

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
 Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
 Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
 e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
 1° stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

ing. VINCENZO MARZI
Ordine Ingegneri di Bari n. 3594

IL GEOLOGO

Geol. FRANCESCO MATALONI
Ordine Geologi del Lazio n. 725

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. GIOVANNI MAGARO
Ordine Architetti di Roma n. 16183

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Coor. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI

PROTOCOLLO

DATA:

OPERE D'ARTE MINORI

NUOVO TOMBINO SCATOLARE LATO UMBRIA

Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE				
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00TM01STRRE01_B						
L0702M	D	1801	CODICE ELAB.	T00	TM01	STR	RE01	B	varie
D									
C									
B	AGGIORNAMENTO			Luglio 19					
A	EMISSIONE			Giugno 2018					
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO			

INDICE		Pagina
1	INQUADRAMENTO GENERALE	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	6
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	9
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	10
3.1	CALCESTRUZZO	10
3.2	ACCIAIO PER ARMATURA LENTA	10
4	QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	11
5	MODELLO DI CALCOLO	13
6	ANALISI DEI CARICHI	16
6.1	PESI PROPRI STRUTTURALI	16
6.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI	16
6.3	SOVRACCARICHI VARIABILI SULLA COPERTURA	16
6.4	SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO	17
6.5	FRENATURA	18
6.6	AZIONE TERMICA	18
6.7	RITIRO	19
6.8	AZIONI SISMICHE	20
6.8.1	Forze sismiche orizzontali	20
6.8.2	Spinta del terreno in fase sismica	20
7	CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI	21
7.1	CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	21
7.2	COMBINAZIONI DI CARICO	21
8	SEZIONE APERTA AD "U" - CONCIO C	26
8.1	GEOMETRIA E CARICHI	27
8.2	SOLLECITAZIONI	31
8.3	VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE	33
8.3.1	Piedritto allo spiccato	33
8.3.2	Soletta inferiore all'appoggio	34
8.4	VERIFICHE A TAGLIO	35
8.4.1	Piedritto allo spiccato	35
8.4.2	Soletta inferiore all'appoggio	35

8.5	VERIFICHE DI FESSURAZIONE	36
8.5.1	Piedritto allo spiccato	36
8.5.2	Soletta inferiore all'appoggio	37
8.6	VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO	38
9	SEZIONE SCATOLARE CHIUSA - CONCIO 2	39
9.1	GEOMETRIA E CARICHI	40
9.2	SOLLECITAZIONI	47
9.3	VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE	49
9.3.1	Soletta superiore in campata	49
9.3.2	Soletta superiore all'appoggio	50
9.3.3	Piedritto allo spiccato	51
9.3.4	Piedritto in sommità	52
9.3.5	Soletta inferiore in campata	53
9.3.6	Soletta inferiore all'appoggio	54
9.4	VERIFICHE A TAGLIO	55
9.5	VERIFICHE DI FESSURAZIONE	56
9.5.1	Soletta superiore in campata	56
9.5.2	Soletta superiore all'appoggio	57
9.5.3	Piedritto allo spiccato	58
9.5.4	Piedritto in sommità	59
9.5.5	Soletta inferiore in campata	60
9.5.6	Soletta inferiore all'appoggio	61
9.5.7	Riepilogo fessurazione	62
9.6	VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO	62
10	SEZIONE SCATOLARE CHIUSA - CONCIO 4	64
10.1	GEOMETRIA E CARICHI	65
10.2	SOLLECITAZIONI	72
10.3	VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE	74
10.3.1	Soletta superiore in campata	74
10.3.2	Soletta superiore all'appoggio	75
10.3.3	Piedritto allo spiccato	76
10.3.4	Piedritto in sommità	77
10.3.5	Soletta inferiore in campata	78
10.3.6	Soletta inferiore all'appoggio	79
10.4	VERIFICHE A TAGLIO	80
10.5	VERIFICHE DI FESSURAZIONE	81
10.5.1	Soletta superiore in campata	81
10.5.2	Soletta superiore all'appoggio	82
10.5.3	Piedritto allo spiccato	83
10.5.4	Piedritto in sommità	84
10.5.5	Soletta inferiore in campata	85
10.5.6	Soletta inferiore all'appoggio	86
10.5.7	Riepilogo fessurazione	87

10.6	VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO	87
11	SEZIONE SCATOLARE CHIUSA CON FOSSO DI GUARDIA - CONCIO 4	89
11.1	GEOMETRIA E CARICHI	90
11.2	SOLLECITAZIONI	98
11.3	VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE	100
11.3.1	Soletta superiore in campata	100
11.3.2	Soletta superiore all'appoggio	101
11.3.3	Piedritto allo spiccato	102
11.3.4	Piedritto in sommità	103
11.3.5	Soletta inferiore in campata	104
11.3.6	Soletta inferiore all'appoggio	105
11.4	VERIFICHE A TAGLIO	106
11.5	VERIFICHE DI FESSURAZIONE	107
11.5.1	Soletta superiore in campata	107
11.5.2	Soletta superiore all'appoggio	108
11.5.3	Piedritto allo spiccato	109
11.5.4	Piedritto in sommità	110
11.5.5	Soletta inferiore in campata	111
11.5.6	Soletta inferiore all'appoggio	112
11.5.7	Riepilogo fessurazione	113
11.6	VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO	113

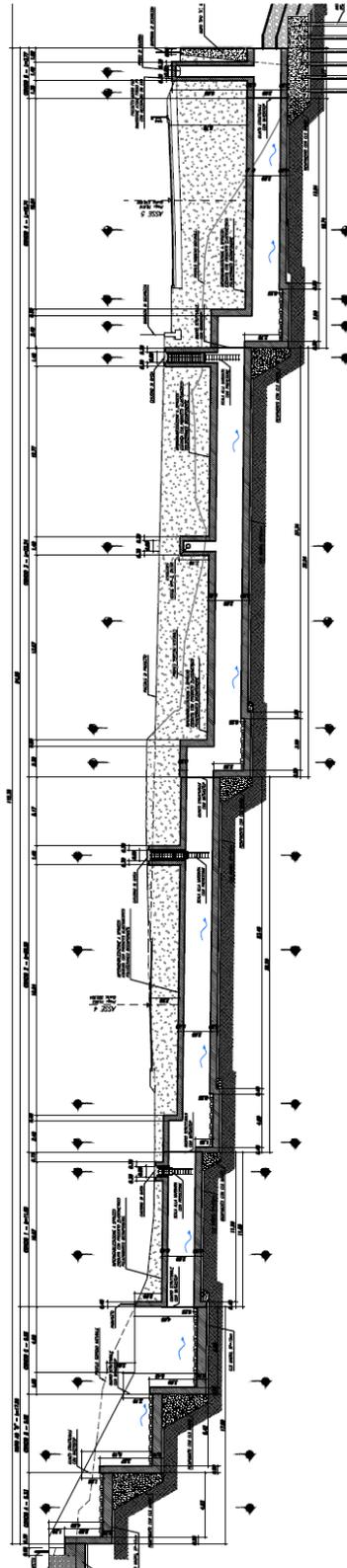


Figura 2: Profilo longitudinale tombino

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Oggetto della presente relazione di calcolo è il nuovo tombino scatolare posto all'ingresso della Galleria Lato Umbria. Il tombino è realizzato con una struttura in c.a. avente lunghezza totale di circa 112 m, di cui i primi 18 m presentano una sezione aperta di larghezza netta pari a 3.00 m (muri ad "U"), mentre la restante parte ha sezione scatolare chiusa di 3.00x2.00 m.

In base agli elaborati di progetto sono state individuate e verificate le seguenti sezioni significative, che rappresentano le condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per le diverse porzioni di struttura:

- Sezione aperta ad "U" 300x465 cm (Concio C). Manufatto aperto, interrato e soggetto alla spinta del terreno e del sovraccarico permanente equivalente all'altezza di terreno al di sopra della sommità del muro;
- Sezione scatolare chiusa 300x200 cm (Concio 2). Scatolare in c.a. ricadente al di sotto del tracciato stradale (Asse 4), con ricoprimento di 2.00 m;
- Sezione scatolare chiusa 300x200 cm (Concio 4). Scatolare in c.a. ricadente al di sotto del tracciato stradale (Asse 5), con ricoprimento di 5.75 m;
- Sezione scatolare chiusa 300x200 cm con fosso di guardia (Concio 4). Scatolare in c.a. con ricoprimento di 5.60 m e fosso di guardia di sezione 80x80 cm.

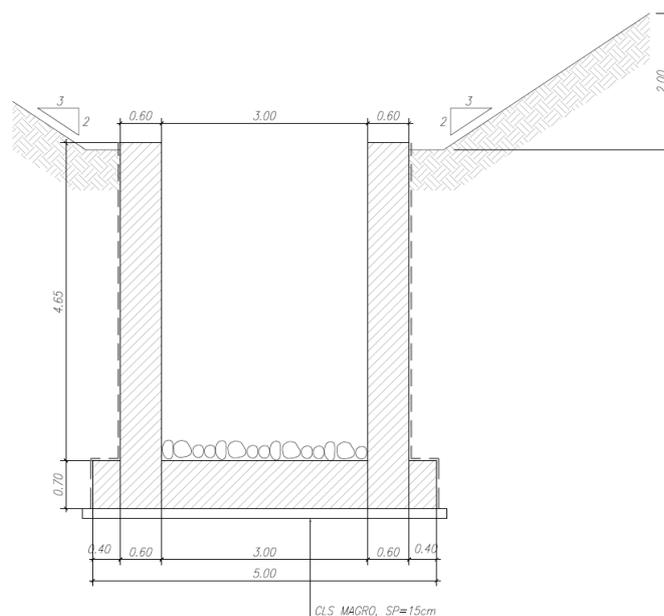


Figura 3: Sezione aperta ad "U" 300x465 cm – Concio C

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

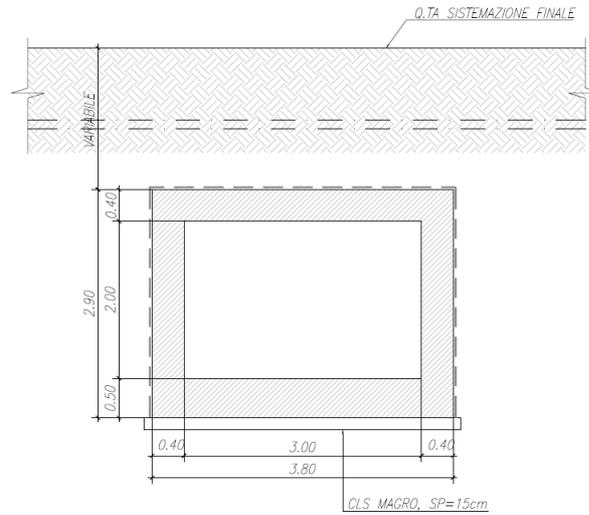


Figura 4: Sezione scatolare chiusa 300x200 cm – Concio 2

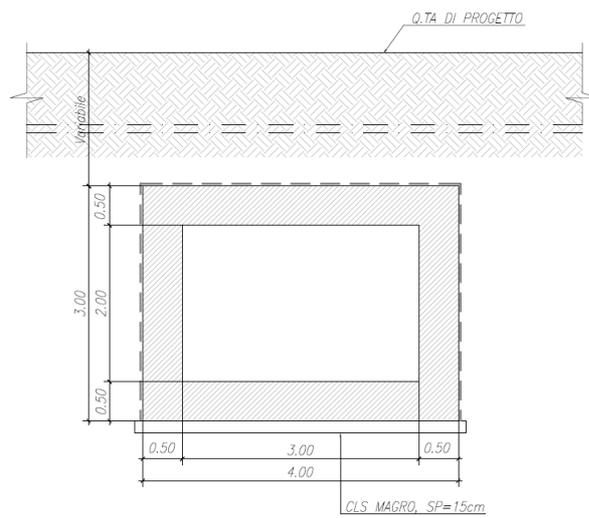


Figura 5: Sezione scatolare chiusa 300x200 cm – Concio 4

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

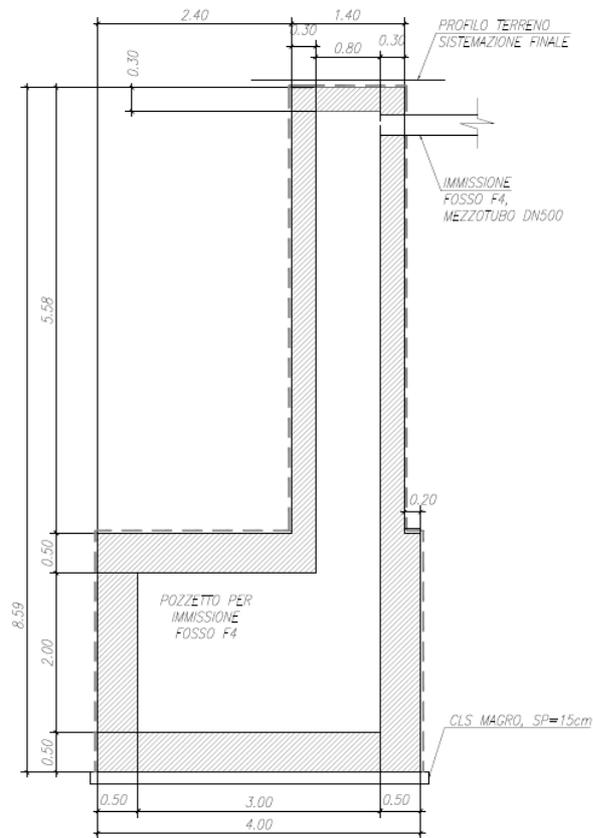


Figura 6: Scatolare chiuso 300x200 cm con fosso di guardia – Concio 4

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Nella progettazione sono state prese in considerazione le normative di seguito riportate:

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Decreto del ministero dei Lavori Pubblici 9 gennaio 1996 - Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 15 Ottobre 1996, n. 252 AA.GG/STC -Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al decreto ministeriale del 9 Gennaio 1996».
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 4 luglio 1996, n. 156 AA.GG/STC – Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.
- Legge 5 febbraio 1974, n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 24 settembre 1988 – Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.
- Decreto Ministero Infrastrutture 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 02 febbraio 2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Decreto Ministero Infrastrutture 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 21 gennaio 2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- Eurocodici UNI EN 1990:2006; UNI EN 1991; UNI EN 1992; UNI EN 1997; UNI EN 1998.
- Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità (UNI EN 206-1:2006).

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO

La classe di esposizione prevista per l'opera risulta XC2/XC4, per la quale è richiesta una classe di resistenza minima del calcestruzzo C30/37.

Il copriferro minimo prescritto è pari a 40 mm.

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005		
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	37 [MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	30 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1.5 [-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0.85 [-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	38 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2.9 [MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	2.0 [MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3.8 [MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	32837 [MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0.0020 [-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0.0035 [-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	17.00 [MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1.35 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	18 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	13.5 [MPa]

3.2 ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005		
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1.15 [-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000 [MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0.001957 [-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0.01 [-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391.3 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360 [MPa]

4 QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Sulla base dei dati sintetizzati nella “Relazione Geotecnica Generale” allegata al progetto, ed in riferimento ai terreni tipo ivi caratterizzati e alle ricostruzioni stratigrafiche eseguite nella medesima relazione e nel profilo geotecnico, in corrispondenza del tombino di interesse le indagini hanno riscontrato la presenza in affioramento della formazione marnoso-arenacea (unità geotecnica FMA), che costituisce il substrato flyschoidale dell’area.

La formazione è presente sotto forma di alternanze decimetriche di marne compatte e arenarie fini dure, con preponderanza della componente pelitica. L’analisi delle carote del sondaggio ha evidenziato per l’indice di recupero percentuale modificato di carotaggio RQD valori compresi in media fra 60% e 100%.

Il modello stratigrafico di riferimento è più compiutamente ricostruibile sulla base della seguente sezione, redatta lungo l’asse del tracciato, che conferma la presenza nel volume “significativo” dell’opera (volume di terreno che influenza il comportamento dell’opera e dal quale l’opera ne risulta a sua volta influenzata), in pratica, del solo flysch marnoso-arenaceo.

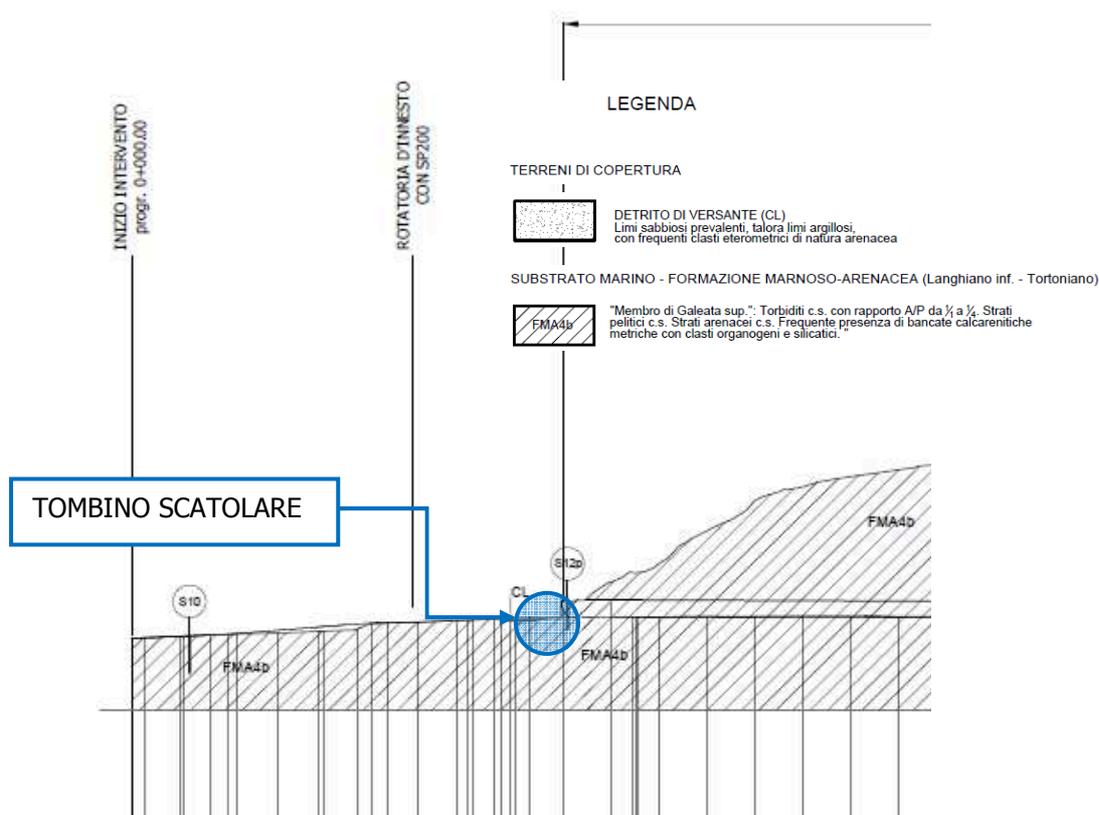


Figura 7 – Collegamento lato Umbria: sezione stratigrafica lungo l’asse stradale.

Per il flysch marnoso-arenaceo FMA vengono di seguito riepilogati gli intervalli di variazione dei parametri fisico-meccanici definiti nell’apposita sezione di caratterizzazione geotecnica contenuta nella “Relazione Geotecnica Generale”:

- Peso specifico terreno $\gamma = 21.0 \div 23.0 \text{ kN/m}^3$
- Angolo attrito interno $\phi' = 35 \div 45^\circ$

- Coesione efficace $c' = 100 \div 200$ kPa

Il tombino è inoltre interessato dal materiale con cui viene rinfiancata/rinterrata superiormente l'opera, costituito da materiale arido selezionato/misto cementato a seconda dei casi, opportunamente rullati e compattati.

Per il materiale di rinfianco/rinterro possono prudenzialmente adottarsi i seguenti parametri geotecnici:

- Peso specifico terreno $\gamma = 21.0$ kN/m³
- Angolo attrito interno $\phi' = 35^\circ$
- Coesione efficace $c' = 0$

In definitiva, per semplicità e a vantaggio di sicurezza, ai fini del dimensionamento geotecnico i terreni di imposta e di rinfianco sono stati accorpati nella medesima unità geotecnica.

I relativi parametri geotecnici considerati sono i seguenti:

- Peso specifico terreno $\gamma = 21.0$ kN/m³
- Angolo attrito interno $\phi' = 35^\circ$
- Coesione efficace $c' = 0$

Nei calcoli successivi si assume inoltre:

$K_w = 25000$ kN/m³ coefficiente di sottofondo alla Winkler

Come analizzato nella Relazione Geotecnica, inoltre, in rapporto alla litostratigrafia marnoso-arenacea a prevalente componente pelitica, si esclude che le opere in progetto possano intercettare orizzonti idrici significativamente in rete.

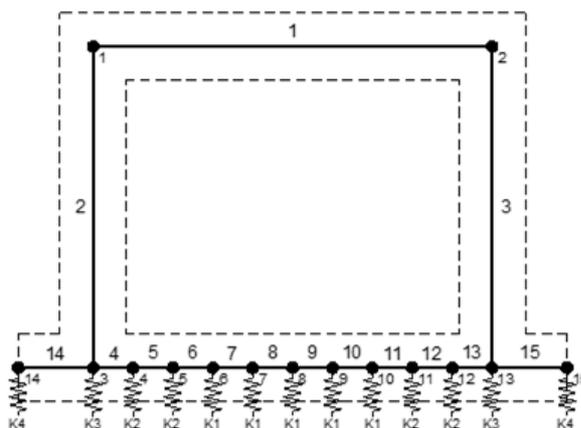
Pertanto, non è presente una falda lateralmente continua e, dunque, nelle verifiche non viene modellata una superficie piezometrica.

5 MODELLO DI CALCOLO

Come modello di calcolo si è assunto lo schema statico di telaio chiuso per le sezioni scatolari ed aperto per i muri ad "U", risolto attraverso un'analisi elastico-lineare mediante il programma di calcolo agli elementi finiti "CsiBridge" della *Computer and Structures Inc.*

Tale telaio viene discretizzato con elementi "frame" di larghezza unitaria, mentre il suolo viene modellato facendo ricorso all'usuale artificio delle molle elastiche alla Winkler. La soletta inferiore è divisa in 12 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno struttura:

Terreno di fondazione	Kw		25000	kN/m ³
Rigidezze molle				
Interasse molle	i	$(0.60/2 + 3.00 + 0.60/2) / 10 =$	0.36	m
Molle centrali	K1	$25000 \cdot 0.36 =$	9'000	kN/m
Molle intermedie	K2	$1.5 \cdot 25000 \cdot 0.36 =$	13'500	kN/m
Molle laterali	K3	$2.0 \cdot 25000 \cdot (0.36/2 + 0.60/2) =$	24'000	kN/m
Molle risolto	K4	$1.5 \cdot 25000 \cdot 0.40 =$	15'000	kN/m



Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle seguenti figure, rispettivamente per la sezione aperta e quella chiusa.

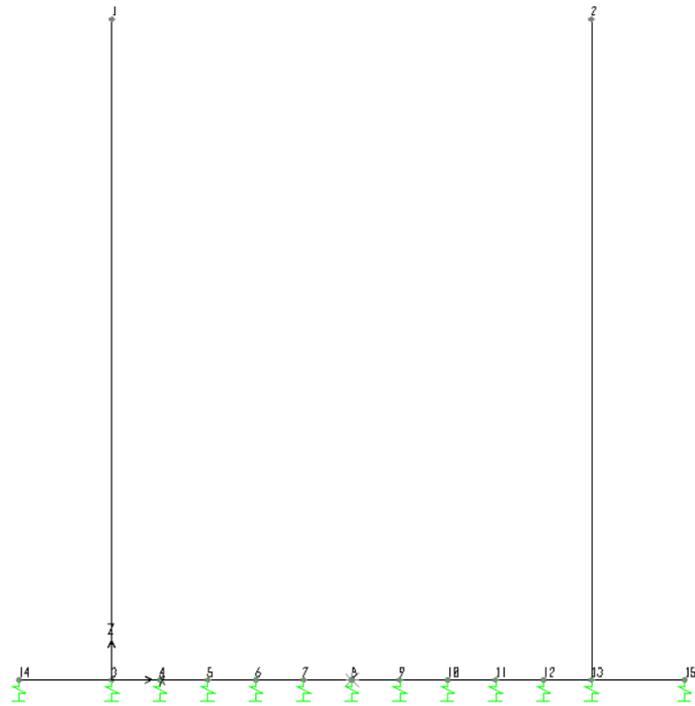


Figura 8: Numerazione nodi – Sezione aperta ad "U"

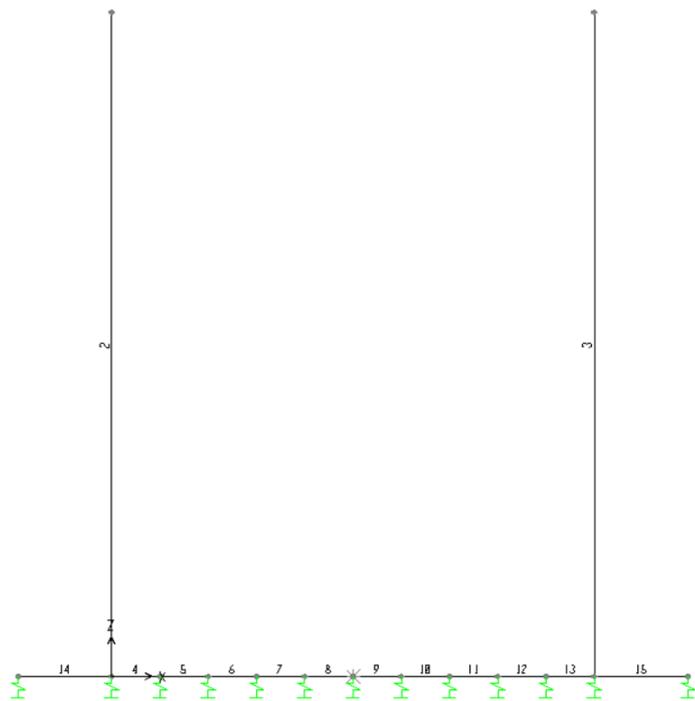


Figura 9: Numerazione aste – Sezione aperta ad "U"

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

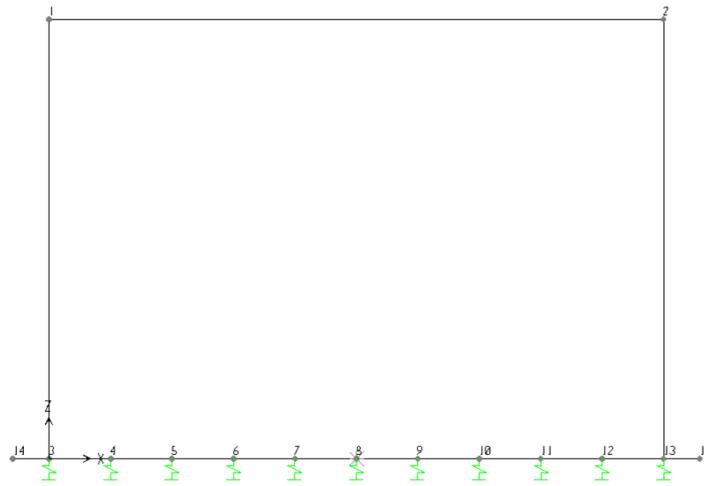


Figura 10: Numerazione nodi – Sezione scatolare chiusa

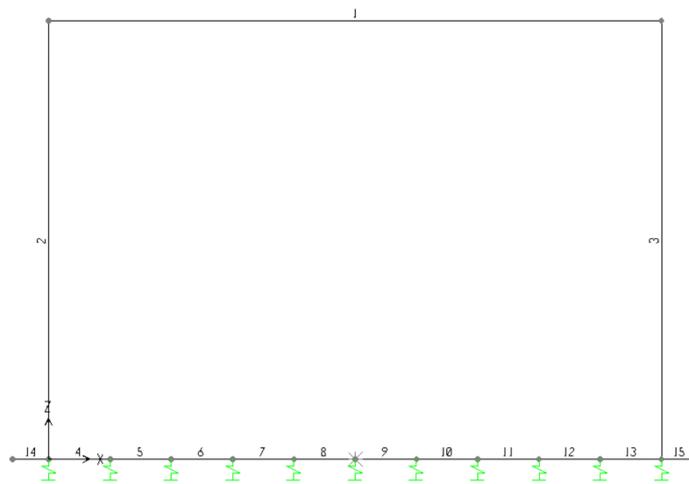


Figura 11: Numerazione aste – Sezione scatolare chiusa

6 ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi agenti è di seguito condotta sulla base delle prescrizioni di norma (D.M. 17-01-2018) e dell'effettiva destinazione e geometria dell'opera oggetto della presente relazione.

Per una descrizione dettagliata dei carichi considerati per le diverse sezioni trasversali analizzate si rimanda ai paragrafi specifici di ciascuna sezione.

6.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

Il peso proprio della struttura in c.a. è computato automaticamente dal software di calcolo considerando per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a $\gamma=25.0 \text{ kN/m}^3$.

6.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti sono rappresentati dal rinterro e dalla pavimentazione stradale, per i quali si assume un peso specifico pari a:

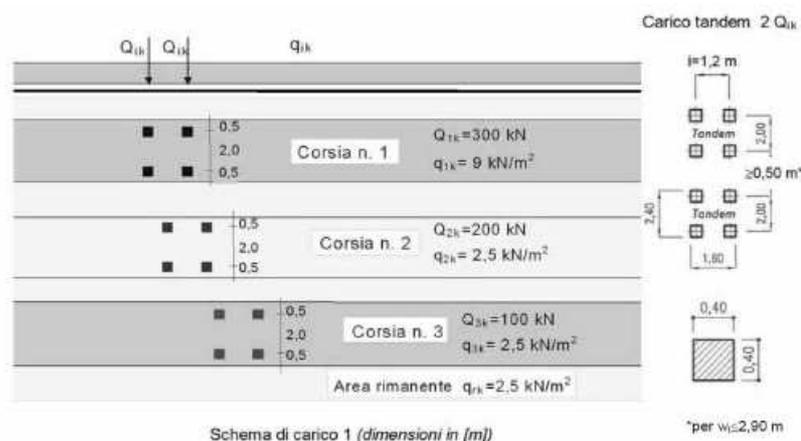
$$\text{rinterro} \quad \gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{pavimentazione} \quad \gamma = 24.0 \text{ kN/m}^3$$

6.3 SOVRACCARICHI VARIABILI SULLA COPERTURA

Si considerano agenti sul rinterro al di sopra della copertura i carichi stradali da traffico definiti dal cap. 5 delle NTC.

In particolare, secondo quanto specificato al par. C5.1.3.3.5.1 della Circolare n.7 del 2019, si applica lo schema di carico 1 in cui, per semplicità, i carichi tandem sono sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare larga 3.00 m e lunga 2.20 m.



