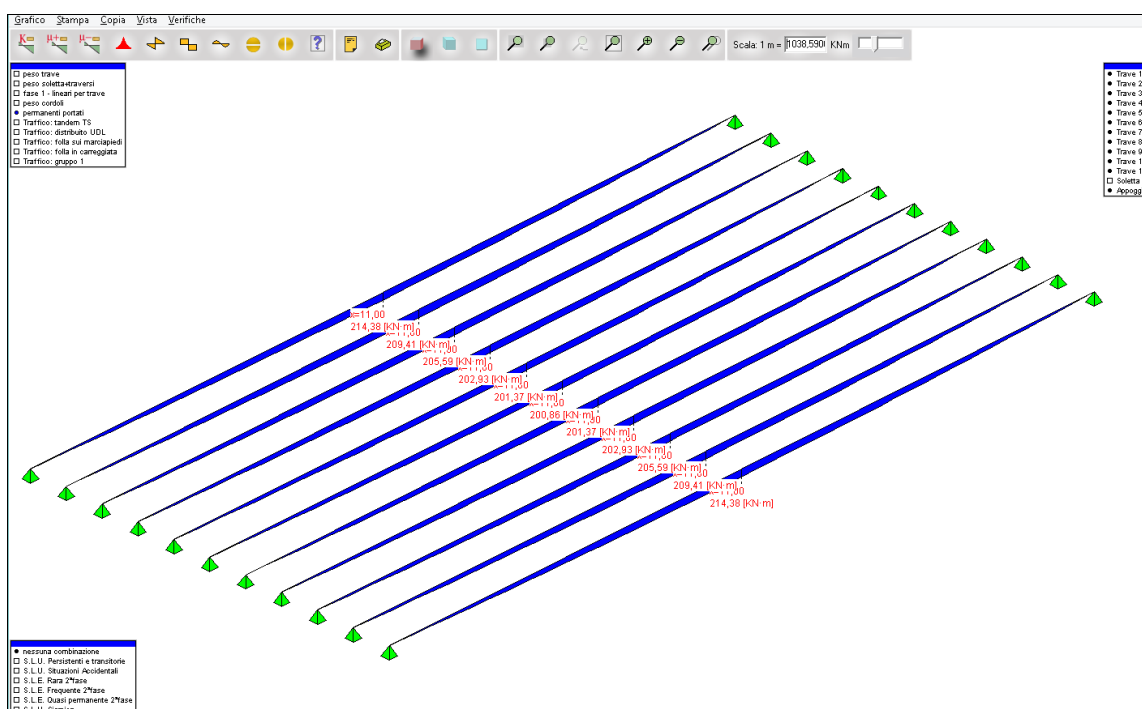
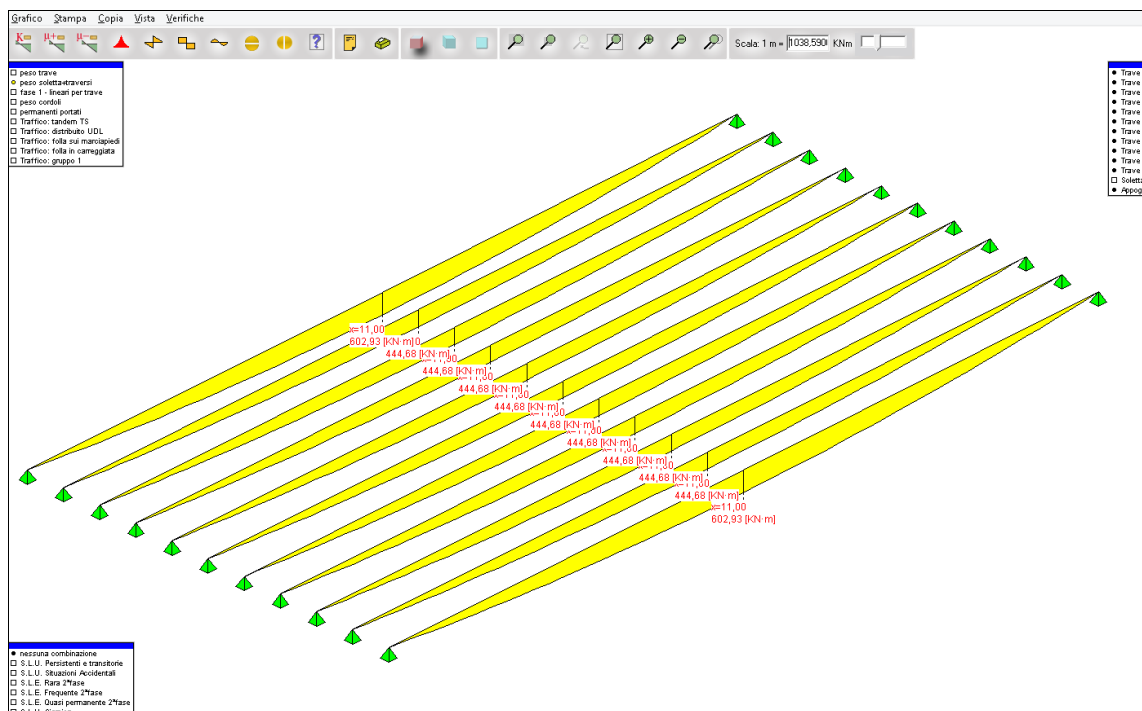
si ritiene che il fenomeno di tensioni variabili conseguenti a carichi ciclici (nel caso in oggetto per carichi da traffico) non è significativo trattandosi di strutture e dettagli costruttivi non sensibili a tale fenomeno in quanto le tensioni costanti derivanti da pesi propri e permanenti sono significative rispetto a quelle dei carichi accidentali e la struttura è massiccia ed isostatica (riducendo quindi il possibile verificarsi del fenomeno di inversione delle tensioni).