L'asse stradale risulta ortogonale all'asse del tombino ed i carichi da traffico vengono diffusi verticalmente sia in direzione longitudinale che trasversale dal piano stradale sino al piano medio della soletta superiore.

Si assume una diffusione del carico nel terreno con angolo di 30° , ed attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta secondo un angolo di 45° .

Indicando rispettivamente con L_{d1} ed L_{d2} i lati dell'impronta del carico diffuso rispettivamente in direzione longitudinale e trasversale, poiché in direzione trasversale si ha sovrapposizione delle impronte di carico delle corsie 1 e 2, si considera un carico distribuito pari a:

$$q = 2 \cdot (Q_{k1} + Q_{k2}) / (L_{d1} + L_{d2}) = (600 + 400) / (L_{d1} + L_{d2})$$

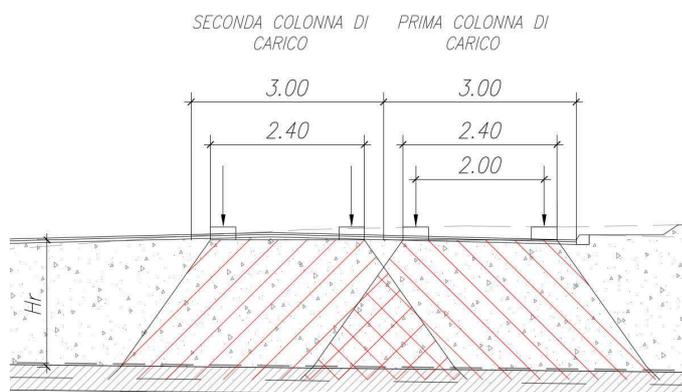


Figura 12: Diffusione trasversale del carico mobile

Si prendono in considerazione due differenti disposizioni dei carichi mobili, tali da massimizzare rispettivamente la sollecitazione flettente ed il taglio sul trasverso.

6.4 SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo, assumendo condizioni di spinta bilanciata (spinta SX ed DX sfavorevoli) e sbilanciata (spinta SX favorevole e DX sfavorevole) sui piedritti al fine di massimizzare le sollecitazioni.

Il coefficiente di spinta a riposo K_0 e la pressione orizzontale $p(z)$ alla generica quota z sono espressi dalle relazioni:

$$K_0 = 1 - \text{sen}\varphi$$

$$p(z) = K_0 \cdot \gamma \cdot z + K_0 \cdot q$$

dove:

γ = peso specifico del terreno di rinfianco

q = sovraccarico sul terrapieno

Sul rilevato ai lati delle sezioni scatolari si considera un sovraccarico accidentale stradale $q=20 \text{ kN/m}^2$, mentre per quanto riguarda i muri ad "U" si assume un sovraccarico permanente equivalente all'altezza di terreno al di sopra della sommità del muro (fig. 12):

$$q = h_{\text{med}} \cdot \gamma_t \approx 1.0 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^3 = 21 \text{ kN/m}^3$$

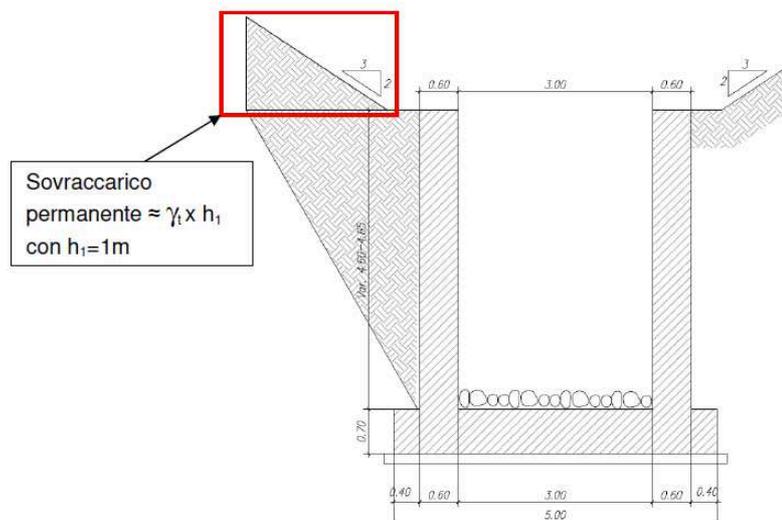


Figura 13: Muri ad "U" - Sovraccarico permanente equivalente

6.5 FRENATURA

La forza di frenamento q_3 è valutata con la formulazione fornita al par. 5.1.3.5 delle NTC.

Tale azione viene applicata alla soletta superiore dello scatolare, distribuendo il valore del carico frenante sulla larghezza di diffusione in direzione trasversale.

6.6 AZIONE TERMICA

Si considerano una variazione termica uniforme ed una differenziale applicate alla soletta superiore, di seguito valutate.

Variazioni termiche		
Zona termica		III
Quota del suolo sul livello del mare	a_s	580 m
Temperatura massima dell'aria all'ombra	T_{max}	41.8 °C
Temperatura minima dell'aria all'ombra	T_{min}	-12.1 °C
Variazione termica uniforme		
Temperatura interna scatolare - Estate	$T_{in,sum}$	31 °C
Temperatura interna scatolare - Inverno	$T_{in,win}$	6 °C
Profondità sotto la quota campagna		maggiore di 1m
Temperatura indicativa esterna - Estate	$T_{out,sum}$	5 °C
Temperatura indicativa esterna - Inverno	$T_{out,win}$	-3 °C
Temperatura media attuale	T	18.0 °C
Temperatura iniziale	T_0	10 °C
Variazione termica uniforme calcolata	$\Delta t_{u,calc}$	8.0 °C
Variazione termica uniforme assunta	ΔT_u	10 °C

Variazione termica differenziale

Variazione termica differenziale calcolata	$\Delta t_{M,calc}$	25.9 °C
Variazione termica differenziale assunta	Δt_M	30 °C
Variazione termica a farfalla equivalente	$\pm \Delta T$	15 °C

6.7 RITIRO

Si considera una variazione termica uniforme equivalente applicata al traverso, di seguito calcolata.

Ritiro della soletta

<i>Deformazione da ritiro</i>		
Spessore soletta superiore	h_{sol}	40 cm
Resistenza caratteristica cubica del cls	R_{ck}	37 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica del cls	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza media a compressione del cls	f_{cm}	38.71 N/mm ²
Tipo di cemento		N
Coefficienti dipendenti dal tipo di cemento	α_{ds1}	4
	α_{ds2}	0.12
Umidità relativa	RH	70 %
Coefficiente per umidità relativa	β_{RH}	1.018
Deformazione base per ritiro da essiccamento	ϵ_{cd0}	0.000359
Area della sezione trasversale di cls	A_c	400000 mm ²
Perimetro della sezione esposto all'aria	u	2000 mm
Dimensione fittizia della sezione	h_0	400.00 mm
Valore di k_h per interpolazione lineare	k_h	0.725
Età del cls al momento considerato	t	20833 gg
Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento	t_s	1 gg
Coefficiente dipendente dal tempo	$\beta_{ds}(t;t_s)$	0.985
Deformazione per ritiro da essiccamento	$\epsilon_{cd}(t)$	0.000256
Coefficiente dipendente dal tempo	$\beta_{as}(t)$	1.00
Deformazione da ritiro autogeno	$\epsilon_{ca}(t)$	0.000052
Deformazione totale da ritiro calcolata	$\epsilon_{cs}(t)$	0.000308
Deformazione totale da ritiro assunta	ϵ_{cs}	0.0003
Variazione termica equivalente al ritiro ($E_c/3$)	ΔT_r	-10 °C

6.8 AZIONI SISMICHE

In merito alle opere interrato di cui trattasi, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno (par. 7.9.2.1), si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica un comportamento elastico, senza subire amplificazione dell'accelerazione al suolo.

6.8.1 Forze sismiche orizzontali

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico, con cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g$$

con $\beta_m = 1.0$ per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Sisma orizzontale

Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV
Vita nominale	Vr		50 anni
Classe d'uso	Cu		IV
accelerazione orizzontale	a_g/g		0.288
amplificazione spettrale	Fo		2.397
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	B
Coeff. Amplificazione stratigrafica	Ss		1.124
Coeff. Amplificazione topografica	St		1.2
Coefficiente S	S	=Ss · St	1.349
accelerazione orizzontale max	a_{max}/g	= $a_g/g \cdot S$	0.388
Fattore di struttura	q		1.00

6.8.2 Spinta del terreno in fase sismica

L'incremento dinamico di spinta del terreno è calcolato adottando la trattazione di Wood valida per opere che subiscono piccoli spostamenti, che va a sommarsi alle all'azione statica valutata in condizioni di spinta a riposo.

Si assume che tale incremento sia applicato a metà altezza dello scatolare.

7 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

7.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

PERM	Carichi permanenti (pavimentazione + rinterro)
Q1k-M	Carico accid. Q1k sul solettone di copertura (disposizione per Mmax)
Q1k-T	Carico accid. Q1k sul solettone di copertura (disposizione per Vmax)
Q2	Carico acc. q1k sul solettone di copertura (disposizione per Vmax)
Q3	Frenamento
SPTSX	Spinta del terreno sulla parete SX
SPTDX	Spinta del terreno sulla parete DX
SPACCSX	Spinta del carico accid. sulla parete SX
SPACCDX	Spinta del carico accid. sulla parete DX
TERM	Variazione termica uniforme e a farfalla sul solettone sup.
RITIRO	Variazione termica equivalente al ritiro sul solettone sup.
SISMAH	Azione sismica (forze d'inerzia)
SPSDX	Incremento sismico della spinta del terreno sulla parete DX

7.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Le condizioni di carico di cui al paragrafo precedente sono state combinate secondo quanto indicato dalle norme tecniche sulle costruzioni NTC18:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

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

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

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

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si considerano le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV delle NTC.

La Tab. 5.1.V fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

I valori dei coefficienti ψ per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti pedonali
(**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
(***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	γ_{e2} , γ_{e3} , γ_{e4}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	–	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Si riportano a seguire le combinazioni di carico utilizzate ai fini del calcolo della struttura in oggetto.

- Sezioni scatolari chiuse

Gruppo	N	PERM	Q1k-M	Q1k-T	Q2	Q3	SPTSX	SPTDX	SPACCSX	SPACCDX	TERM	RITIRO	SISMAH	SPSDX	
S 1-	11M 01	01S1-11M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S 1-	11T 02	02S1-11T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S 1-	12M 03	03S1-12M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	12T 04	04S1-12T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	13M 05	05S1-13M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	13T 06	06S1-13T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	14- 07	07S1-14-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	15- 08	08S1-15-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	21M 09	09S1-21M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S 1-	21T 10	10S1-21T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S 1-	22M 11	11S1-22M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	22T 12	12S1-22T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	23M 13	13S1-23M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	23T 14	14S1-23T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	24- 15	15S1-24-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	-0.9	1.2	0	0

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO-FANO – Tratto Selici Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (Lotto 2) e del tratto Guinza-Mercatello Ovest (Lotto 3) – 1° Stralcio
PROGETTO DEFINITIVO

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

S	1-	25-	16	16S1-25-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	1.35	-0.9	1.2	0	0
S	1T	11M	17	17S1T11M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S	1T	11T	18	18S1T11T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S	1T	12M	19	19S1T12M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	12T	20	20S1T12T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	13M	21	21S1T13M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	13T	22	22S1T13T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	14-	23	23S1T14-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	15-	24	24S1T15-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	21M	25	25S1T21M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	1T	21T	26	26S1T21T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	1T	22M	27	27S1T22M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	22T	28	28S1T22T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	23M	29	29S1T23M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	23T	30	30S1T23T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	24-	31	31S1T24-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	25-	32	32S1T25-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2-	11M	33	33S2-11M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S	2-	11T	34	34S2-11T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S	2-	12M	35	35S2-12M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	12T	36	36S2-12T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	13M	37	37S2-13M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	13T	38	38S2-13T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	21M	39	39S2-21M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S	2-	21T	40	40S2-21T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S	2-	22M	41	41S2-22M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2-	22T	42	42S2-22T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2-	23M	43	43S2-23M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2-	23T	44	44S2-23T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2T	11M	45	45S2T11M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S	2T	11T	46	46S2T11T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S	2T	12M	47	47S2T12M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	12T	48	48S2T12T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	13M	49	49S2T13M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	13T	50	50S2T13T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	21M	51	51S2T21M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	2T	21T	52	52S2T21T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	2T	22M	53	53S2T22M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2T	22T	54	54S2T22T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2T	23M	55	55S2T23M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO-FANO – Tratto Selici Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (Lotto 2) e del tratto Guinza-Mercatello Ovest (Lotto 3) – 1° Stralcio
PROGETTO DEFINITIVO

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

S	2T	23T	56	56S2T23T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	ED	1-	57	57SED1-	1	0.2	0	0.2	0	0.7	1	0	0	0.5	0	1	1
S	ED	2-	58	58SED2-	1	0.2	0	0.2	0	0.7	1	0	0	-0.5	1	1	1
Q	1-	11-	59	59Q1-11-	1	0	0	0	0	0.7	0.7	0	0	0.5	0	0	0
Q	1-	12-	60	60Q1-12-	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0	0
Q	1-	13-	61	61Q1-13-	1	0	0	0	0	0.7	1	0	0	0.5	0	0	0
Q	1-	21-	62	62Q1-21-	1	0	0	0	0	0.7	0.7	0	0	-0.5	1	0	0
Q	1-	22-	63	63Q1-22-	1	0	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	0	0
Q	1-	23-	64	64Q1-23-	1	0	0	0	0	0.7	1	0	0	-0.5	1	0	0
F	1-	11M	65	65F1-11M	1	0.75	0	0.4	0	0.7	0.7	0	0	0.5	0	0	0
F	1-	11T	66	66F1-11T	1	0	0.75	0.4	0	0.7	0.7	0	0	0.5	0	0	0
F	1-	12M	67	67F1-12M	1	0.75	0	0.4	0	1	1	0.4	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	12T	68	68F1-12T	1	0	0.75	0.4	0	1	1	0.4	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	13M	69	69F1-13M	1	0.75	0	0.4	0	0.7	1	0	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	13T	70	70F1-13T	1	0	0.75	0.4	0	0.7	1	0	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	14-	71	71F1-14-	1	0	0	0	0	1	1	0.4	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	15-	72	72F1-15-	1	0	0	0	0	0.7	1	0	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	21M	73	73F1-21M	1	0.75	0	0.4	0	0.7	0.7	0	0	-0.5	1	0	0
F	1-	21T	74	74F1-21T	1	0	0.75	0.4	0	0.7	0.7	0	0	-0.5	1	0	0
F	1-	22M	75	75F1-22M	1	0.75	0	0.4	0	1	1	0.4	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	22T	76	76F1-22T	1	0	0.75	0.4	0	1	1	0.4	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	23M	77	77F1-23M	1	0.75	0	0.4	0	0.7	1	0	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	23T	78	78F1-23T	1	0	0.75	0.4	0	0.7	1	0	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	24-	79	79F1-24-	1	0	0	0	0	1	1	0.4	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	25-	80	80F1-25-	1	0	0	0	0	0.7	1	0	0.4	-0.5	1	0	0

• *Sezioni aperte ad "U"*

Gruppo	N	PERM	Q1k-M	Q1k-T	Q2	Q3	SPTSX	SPTDX	SPACCSX	SPACCDX	TERM	RITIRO	SISMAH	SPSDX
S	1-	11M	01	01S1-11M	1.35		1.00	1.00	0	0			0	0
S	1-	11T	02	02S1-11T	1.35		1.35	1.35	1.35	1.35			0	0
S	1-	12M	03	03S1-12M	1.35		1	1.35	0	1.35			0	0
S	ED	1-	57	57SED1-	1		1	1	1	1			1	1
S	ED	2-	58	58SED2-	1		0.7	1	0	1			1	1
Q	1-	11-	59	59Q1-11-	1		0.7	0.7	0	0			0	0
Q	1-	12-	60	60Q1-12-	1		1	1	1	1			0	0
Q	1-	13-	61	61Q1-13-	1		0.7	1	0	1			0	0
F	1-	11M	65	65F1-11M	1		0.7	0.7	0	0			0	0
F	1-	11T	66	66F1-11T	1		1	1	1	1			0	0
F	1-	12M	67	67F1-12M	1		0.7	1	0	1			0	0

8 SEZIONE APERTA AD "U" - CONCIO C

Il muro ad "U" è composto da tre conci di seguito mostrati in dettaglio. Ai fini del calcolo si prende in considerazione il solo Concio C, ovvero quello con piedritti di maggiore altezza, estendendo i risultati anche ai restanti due (A e B).

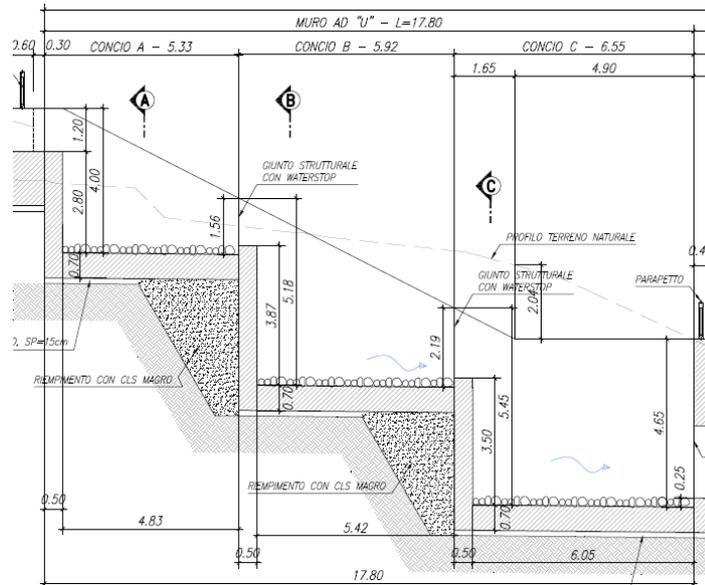


Figura 14: Profilo longitudinale muro ad "U" – Conci A-B-C

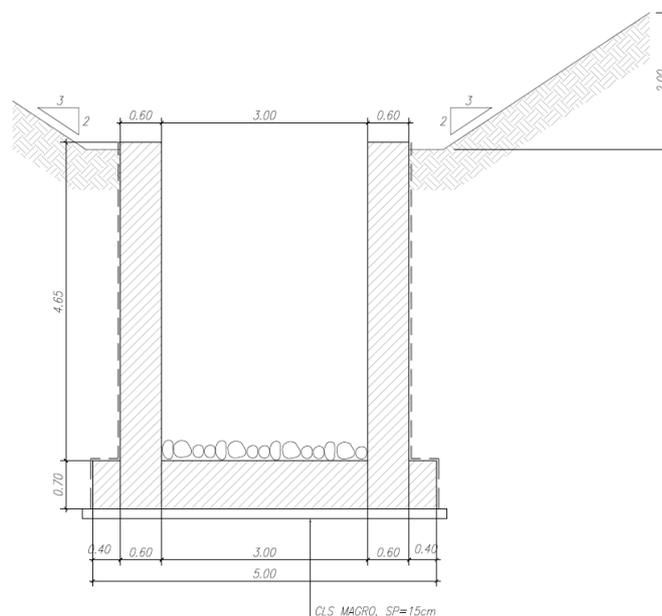


Figura 15: Sezione trasversale muro ad "U" – Concio C

8.1 GEOMETRIA E CARICHI

Si riportano di seguito i parametri di progetto, la geometria ed i carichi agenti per la sezione in esame.

Caratteristiche materiali e terreno

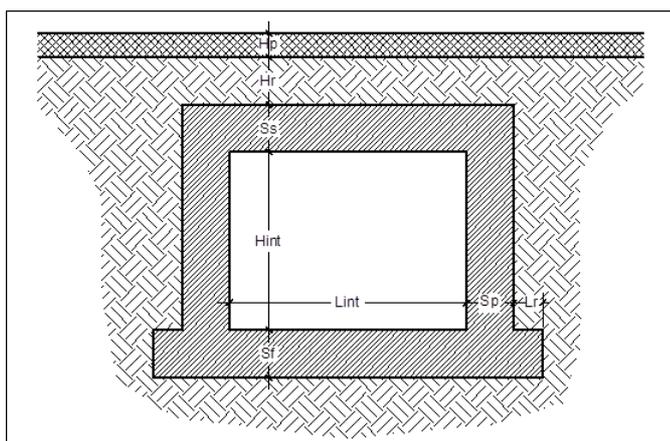
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ	25	kN/m^3
Calcestruzzo armato - Tipo		C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}	37	N/mm^2
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}	31	N/mm^2
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E	33000	N/mm^2
Pacchetto stradale - Peso specifico	γ	24	kN/m^3
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ	21	kN/m^3
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ	35	$^\circ$
Terreno di fondazione	K_w	25000	kN/m^3
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione		ordinarie	

Ricoprimento

Spessore pacchetto stradale	H_p	0.00	m
Spessore del rinterro	H_r	0.00	m

Geometria

Spessore soletta superiore	S_s	0.00	m
Spessore soletta di fondazione	S_f	0.70	m
Spessore piedritti	S_p	0.60	m
Altezza netta	H_{int}	4.65	m
Larghezza netta	L_{int}	3.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L_r	0.40	m



Carichi permanenti

Soletta superiore			
Peso pacchetto stradale	P_s	$0.00 \cdot 24 =$	0.00 kN/m^2
Peso del rinterro	P_r	$0.00 \cdot 21 =$	0.00 kN/m^2
Totale			0.00 kN/m^2

Risvolti soletta inferiore

Peso pacchetto stradale	Ps	$0.00 \cdot 24 =$	0.00	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	$(0.00+0.00+4.65) \cdot 21 =$	97.67	kN/m ²
Totale			97.67	kN/m²

Spinta del terreno

K0		$1 - \text{sen}(35^\circ) =$	0.426	
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.426 \cdot 0.00 =$	0.00	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.426 \cdot (0.00 + 21 \cdot 0.00/2) =$	0.00	kN/m²
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.426 \cdot [0.00 + 21 \cdot (0.00/2 + 4.65 + 0.70/2)] =$	44.78	kN/m²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.426 \cdot [0.00 + 21 \cdot (0.00/2 + 4.65 + 0.70)] =$	47.92	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(0.00+0.00)/2 \cdot 0.00/2$	0.00	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(44.78+47.92)/2 \cdot 0.70/2$	16.22	kN/m

Spinta del sovraccarico permanente

Spinta dovuta a q = 21 kN/m ²	p	$0.426 \cdot 21$	8.95	kN/m²
--	---	------------------	-------------	-------------------------

Sisma orizzontale

Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV	
Vita nominale	Vr		50	anni
Classe d'uso	Cu		IV	
accelerazione orizzontale	a _g /g		0.288	
amplificazione spettrale	Fo		2.397	
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	B	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	Ss		1.124	
Coeff. Amplificazione topografica	St		1.2	
Coefficiente S	S	=Ss · St	1.349	
accelerazione orizzontale max	a _{max} /g	=a _g /g · S	0.388	
Fattore di struttura	q		1.00	
Forza orizz. sul s. di cop. dovuta a perm+0.2acc.	FHs	$0.388 \cdot (0.00 \cdot 25 + 0.00 + 0.2 \cdot 0.00) / 1.00 =$	0.01	kN/m²
Forza orizz. sui piedritti	FHp	$0.388 \cdot (0.60 \cdot 25) / 1.00 =$	5.83	kN/m²

Spinta del terreno in fase sismica (Wood)

Coefficiente sismico orizzontale	k _h	=a _{max} /g	0.388	
Coefficiente sismico verticale	k _v	= ±0.5 · k _h	0.194	
Risultante della spinta sismica	ΔS _E	= (a _{max} /g) · γ · (Hint+Ss+Sf) ²	233.55	kN/m
Pressione risultante	Δp _E	= ΔS _E / H	43.65	kN/m²

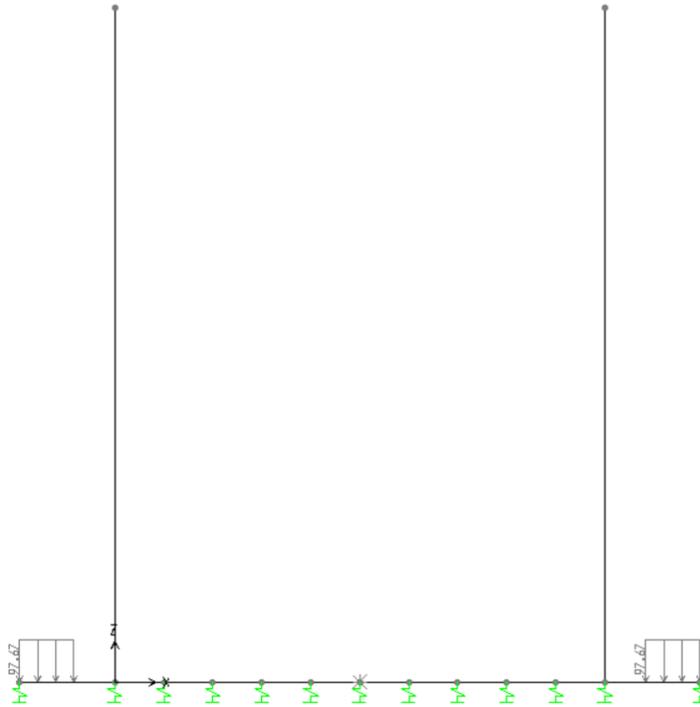


Figura 16: Carichi permanenti (PERM)

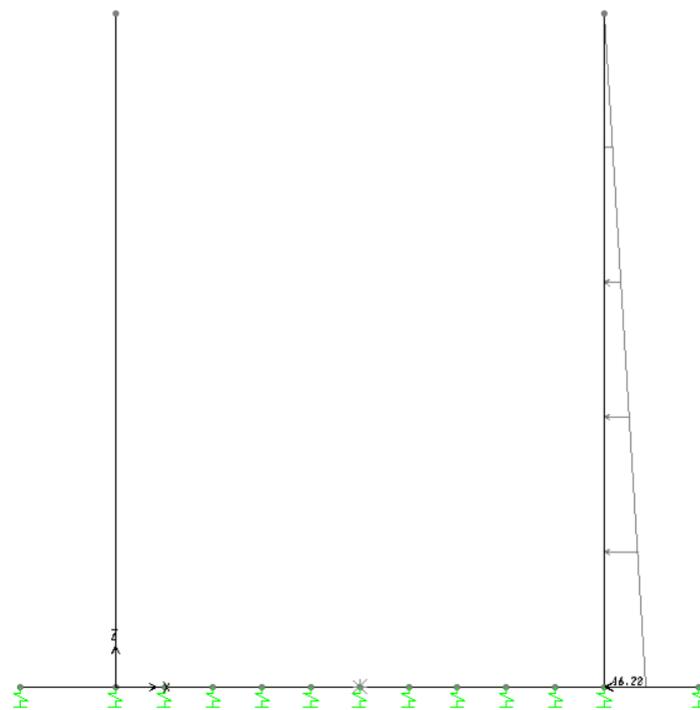


Figura 17: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

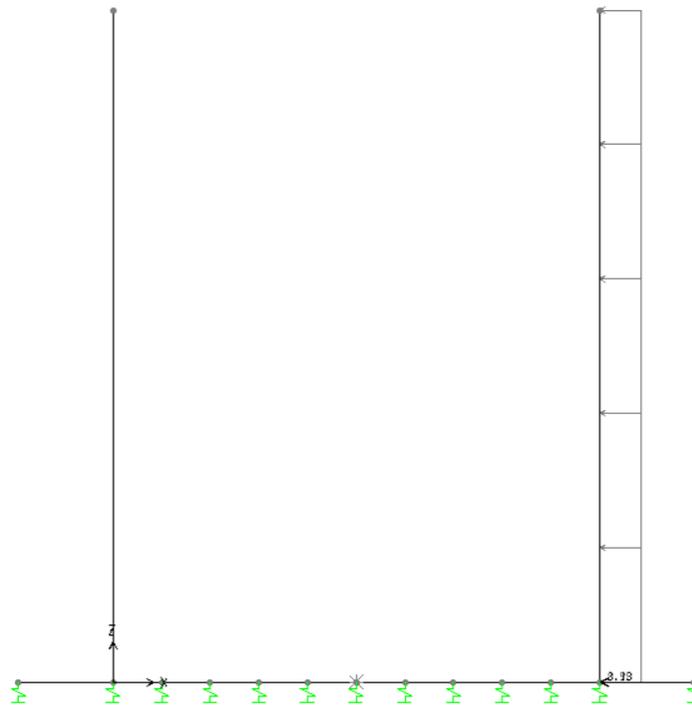


Figura 18: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

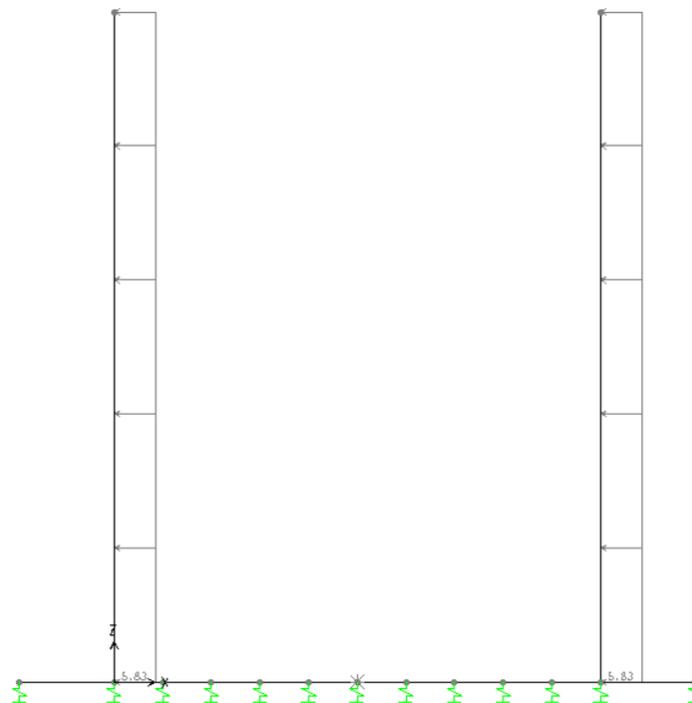


Figura 19: Forze d'inerzia (SISMAH)

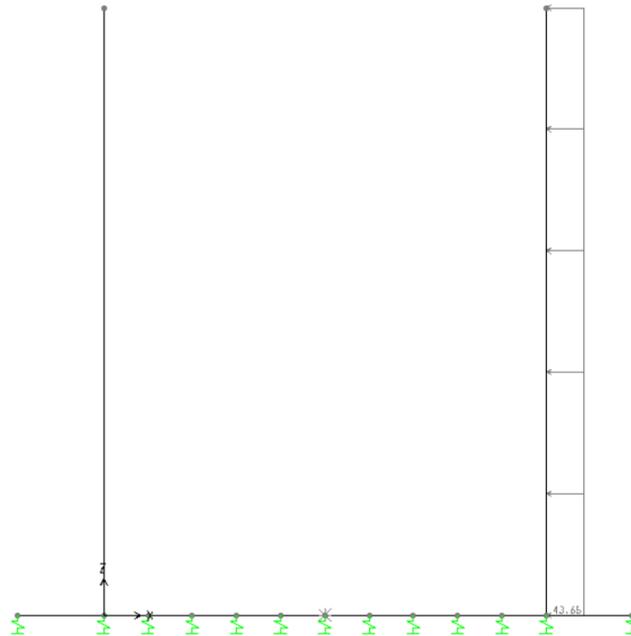


Figura 20: Sovrappinta sismica (SPSDX)

8.2 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito le schermate estratte dal modello di calcolo rappresentative delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU sugli aste del telaio.

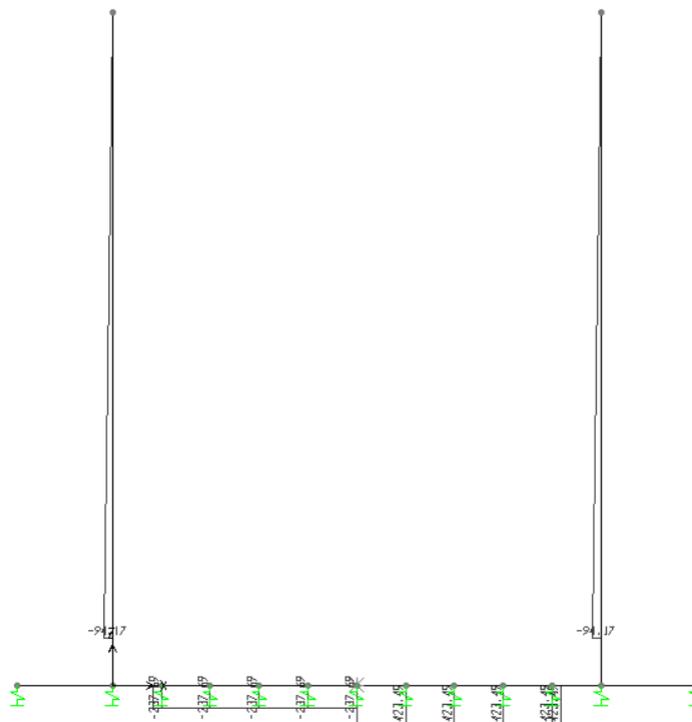


Figura 21: Sforzo normale – Involuppo SLU

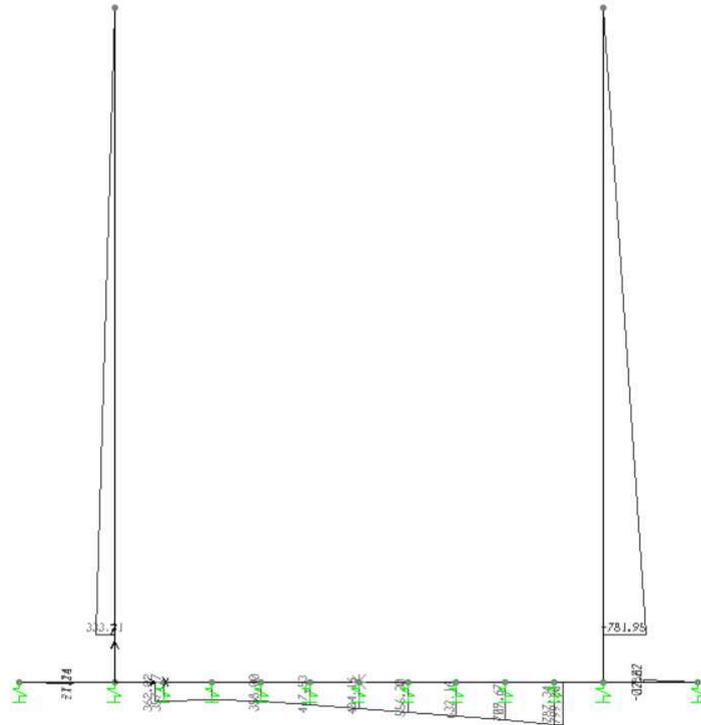


Figura 22: Momento flettente – Inviluppo SLU

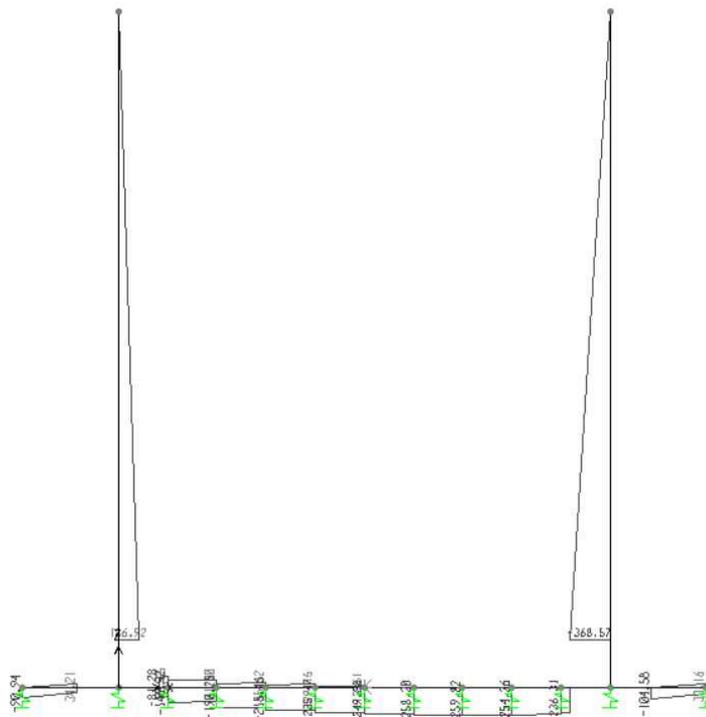


Figura 23: Taglio – Inviluppo SLU

8.3 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

Poiché le massime sollecitazioni si hanno per condizioni sismiche, avendo la struttura comportamento non dissipativo, la verifica si effettua confrontando la sollecitazione massima con il momento resistente della sezione in campo sostanzialmente elastico M_{yd} , calcolato limitando la deformazione di picco del cls compresso ad $\varepsilon_{c2} = 0.20\%$ e quella dell'acciaio a $\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 0.186\%$.

8.3.1 Piedritto allo spiccato

Sollecitazioni

Momento flettente	M	782	kN m
Sforzo normale	N	94.2	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Res. di calcolo cls	f_{cd}	17.4	N/mm ²
Res. di calcolo acciaio	f_{yd}	391.3	N/mm ²
Def. ultima cls	ε_{cu}	2.00	‰
Def. ultima acciaio	ε_{su}	1.86	‰

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	60	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	10.05	cm ² 5 Ø 16 $c_{s1} = 5$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ² Ø $c_{s2} = 10$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	26.55	cm ² 5 Ø 26 $c_2 = 10$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ² 5 Ø 26 $c_{11} = 5$ cm

Momento resistente

Momento resistente elastico	M_{Rd}	895.4	kNm > M_{Sd}
-----------------------------	----------	--------------	-------------------

Equilibrio alla traslazione	C+F=0	0.0	kN
Deformazione cls	ε_c	-1.081	‰ -
Deformazione arm. tesa (1° strato)	ε_{s1}	1.860	‰ <i>rottura lato acciaio</i>
Posizione asse neutro	x	20.22	cm
Tensione fibra compressa estrema	σ_c	-13.73	N/mm ² <i>diag. parabola-rettangolo</i>
Tens. arm. tesa (1° strato)	σ_{s1}	391.30	N/mm ²

8.3.2 Soletta inferiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	799.8	kN m
Sforzo normale	N	423.5	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Res. di calcolo cls	f_{cd}	17.4	N/mm ²
Res. di calcolo acciaio	f_{yd}	391.3	N/mm ²
Def. ultima cls	ϵ_{cu}	2.00	‰
Def. ultima acciaio	ϵ_{su}	1.86	‰

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	60	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	10.05	cm ² 5 Ø 16 $c_{s1} =$ 5 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ² Ø $c_{s2} =$ 10 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	26.55	cm ² 5 Ø 26 $c_{t2} =$ 10 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ² 5 Ø 26 $c_{t1} =$ 5 cm

Momento resistente

Momento resistente elastico	M_{Rd}	954.2	kNm	> M_{Sd}
Equilibrio alla traslazione	C+F=0	0.0	kN	
Deformazione cls	ϵ_c	-1.221	‰	-
Deformazione arm. tesa (1° strato)	ϵ_{s1}	1.860	‰	<i>rottura lato acciaio</i>
Posizione asse neutro	x	21.80	cm	
Tensione fibra compressa estrema	σ_c	-14.76	N/mm ²	<i>diag. parabola-rettangolo</i>
Tens. arm. tesa (1° strato)	σ_{s1}	391.30	N/mm ²	

8.4 VERIFICHE A TAGLIO

Si prevedono legature $\Phi 14$ disposte con maglia 40×40 cm quale armatura trasversale a taglio.

8.4.1 Piedritto allo spiccato

Calcestruzzo			Sollecitazioni		
R_{ck}	37	N/mm ²	V_{Ed}	kN	368.6
f_{ck}	30.7	N/mm ²	N_{Ed}	kN	0
γ_c	1.50		Armatura a taglio		
α_{cc}	0.85		Diametro	mm	14
f_{cd}	17.4	N/mm ²	Numero barre		2.5
Acciaio			A_{sw}	cm ²	3.85
f_{tk}	540	N/mm ²	Passo s	cm	40
f_{yk}	450	N/mm ²	Incl. arm. trasv. α	°	90
γ_s	1.15		Armatura longitudinale		
f_{yd}	391	N/mm ²	n_1		-
Sezione			\emptyset_1	mm	-
b_w	cm	100	n_2		-
H	cm	60	\emptyset_2	mm	-
c	cm	5	Asl	cm ²	-
d	cm	55	Resistenza senza armatura a taglio		
k	N/mm ²	1.60	V_{Rd}	kN	217
v_{min}	N/mm ²	0.39	Resistenza con armatura a taglio		
ρ		0.0000	Incl. puntone θ	°	21.8
σ_{cp}	N/mm ²	0.00	Cotg θ		2.5
α_c		1.00	V_{Rsd}	kN	466
			V_{Rcd}	kN	1485
			V_{Rd}	kN	466

8.4.2 Soletta inferiore all'appoggio

Calcestruzzo			Sollecitazioni		
R_{ck}	37	N/mm ²	V_{Ed}	kN	260
f_{ck}	30.7	N/mm ²	N_{Ed}	kN	0
γ_c	1.50		Armatura a taglio		
α_{cc}	0.85		Diametro	mm	14
f_{cd}	17.4	N/mm ²	Numero barre		2.5
Acciaio			A_{sw}	cm ²	3.85
f_{tk}	540	N/mm ²	Passo s	cm	40
f_{yk}	450	N/mm ²	Incl. arm. trasv. α	°	90
γ_s	1.15		Armatura longitudinale		
f_{yd}	391	N/mm ²	n_1		-
Sezione			\emptyset_1	mm	-
b_w	cm	100	n_2		-
H	cm	70	\emptyset_2	mm	-
c	cm	5	Asl	cm ²	-
d	cm	65	Resistenza senza armatura a taglio		
k	N/mm ²	1.55	V_{Rd}	kN	244
v_{min}	N/mm ²	0.38	Resistenza con armatura a taglio		
ρ		0.0000	Incl. puntone θ	°	21.8
σ_{cp}	N/mm ²	0.00	Cotg θ		2.5
α_c		1.00	V_{Rsd}	kN	551
			V_{Rcd}	kN	1755
			V_{Rd}	kN	551

8.5 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

Per rapidità di calcolo, e a vantaggio di sicurezza, la verifica di fessurazione è condotta in combinazione frequente ma assumendo il limite di apertura delle fessure previsto in condizioni ambientali aggressive per la combinazione quasi permanente.

8.5.1 Piedritto allo spiccato

Sollecitazioni					
Momento flettente	M	246.9	kN m		
Sforzo normale	N	69.8	kN		
Materiali					
Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	37	N/mm ²		
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	30.7	N/mm ²		
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2.9	N/mm ²		
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²		
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15			
Caratteristiche geometriche					
Altezza sezione	H	60	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	As_1'	10.05	cm ²	5 Ø 16	$c_{s1} = 5$ cm
Armatura compressa (2° strato)	As_2'	0.00	cm ²	Ø	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	As_2	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t2} = 10$ cm
Armatura tesa (1° strato)	As_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t1} = 5$ cm
Tensioni nei materiali					
Compressione max nel cls.	σ_c	4.7	N/mm ²		
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	103.5	N/mm ²		
Eccentricità	e (M)	353.7	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	323.7	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	22.3	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	6884	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	2302400	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1145871	cm ⁴		
Verifica a fessurazione					
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	166	kN m		La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k_t	0.4			
Altezza efficace	d_{eff}	12.6	cm		
Area efficace	AC_{eff}	1257.82	cm ²		
Armatura nell'area efficace	As	53.1	cm ²		
	$\rho_{p,eff}$	0.04221			
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	38.7	N/mm ²		
Modulo elastico del cls	E_{cm}	33'019	N/mm ²		
	α_E	6.4			
Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.00032			
	k_1	0.8			
	k_2	0.5			
	k_3	3.4			
	k_4	0.425			
Copriferro netto	c'	3.7	cm		
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	26.0	mm		
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	23.1	cm		
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0.07	mm		
Tipo di armatura		Poco sensibile			
Condizioni ambientali		Aggressive			
Stato limite		Quasi permanente			
Valore limite di apertura delle fessure		$w_1=0.2$ mm			

8.5.2 Soletta inferiore all'appoggio

Sollecitazioni					
Momento flettente	M	268.8	kN m		
Sforzo normale	N	176.1	kN		
Materiali					
Res. caratteristica cubica cls	R_{ck}	37	N/mm ²		
Res. caratteristica cilindrica cls	f_{ck}	30.7	N/mm ²		
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	2.9	N/mm ²		
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²		
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15			
Caratteristiche geometriche					
Altezza sezione	H	60	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	As_1'	10.05	cm ²	5 Ø 16	$c_{s1} = 5$ cm
Armatura compressa (2° strato)	As_2'	0.00	cm ²	Ø	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	As_2	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t2} = 10$ cm
Armatura tesa (1° strato)	As_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t1} = 5$ cm
Tensioni nei materiali					
Compressione max nel cls.	σ_c	5.3	N/mm ²		
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	104.2	N/mm ²		
Eccentricità	e (M)	152.6	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	122.6	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	23.7	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	6884	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	2302400	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	1161870	cm ⁴		
Verifica a fessurazione					
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	178	kN m		La sezione è fessurata
Fattore che tiene conto della durata del carico	k_t	0.4			
Altezza efficace	d_{eff}	12.1	cm		
Area efficace	AC_{eff}	1210.28	cm ²		
Armatura nell'area efficace	As	53.1	cm ²		
	$\rho_{p,eff}$	0.04387			
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	38.7	N/mm ²		
Modulo elastico del cls	E_{cm}	33'019	N/mm ²		
	α_E	6.4			
Deform. media dell'arm. - quella del cls	$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	0.00033			
	k_1	0.8			
	k_2	0.5			
	k_3	3.4			
	k_4	0.425			
Copriferro netto	c'	3.7	cm		
Diámetro equivalente delle barre	\varnothing_{eq}	26.0	mm		
Distanza massima tra le fessure	$s_{r,max}$	22.7	cm		
Ampiezza delle fessure	$w_d = w_k$	0.08	mm		
Tipo di armatura		Poco sensibile			
Condizioni ambientali		Aggressive			
Stato limite		Quasi permanente			
Valore limite di apertura delle fessure		$w_1 = 0.2$ mm			

8.6 VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO

In base alle analisi strutturali, adottando come carico di verifica N quello massimo agente localmente in combinazione SLU lungo lo sviluppo della platea di fondazione, risulta una pressione di contatto massima E_d (a ml di fondazione):

$$\begin{aligned} N &= 423 \text{ kN}; \\ B &= 5.0\text{m}; \\ E_d &= 85 \text{ kN/m}. \end{aligned}$$

Riguardo alla problematica del carico limite, in considerazione delle ridotte azioni strutturali di progetto E_d , del notevole affondamento della fondazione in relazione all'entità dei carichi e alla presenza sul piano di fondazione del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si è ritenuto di non procedere con la verifica di portanza dal punto di vista analitico, in quanto certamente soddisfatta con ampi margini di sicurezza.

In particolare, in relazione all'affondamento, la presenza del terreno disposto lateralmente alla fondazione induce un carico stabilizzante favorevole, che contrasta eventuali superfici di rottura che dal piano di fondazione del tombino si sviluppano lateralmente, determinando elevati margini di sicurezza nei confronti del collasso.

Per quanto concerne la presenza del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si segnala che la verifica di portanza non costituisce mai una verifica dimensionante in presenza di terreni rocciosi, traducendosi in rapporti molto elevati fra carico ultimo e massima pressione al suolo.

Riguardo la tematica dei cedimenti, anche facendo cautelativamente riferimento sempre all'entità del carico di progetto E_d in combinazione SLU (relativamente ai cedimenti, i carichi di verifica dovrebbero riferirsi alle combinazioni SLE), la pressione geostatica esistente $\gamma \cdot D$ (a ml di fondazione, D affondamento del p.p.) connessa con lo sbancamento risulta:

$$\gamma \times D = 21 \text{ kN/m}^3 \times 4.0\text{m} / \text{ml} = 84 \text{ kN/ml} \approx E_d.$$

La fondazione, dunque, risulta integralmente compensata ed i cedimenti nulli.

9 SEZIONE SCATOLARE CHIUSA - CONCIO 2

Per i Conci 1 e 2 la sezione scatolare del tombino è prevista con soletta superiore e piedritti di spessore 40 cm, mentre la soletta inferiore ha altezza 50 cm. Ai fini del calcolo si prende in considerazione il solo Concio 2, ed in particolare la sezione con ricoprimento di 2.00 m in corrispondenza dell'asse stradale (Asse 4).

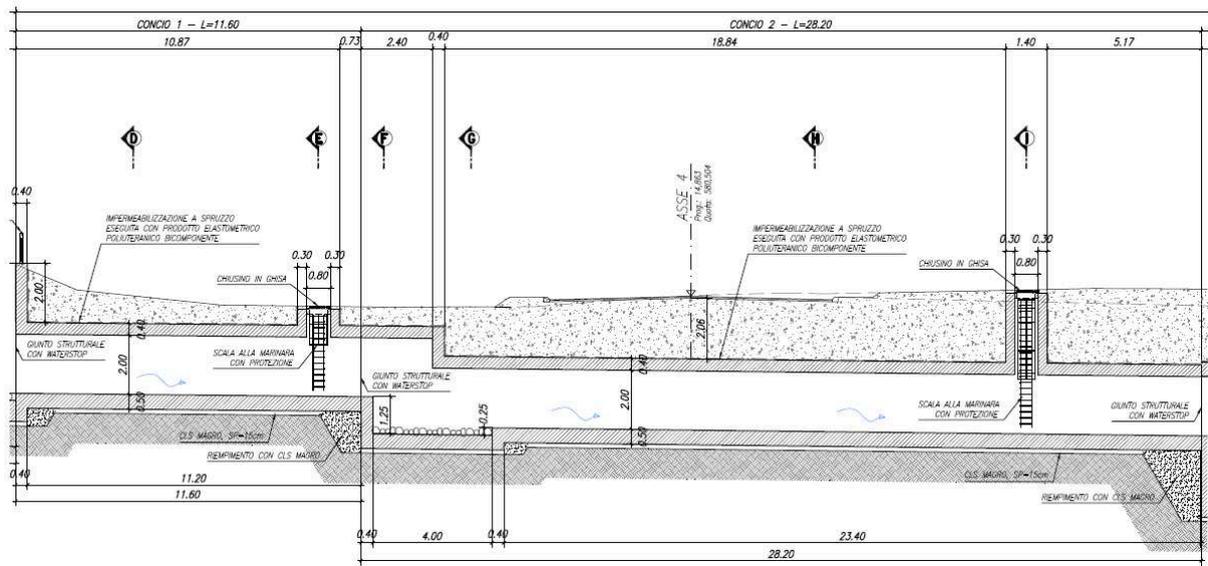


Figura 24: Profilo longitudinale scatolare chiuso – Conci 1-2

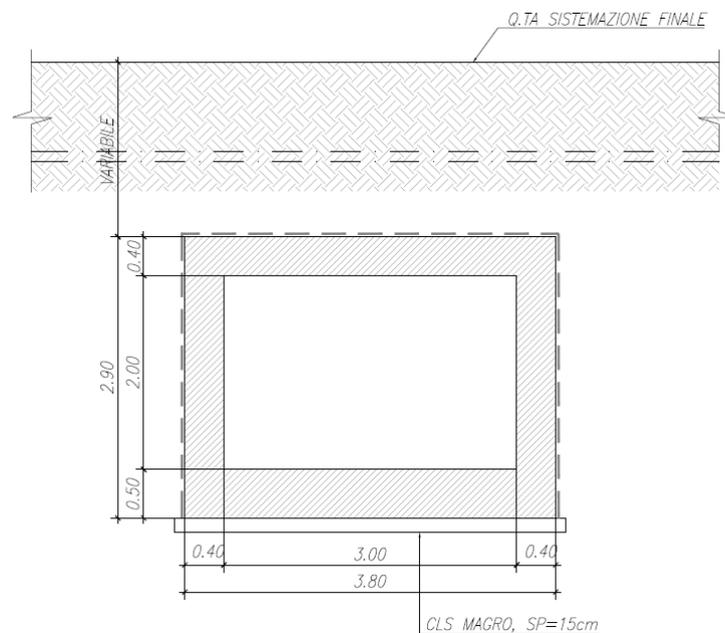


Figura 25: Sezione trasversale scatolare chiuso – Concio 2

9.1 GEOMETRIA E CARICHI

Si riportano di seguito i parametri di progetto, la geometria ed i carichi agenti per la sezione in esame.

Caratteristiche materiali e terreno

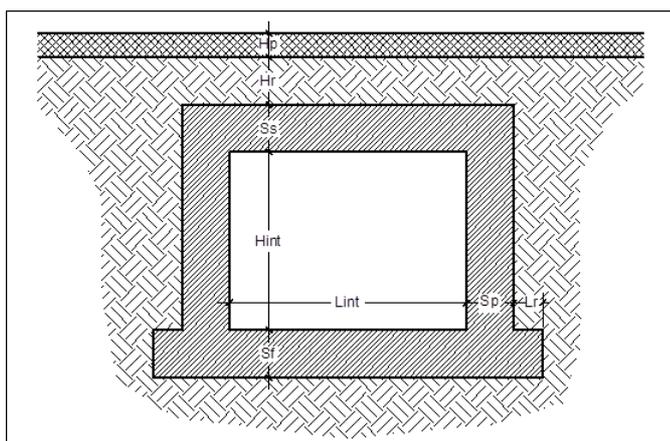
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ	25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo		C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}	37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}	31	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E	33000	N/mm ²
Pacchetto stradale - Peso specifico	γ	24	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ	21	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ	35	°
Terreno di fondazione	K_w	25000	kN/m ³
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione		aggressive	

Ricoprimento

Spessore pacchetto stradale	H_p	0.12	m
Spessore del rinterro	H_r	2.00	m

Geometria

Spessore soletta superiore	S_s	0.40	m
Spessore soletta di fondazione	S_f	0.50	m
Spessore piedritti	S_p	0.40	m
Altezza netta	H_{int}	2.00	m
Larghezza netta	L_{int}	3.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L_r	0.00	m



Carichi permanenti

Soletta superiore			
Peso pacchetto stradale	P_s	$0.12 \cdot 24 =$	2.88 kN/m ²
Peso del rinterro	P_r	$2.00 \cdot 21 =$	42.00 kN/m ²
Totale			44.88 kN/m²

Risvolti soletta inferiore

Peso pacchetto stradale	Ps	-	0.00	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-	0.00	kN/m ²
Totale			0.00	kN/m²

Carichi accidentali sulla copertura

Tandem

Ldiffusione x			2.20	m
Ldiffusione y			3.00	m
Impronta di carico x	Ld1	$2.20 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 2.00 + 0.40/2) =$	5.15	m
Impronta di carico y	Ld2	$3.00 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 2.00 + 0.40/2) =$	5.95	m
Impronta sull'impalcato		$5.15 \cdot 5.95 =$	30.64	m ²
carico q1 (totale)		(600 + 400)	1000	kN
carico q1 (ripartito)	Q _{1k}	$1000 / 30.64 =$	32.64	kN/m²

Carico distribuito

Ld3	$3.00 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 2.00 + 0.40/2) =$	5.95	m
q _{1k}	$9.00 \cdot (3.00 / 5.95) =$	4.54	kN/m²

Frenamento q3

q3	q3	$180 < 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900$ kN	62.23	kN/m
----	----	--	--------------	-------------

Azione termica

Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_U	10	°C
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_F	15	°C

Ritiro (applicato alla soletta superiore)

ΔT_R	-10	°C
--------------	-----	----

Spinta del terreno

K0		$1 - \tan(35^\circ) =$	0.426	
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.426 \cdot 44.88 =$	19.14	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.426 \cdot (44.88 + 21 \cdot 0.40/2) =$	20.93	kN/m²
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.426 \cdot [44.88 + 21 \cdot (0.40/2 + 2.00 + 0.50/2)] =$	42.87	kN/m²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.426 \cdot [44.88 + 21 \cdot (0.40/2 + 2.00 + 0.50)] =$	45.11	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(19.14 + 20.93)/2 \cdot 0.40/2$	4.01	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(42.87 + 45.11)/2 \cdot 0.50/2$	11.00	kN/m

Spinta del carico accidentale

Spinta dovuta a q = 20 kN/m ²	p	$0.426 \cdot 20$	8.53	kN/m²
--	---	------------------	-------------	-------------------------

Sisma orizzontale

Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV	
Vita nominale	Vr		50	anni
Classe d'uso	Cu		IV	
accelerazione orizzontale	a _g /g		0.288	
amplificazione spettrale	Fo		2.397	

Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E	B
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S_s	1.124
Coeff. Amplificazione topografica	S_t	1.2
Coefficiente S	$S = S_s \cdot S_t$	1.349
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = ag/g \cdot S$	0.388
Fattore di struttura	q	1.00
Forza orizz. sul s. di cop. dovuta a perm+0.2acc.	$FH_s = 0.388 \cdot (0.40 \cdot 25 + 0 + 0 \cdot 37.18) / 1.00 =$	3.88 kN/m²
Forza orizz. sui piedritti	$FH_p = 0.388 \cdot (0.40 \cdot 25) / 1.00 =$	3.88 kN/m²

Spinta del terreno in fase sismica

Coefficiente sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$	0.388
Coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$	0.194
Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f)^2$	118.74 kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H$	40.95 kN/m²

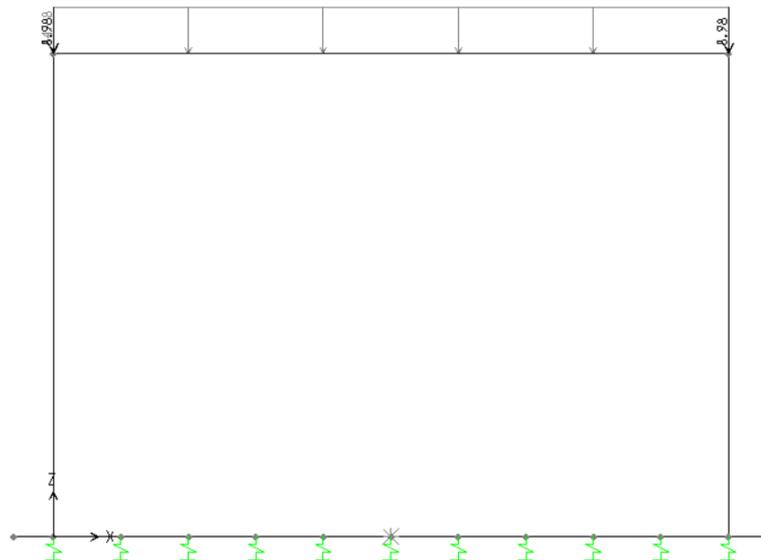


Figura 26: Carichi permanenti (PERM)

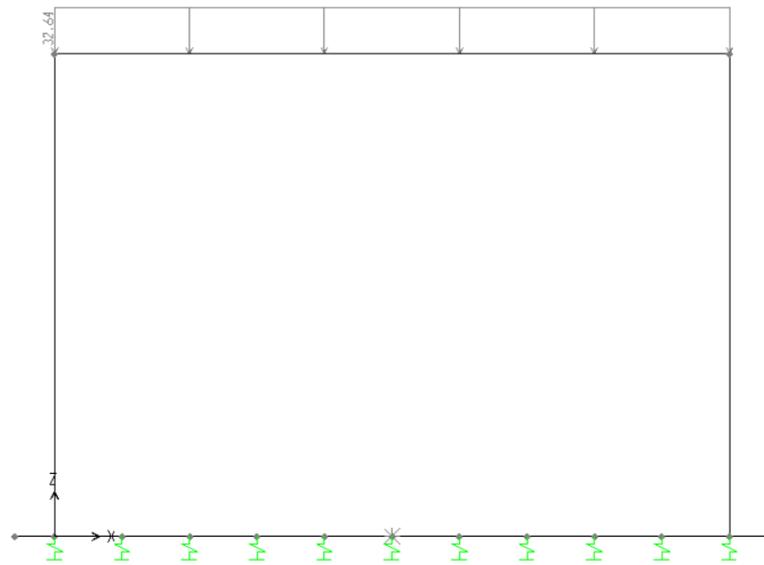


Figura 27: Carichi da traffico tandem – CdC M_{max} (Q1k-M)

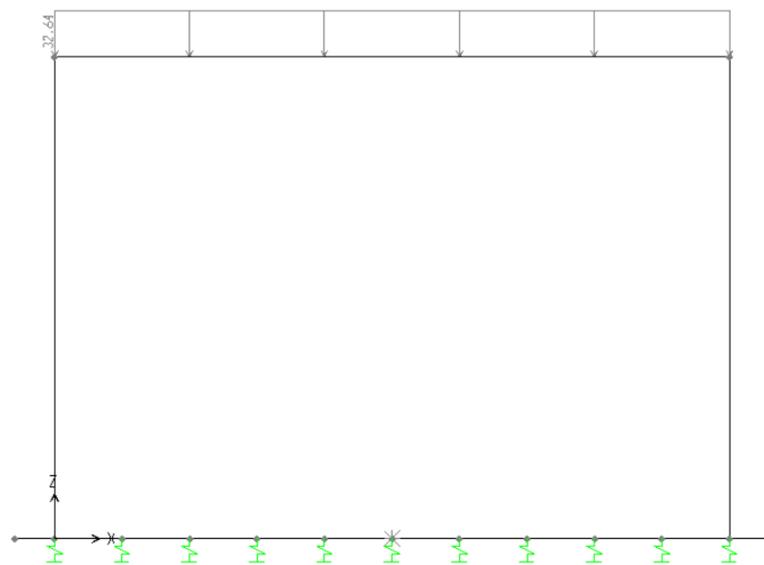


Figura 28: Carichi da traffico tandem – CdC V_{max} (Q1k-T)