Si riportano i diagrammi dei momenti per i diversi casi di carico delle travi in c.a.p. a sostegno di quanto sopra espresso :



Momento da peso trave

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 185 di 193



Elaborato	Revisione		Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 186 di 193

20 VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Si ritiene, data la natura dei terreni e delle strutture in oggetto, che i terreni interessati dalle opere non siano sensibili al fenomeno della liquefazione.

Nello specifico, per il sottopasso di via Ca' Rossa, si considera:

Prova S4:

Falda = -6.30 m

Frazione limo-argillosa = 65 %

$a_{gmax} = 0.21 g$

N. colpi $SPT_{min} = 20$

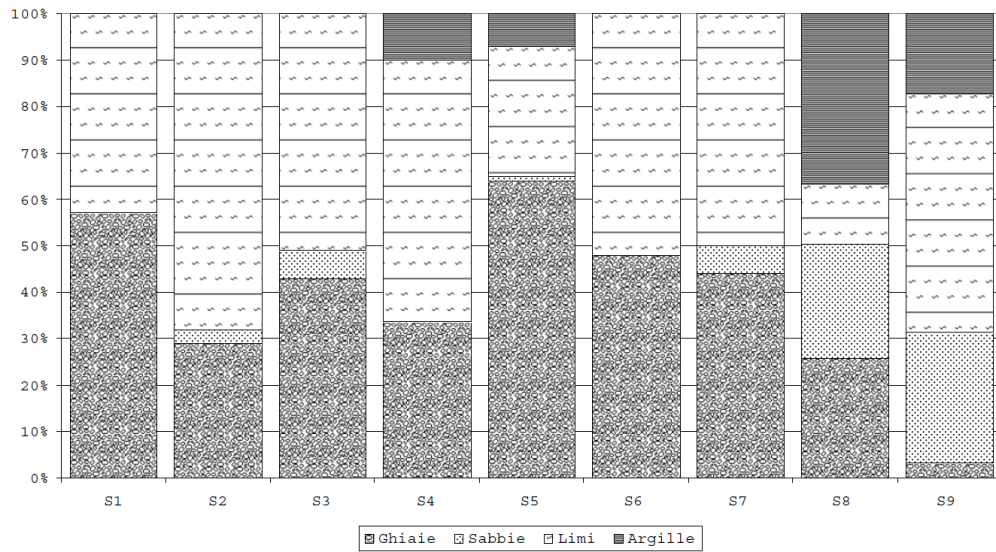
$\gamma_{terreno} = 19 \text{ kN/mc}$

CPTU n. 6 – SONDAGGIO n. 4 - OPERA E – scatolare sottopasso via Ca' Rossa

CPTU 6 – S4	falda a - 6,3 dal P.C.			
stratigrafia	Quota finale strato (m)	c_{u_k} (KN/m2)	$\gamma - \gamma_{sat}$ (KN/m3)	ϕ'_k
sabbia limosa	0,80	62,68	18,8	28,40
limo con argilla	2,00	188,48	20,2	29,70
limo argilloso	3,80	100,48	19,3	24,58
argilla limosa	5,00	75,24	19,5	21,29
limo argilloso	6,40	97,57	19,2	21,35
ghiaia media in matrice sabbiosa	8,40		19,4	29,95
argilla sabbiosa	9,00	91,90	20	20,24
argilla limosa con calcinelli	10,00	76,07	19,5	19,09
argilla limosa + calcinelli	10,80	62,99	19,2	17,89
limo debolmente sabbioso	11,80	30,53	18,4	14,81
limo argilloso	13,00	57,36	18,8	17,35
limo argilloso grigio	14,20	34,50	17,9	13,98
ghiaia sabbiosa	15,00		21,4	27,40
ghiaia media in matrice sabbiosa	16,30		20,6	31,91
limo con argilla	16,8	100,00	19,1	16
ghiaia in matrice sabbiosa	17,7		24,52	38,48
argilla limosa	18,1	110,00	19,6	15,6
ghiaia in matrice sabbiosa	18,4		23,4	36
limo con argilla	18,7	200,00	19,4	16,7
ghiaia media in matrice sabbiosa	19		23,7	35
limo con argilla	20	150,00	19,8	16,9

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 188 di 193

Distribuzione granulometrica



Dalla verifica secondo "Seed e Idriss" si ha:

Immissione Dati	
Profondità di calcolo (m)	15
Profondità della falda dal p. c. (m)	6.3
Peso di volume del terreno (γ_{mc})	19
Numero di colpi SPT o SCPT	20
Frazione argillosa (%)	65
Accelerazione sismica massima (g)	0.21

Calcola

Risultati	
Pressione totale del terreno (kg/cmq)	28,50
Pressione efficace del terreno (kg/cmq)	27,63
Fattore correttivo per la frazione argillosa (%)	10,50
Numero di colpi standard corretto Na	11,7001
Resistenza alla liquefazione (R)	0,1448
Sforzo di taglio normalizzato (T)	0,1091
Coefficiente di sicurezza ($F_s = R / T$)	1,3272
Il deposito non è liquefacibile	