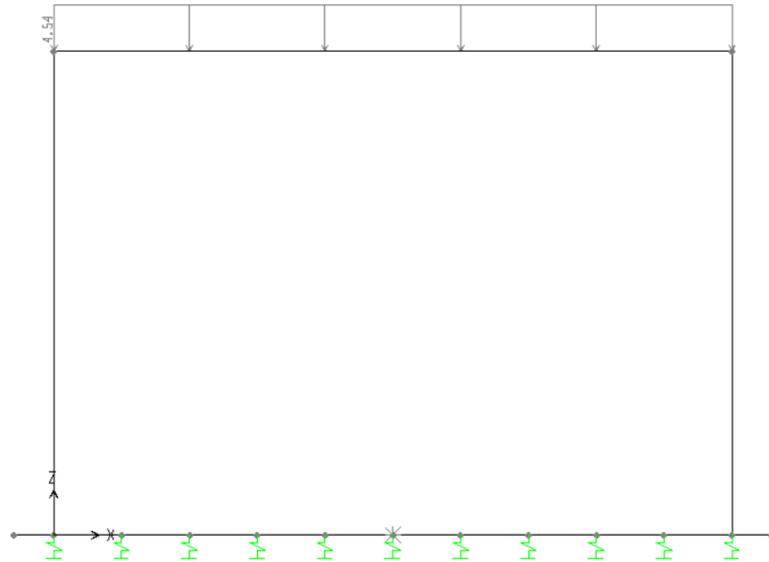


Figura 29: Carichi da traffico distribuiti (Q2)

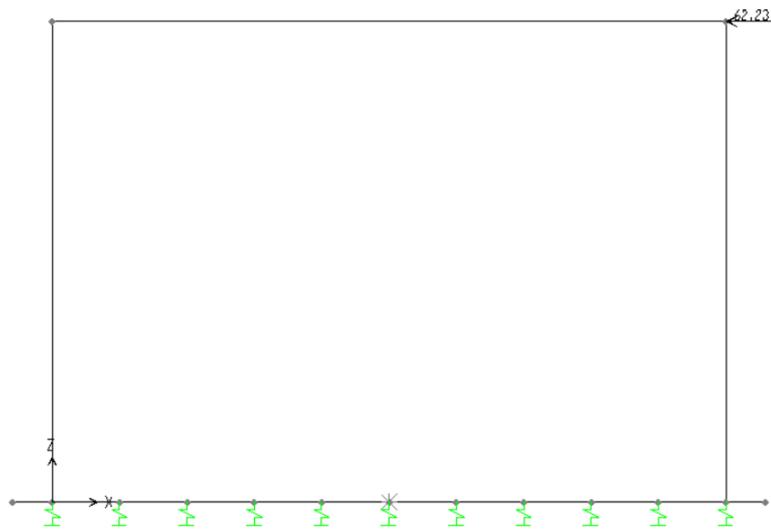


Figura 30: Frenatura (Q3)

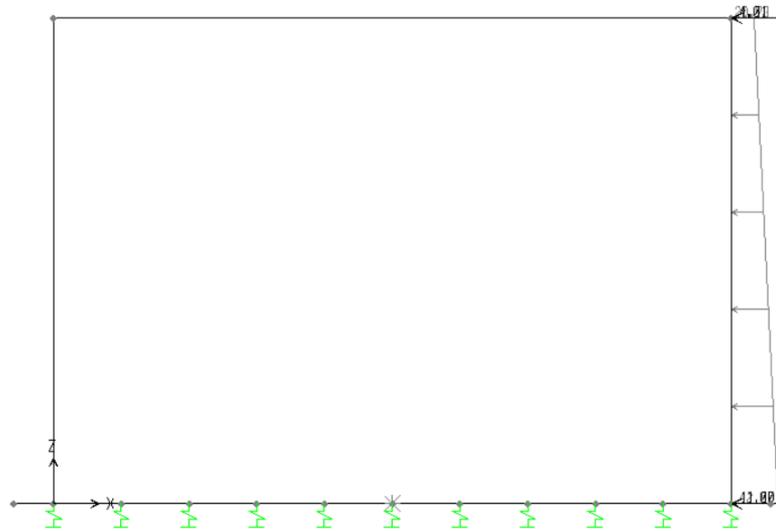


Figura 31: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

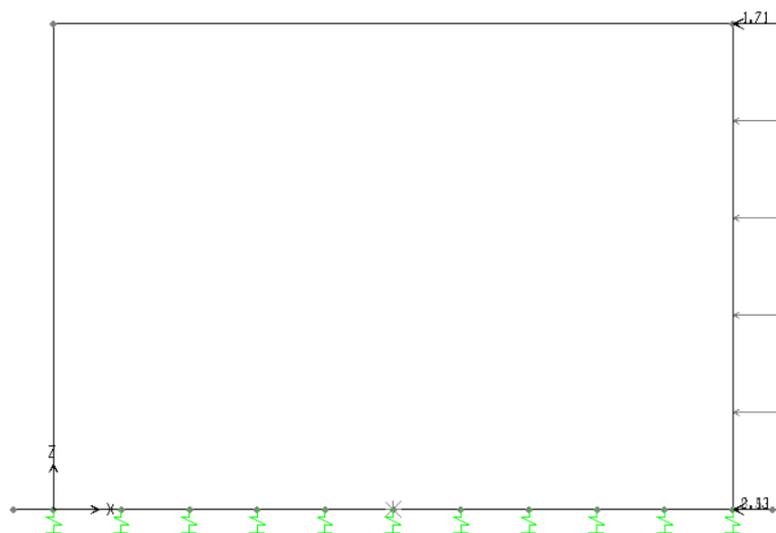


Figura 32: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

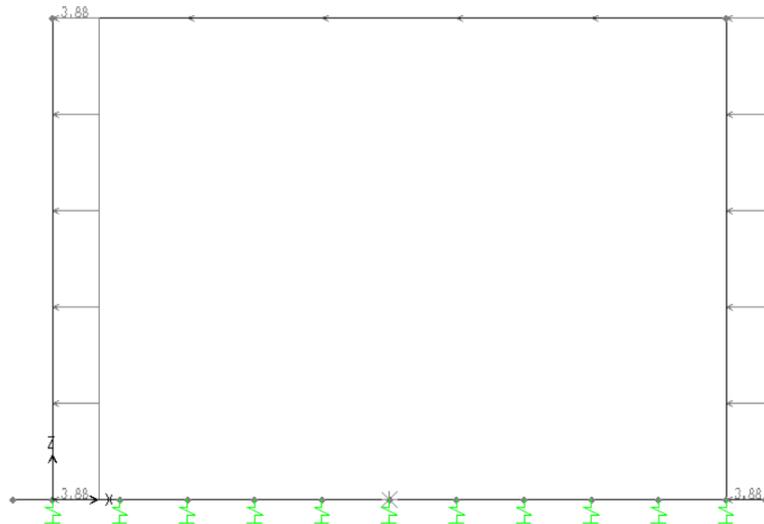


Figura 33: Forze d'inerzia (SISMAH)

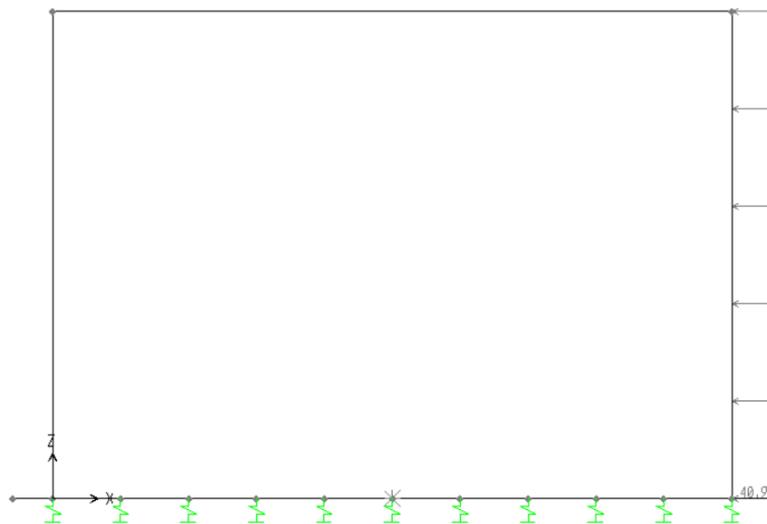


Figura 34: Sovrappinta sismica (SPSDX)

9.2 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito le schermate estratte dal modello di calcolo rappresentative delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU sugli aste del telaio.

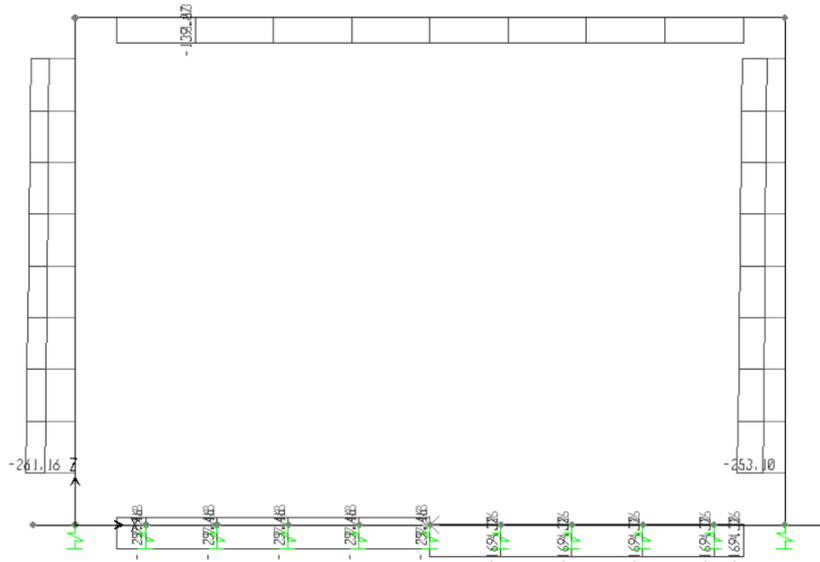


Figura 35: Sforzo normale – Involuppo SLU

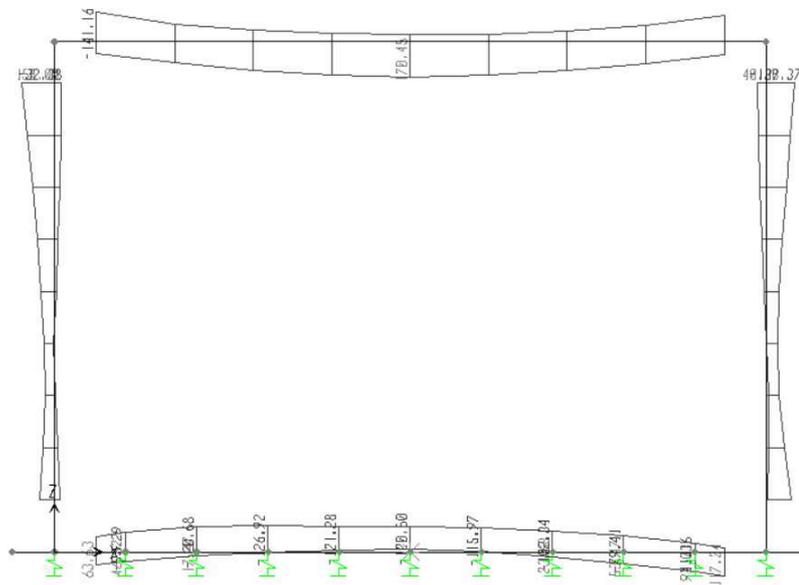


Figura 36: Momento flettente – Involuppo SLU

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

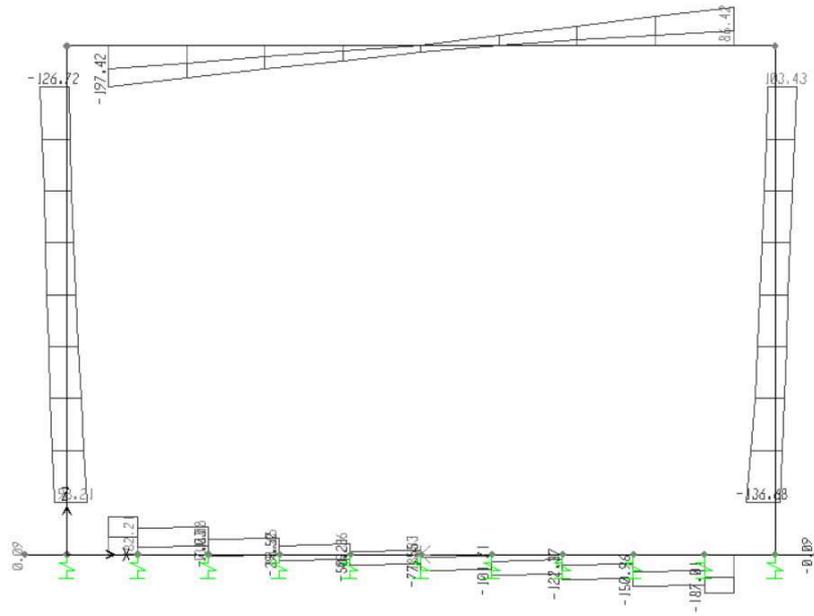


Figura 37: Taglio – Involuppo SLU

9.3.2 Soletta superiore all'appoggio

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{y,d} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	18	12.72	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 35$ cm			0.00	cm ²
				12.72	cm²
					12.72
					cm²

	Caratteristiche di sollecitazione		
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	35S2-12M	140	135
(Nmin)	25S1T21M	-3	-47
(Mmax)	37S2-13M	130	141
(Mmin)	31S1T24-	10	-56

	Caratteristiche di sollecitazione		
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	82	95	
02S1-11T	82	95	
03S1-12M	110	100	
04S1-12T	110	100	
05S1-13M	96	108	
06S1-13T	96	108	
07S1-14-	101	83	
08S1-15-	87	91	
09S1-21M	18	-10	
10S1-21T	18	-10	
11S1-22M	46	-5	
12S1-22T	46	-5	
13S1-23M	32	3	
14S1-23T	32	3	
15S1-24-	38	-22	
16S1-25-	23	-14	
17S1T11M	98	123	
18S1T11T	98	123	
19S1T12M	117	126	
20S1T12T	117	126	
21S1T13M	107	131	
22S1T13T	107	131	
23S1T14-	110	114	
24S1T15-	101	119	
25S1T21M	-3	-47	
26S1T21T	-3	-47	
27S1T22M	16	-44	
28S1T22T	16	-44	
29S1T23M	6	-38	
30S1T23T	6	-38	
31S1T24-	10	-56	
32S1T25-	0	-50	
33S2-11M	121	132	
34S2-11T	121	132	
35S2-12M	140	135	
36S2-12T	140	135	
37S2-13M	130	141	
38S2-13T	130	141	
39S2-21M	57	27	
40S2-21T	57	27	
41S2-22M	76	30	
42S2-22T	76	30	
43S2-23M	67	36	
44S2-23T	67	36	
45S2T11M	98	123	
46S2T11T	98	123	
47S2T12M	117	126	
48S2T12T	117	126	
49S2T13M	107	131	
50S2T13T	107	131	
51S2T21M	-3	-47	
52S2T21T	-3	-47	
53S2T22M	16	-44	
54S2T22T	16	-44	
55S2T23M	6	-38	
56S2T23T	6	-38	
57SED1-	84	88	
58SED2-	46	28	

DOMINIO DI RESISTENZA

Y-axis: Momento Flettente (da -100 a 600)

X-axis: Forza Normale (positiva se di compressione) (da -2000 a 9000)

9.3.3 Piedritto allo spiccato

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	f_{tk}	= 540 N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	= 450 N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²	
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	= 1.15	f_{ck}	30.71 N/mm ²	
Resistenza di calcolo	$f_{y,d}$	= 391 N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	E_s	= 200000 N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²	
	$\epsilon_{y,d}$	= 0.00196	f_{cc}	17.4 N/mm ²	

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	h	= 40 cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	b	= 100 cm	5	18	12.72 cm ²	5	18	12.72 cm ²
Copriferro	d'	= 5 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	d	= 35 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
			12.72 cm²			12.72 cm²		

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	01S1-11M	253	31
(Nmin)	57SED1-	116	67
(Mmax)	43S2-23M	195	118
(Mmin)	23S1T14-	168	10

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
	01S1-11M	253	31
	02S1-11T	253	31
	03S1-12M	253	32
	04S1-12T	253	32
	05S1-13M	246	49
	06S1-13T	246	49
	07S1-14-	168	18
	08S1-15-	160	35
	09S1-21M	253	66
	10S1-21T	253	66
	11S1-22M	253	67
	12S1-22T	253	67
	13S1-23M	246	83
	14S1-23T	246	83
	15S1-24-	168	53
	16S1-25-	160	70
	17S1T11M	228	18
	18S1T11T	228	18
	19S1T12M	228	19
	20S1T12T	228	19
	21S1T13M	223	30
	22S1T13T	223	30
	23S1T14-	168	10
	24S1T15-	163	21
	25S1T21M	228	70
	26S1T21T	228	70
	27S1T22M	228	71
	28S1T22T	228	71
	29S1T23M	223	82
	30S1T23T	223	82
	31S1T24-	168	61
	32S1T25-	163	72
	33S2-11M	200	72
	34S2-11T	200	72
	35S2-12M	200	72
	36S2-12T	200	72
	37S2-13M	195	83
	38S2-13T	195	83
	39S2-21M	200	107
	40S2-21T	200	107
	41S2-22M	200	107
	42S2-22T	200	107
	43S2-23M	195	118
	44S2-23T	195	118
	45S2T11M	228	18
	46S2T11T	228	18
	47S2T12M	228	19
	48S2T12T	228	19
	49S2T13M	223	30
	50S2T13T	223	30
	51S2T21M	228	70
	52S2T21T	228	70
	53S2T22M	228	71
	54S2T22T	228	71
	55S2T23M	223	82
	56S2T23T	223	82
	57SED1-	116	67
	58SED2-	116	89

DOMINIO DI RESISTENZA

	Comb.	Nsd	Msd
	01S1-11M	253	31
	02S1-11T	253	31
	03S1-12M	253	32
	04S1-12T	253	32
	05S1-13M	246	49
	06S1-13T	246	49
	07S1-14-	168	18
	08S1-15-	160	35
	09S1-21M	253	66
	10S1-21T	253	66
	11S1-22M	253	67
	12S1-22T	253	67
	13S1-23M	246	83
	14S1-23T	246	83
	15S1-24-	168	53
	16S1-25-	160	70
	17S1T11M	228	18
	18S1T11T	228	18
	19S1T12M	228	19
	20S1T12T	228	19
	21S1T13M	223	30
	22S1T13T	223	30
	23S1T14-	168	10
	24S1T15-	163	21
	25S1T21M	228	70
	26S1T21T	228	70
	27S1T22M	228	71
	28S1T22T	228	71
	29S1T23M	223	82
	30S1T23T	223	82
	31S1T24-	168	61
	32S1T25-	163	72
	33S2-11M	200	72
	34S2-11T	200	72
	35S2-12M	200	72
	36S2-12T	200	72
	37S2-13M	195	83
	38S2-13T	195	83
	39S2-21M	200	107
	40S2-21T	200	107
	41S2-22M	200	107
	42S2-22T	200	107
	43S2-23M	195	118
	44S2-23T	195	118
	45S2T11M	228	18
	46S2T11T	228	18
	47S2T12M	228	19
	48S2T12T	228	19
	49S2T13M	223	30
	50S2T13T	223	30
	51S2T21M	228	70
	52S2T21T	228	70
	53S2T22M	228	71
	54S2T22T	228	71
	55S2T23M	223	82
	56S2T23T	223	82
	57SED1-	116	67
	58SED2-	116	89

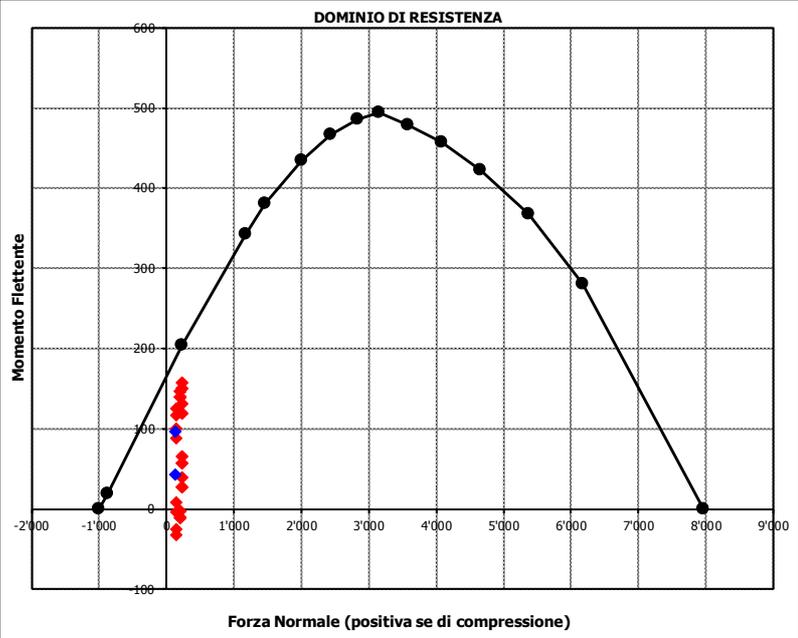
9.3.4 Piedritto in sommità

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{y,d} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	$h = 40$ cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	18	12.72 cm ²	5	18	12.72 cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 35$ cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
		12.72 cm²			12.72 cm²		

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	37S2-13M	234	158
(Nmin)	57SED1-	138	96
(Mmax)	37S2-13M	234	158
(Mmin)	31S1T24-	141	-32

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
	01S1-11M	226	120
	02S1-11T	226	120
	03S1-12M	226	120
	04S1-12T	226	120
	05S1-13M	233	132
	06S1-13T	233	132
	07S1-14-	141	89
	08S1-15-	148	100
	09S1-21M	226	28
	10S1-21T	226	28
	11S1-22M	226	27
	12S1-22T	226	27
	13S1-23M	233	39
	14S1-23T	233	39
	15S1-24-	141	-4
	16S1-25-	148	8
	17S1T11M	201	139
	18S1T11T	201	139
	19S1T12M	201	139
	20S1T12T	201	139
	21S1T13M	206	147
	22S1T13T	206	147
	23S1T14-	141	117
	24S1T15-	146	125
	25S1T21M	201	-10
	26S1T21T	201	-10
	27S1T22M	201	-10
	28S1T22T	201	-10
	29S1T23M	206	-2
	30S1T23T	206	-2
	31S1T24-	141	-32
	32S1T25-	146	-24
	33S2-11M	229	150
	34S2-11T	229	150
	35S2-12M	229	150
	36S2-12T	229	150
	37S2-13M	234	158
	38S2-13T	234	158
	39S2-21M	229	58
	40S2-21T	229	58
	41S2-22M	229	58
	42S2-22T	229	58
	43S2-23M	234	66
	44S2-23T	234	66
	45S2T11M	201	139
	46S2T11T	201	139
	47S2T12M	201	139
	48S2T12T	201	139
	49S2T13M	206	147
	50S2T13T	206	147
	51S2T21M	201	-10
	52S2T21T	201	-10
	53S2T22M	201	-10
	54S2T22T	201	-10
	55S2T23M	206	-2
	56S2T23T	206	-2
	57SED1-	138	96
	58SED2-	138	43



Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
	01S1-11M	226	120
	02S1-11T	226	120
	03S1-12M	226	120
	04S1-12T	226	120
	05S1-13M	233	132
	06S1-13T	233	132
	07S1-14-	141	89
	08S1-15-	148	100
	09S1-21M	226	28
	10S1-21T	226	28
	11S1-22M	226	27
	12S1-22T	226	27
	13S1-23M	233	39
	14S1-23T	233	39
	15S1-24-	141	-4
	16S1-25-	148	8
	17S1T11M	201	139
	18S1T11T	201	139
	19S1T12M	201	139
	20S1T12T	201	139
	21S1T13M	206	147
	22S1T13T	206	147
	23S1T14-	141	117
	24S1T15-	146	125
	25S1T21M	201	-10
	26S1T21T	201	-10
	27S1T22M	201	-10
	28S1T22T	201	-10
	29S1T23M	206	-2
	30S1T23T	206	-2
	31S1T24-	141	-32
	32S1T25-	146	-24
	33S2-11M	229	150
	34S2-11T	229	150
	35S2-12M	229	150
	36S2-12T	229	150
	37S2-13M	234	158
	38S2-13T	234	158
	39S2-21M	229	58
	40S2-21T	229	58
	41S2-22M	229	58
	42S2-22T	229	58
	43S2-23M	234	66
	44S2-23T	234	66
	45S2T11M	201	139
	46S2T11T	201	139
	47S2T12M	201	139
	48S2T12T	201	139
	49S2T13M	206	147
	50S2T13T	206	147
	51S2T21M	201	-10
	52S2T21T	201	-10
	53S2T22M	201	-10
	54S2T22T	201	-10
	55S2T23M	206	-2
	56S2T23T	206	-2
	57SED1-	138	96
	58SED2-	138	43

9.3.5 Soletta inferiore in campata

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$	N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$	N/mm ²	R_{ck}	37	N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$		f_{ck}	30.71	N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$	N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	$E_s = 205000$	N/mm ²	f_{cd}	20.5	N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$		f_{cc}	17.4	N/mm ²

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$	cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	$b = 100$	cm	5	18	12.72 cm ²	5	18	12.72 cm ²
Copriferro	$d' = 5$	cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 45$	cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
					12.72 cm²			12.72 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	31S1T24-	129	14
(Nmin)	37S2-13M	-37	105
(Mmax)	17S1T11M	-4	120
(Mmin)	31S1T24-	129	14

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M		12	120
02S1-11T		12	120
03S1-12M		49	112
04S1-12T		49	112
05S1-13M		-3	116
06S1-13T		-3	116
07S1-14		58	72
08S1-15-		6	76
09S1-21M		75	72
10S1-21T		75	72
11S1-22M		113	64
12S1-22T		113	64
13S1-23M		61	68
14S1-23T		61	68
15S1-24-		122	24
16S1-25-		70	28
17S1T11M		-4	120
18S1T11T		-4	120
19S1T12M		23	115
20S1T12T		23	115
21S1T13M		-14	118
22S1T13T		-14	118
23S1T14-		29	87
24S1T15-		-8	90
25S1T21M		96	48
26S1T21T		96	48
27S1T22M		123	42
28S1T22T		123	42
29S1T23M		87	45
30S1T23T		87	45
31S1T24-		129	14
32S1T25-		93	17
33S2-11M		-28	108
34S2-11T		-28	108
35S2-12M		-1	103
36S2-12T		-1	103
37S2-13M		-37	105
38S2-13T		-37	105
39S2-21M		36	60
40S2-21T		36	60
41S2-22M		63	54
42S2-22T		63	54
43S2-23M		26	57
44S2-23T		26	57
45S2T11M		-4	120
46S2T11T		-4	120
47S2T12M		23	115
48S2T12T		23	115
49S2T13M		-14	118
50S2T13T		-14	118
51S2T21M		96	48
52S2T21T		96	48
53S2T22M		123	42
54S2T22T		123	42
55S2T23M		87	45
56S2T23T		87	45
57SED1-		-29	54
58SED2-		9	24

9.3.6 Soletta inferiore all'appoggio

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yEd} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{yEd} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	18	12.72	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm			0.00	cm ²
				12.72	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	58SED2-	169	104
(Nmin)	17S1T11M	-4	-19
(Mmax)	43S2-23M	156	117
(Mmin)	17S1T11M	-4	-19

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	12	-6
02S1-11T	12	-6
03S1-12M	49	2
04S1-12T	49	2
05S1-13M	63	21
06S1-13T	63	21
07S1-14-	58	3
08S1-15-	72	22
09S1-21M	75	45
10S1-21T	75	45
11S1-22M	113	53
12S1-22T	113	53
13S1-23M	127	72
14S1-23T	127	72
15S1-24-	122	53
16S1-25-	136	72
17S1T11M	-4	-19
18S1T11T	-4	-19
19S1T12M	23	-13
20S1T12T	23	-13
21S1T13M	32	0
22S1T13T	32	0
23S1T14-	29	-13
24S1T15-	38	0
25S1T21M	96	58
26S1T21T	96	58
27S1T22M	123	63
28S1T22T	123	63
29S1T23M	133	76
30S1T23T	133	76
31S1T24-	129	64
32S1T25-	139	77
33S2-11M	56	48
34S2-11T	56	48
35S2-12M	83	54
36S2-12T	83	54
37S2-13M	93	67
38S2-13T	93	67
39S2-21M	120	99
40S2-21T	120	99
41S2-22M	147	104
42S2-22T	147	104
43S2-23M	156	117
44S2-23T	156	117
45S2T11M	-4	-19
46S2T11T	-4	-19
47S2T12M	23	-13
48S2T12T	23	-13
49S2T13M	32	0
50S2T13T	32	0
51S2T21M	96	58
52S2T21T	96	58
53S2T22M	123	63
54S2T22T	123	63
55S2T23M	133	76
56S2T23T	133	76
57SED1-	132	72
58SED2-	169	104

DOMINIO DI RESISTENZA

Y-axis: Momento Flettente (Ncm)

X-axis: Forza Normale (positiva se di compressione) (N)

9.4 VERIFICHE A TAGLIO

Si prevedono legature $\Phi 12$ disposte con maglia 40x40 cm quale armatura trasversale a taglio.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
R_{ck}	37	N/mm ²
f_{ck}	30.7	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	17.4	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Ed}	kN	197	187	127	137
N_{Ed}	kN	0	0	0	0

Armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Diametro	mm	12	12	12	12
Numero barre		2.5	2.5	2.5	2.5
A_{sw}	cm ²	2.83	2.83	2.83	2.83
Passo s	cm	40	40	40	40
Angolo α	°	90	90	90	90

Armatura longitudinale

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
n_1		-	-	-	-
\varnothing_1	mm	-	-	-	-
n_2		-	-	-	-
\varnothing_2	mm	-	-	-	-
Asl	cm ²	-	-	-	-

Sezione

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
b_w	cm	100	100	100	100
H	cm	40	50	40	40
c	cm	5	5	5	5
d	cm	35	45	35	35
k	N/mm ²	1.76	1.67	1.76	1.76
v_{min}	N/mm ²	0.45	0.42	0.45	0.45
ρ		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
σ_{cp}	N/mm ²	0.00	0.00	0.00	0.00
α_c		1.00	1.00	1.00	1.00

Resistenza senza armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Rd}	kN	158	188	158	158

Resistenza con armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Inclinazione puntone θ	°	21.8	21.8	21.8	21.8
V_{RSd}	kN	218	280	218	218
V_{RCd}	kN	945	1215	945	945
V_{Rd}	kN	218	280	218	218

9.5 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

Per rapidità di calcolo, e a vantaggio di sicurezza, la verifica di fessurazione è condotta in combinazione frequente ma assumendo il limite di apertura delle fessure previsto in condizioni ambientali aggressive per la combinazione quasi permanente.

9.5.1 Soletta superiore in campata

Sollecitazioni

Momento flettente	M	94	kN m
Sforzo normale	N	14	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²		\emptyset $c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²		\emptyset $c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.1	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	186.8	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	660.3	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	640.3	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	10.2	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4398	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	629289	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	185421	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	67	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	95	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	667.3	cm	
	u (M_{fess})	647.3	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.1		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	188.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	10.2	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00044		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	19.0	cm	
Area efficace	$A_{c_{eff}}$	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	15.7	cm ²	
	ρ_r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{fm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.10	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.18	mm	

9.5.2 Soletta superiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	65	kN m
Sforzo normale	N	60	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	3.8	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	138.3	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	108.6	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	88.6	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	10.3	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	619217	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	158216	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	69	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	97	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	162.6	cm	
	u (M_{fess})	142.6	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	218.2	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	9.9	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00026		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.06	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

9.5.3 Piedritto allo spiccato

Sollecitazioni

Momento flettente	M	54	kN m
Sforzo normale	N	165	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	3.2	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	74.2	N/mm ²	<	σ_{amm}

Eccentricità	e (M)	32.7	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	12.7	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	13.8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	619217	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	187579	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	77	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	105	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	63.4	cm	
	u (M_{fess})	43.4	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	197.6	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.2	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00014		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	ρ_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.03	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

9.5.4 Piedritto in sommità

Sollecitazioni

Momento flettente	M	81	kN m
Sforzo normale	N	153	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	40	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.8	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	142.9	N/mm ²	<	σ_{amm}

Eccentricità	e (M)	52.7	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	32.7	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	11.7	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	4356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	619217	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	165844	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	76	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	104	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	67.8	cm	
	u (M_{fess})	47.8	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	199.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.1	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00027		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.07	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.11	mm	

9.5.5 Soletta inferiore in campata

Sollecitazioni

Momento flettente	M	77	kN m
Sforzo normale	N	13	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{C_{amm}}$	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{S_{amm}}$	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	3.0	N/mm ²	<	$\sigma_{C_{amm}}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	141.9	N/mm ²	<	$\sigma_{S_{amm}}$

Eccentricità	e (M)	579.6	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	554.6	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	10.8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id^*}	271680	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	101	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	144	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	1085.4	cm	
	u (M_{fess})	1060.4	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	270.1	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	10.7	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00027		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	$A_{C_{eff}}$	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.07	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

9.5.6 Soletta inferiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	45	kN m
Sforzo normale	N	81	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	1.8	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	56.8	N/mm ²	<	σ_{amm}

Eccentricità	e (M)	55.9	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	30.9	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	14.5	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	296525	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	107	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	150	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	185.8	cm	
	u (M_{fess})	160.8	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.9		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	256.1	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.6	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00011		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.03	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

9.5.7 Riepilogo fessurazione

Verifiche a fessurazione - Comb. frequenti

Condizioni ambientali aggressive

Limite ap. fessure = $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

	Arm. tesa		Arm. comp.		M [kNm/m]	N [kN/m]	wk [mm]
	1° strato	2° strato	1° strato	2° strato			
Soletta superiore - Campata	5 Ø20	-	5 Ø18	-	94	14	0.18
Soletta superiore - Appoggio	5 Ø18	-	5 Ø18	-	65	60	-
Piedritto - Spiccato	5 Ø18	-	5 Ø18	-	54	165	-
Piedritto - Sommità	5 Ø18	-	5 Ø18	-	81	153	0.11
Soletta inferiore - Campata	5 Ø18	-	5 Ø18	-	77	13	-
Soletta inferiore - Appoggio	5 Ø18	-	5 Ø18	-	45	81	-

9.6 VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO

In base alle analisi strutturali, adottando come carico di verifica N quello massimo agente localmente in combinazione SLU lungo lo sviluppo della platea di fondazione, risulta una pressione di contatto massima E_d (a ml di fondazione):

$$N = 169 \text{ kN};$$

$$B = 3.8 \text{ m};$$

$$E_d = 45 \text{ kN/m}.$$

Riguardo alla problematica del carico limite, in considerazione delle ridotte azioni strutturali di progetto E_d , del notevole affondamento della fondazione in relazione all'entità dei carichi e alla presenza sul piano di fondazione del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si è ritenuto di non procedere con la verifica di portanza dal punto di vista analitico, in quanto certamente soddisfatta con ampi margini di sicurezza.

In particolare, in relazione all'affondamento, la presenza del terreno disposto lateralmente alla fondazione induce un carico stabilizzante favorevole, che contrasta eventuali superfici di rottura che dal piano di fondazione del tombino si sviluppano lateralmente, determinando elevati margini di sicurezza nei confronti del collasso.

Per quanto concerne la presenza del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si segnala che la verifica di portanza non costituisce mai una verifica dimensionante in presenza di terreni rocciosi, traducendosi in rapporti molto elevati fra carico ultimo e massima pressione al suolo.

Riguardo la tematica dei cedimenti, anche facendo cautelativamente riferimento sempre all'entità del carico di progetto E_d in combinazione SLU (relativamente ai cedimenti, i carichi di verifica dovrebbero riferirsi alle combinazioni SLE), la pressione geostatica esistente $\gamma \cdot D$ (a ml di fondazione, D affondamento del p.p.) connessa con lo sbancamento risulta:

$$\gamma \times D = 21 \text{ kN/m}^3 \times 3.0 \text{ m} / \text{ml} = 63 \text{ kN/ml} > E_d,$$

in eccesso rispetto alle azioni strutturali E_d .

La fondazione, dunque, risulta integralmente compensata ed i cedimenti nulli.

10 SEZIONE SCATOLARE CHIUSA - CONCIO 4

Per i Conci 3 e 4 la sezione scatolare del tombino è prevista con soletta superiore, piedritti e soletta inferiore di spessore 50 cm. Ai fini del calcolo si prende in considerazione il solo Concio 4, ed in particolare la sezione con ricoprimento di 5.75 m in corrispondenza dell'asse stradale (Asse 5).

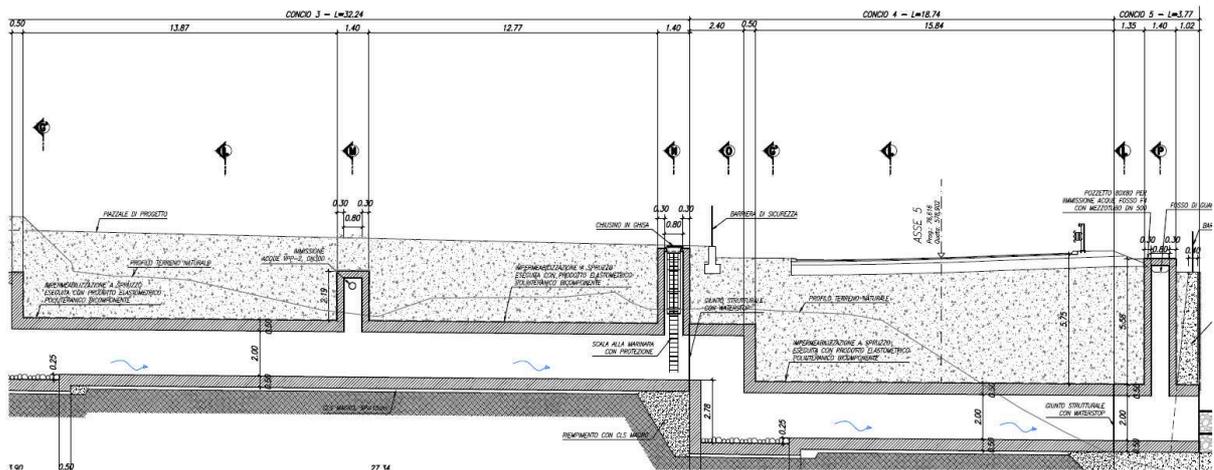


Figura 38: Profilo longitudinale scatolare chiuso – Conci 3-4

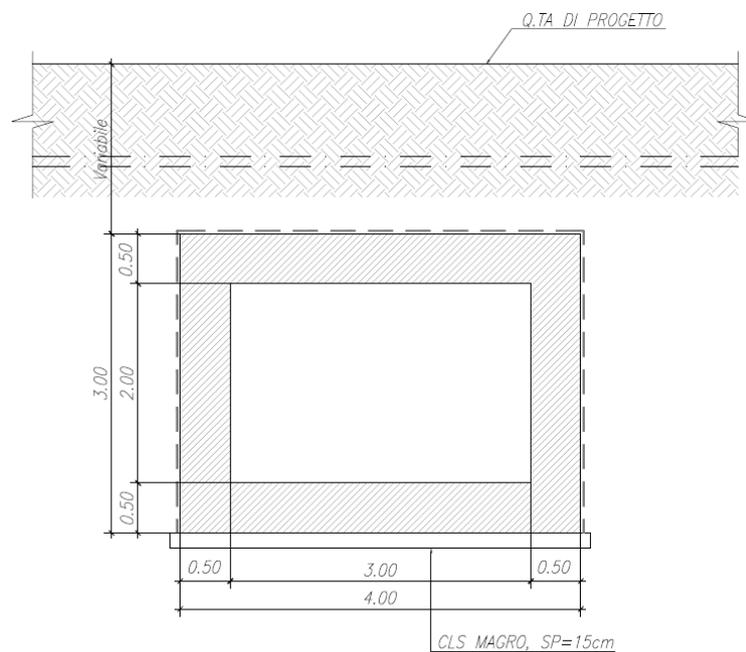


Figura 39: Sezione trasversale scatolare chiuso – Concio 2

10.1 GEOMETRIA E CARICHI

Si riportano di seguito i parametri di progetto, la geometria ed i carichi agenti per la sezione in esame.

Caratteristiche materiali e terreno

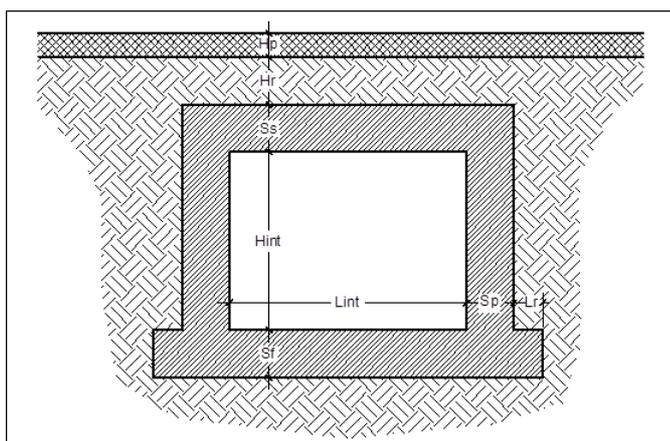
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ	25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo		C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}	37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}	31	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E	33000	N/mm ²
Pacchetto stradale - Peso specifico	γ	24	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ	21	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ	35	°
Terreno di fondazione	K_w	25000	kN/m ³
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione		aggressive	

Ricoprimento

Spessore pacchetto stradale	H_p	0.12	m
Spessore del rinterro	H_r	5.75	m

Geometria

Spessore soletta superiore	S_s	0.50	m
Spessore soletta di fondazione	S_f	0.50	m
Spessore piedritti	S_p	0.50	m
Altezza netta	H_{int}	2.00	m
Larghezza netta	L_{int}	3.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L_r	0.00	m



Carichi permanenti

Soletta superiore			
Peso pacchetto stradale	P_s	$0.12 \cdot 24 =$	2.88 kN/m ²
Peso del rinterro	P_r	$5.75 \cdot 21 =$	120.75 kN/m ²
Totale			123.63 kN/m

		2	
Risvolti soletta inferiore			
Peso pacchetto stradale	Ps	-	0.00 kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-	0.00 kN/m ²
Totale			0.00 ² kN/m
Carichi accidentali sulla copertura			
Tandem			
Ldiffusione x			2.20 m
Ldiffusione y			3.00 m
Impronta di carico x	Ld1	$2.20 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 5.75 + 0.50/2) =$	9.58 m
Impronta di carico y	Ld2	$3.00 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 5.75 + 0.50/2) =$	10.38 m
Impronta sull'impalcato		$9.58 \cdot 10.38 =$	99.43 m ²
carico q1 (totale)		(600 + 400)	1000 kN
carico q1 (ripartito)	Q _{1k}	$1000 / 99.43 =$	10.06 ² kN/m
Carico distribuito			
	Ld3	$3.00 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 5.75 + 0.50/2) =$	10.38 m
	q _{1k}	$9.00 \cdot (3.00 / 10.38) =$	2.60 ² kN/m
Frenamento q3			
q3	q3	$180 < 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900$ kN	35.72 kN/m
Azione termica			
Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_U		10 °C
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_F		15 °C
Ritiro (applicato alla soletta superiore)	ΔT_R		-10 °C
Spinta del terreno			
K0		$1 - \tan(35^\circ) =$	0.426
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.426 \cdot 123.63 =$	52.72 ² kN/
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.426 \cdot (123.63 + 21 \cdot 0.50/2) =$	54.96 m² kN/
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.426 \cdot [123.63 + 21 \cdot (0.50/2 + 2.00 + 0.50/2)] =$	77.34 m² kN/
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.426 \cdot [123.63 + 21 \cdot (0.50/2 + 2.00 + 0.50)] =$	79.58 ² kN/
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(52.72 + 54.96)/2 \cdot 0.50/2$	13.46 m kN/
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(77.34 + 79.58)/2 \cdot 0.50/2$	19.62 m kN/
Spinta del carico accidentale			
Spinta dovuta a q = 20 kN/m ²	p	$0.426 \cdot 20$	8.53 m² kN/

Sisma orizzontale

Stato limite	Salvaguardia della vita - SLU -	SLV
Vita nominale	Vr	50 anni
Classe d'uso	Cu	IV
accelerazione orizzontale	a_g/g	0.288
amplificazione spettrale	Fo	2.397
Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E	B
Coeff. Amplificazione stratigrafica	Ss	1.124
Coeff. Amplificazione topografica	St	1.2
Coefficiente S	$S = Ss \cdot St$	1.349
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = a_g/g \cdot S$	0.388
Fattore di struttura	q	1.00
Forza orizz. sul s. di cop. dovuta a perm+0.2acc.	FHs $0.388 \cdot (0.50 \cdot 25 + 0 + 0 \cdot 12.66) / 1.00 =$	4.86 kN/m ²
Forza orizz. sui piedritti	FHp $0.388 \cdot (0.50 \cdot 25) / 1.00 =$	4.86 kN/m ²

Spinta del terreno in fase sismica

Coefficiente sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$	0.388
Coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$	0.194
Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f)^2$	217.05 kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H$	72.35 kN/m ²

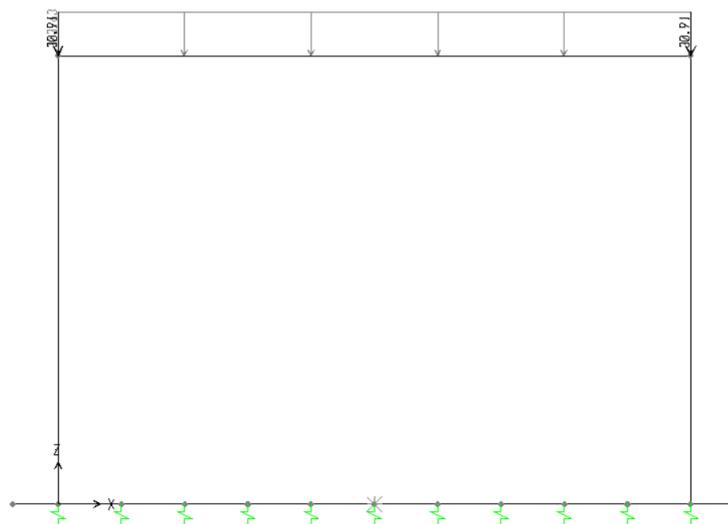


Figura 40: Carichi permanenti (PERM)

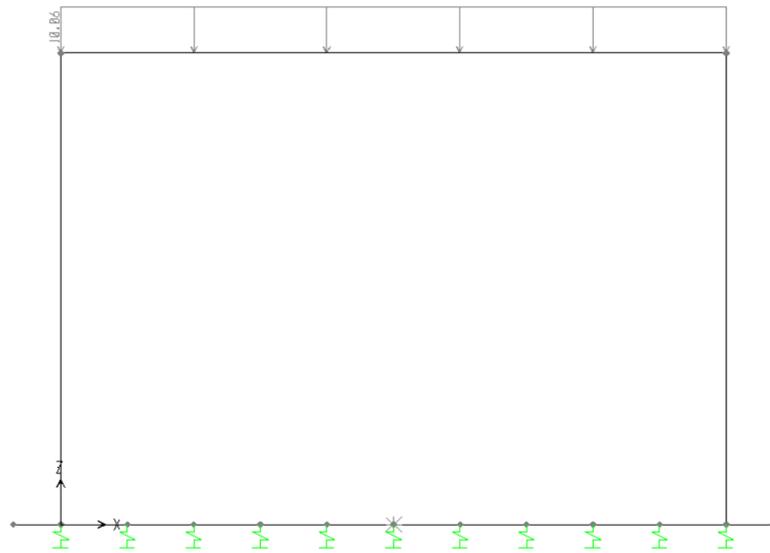


Figura 41: Carichi da traffico tandem – CdC M_{max} (Q1k-M)

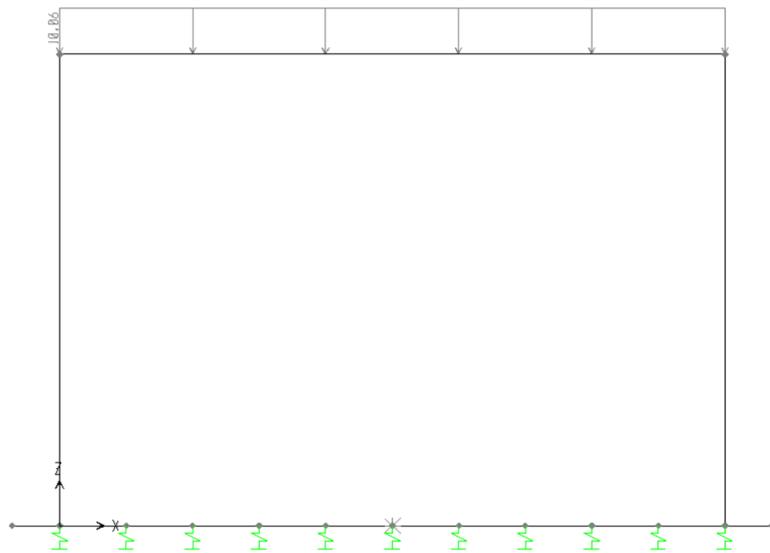


Figura 42: Carichi da traffico tandem – CdC V_{max} (Q1k-T)

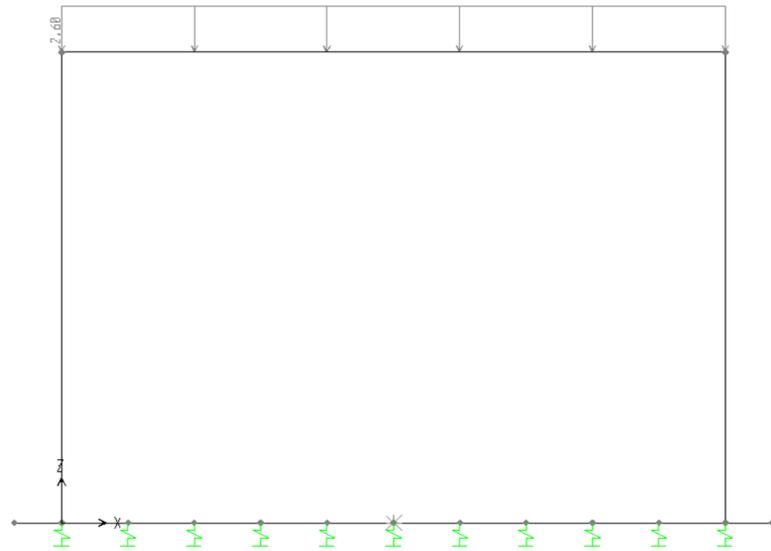


Figura 43: Carichi da traffico distribuiti (Q2)

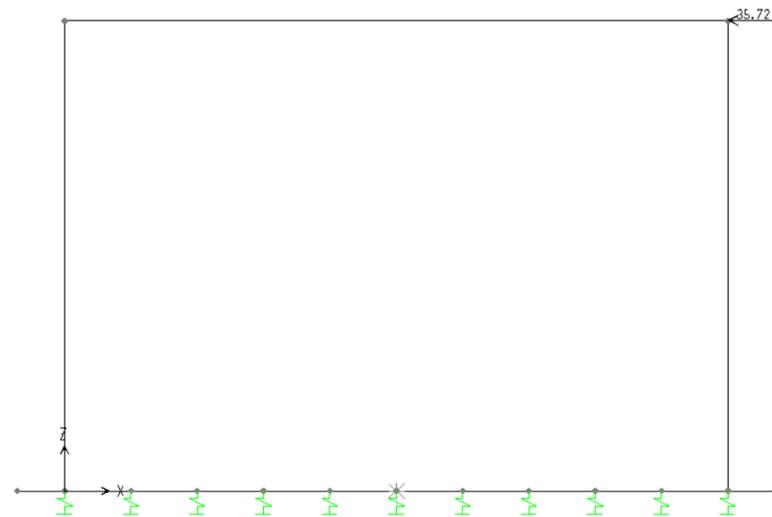


Figura 44: Frenatura (Q3)

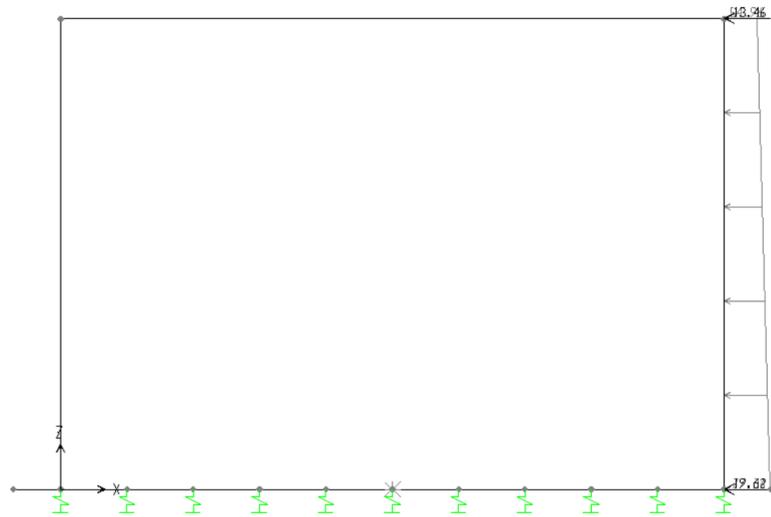


Figura 45: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

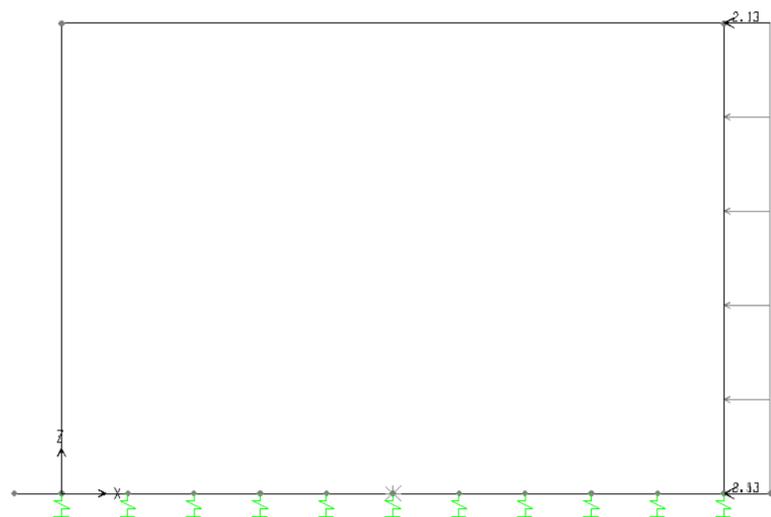


Figura 46: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

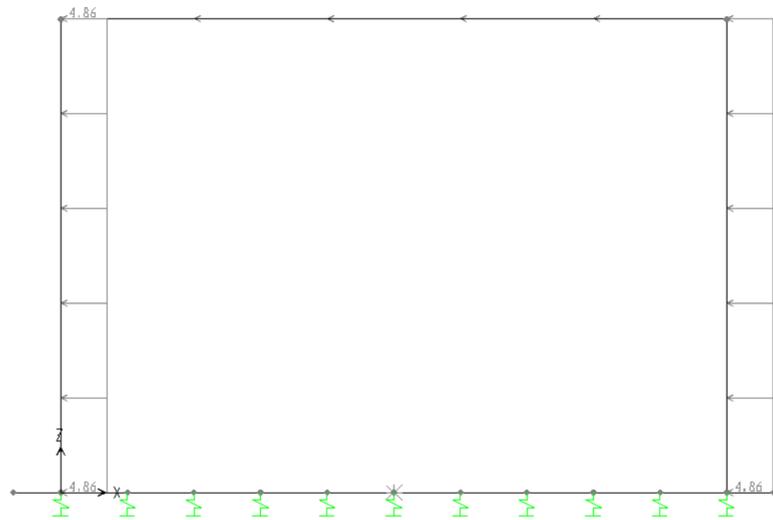


Figura 47: Forze d'inerzia (SISMAH)

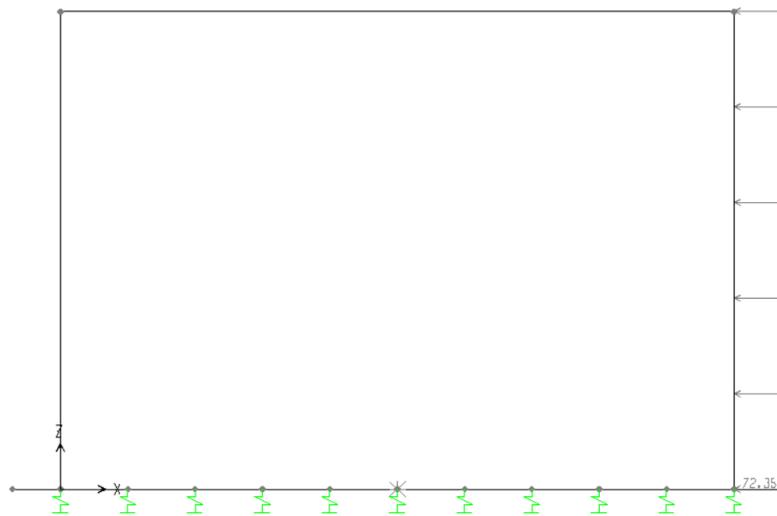


Figura 48: Sovrappinta sismica (SPSDX)

10.2 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito le schermate estratte dal modello di calcolo rappresentative delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU sugli aste del telaio.