Si conclude che i terreni interessati dalle opere non sono liquefacibili.

Elaborato	Revisione	Data	
Sottopasso di via Ca' Rossa	1		
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE			Pagina 189 di 193

21 VERIFICA DEL RISCHIO DI ACCOPPIAMENTO DELLE FREQUENZE TERRENO-STRUTTURA

In base alle indicazioni riportate nella relazione geologica allegata, in particolare al paragrafo P.7.5.8 si afferma che si devono valutare i possibili effetti di un accoppiamento delle frequenze sismiche di risonanza terreno-struttura. Tale ipotesi appare remota per le opere in oggetto presentando esse periodi propri con frequenze di un ordine di grandezza inferiore rispetto alla frequenza indicata dal geologo pari a circa 17 Hz.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 190 di 193

22 VERIFICHE CON METODI SEMPLIFICATI

Le verifiche a flessione e taglio dei cordoli in c.a. delle paratie, effettuate ai paragrafi 7.3.4, 8.3.4, 9.3.4, 10.3.4, sono da considerarsi analisi di comparazione dei risultati di verifica ottenuti con il codice di calcolo PARATIE PLUS 2012 e presentati negli stessi capitoli.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 191 di 193

23 DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2008 (PUNTO 10.2)

23.1 Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

23.1.1 Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo delle paratie viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno;
- Verifiche globali di stabilità complesso opera-terreno;
- Calcolo delle sollecitazioni nelle paratie, nei tiranti e nella trave di contrasto degli stessi;
- Verifiche delle sezioni di paratie, tiranti e travi di contrasto.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

23.1.2 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

- Titolo Paratie Plus 2012 - Analisi e Calcolo Paratie
- Versione 10.0.1.0
- Produttore CeAs srl, Milano (MI)

- Titolo SOFISTIK FEA
- Versione 2012
- Produttore Sofistik AG, Oberschleissheim, Germania.

Elaborato	Revisione	Data
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 192 di 193

23.1.3 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. Le società produttrici CeAs srl e Sofistik AG hanno verificato l'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

23.1.4 Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

23.1.5 Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

23.1.6 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

<i>Elaborato</i>	<i>Revisione</i>	<i>Data</i>
Sottopasso di via Ca' Rossa	1	
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		Pagina 193 di 193