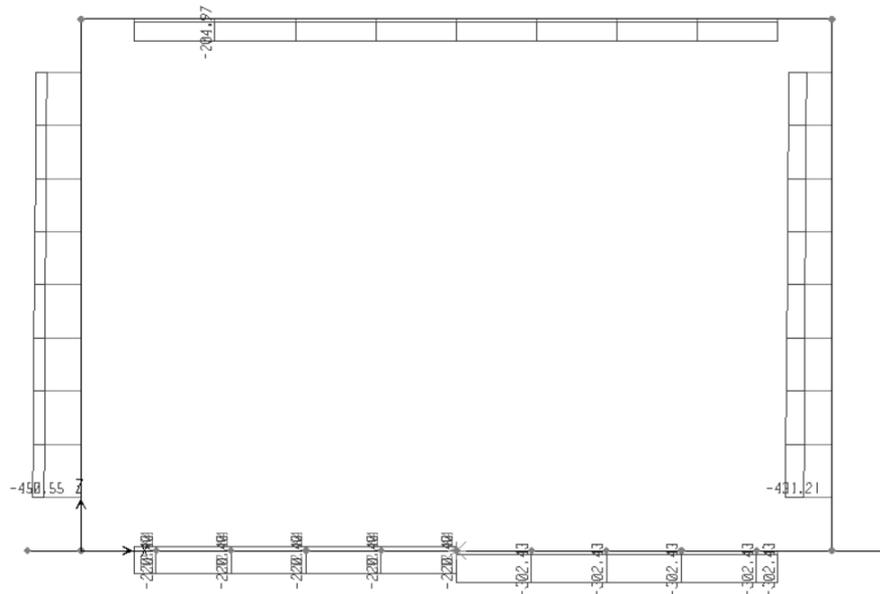


Figura 49: Sforzo normale – Inviluppo SLU

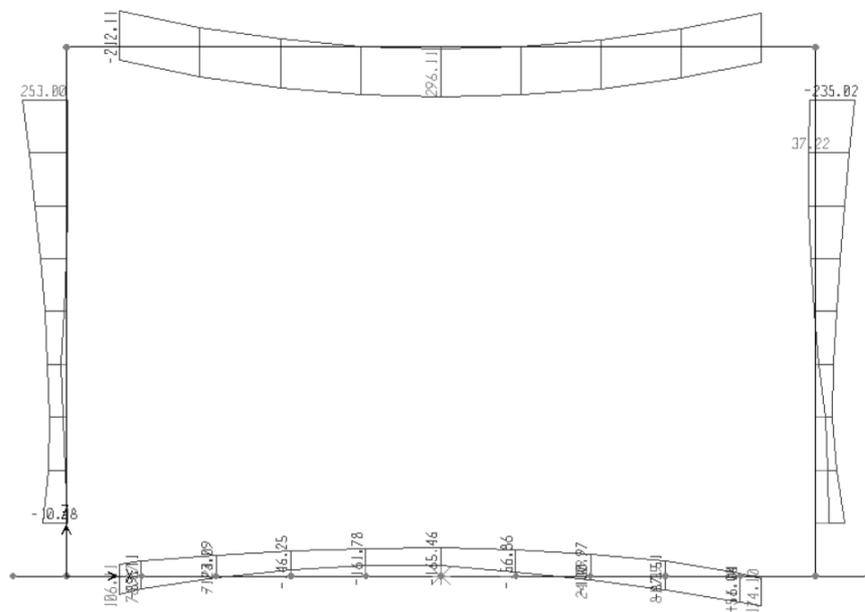


Figura 50: Momento flettente – Inviluppo SLU

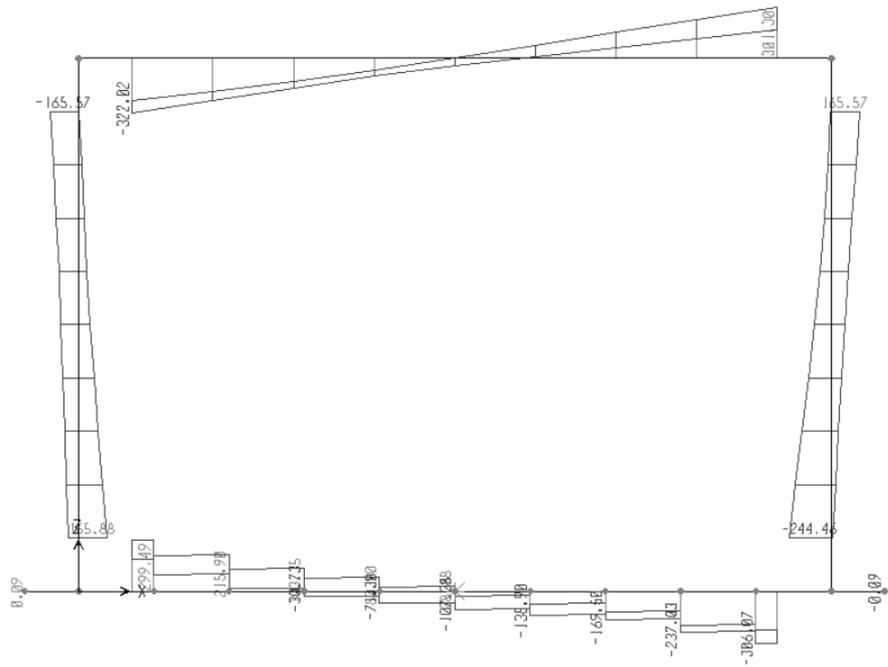
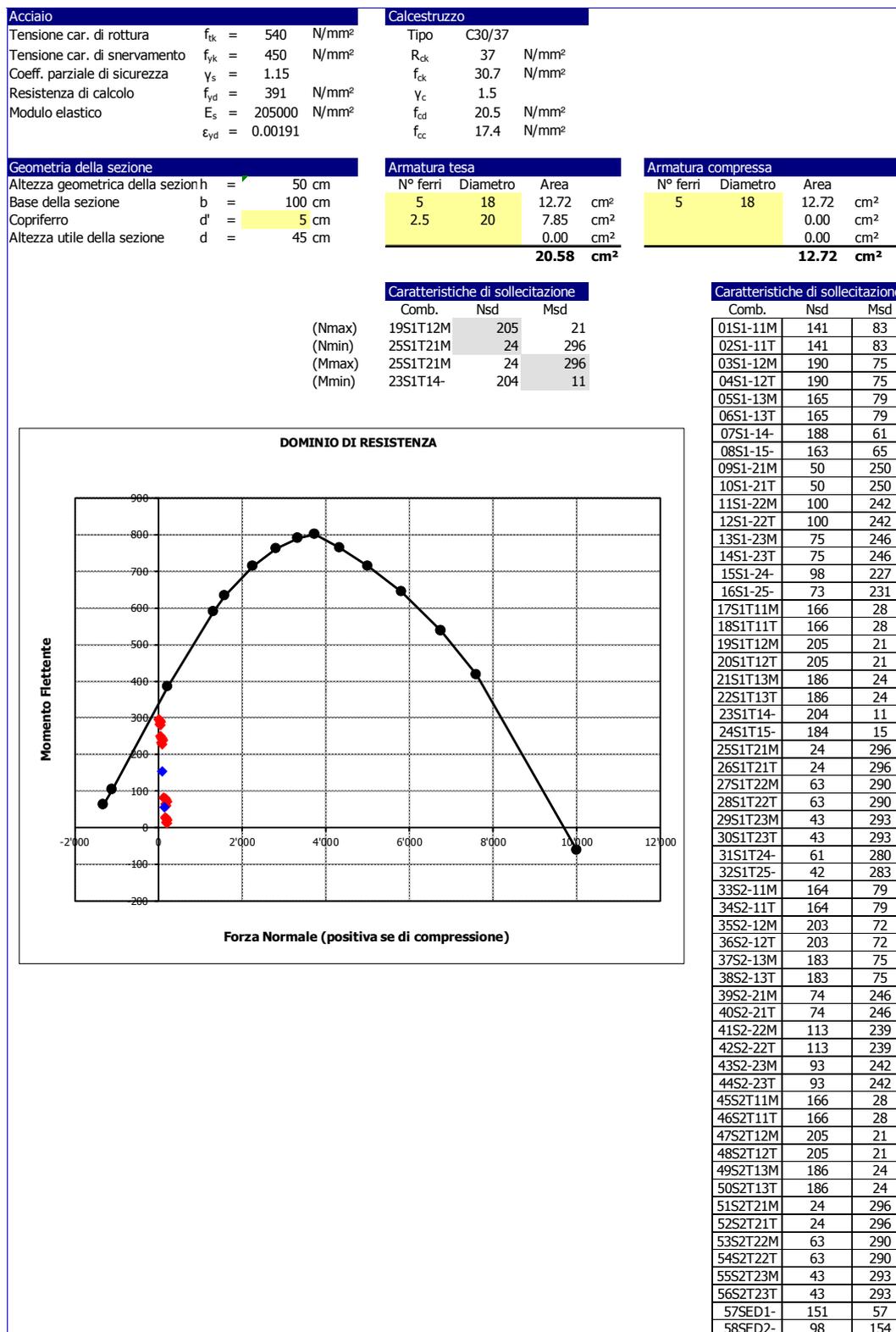


Figura 51: Taglio – Inviluppo SLU

10.3 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

10.3.1 Soletta superiore in campata



10.3.2 Soletta superiore all'appoggio

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yEd} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{yEd} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	18	12.72	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm			0.00	cm ²
				12.72	cm²
					12.72 cm ²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	19S1T12M	205	198
(Nmin)	25S1T21M	24	-76
(Mmax)	21S1T13M	186	212
(Mmin)	25S1T21M	24	-76

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	141	143
02S1-11T	141	143
03S1-12M	190	151
04S1-12T	190	151
05S1-13M	165	168
06S1-13T	165	168
07S1-14-	188	146
08S1-15-	163	164
09S1-21M	50	-24
10S1-21T	50	-24
11S1-22M	100	-16
12S1-22T	100	-16
13S1-23M	75	1
14S1-23T	75	1
15S1-24-	98	-21
16S1-25-	73	-3
17S1T11M	166	192
18S1T11T	166	192
19S1T12M	205	198
20S1T12T	205	198
21S1T13M	186	212
22S1T13T	186	212
23S1T14-	204	195
24S1T15-	184	209
25S1T21M	24	-76
26S1T21T	24	-76
27S1T22M	63	-70
28S1T22T	63	-70
29S1T23M	43	-56
30S1T23T	43	-56
31S1T24-	61	-73
32S1T25-	42	-59
33S2-11M	164	168
34S2-11T	164	168
35S2-12M	203	174
36S2-12T	203	174
37S2-13M	183	188
38S2-13T	183	188
39S2-21M	74	1
40S2-21T	74	1
41S2-22M	113	7
42S2-22T	113	7
43S2-23M	93	21
44S2-23T	93	21
45S2T11M	166	192
46S2T11T	166	192
47S2T12M	205	198
48S2T12T	205	198
49S2T13M	186	212
50S2T13T	186	212
51S2T21M	24	-76
52S2T21T	24	-76
53S2T22M	63	-70
54S2T22T	63	-70
55S2T23M	43	-56
56S2T23T	43	-56
57SED1-	158	163
58SED2-	105	66

DOMINIO DI RESISTENZA

Momento Flettente

Forza Normale (positiva se di compressione)

10.3.3 Piedritto allo spiccato

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$	N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$	N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²	
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$		f_{ck}	30.71 N/mm ²	
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} = 391$	N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	$E_s = 200000$	N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²	
	$\epsilon_{y,d} = 0.00196$		f_{cc}	17.4 N/mm ²	

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$	cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	$b = 100$	cm	5	18	12.72 cm ²	5	18	12.72 cm ²
Copriferro	$d' = 5$	cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 45$	cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
					12.72 cm²			12.72 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	01S1-11M	431	94
(Nmin)	57SED1-	259	142
(Mmax)	43S2-23M	393	171
(Mmin)	23S1T14-	401	77

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
	01S1-11M	431	94
	02S1-11T	431	94
	03S1-12M	431	93
	04S1-12T	431	93
	05S1-13M	417	119
	06S1-13T	417	119
	07S1-14-	401	85
	08S1-15-	387	112
	09S1-21M	431	130
	10S1-21T	431	130
	11S1-22M	431	129
	12S1-22T	431	129
	13S1-23M	417	155
	14S1-23T	417	155
	15S1-24-	401	121
	16S1-25-	387	147
	17S1T11M	422	84
	18S1T11T	422	84
	19S1T12M	422	83
	20S1T12T	422	83
	21S1T13M	410	103
	22S1T13T	410	103
	23S1T14-	401	77
	24S1T15-	390	98
	25S1T21M	422	136
	26S1T21T	422	136
	27S1T22M	422	135
	28S1T22T	422	135
	29S1T23M	410	155
	30S1T23T	410	155
	31S1T24-	401	129
	32S1T25-	390	150
	33S2-11M	404	115
	34S2-11T	404	115
	35S2-12M	404	114
	36S2-12T	404	114
	37S2-13M	393	135
	38S2-13T	393	135
	39S2-21M	404	151
	40S2-21T	404	151
	41S2-22M	404	150
	42S2-22T	404	150
	43S2-23M	393	171
	44S2-23T	393	171
	45S2T11M	422	84
	46S2T11T	422	84
	47S2T12M	422	83
	48S2T12T	422	83
	49S2T13M	410	103
	50S2T13T	410	103
	51S2T21M	422	136
	52S2T21T	422	136
	53S2T22M	422	135
	54S2T22T	422	135
	55S2T23M	410	155
	56S2T23T	410	155
	57SED1-	259	142
	58SED2-	259	165

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	431	94
02S1-11T	431	94
03S1-12M	431	93
04S1-12T	431	93
05S1-13M	417	119
06S1-13T	417	119
07S1-14-	401	85
08S1-15-	387	112
09S1-21M	431	130
10S1-21T	431	130
11S1-22M	431	129
12S1-22T	431	129
13S1-23M	417	155
14S1-23T	417	155
15S1-24-	401	121
16S1-25-	387	147
17S1T11M	422	84
18S1T11T	422	84
19S1T12M	422	83
20S1T12T	422	83
21S1T13M	410	103
22S1T13T	410	103
23S1T14-	401	77
24S1T15-	390	98
25S1T21M	422	136
26S1T21T	422	136
27S1T22M	422	135
28S1T22T	422	135
29S1T23M	410	155
30S1T23T	410	155
31S1T24-	401	129
32S1T25-	390	150
33S2-11M	404	115
34S2-11T	404	115
35S2-12M	404	114
36S2-12T	404	114
37S2-13M	393	135
38S2-13T	393	135
39S2-21M	404	151
40S2-21T	404	151
41S2-22M	404	150
42S2-22T	404	150
43S2-23M	393	171
44S2-23T	393	171
45S2T11M	422	84
46S2T11T	422	84
47S2T12M	422	83
48S2T12T	422	83
49S2T13M	410	103
50S2T13T	410	103
51S2T21M	422	136
52S2T21T	422	136
53S2T22M	422	135
54S2T22T	422	135
55S2T23M	410	155
56S2T23T	410	155
57SED1-	259	142
58SED2-	259	165

10.3.4 Piedritto in sommità

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	$f_{tk} =$	540 N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} =$	450 N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²	
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s =$	1.15	f_{ck}	30.71 N/mm ²	
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} =$	391 N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	$E_s =$	205000 N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²	
	$\epsilon_{y,d} =$	0.00191	f_{cc}	17.4 N/mm ²	

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	$h =$	50 cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	$b =$	100 cm	5	18	12.72 cm ²	5	18	12.72 cm ²
Copriferro	$d' =$	5 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	$d =$	45 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
					12.72 cm²			12.72 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	37S2-13M	417	234
(Nmin)	57SED1-	319	194
(Mmax)	21S1T13M	399	253
(Mmin)	31S1T24-	368	-6

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
	01S1-11M	397	194
	02S1-11T	397	194
	03S1-12M	397	193
	04S1-12T	397	193
	05S1-13M	412	217
	06S1-13T	412	217
	07S1-14-	368	182
	08S1-15-	382	206
	09S1-21M	397	50
	10S1-21T	397	50
	11S1-22M	397	49
	12S1-22T	397	49
	13S1-23M	412	73
	14S1-23T	412	73
	15S1-24-	368	37
	16S1-25-	382	62
	17S1T11M	388	235
	18S1T11T	388	235
	19S1T12M	388	234
	20S1T12T	388	234
	21S1T13M	399	253
	22S1T13T	399	253
	23S1T14-	368	226
	24S1T15-	379	245
	25S1T21M	388	2
	26S1T21T	388	2
	27S1T22M	388	1
	28S1T22T	388	1
	29S1T23M	399	20
	30S1T23T	399	20
	31S1T24-	368	-6
	32S1T25-	379	13
	33S2-11M	406	216
	34S2-11T	406	216
	35S2-12M	406	215
	36S2-12T	406	215
	37S2-13M	417	234
	38S2-13T	417	234
	39S2-21M	406	71
	40S2-21T	406	71
	41S2-22M	406	70
	42S2-22T	406	70
	43S2-23M	417	89
	44S2-23T	417	89
	45S2T11M	388	235
	46S2T11T	388	235
	47S2T12M	388	234
	48S2T12T	388	234
	49S2T13M	399	253
	50S2T13T	399	253
	51S2T21M	388	2
	52S2T21T	388	2
	53S2T22M	388	1
	54S2T22T	388	1
	55S2T23M	399	20
	56S2T23T	399	20
	57SED1-	319	194
	58SED2-	319	110

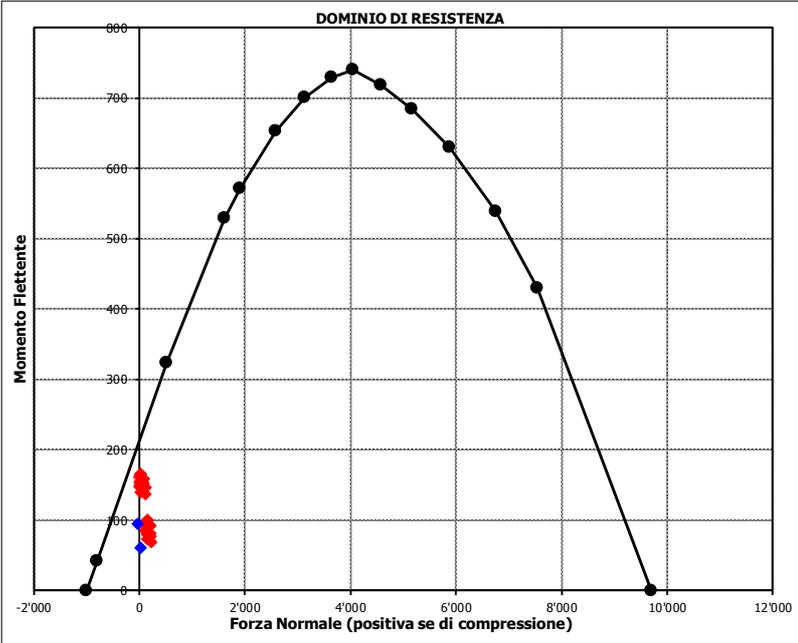
10.3.5 Soletta inferiore in campata

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	$f_{tk} =$	540 N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} =$	450 N/mm ²	R_{ck}	37	N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s =$	1.15	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	391 N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	$E_s =$	205000 N/mm ²	f_{cd}	20.5	N/mm ²
	$\epsilon_{yd} =$	0.00191	f_{cc}	17.4	N/mm ²

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	$h =$	50 cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	$b =$	100 cm	5	18	12.72 cm ²	5	18	12.72 cm ²
Copriferro	$d' =$	5 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	$d =$	45 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
					12.72 cm²			12.72 cm²

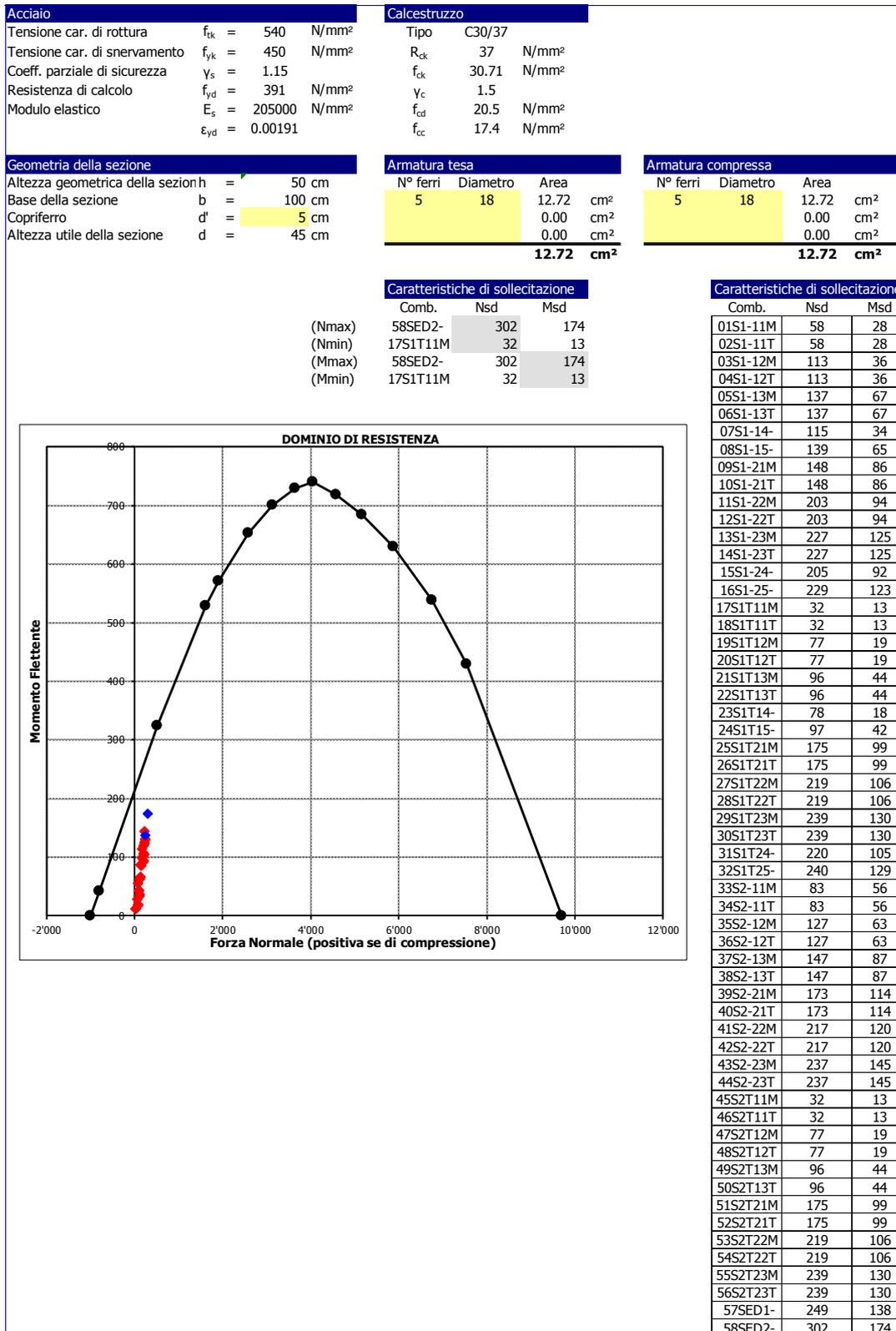
Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	31S1T24-	220	69
(Nmin)	57SED1-	-33	95
(Mmax)	17S1T11M	32	165
(Mmin)	58SED2-	21	61

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M		58	155
02S1-11T		58	155
03S1-12M		113	147
04S1-12T		113	147
05S1-13M		33	151
06S1-13T		33	151
07S1-14-		115	137
08S1-15-		35	140
09S1-21M		148	100
10S1-21T		148	100
11S1-22M		203	92
12S1-22T		203	92
13S1-23M		123	96
14S1-23T		123	96
15S1-24-		205	82
16S1-25-		125	85
17S1T11M		32	165
18S1T11T		32	165
19S1T12M		77	159
20S1T12T		77	159
21S1T13M		13	162
22S1T13T		13	162
23S1T14-		78	152
24S1T15-		14	155
25S1T21M		175	83
26S1T21T		175	83
27S1T22M		219	77
28S1T22T		219	77
29S1T23M		155	80
30S1T23T		155	80
31S1T24-		220	69
32S1T25-		157	73
33S2-11M		34	152
34S2-11T		34	152
35S2-12M		79	145
36S2-12T		79	145
37S2-13M		15	148
38S2-13T		15	148
39S2-21M		125	97
40S2-21T		125	97
41S2-22M		169	90
42S2-22T		169	90
43S2-23M		105	93
44S2-23T		105	93
45S2T11M		32	165
46S2T11T		32	165
47S2T12M		77	159
48S2T12T		77	159
49S2T13M		13	162
50S2T13T		13	162
51S2T21M		175	83
52S2T21T		175	83
53S2T22M		219	77
54S2T22T		219	77
55S2T23M		155	80
56S2T23T		155	80
57SED1-		-33	95
58SED2-		21	61



Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	31S1T24-	220	69
(Nmin)	57SED1-	-33	95
(Mmax)	17S1T11M	32	165
(Mmin)	58SED2-	21	61

10.3.6 Soletta inferiore all'appoggio



10.4 VERIFICHE A TAGLIO

Si prevedono legature $\Phi 14$ e $\Phi 12$, rispettivamente per le solette ed i piedritti, disposte con maglia 40×40 cm quale armatura trasversale a taglio.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
R_{ck}	37	N/mm ²
f_{ck}	30.7	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	17.4	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Ed}	kN	322	306	166	244
N_{Ed}	kN	0	0	0	0

Armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Diametro	mm	14	14	12	12
Numero barre		2.5	2.5	2.5	2.5
A_{sw}	cm ²	3.85	3.85	2.83	2.83
Passo s	cm	40	40	40	40
Angolo α	°	90	90	90	90

Armatura longitudinale

n_1		-	-	-	-
\varnothing_1	mm	-	-	-	-
n_2		-	-	-	-
\varnothing_2	mm	-	-	-	-
Asl	cm ²	-	-	-	-

Sezione

b_w	cm	100	100	100	100
H	cm	50	50	50	50
c	cm	5	5	5	5
d	cm	45	45	45	45
k	N/mm ²	1.67	1.67	1.67	1.67
v_{min}	N/mm ²	0.42	0.42	0.42	0.42
ρ		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
σ_{cp}	N/mm ²	0.00	0.00	0.00	0.00
α_c		1.00	1.00	1.00	1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	188	188	188	188
----------	----	-----	-----	-----	-----

Resistenza con armatura a taglio

Inclinazione puntone θ	°	21.8	21.8	21.8	21.8
V_{RSd}	kN	381	381	280	280
V_{RCd}	kN	1215	1215	1215	1215
V_{Rd}	kN	381	381	280	280

10.5 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

Per rapidità di calcolo, e a vantaggio di sicurezza, la verifica di fessurazione è condotta in combinazione frequente ma assumendo il limite di apertura delle fessure previsto in condizioni ambientali aggressive per la combinazione quasi permanente.

10.5.1 Soletta superiore in campata

Sollecitazioni

Momento flettente	M	170	kN m
Sforzo normale	N	39	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5 Ø 18	$C_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	Ø	$C_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	7.85	cm ²	3 Ø 20	$C_{t2} = 5.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5 Ø 18	$C_{t1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.5	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	194.2	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	430.4	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	405.4	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	13.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5466	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1241472	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	402015	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	108	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	152	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	386.9	cm	
	u (M_{fess})	361.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	173.6	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	13.5	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00055		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	19.0	cm	
Area efficace	$A_{c_{eff}}$	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	20.6	cm ²	
	ρ_r	0.01083		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	20.5	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.11	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.19	mm	

10.5.2 Soletta superiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	107	kN m
Sforzo normale	N	109	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.2	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	162.7	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	97.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	72.9	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	12.6	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	278242	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	110	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	153	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	140.3	cm	
	u (M_{fess})	115.3	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	250.5	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.9	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00031		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.08	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

10.5.3 Piedritto allo spiccato

Sollecitazioni

Momento flettente	M	110	kN m
Sforzo normale	N	303	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.3	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	103.0	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	36.3	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	11.3	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	17.4	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	349716	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	127	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	170	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	56.2	cm	
	u (M_{fess})	31.2	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.8		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	213.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	14.5	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.0002		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	ρ_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.05	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

10.5.4 Piedritto in sommità

Sollecitazioni

Momento flettente	M	144	kN m
Sforzo normale	N	297	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.7	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	167.4	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	48.6	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	23.6	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	15.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	307202	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	127	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	170	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	57.2	cm	
	u (M_{fess})	32.2	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	214.9	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	14.4	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00032		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.08	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.13	mm	

10.5.5 Soletta inferiore in campata

Sollecitazioni

Momento flettente	M	109	kN m
Sforzo normale	N	46	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	$\sigma_{C_{amm}}$	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	$\sigma_{S_{amm}}$	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $C_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$C_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$C_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $C_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.3	N/mm ²	<	$\sigma_{C_{amm}}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	190.7	N/mm ²	<	$\sigma_{S_{amm}}$

Eccentricità	e (M)	236.7	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	211.7	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	11.3	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	272525	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	104	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	147	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	319.2	cm	
	u (M_{fess})	294.2	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.8		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	263.2	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	11.1	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00036		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	$A_{C_{eff}}$	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	p_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.09	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.15	mm	

10.5.6 Soletta inferiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	86	kN m
Sforzo normale	N	153	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	12.72	cm ²	5	$\emptyset 18$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	3.4	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	107.4	N/mm ²	<	σ_{amm}

Eccentricità	e (M)	56.0	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	31.0	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	14.5	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5356	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1194348	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	296465	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	114	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	157	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	102.5	cm	
	u (M_{fess})	77.5	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	241.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	12.5	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.0002		
Copriferro netto	c'	4.1	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	17.6	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1760	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	12.7	cm ²	
	ρ_r	0.00723		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.05	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

10.5.7 Riepilogo fessurazione

Verifiche a fessurazione - Comb. frequenti

Condizioni ambientali aggressive

Limite ap. fessure = $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

	Arm. tesa		Arm. comp.		M [kNm/m]	N [kN/m]	wk [mm]
	1° strato	2° strato	1° strato	2° strato			
Soletta superiore - Campata	5 Ø18	2.5 Ø20	5 Ø18	-	170	39	0.19
Soletta superiore - Appoggio	5 Ø18	-	5 Ø18	-	107	109	-
Piedritto - Spiccato	5 Ø18	-	5 Ø18	-	110	303	-
Piedritto - Sommità	5 Ø18	-	5 Ø18	-	144	297	0.13
Soletta inferiore - Campata	5 Ø18	-	5 Ø18	-	109	46	0.15
Soletta inferiore - Appoggio	5 Ø18	-	5 Ø18	-	86	153	-

10.6 VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO

In base alle analisi strutturali, adottando come carico di verifica N quello massimo agente localmente in combinazione SLU lungo lo sviluppo della platea di fondazione, risulta una pressione di contatto massima E_d (a ml di fondazione):

$$N = 302 \text{ kN};$$

$$B = 4.0 \text{ m};$$

$$E_d = 76 \text{ kN/m}.$$

Riguardo alla problematica del carico limite, in considerazione delle ridotte azioni strutturali di progetto E_d , del notevole affondamento della fondazione in relazione all'entità dei carichi e alla presenza sul piano di fondazione del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si è ritenuto di non procedere con la verifica di portanza dal punto di vista analitico, in quanto certamente soddisfatta con ampi margini di sicurezza.

In particolare, in relazione all'affondamento, la presenza del terreno disposto lateralmente alla fondazione induce un carico stabilizzante favorevole, che contrasta eventuali superfici di rottura che dal piano di fondazione del tombino si sviluppano lateralmente, determinando elevati margini di sicurezza nei confronti del collasso.

Per quanto concerne la presenza del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si segnala che la verifica di portanza non costituisce mai una verifica dimensionante in presenza di terreni rocciosi, traducendosi in rapporti molto elevati fra carico ultimo e massima pressione al suolo.

Riguardo la tematica dei cedimenti, anche facendo cautelativamente riferimento sempre all'entità del carico di progetto E_d in combinazione SLU (relativamente ai cedimenti, i carichi di verifica dovrebbero riferirsi alle combinazioni SLE), la pressione geostatica esistente $\gamma \cdot D$ (a ml di fondazione, D affondamento del p.p.) connessa con lo sbancamento risulta:

$$\gamma \times D = 21 \text{ kN/m}^3 \times 3.0 \text{ m} / \text{ml} = 63 \text{ kN/ml}.$$

Tenuto conto che prudenzialmente E_d è stato riferito allo scenario SLU, le pressioni di contatto SLE risultano di fatto contenute entro il valore del peso del terreno sbancato, in modo tale che la pressione netta $E_{d,netto}$ in eccesso rispetto alla pressione geostatica esistente sul piano di posa risulti nulla, così come i cedimenti ad essa correlabili.

11 SEZIONE SCATOLARE CHIUSA CON FOSSO DI GUARDIA - CONCIO 4

Si verifica la sezione scatolare del Concio 4 nella zona in corrispondenza del fosso di guardia con sezione netta di 80x80 cm e altezza 5.60 m.

Il calcolo è condotto riportando le azioni alla base del fosso di guardia sulla soletta superiore delle due fasce di tombino di larghezza unitaria poste immediatamente prima e dopo l'apertura del fosso (fascia C-C in fig. 52). In particolare, tali azioni sono rappresentate dal peso proprio della canna del fosso e dalle spinte esercitate dal terreno in condizioni statiche e sismiche.

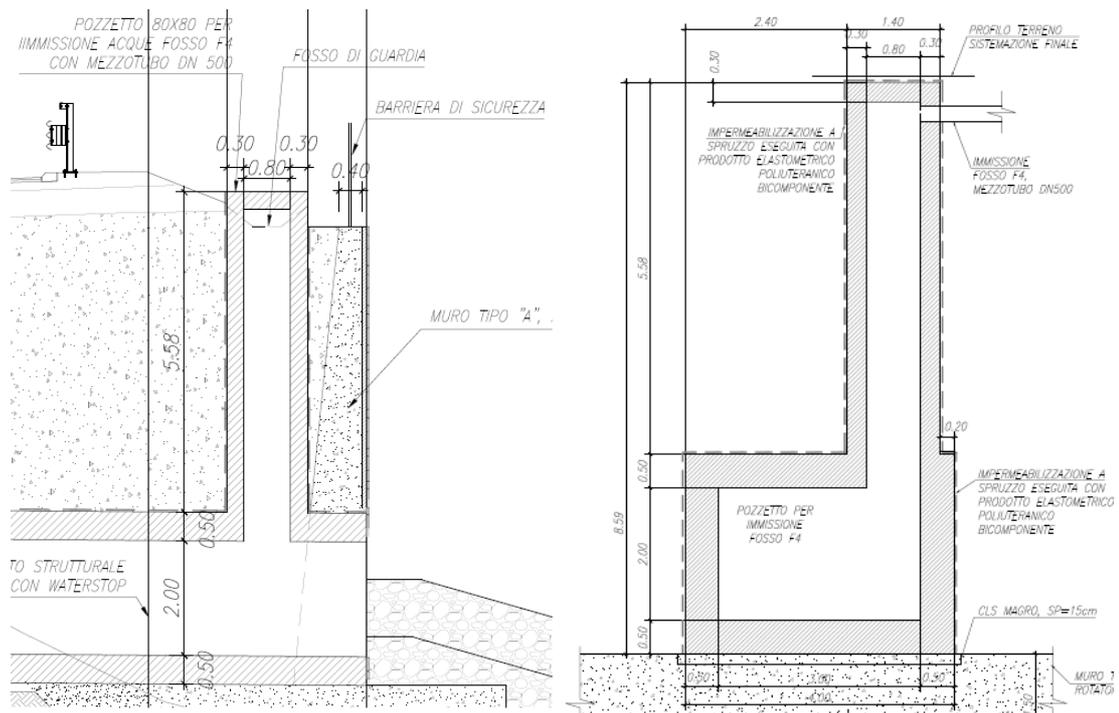


Figura 52: Sezione longitudinale e trasversale scatolare chiuso con fosso di guardia

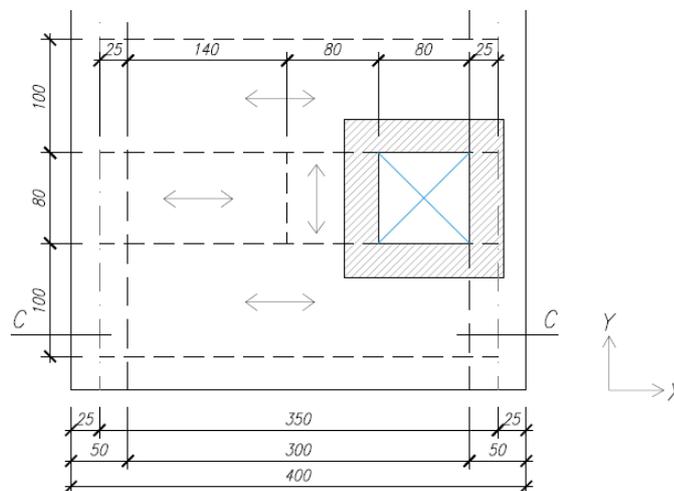


Figura 53: Vista in pianta scatolare chiuso con fosso di guardia

11.1 GEOMETRIA E CARICHI

Data la presenza di un muro di sostegno a ridosso del fosso di guardia, la spinta statica del terreno in dir. y è assunta agente su una sola faccia del fosso, e dunque sbilanciata, mentre in direzione ortogonale essa risulta essere autoequilibrata in quanto applicata su entrambe le facce.

In definitiva, si considerano le seguenti azioni orizzontali agenti sulla canna del fosso:

- Spinta statica del terreno in dir. y (lungo l'asse del tombino);
- Sovraspinta sismica in dir. x (ortogonale all'asse del tombino).

Geometria fosso di guardia		
Altezza	H	560 cm
Larghezza interna in dir. x	b_x	80 cm
Larghezza interna in dir. y	b_y	80 cm
Spessore pareti	t	30 cm
Larghezza esterna in dir. x	B_x	140 cm
Larghezza esterna in dir. y	B_y	140 cm
Sezione in pianta	A	13200 cm ²
Volume	V	7.392 m ³
Peso totale fosso di guardia	P	184.8 kN
Spinta terreno in cond. statiche		
Peso specifico terreno	γ_t	20 kN/m ³
Angolo di attrito terreno	ϕ	35 °
Coefficiente di spinta attiva	K_a	0.271
Pressione alla base del fosso	$p_a(z=H)$	30.35 kN/m ²
Spinta in cond. statiche	S_a	85.0 kN
Taglio alla base del fosso per spinta	V_{spinta}	85.0 kN
Momento alla base del fosso per spinta	M_{spinta}	158.6 kNm
Sovraspinta terreno in cond. sismiche		
Accelerazione orizzontale max su sito di riferimento	a_g	0.288 g
Coeff. di amplificazione stratigrafica e topografica	S	1.124
Accelerazione orizzontale max attesa al sito	a_{max}	0.323712 g
Coeff. di riduzione dell'accelerazione max	β_m	0.38
Coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.1230
Coefficiente sismico verticale	k_v	0.0615
Angolo di inerzia sismico	ψ	7.467 °
	$\phi-\psi$	27.533 °
Coeff. di spinta attiva (Mononobe-Okabe)	k_{ae}	0.348
Pressione alla base del fosso	$p_{ae}(z=H)$	41.31 kN/m ²
Spinta in cond. sismiche	S_{ae}	115.7 kN

Sovrappinta sismica	ΔS_{ae}	30.7 kN
Taglio alla base del fosso per sovrappinta	V_{sovr}	30.7 kN
Momento alla base del fosso per sovrappinta	M_{sovr}	57.3 kNm

Il momento flettente alla base del fosso è ripartito tra le due pareti dello stesso secondo lo schema di "tira e spingi" di seguito riportato, risultando un'azione di trazione e compressione applicate sul traverso del tombino. L'azione di taglio è invece divisa equamente tra le due pareti opposte.

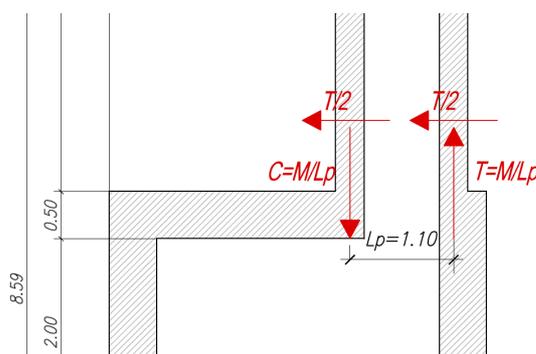


Figura 54: Scomposizione delle azioni alla base del fosso

Azioni trasmesse alla soletta (striscia C-C)			
<u>Carichi verticali</u>			
Carico distribuito per peso proprio fosso	q_{perm}	66.0 kN/m	
Carico distribuito per spinta statica terreno	q_{spinta}	103.0 kN/m	
Carico puntuale di compressione per sovrappinta sism.	$P_{c,sovr}$	26.0 kN	<i>applicato in campata</i>
Carico puntuale di trazione per sovrappinta sism.	$P_{t,sovr}$	-26.0 kN	<i>applicato sul piedritto</i>
<u>Carichi orizzontali</u>			
Taglio per sovrappinta sismica	V_{sovr}	-15.3 kN	<i>in dir. x</i>

Si riportano di seguito i parametri di progetto, la geometria ed i carichi agenti per la sezione in esame.

Caratteristiche materiali e terreno

Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ	25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo		C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}	37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}	31	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E	33000	N/mm ²
Pacchetto stradale - Peso specifico	γ	24	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ	21	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	ϕ	35	°

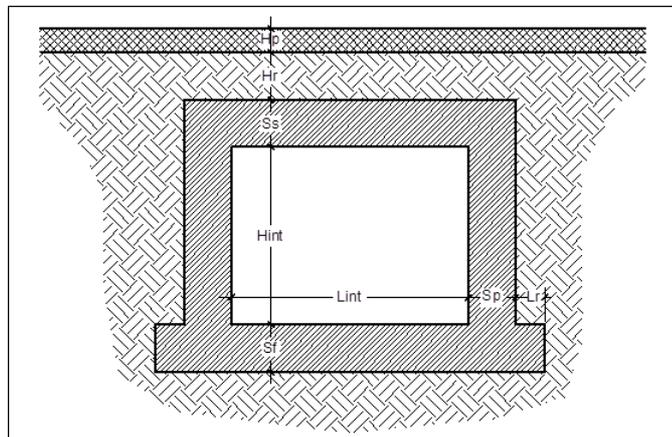
Terreno di fondazione	Kw	25000	kN/m ³
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione		aggressive	

Ricoprimento

Spessore pacchetto stradale	Hp	0.12	m
Spessore del rinterro	Hr	5.60	m

Geometria

Spessore soletta superiore	Ss	0.50	m
Spessore soletta di fondazione	Sf	0.50	m
Spessore piedritti	Sp	0.50	m
Altezza netta	Hint	2.00	m
Larghezza netta	Lint	3.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr	0.00	m



Carichi permanenti

Soletta superiore			
Peso pacchetto stradale	Ps	$0.12 \cdot 24 =$	2.88 kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	$5.60 \cdot 21 =$	117.60 kN/m ²
Totale			120.48 kN/m²

Risvolti soletta inferiore

Peso pacchetto stradale	Ps	-	0.00 kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-	0.00 kN/m ²
Totale			0.00 kN/m²

Carichi accidentali sulla copertura

Tandem			
Ldiffusione x		2.20	m
Ldiffusione y		3.00	m
Impronta di carico x	Ld1	$2.20 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 5.60 + 0.50/2) =$	9.41 m
Impronta di carico y	Ld2	$3.00 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 5.60 + 0.50/2) =$	10.21 m
Impronta sull'impalcato		$9.41 \cdot 10.21 =$	96.00 m ²

carico q1 (totale)	(600 + 400)	1000	kN
carico q1 (ripartito)	$Q_{1k} = 1000 / 96.00 =$	10.42	kN/m²
Carico distribuito			
	Ld3 $3.00 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 5.60 + 0.50/2) =$	10.21	m
	$q_{1k} = 9.00 \cdot (3.00 / 10.21) =$	2.65	kN/m²
Frenamento q3			
q3	$q3 = 180 < 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900$ kN	36.33	kN/m
Azione termica			
Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_U	10	°C
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_F	15	°C
Ritiro (applicato alla soletta superiore)	ΔT_R	-10	°C
Spinta del terreno			
K0	$1 - \tan(35^\circ) =$	0.426	
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	$p1 = 0.426 \cdot 120.48 =$	51.38	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	$p2 = 0.426 \cdot (120.48 + 21 \cdot 0.50/2) =$	53.61	kN/m²
Spinta in asse sol. inf.	$p3 = 0.426 \cdot [120.48 + 21 \cdot (0.50/2 + 2.00 + 0.50/2)] =$	76.00	kN/m²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	$p4 = 0.426 \cdot [120.48 + 21 \cdot (0.50/2 + 2.00 + 0.50)] =$	78.24	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	$F1 = (51.38 + 53.61)/2 \cdot 0.50/2 =$	13.12	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	$F2 = (76.00 + 78.24)/2 \cdot 0.50/2 =$	19.28	kN/m
Spinta del carico accidentale			
Spinta dovuta a $q = 20$ kN/m ²	$p = 0.426 \cdot 20$	8.53	kN/m²
Sisma orizzontale			
Stato limite	Salvaguardia della vita - SLU -	SLV	
Vita nominale	Vr	50	anni
Classe d'uso	Cu	IV	
accelerazione orizzontale	a_g/g	0.288	
amplificazione spettrale	Fo	2.397	
Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E	B	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	Ss	1.124	
Coeff. Amplificazione topografica	St	1	
Coefficiente S	$S = Ss \cdot St$	1.124	
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = a_g/g \cdot S$	0.324	
Fattore di struttura	q	1.20	
Forza orizz. sul s. di cop. dovuta a perm+0.2acc.	$FHs = 0.324 \cdot (0.50 \cdot 25 + 0 + 0 \cdot 13.06) / 1.20 =$	3.37	kN/m²
Forza orizz. sui piedritti	$FHp = 0.324 \cdot (0.50 \cdot 25) / 1.20 =$	3.37	kN/m²

Spinta del terreno in fase sismica

Coefficiente sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$	0.324	
Coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$	0.162	
Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f)^2$	177.81	kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H$	59.27	kN/m²

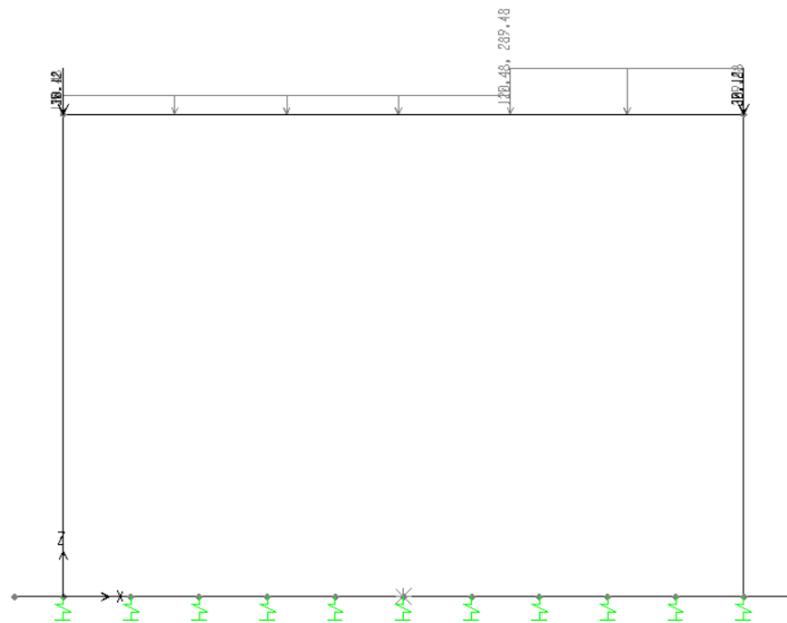


Figura 55: Carichi permanenti (PERM)

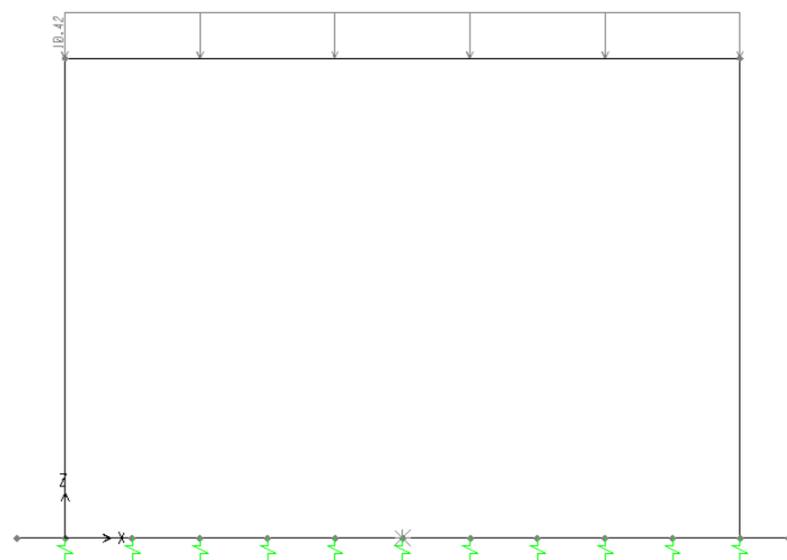


Figura 56: Carichi da traffico tandem – CdC Mmax (Q1k-M)

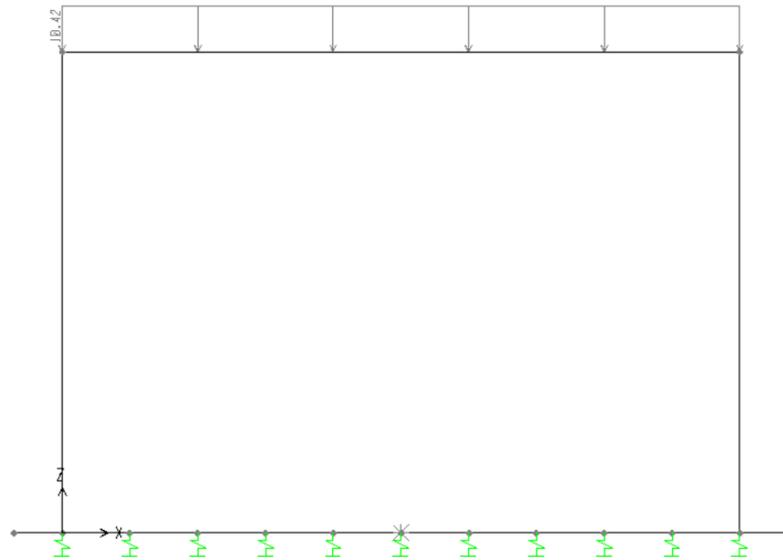


Figura 57: Carichi da traffico tandem – CdC Vmax (Q1k-T)

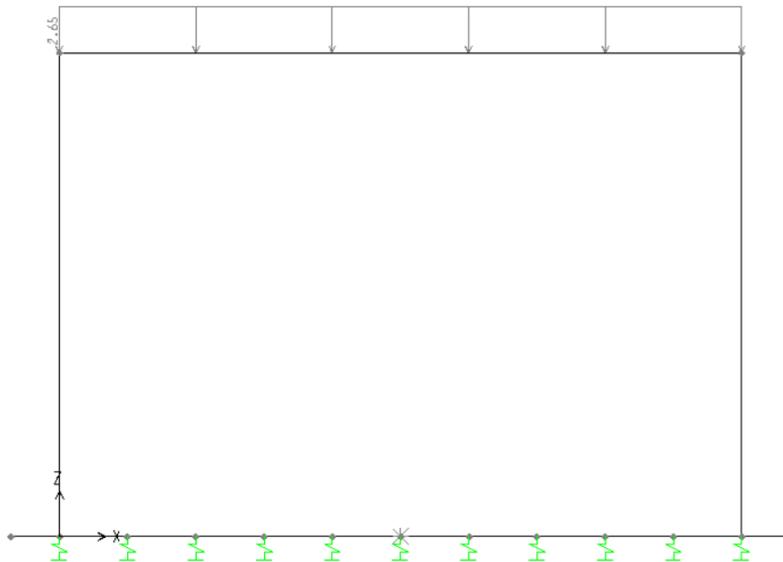


Figura 58: Carichi da traffico distribuiti (Q2)

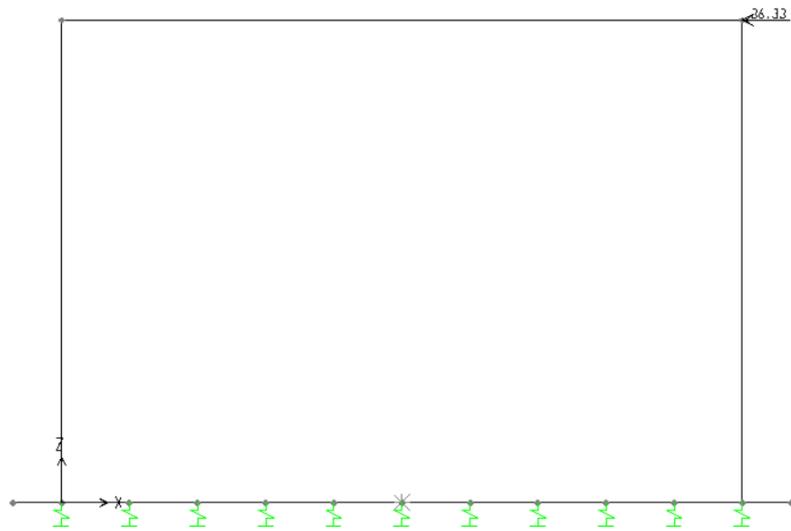


Figura 59: Frenatura (Q3)

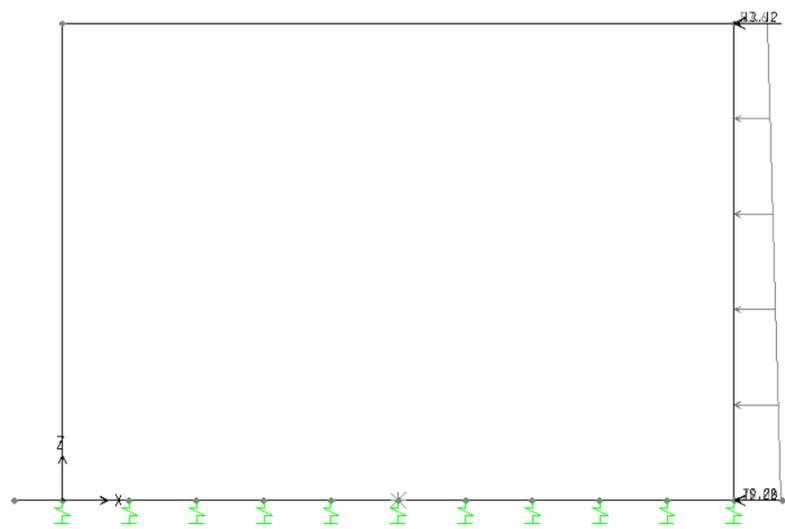


Figura 60: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

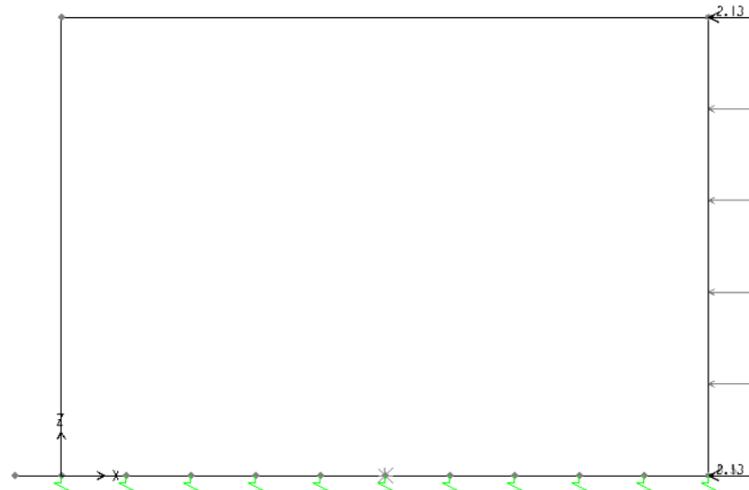


Figura 61: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

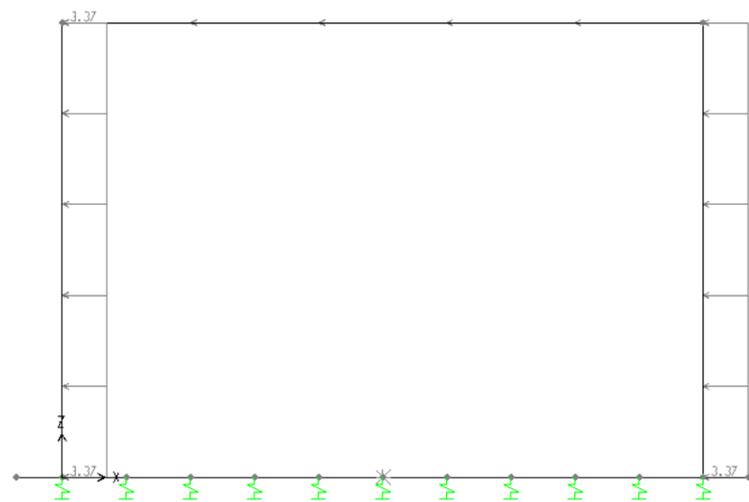


Figura 62: Forze d'inerzia (SISMAH)

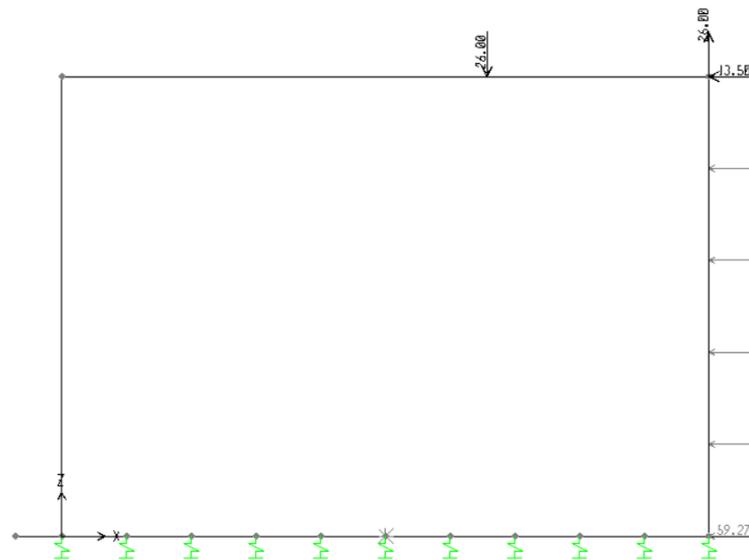


Figura 63: Sovrappinta sismica (SPSDX)

11.2 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito le schermate estratte dal modello di calcolo rappresentative delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU sugli aste del telaio.

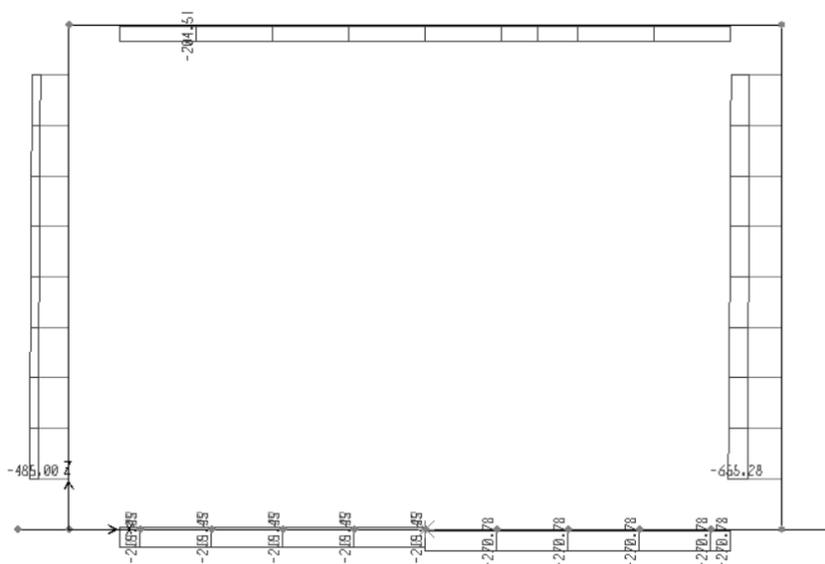


Figura 64: Sforzo normale – Inviluppo SLU

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

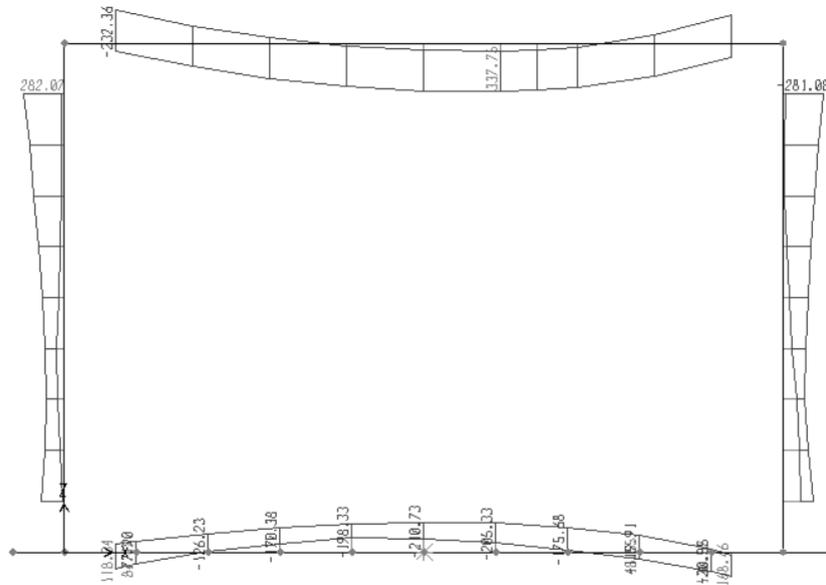


Figura 65: Momento flettente – Involuppo SLU

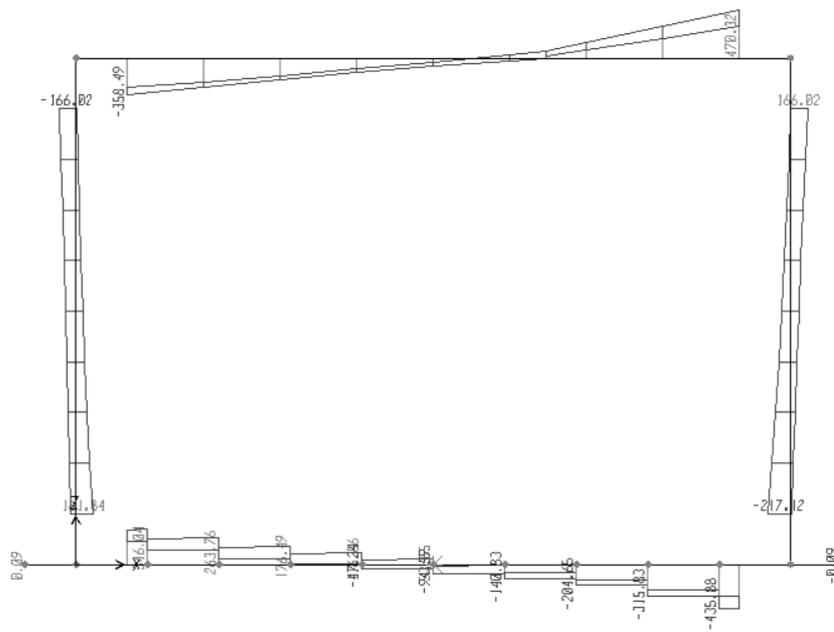


Figura 66: Taglio – Involuppo SLU

11.3 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

11.3.1 Soletta superiore in campata

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.7 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

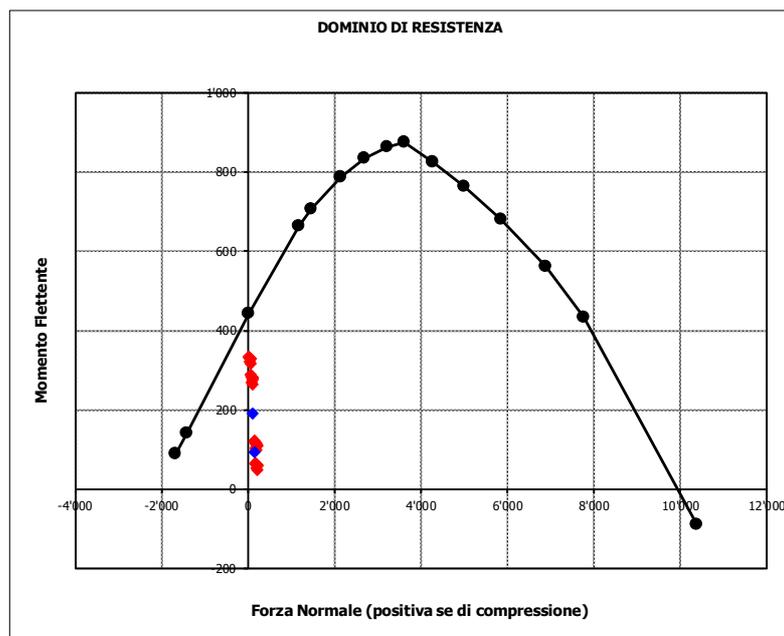
Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 5$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
2.5	24	11.31	cm ²
		0.00	cm ²
			27.02 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
			15.71 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	19S1T12M	205	60
(Nmin)	25S1T21M	24	334
(Mmax)	25S1T21M	24	334
(Mmin)	23S1T14-	203	50

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	141	122
02S1-11T	141	122
03S1-12M	189	114
04S1-12T	189	114
05S1-13M	165	118
06S1-13T	165	118
07S1-14-	187	99
08S1-15-	163	103
09S1-21M	51	288
10S1-21T	51	288
11S1-22M	99	281
12S1-22T	99	281
13S1-23M	75	285
14S1-23T	75	285
15S1-24-	97	266
16S1-25-	73	270
17S1T11M	166	66
18S1T11T	166	66
19S1T12M	205	60
20S1T12T	205	60
21S1T13M	185	63
22S1T13T	185	63
23S1T14-	203	50
24S1T15-	184	53
25S1T21M	24	334
26S1T21T	24	334
27S1T22M	62	328
28S1T22T	62	328
29S1T23M	43	331
30S1T23T	43	331
31S1T24-	61	318
32S1T25-	42	321
33S2-11M	165	117
34S2-11T	165	117
35S2-12M	203	111
36S2-12T	203	111
37S2-13M	184	114
38S2-13T	184	114
39S2-21M	75	284
40S2-21T	75	284
41S2-22M	113	278
42S2-22T	113	278
43S2-23M	94	281
44S2-23T	94	281
45S2T11M	166	66
46S2T11T	166	66
47S2T12M	205	60
48S2T12T	205	60
49S2T13M	185	63
50S2T13T	185	63
51S2T21M	24	334
52S2T21T	24	334
53S2T22M	62	328
54S2T22T	62	328
55S2T23M	43	331
56S2T23T	43	331
57SED1-	153	95
58SED2-	100	191



11.3.2 Soletta superiore all'appoggio

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{y,d} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 5$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm

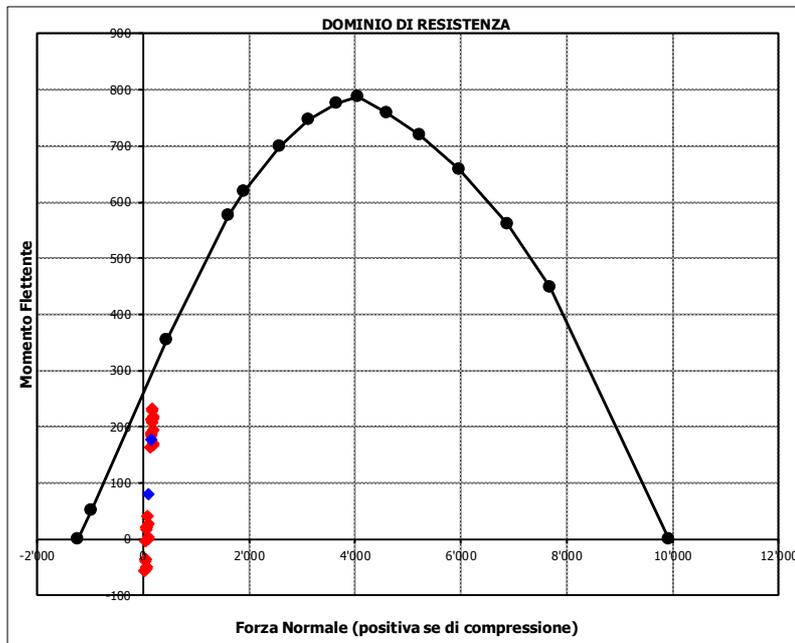
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	19S1T12M	205	219
(Nmin)	25S1T21M	24	-56
(Mmax)	21S1T13M	185	232
(Mmin)	25S1T21M	24	-56

Caratteristiche di sollecitazione

	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	141	163	
02S1-11T	141	163	
03S1-12M	189	171	
04S1-12T	189	171	
05S1-13M	165	189	
06S1-13T	165	189	
07S1-14-	187	167	
08S1-15-	163	184	
09S1-21M	51	-3	
10S1-21T	51	-3	
11S1-22M	99	5	
12S1-22T	99	5	
13S1-23M	75	22	
14S1-23T	75	22	
15S1-24-	97	0	
16S1-25-	73	17	
17S1T11M	166	213	
18S1T11T	166	213	
19S1T12M	205	219	
20S1T12T	205	219	
21S1T13M	185	232	
22S1T13T	185	232	
23S1T14-	203	216	
24S1T15-	184	229	
25S1T21M	24	-56	
26S1T21T	24	-56	
27S1T22M	62	-49	
28S1T22T	62	-49	
29S1T23M	43	-36	
30S1T23T	43	-36	
31S1T24-	61	-53	
32S1T25-	42	-39	
33S2-11M	165	189	
34S2-11T	165	189	
35S2-12M	203	195	
36S2-12T	203	195	
37S2-13M	184	208	
38S2-13T	184	208	
39S2-21M	75	22	
40S2-21T	75	22	
41S2-22M	113	28	
42S2-22T	113	28	
43S2-23M	94	42	
44S2-23T	94	42	
45S2T11M	166	213	
46S2T11T	166	213	
47S2T12M	205	219	
48S2T12T	205	219	
49S2T13M	185	232	
50S2T13T	185	232	
51S2T21M	24	-56	
52S2T21T	24	-56	
53S2T22M	62	-49	
54S2T22T	62	-49	
55S2T23M	43	-36	
56S2T23T	43	-36	
57SED1-	158	178	
58SED2-	105	81	



11.3.3 Piedritto allo spiccato

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yEd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 200000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yEd} = 0.00196$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 5$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm

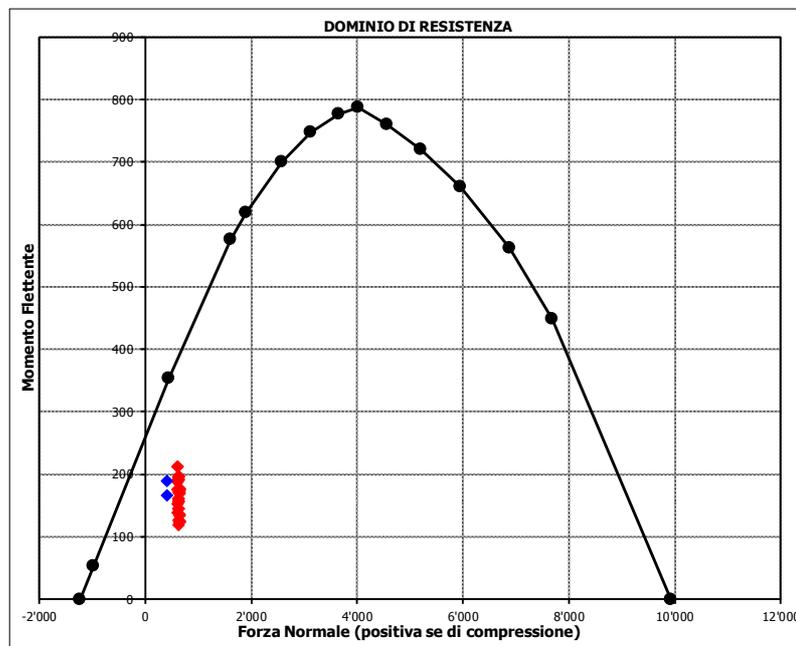
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	01S1-11M	655	136
(Nmin)	57SED1-	418	166
(Mmax)	43S2-23M	616	212
(Mmin)	23S1T14-	624	119

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	655	136
02S1-11T	655	136
03S1-12M	655	134
04S1-12T	655	134
05S1-13M	641	160
06S1-13T	641	160
07S1-14-	624	127
08S1-15-	610	153
09S1-21M	655	172
10S1-21T	655	172
11S1-22M	655	170
12S1-22T	655	170
13S1-23M	641	196
14S1-23T	641	196
15S1-24-	624	163
16S1-25-	610	188
17S1T11M	645	126
18S1T11T	645	126
19S1T12M	645	124
20S1T12T	645	124
21S1T13M	634	145
22S1T13T	634	145
23S1T14-	624	119
24S1T15-	613	139
25S1T21M	645	178
26S1T21T	645	178
27S1T22M	645	176
28S1T22T	645	176
29S1T23M	634	197
30S1T23T	634	197
31S1T24-	624	171
32S1T25-	613	191
33S2-11M	627	157
34S2-11T	627	157
35S2-12M	627	156
36S2-12T	627	156
37S2-13M	616	176
38S2-13T	616	176
39S2-21M	627	193
40S2-21T	627	193
41S2-22M	627	192
42S2-22T	627	192
43S2-23M	616	212
44S2-23T	616	212
45S2T11M	645	126
46S2T11T	645	126
47S2T12M	645	124
48S2T12T	645	124
49S2T13M	634	145
50S2T13T	634	145
51S2T21M	645	178
52S2T21T	645	178
53S2T22M	645	176
54S2T22T	645	176
55S2T23M	634	197
56S2T23T	634	197
57SED1-	418	166
58SED2-	418	189



11.3.4 Piedritto in sommità

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yEd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yEd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 5$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm

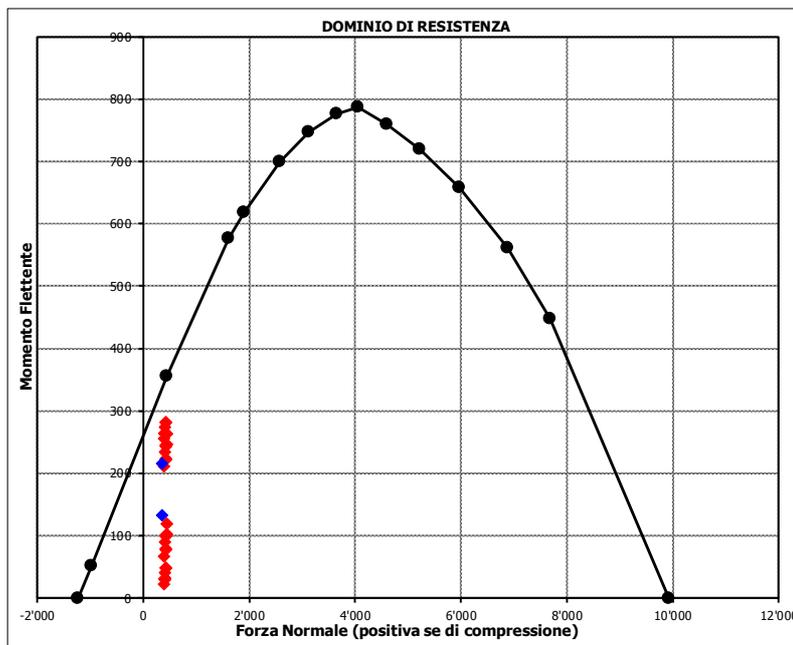
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			15.71 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			15.71 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	37S2-13M	451	263
(Nmin)	57SED1-	350	216
(Mmax)	21S1T13M	433	282
(Mmin)	31S1T24-	401	23

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	432	224
02S1-11T	432	224
03S1-12M	432	222
04S1-12T	432	222
05S1-13M	446	246
06S1-13T	446	246
07S1-14-	401	211
08S1-15-	415	235
09S1-21M	432	80
10S1-21T	432	80
11S1-22M	432	78
12S1-22T	432	78
13S1-23M	446	102
14S1-23T	446	102
15S1-24-	401	67
16S1-25-	415	90
17S1T11M	422	264
18S1T11T	422	264
19S1T12M	422	263
20S1T12T	422	263
21S1T13M	433	282
22S1T13T	433	282
23S1T14-	401	256
24S1T15-	412	274
25S1T21M	422	32
26S1T21T	422	32
27S1T22M	422	31
28S1T22T	422	31
29S1T23M	433	49
30S1T23T	433	49
31S1T24-	401	23
32S1T25-	412	41
33S2-11M	440	246
34S2-11T	440	246
35S2-12M	440	244
36S2-12T	440	244
37S2-13M	451	263
38S2-13T	451	263
39S2-21M	440	101
40S2-21T	440	101
41S2-22M	440	100
42S2-22T	440	100
43S2-23M	451	119
44S2-23T	451	119
45S2T11M	422	264
46S2T11T	422	264
47S2T12M	422	263
48S2T12T	422	263
49S2T13M	433	282
50S2T13T	433	282
51S2T21M	422	32
52S2T21T	422	32
53S2T22M	422	31
54S2T22T	422	31
55S2T23M	433	49
56S2T23T	433	49
57SED1-	350	216
58SED2-	350	133



11.3.5 Soletta inferiore in campata

Acciaio			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	=	205000 N/mm ²
	ϵ_{yd}	=	0.00191

Calcestruzzo			
Tipo	C30/37		
R_{ck}	37	N/mm ²	
f_{ck}	30.71	N/mm ²	
γ_c	1.5		
f_{cd}	20.5	N/mm ²	
f_{cc}	17.4	N/mm ²	

Geometria della sezione			
Altezza geometrica della sezione	h	=	50 cm
Base della sezione	b	=	100 cm
Copriferro	d'	=	5 cm
Altezza utile della sezione	d	=	45 cm

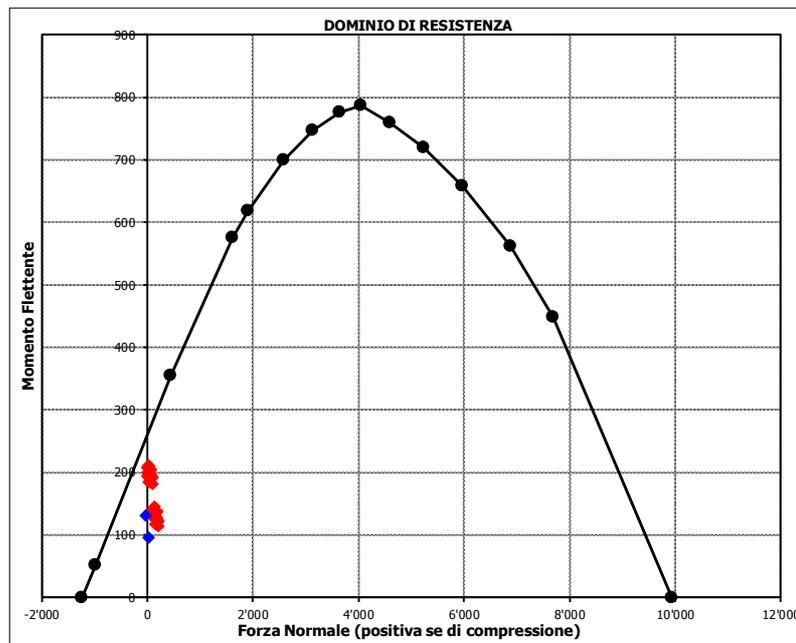
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	31S1T24-	215	115
(Nmin)	57SED1-	-31	131
(Mmax)	17S1T11M	28	211
(Mmin)	58SED2-	22	97

Caratteristiche di sollecitazione

	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	54	201	
02S1-11T	54	201	
03S1-12M	108	193	
04S1-12T	108	193	
05S1-13M	29	197	
06S1-13T	29	197	
07S1-14-	110	182	
08S1-15-	31	186	
09S1-21M	144	146	
10S1-21T	144	146	
11S1-22M	198	138	
12S1-22T	198	138	
13S1-23M	119	142	
14S1-23T	119	142	
15S1-24-	200	127	
16S1-25-	121	131	
17S1T11M	28	211	
18S1T11T	28	211	
19S1T12M	72	205	
20S1T12T	72	205	
21S1T13M	9	208	
22S1T13T	9	208	
23S1T14-	73	197	
24S1T15-	10	200	
25S1T21M	170	128	
26S1T21T	170	128	
27S1T22M	214	122	
28S1T22T	214	122	
29S1T23M	151	125	
30S1T23T	151	125	
31S1T24-	215	115	
32S1T25-	153	118	
33S2-11M	30	197	
34S2-11T	30	197	
35S2-12M	74	191	
36S2-12T	74	191	
37S2-13M	11	194	
38S2-13T	11	194	
39S2-21M	120	142	
40S2-21T	120	142	
41S2-22M	164	136	
42S2-22T	164	136	
43S2-23M	101	139	
44S2-23T	101	139	
45S2T11M	28	211	
46S2T11T	28	211	
47S2T12M	72	205	
48S2T12T	72	205	
49S2T13M	9	208	
50S2T13T	9	208	
51S2T21M	170	128	
52S2T21T	170	128	
53S2T22M	214	122	
54S2T22T	214	122	
55S2T23M	151	125	
56S2T23T	151	125	
57SED1-	-31	131	
58SED2-	22	97	



11.3.6 Soletta inferiore all'appoggio

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{y,d} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C30/37
R_{ck}	37 N/mm ²
f_{ck}	30.71 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	20.5 N/mm ²
f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 5$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 45$ cm

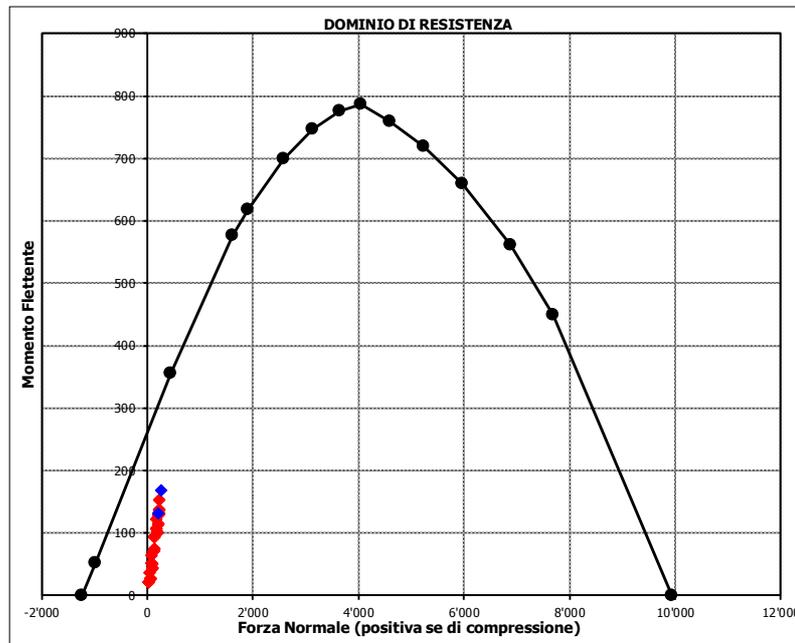
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		15.71	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	58SED2-	271	168
(Nmin)	17S1T11M	28	21
(Mmax)	58SED2-	271	168
(Mmin)	17S1T11M	28	21

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	54	36
02S1-11T	54	36
03S1-12M	108	44
04S1-12T	108	44
05S1-13M	132	75
06S1-13T	132	75
07S1-14-	110	42
08S1-15-	134	73
09S1-21M	144	94
10S1-21T	144	94
11S1-22M	198	102
12S1-22T	198	102
13S1-23M	222	132
14S1-23T	222	132
15S1-24-	200	100
16S1-25-	224	130
17S1T11M	28	21
18S1T11T	28	21
19S1T12M	72	27
20S1T12T	72	27
21S1T13M	91	51
22S1T13T	91	51
23S1T14-	73	26
24S1T15-	92	50
25S1T21M	170	108
26S1T21T	170	108
27S1T22M	214	114
28S1T22T	214	114
29S1T23M	233	138
30S1T23T	233	138
31S1T24-	215	113
32S1T25-	234	137
33S2-11M	79	65
34S2-11T	79	65
35S2-12M	123	71
36S2-12T	123	71
37S2-13M	142	95
38S2-13T	142	95
39S2-21M	169	122
40S2-21T	169	122
41S2-22M	213	129
42S2-22T	213	129
43S2-23M	232	153
44S2-23T	232	153
45S2T11M	28	21
46S2T11T	28	21
47S2T12M	72	27
48S2T12T	72	27
49S2T13M	91	51
50S2T13T	91	51
51S2T21M	170	108
52S2T21T	170	108
53S2T22M	214	114
54S2T22T	214	114
55S2T23M	233	138
56S2T23T	233	138
57SED1-	217	132
58SED2-	271	168



11.4 VERIFICHE A TAGLIO

Si prevedono legature $\Phi 14$ passo 40×20 cm e $\Phi 12$ passo 40×40 cm, rispettivamente per le solette ed i piedritti, quale armatura trasversale a taglio.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
R_{ck}	37	N/mm ²
f_{ck}	30.7	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	17.4	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Ed}	kN	470	436	166	217
N_{Ed}	kN	0	0	0	0

Armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Diametro	mm	14	14	12	12
Numero barre		2.5	2.5	2.5	2.5
A_{sw}	cm ²	3.85	3.85	2.83	2.83
Passo s	cm	20	20	40	40
Angolo α	°	90	90	90	90

Armatura longitudinale

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
n_1		-	-	-	-
\varnothing_1	mm	-	-	-	-
n_2		-	-	-	-
\varnothing_2	mm	-	-	-	-
Asl	cm ²	-	-	-	-

Sezione

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
b_w	cm	100	100	100	100
H	cm	50	50	50	50
c	cm	5	5	5	5
d	cm	45	45	45	45
k	N/mm ²	1.67	1.67	1.67	1.67
v_{min}	N/mm ²	0.42	0.42	0.42	0.42
ρ		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
σ_{cp}	N/mm ²	0.00	0.00	0.00	0.00
α_c		1.00	1.00	1.00	1.00

Resistenza senza armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Rd}	kN	188	188	188	188

Resistenza con armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Inclinazione puntone θ	°	21.8	21.8	21.8	21.8
V_{RSd}	kN	762	762	280	280
V_{RCd}	kN	1215	1215	1215	1215
V_{Rd}	kN	762	762	280	280

11.5 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

Per rapidità di calcolo, e a vantaggio di sicurezza, la verifica di fessurazione è condotta in combinazione frequente ma assumendo il limite di apertura delle fessure previsto in condizioni ambientali aggressive per la combinazione quasi permanente.

11.5.1 Soletta superiore in campata

Sollecitazioni

Momento flettente	M	198	kN m
Sforzo normale	N	40	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15.71	cm ²	5 Ø 20	$C_{s1} = \text{5.0}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	Ø	$C_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	11.31	cm ²	3 Ø 24	$C_{t2} = \text{5.0}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15.71	cm ²	5 Ø 20	$C_{t1} = \text{5.0}$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.7	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	175.6	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	499.0	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	474.0	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	14.8	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5598	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1298021	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	500308	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	113	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	159	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	401.7	cm	
	u (M_{fess})	376.7	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	4.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	140.0	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	14.9	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00057		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	21.8	cm	
Area efficace	$A_{c_{eff}}$	2180	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	27.0	cm ²	
	ρ_r	0.01239		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	20.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.11	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.19	mm	

11.5.2 Soletta superiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	122	kN m
Sforzo normale	N	109	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.4	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	156.3	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	111.7	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	86.7	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	13.3	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5440	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1230162	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	331365	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	113	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	157	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	144.5	cm	
	u (M_{fess})	119.5	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	211.6	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	12.8	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.0003		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	19.0	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	15.7	cm ²	
	p_r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.07	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.12	mm	

11.5.3 Piedritto allo spiccato

Sollecitazioni

Momento flettente	M	140	kN m
Sforzo normale	N	469	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.0	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	89.8	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	30.0	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	5.0	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	20.6	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5440	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1230162	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	488649	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	146	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	190	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	40.5	cm	
	u (M_{fess})	15.5	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.9		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	161.3	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	17.6	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00017		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	19.0	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	15.7	cm ²	
	p_r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.04	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

11.5.4 Piedritto in sommità

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS ₁ '	15.71	cm ²	5 Ø 20	c _{s1} = 5.0 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS ₂ '	0.00	cm ²	Ø	c _{s2} = cm
Armatura tesa (2° strato)	AS ₂	0.00	cm ²	Ø	c _{i2} = cm
Armatura tesa (1° strato)	AS ₁	15.71	cm ²	5 Ø 20	c _{i1} = 5.0 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	6.0	N/mm ²	<	σ _{c,amm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	163.7	N/mm ²	<	σ _{s,amm}

Eccentricità	e (M)	51.5	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	26.5	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	16.0	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	5440	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	1230162	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	363161	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess*}	132	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f _{ctm})	M _{fess}	177	kN m	
Eccentricità per M=M _{fess}	e (M _{fess})	54.9	cm	
	u (M _{fess})	29.9	cm	
Compressione max nel cls. per M=M _{fess}	σ _{cr}	6.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M _{fess}	σ _{sr}	180.4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per M=M _{fess}	y (M _{fess})	15.7	cm	
	β ₁	1		
	β ₂	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ε _{sm}	0.00031		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d _{eff}	19.0	cm	
Area efficace	A _{Ceff}	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	A _{Seff}	15.7	cm ²	
	ρ _r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K ₂	0.4		
	K ₃	0.125		
Distanza media tra le fessure	s _{fm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.08	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.13	mm	

11.5.5 Soletta inferiore in campata

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS ₁ '	15.71	cm ²	5 Ø 20	c _{s1} = 5.0 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS ₂ '	0.00	cm ²	Ø	c _{s2} = cm
Armatura tesa (2° strato)	AS ₂	0.00	cm ²	Ø	c _{i2} = cm
Armatura tesa (1° strato)	AS ₁	15.71	cm ²	5 Ø 20	c _{i1} = 5.0 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ _c	5.0	N/mm ²	<	σ _{c,amm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	208.7	N/mm ²	<	σ _{s,amm}

Eccentricità	e (M)	331.5	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	306.5	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	12.0	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	5440	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	1230162	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	325671	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess*}	107	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f _{ctm})	M _{fess}	151	kN m	
Eccentricità per M=M _{fess}	e (M _{fess})	351.6	cm	
	u (M _{fess})	326.6	cm	
Compressione max nel cls. per M=M _{fess}	σ _{cr}	5.3		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M _{fess}	σ _{sr}	222.1	N/mm ²	
Posizione asse neutro per M=M _{fess}	y (M _{fess})	11.9	cm	
	β ₁	1		
	β ₂	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ε _{sm}	0.00043		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d _{eff}	19.0	cm	
Area efficace	A _{Ceff}	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	A _{Seff}	15.7	cm ²	
	ρ _r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K ₂	0.4		
	K ₃	0.125		
Distanza media tra le fessure	s _{fm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.10	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.18	mm	

11.5.6 Soletta inferiore all'appoggio

Sollecitazioni

Momento flettente	M	91	kN m
Sforzo normale	N	149	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	50	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	\emptyset	$c_{i2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15.71	cm ²	5	$\emptyset 20$ $c_{i1} = 5.0$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	3.3	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	98.0	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	61.2	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	36.2	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	15.1	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	5440	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	1230162	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	349968	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	117	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	161	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	108.0	cm	
	u (M_{fess})	83.0	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.8		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	205.4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	13.4	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00019		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	19.0	cm	
Area efficace	A_{Ceff}	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	15.7	cm ²	
	ρ_r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.04	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

11.5.7 Riepilogo fessurazione

Verifiche a fessurazione - Comb. frequenti

Condizioni ambientali aggressive

Limite ap. fessure = $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

	Arm. tesa		Arm. comp.		M [kNm/m]	N [kN/m]	wk [mm]
	1° strato	2° strato	1° strato	2° strato			
Soletta superiore - Campata	5 Ø20	2.5 Ø24	5 Ø20	-	198	40	0.19
Soletta superiore - Appoggio	5 Ø20	-	5 Ø20	-	122	109	0.12
Piedritto - Spiccato	5 Ø20	-	5 Ø20	-	140	469	-
Piedritto - Sommità	5 Ø20	-	5 Ø20	-	166	322	0.13
Soletta inferiore - Campata	5 Ø20	-	5 Ø20	-	143	43	0.18
Soletta inferiore - Appoggio	5 Ø20	-	5 Ø20	-	91	149	-

11.6 VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO

In base alle analisi strutturali, adottando come carico di verifica N quello massimo agente localmente in combinazione SLU lungo lo sviluppo della platea di fondazione, risulta una pressione di contatto massima E_d (a ml di fondazione):

$$N = 271 \text{ kN};$$

$$B = 4.0 \text{ m};$$

$$E_d = 68 \text{ kN/m}.$$

Riguardo alla problematica del carico limite, in considerazione delle ridotte azioni strutturali di progetto E_d , del notevole affondamento della fondazione in relazione all'entità dei carichi e alla presenza sul piano di fondazione del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si è ritenuto di non procedere con la verifica di portanza dal punto di vista analitico, in quanto certamente soddisfatta con ampi margini di sicurezza.

In particolare, in relazione all'affondamento, la presenza del terreno disposto lateralmente alla fondazione induce un carico stabilizzante favorevole, che contrasta eventuali superfici di rottura che dal piano di fondazione del tombino si sviluppano lateralmente, determinando elevati margini di sicurezza nei confronti del collasso.

Per quanto concerne la presenza del substrato roccioso marnoso-arenaceo, si segnala che la verifica di portanza non costituisce mai una verifica dimensionante in presenza di terreni rocciosi, traducendosi in rapporti molto elevati fra carico ultimo e massima pressione al suolo.

Riguardo la tematica dei cedimenti, anche facendo cautelativamente riferimento sempre all'entità del carico di progetto E_d in combinazione SLU (relativamente ai cedimenti, i carichi di verifica dovrebbero riferirsi alle combinazioni SLE), la pressione geostatica esistente $\gamma \cdot D$ (a ml di fondazione, D affondamento del p.p.) connessa con lo sbancamento risulta:

$$\gamma \times D = 21 \text{ kN/m}^3 \times 3.0 \text{ m} / \text{ml} = 63 \text{ kN/ml}.$$

Tenuto conto che prudenzialmente E_d è stato riferito allo scenario SLU, le pressioni di contatto SLE risultano di fatto contenute entro il valore del peso del terreno sbancato, in modo tale che la pressione netta $E_{d,netto}$ in eccesso rispetto alla pressione geostatica esistente sul piano di posa risulti nulla, così come i cedimenti ad essa correlabili.