

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 |

1 INQUADRAMENTO GENERALE

La presente relazione riguarda il dimensionamento del tombino idraulico, di dimensioni tipo in sezione di 2.00x3.00m, previsto nell'ambito dei lavori inerenti il progetto definitivo di "adeguamento a due corsie della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza - Mercatello Ovest (Lotto 3°)". L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di San Giustino (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche generali dell'opera e vengono esposte le modalità di calcolo, i risultati delle analisi e le verifiche degli elementi strutturali.

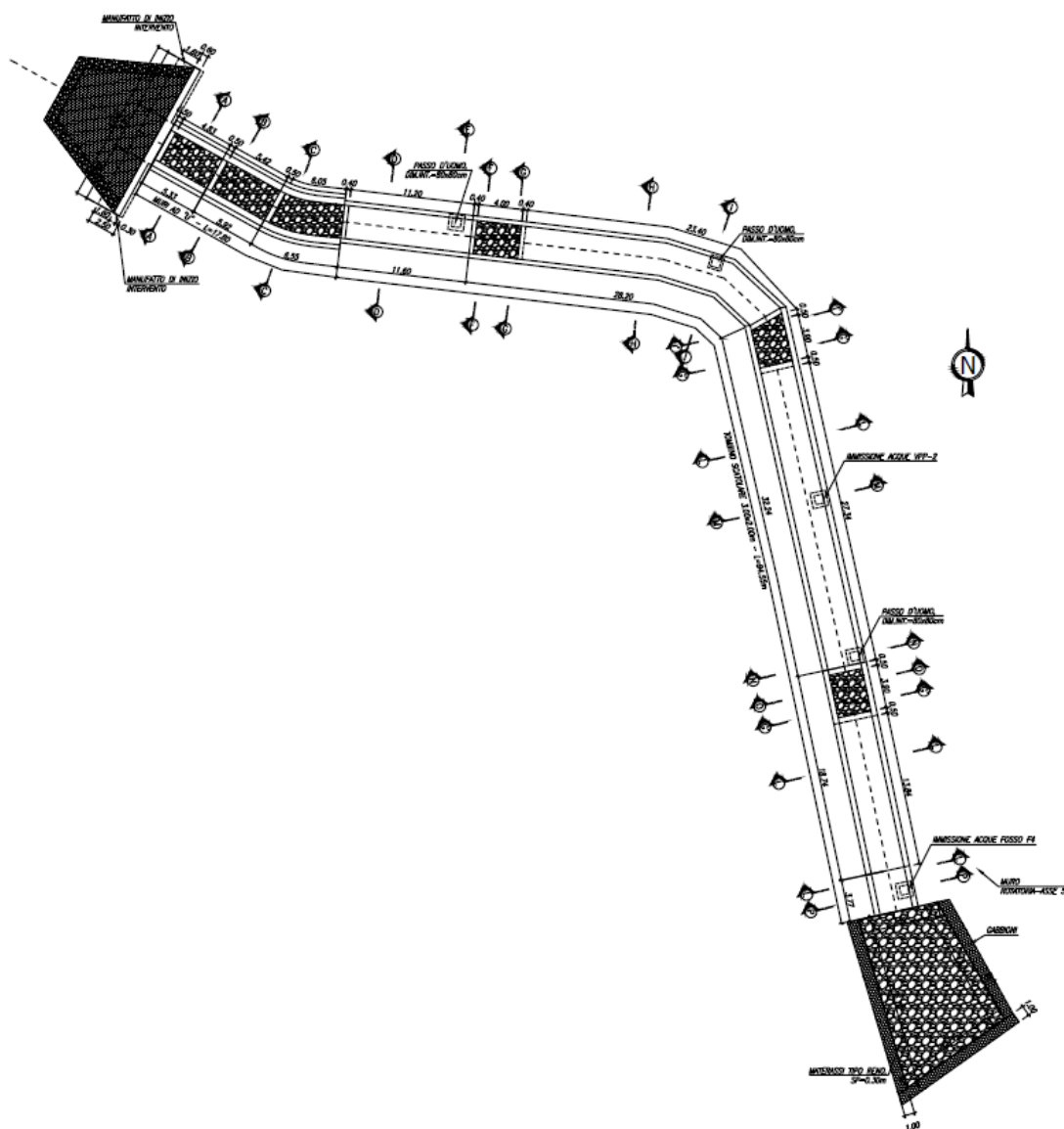


Figura 1: Vista in pianta tombino

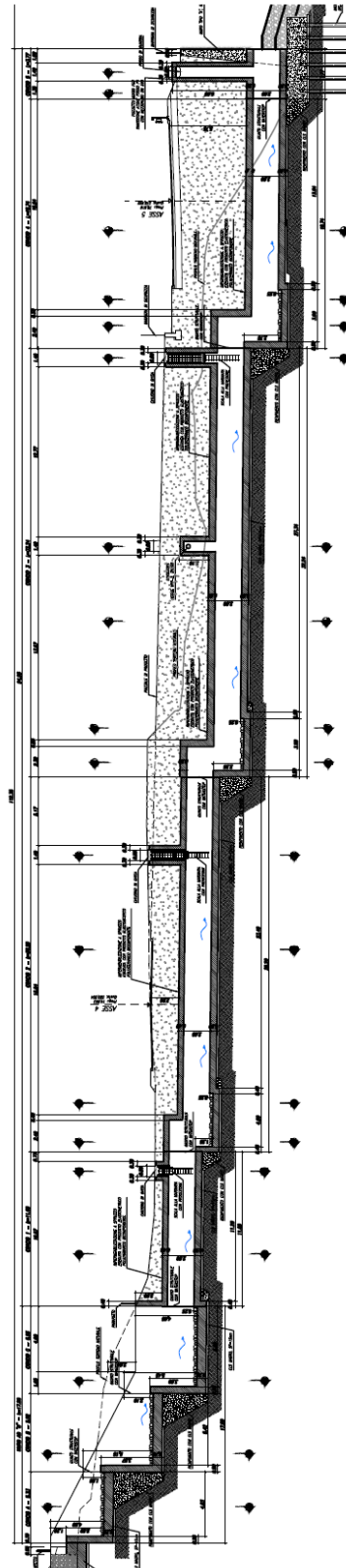


Figura 2: Profilo longitudinale tombino

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.

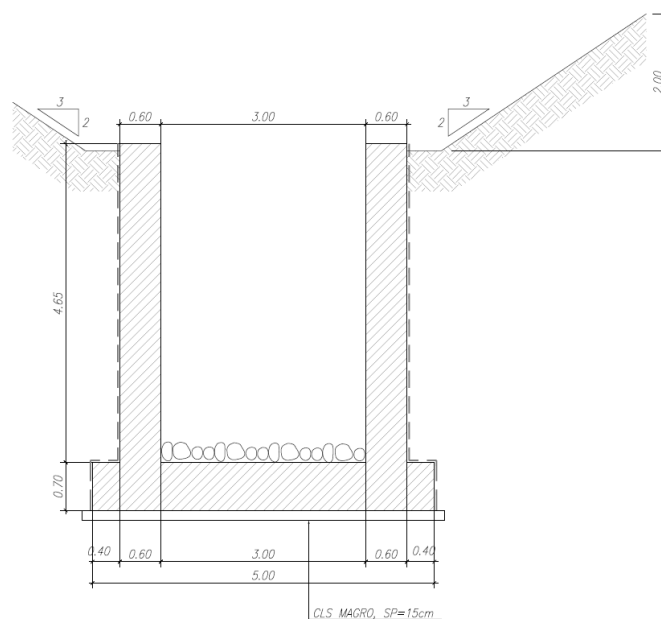


Figura 3: Sezione aperta ad "U" 300x465 cm – Concio C

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

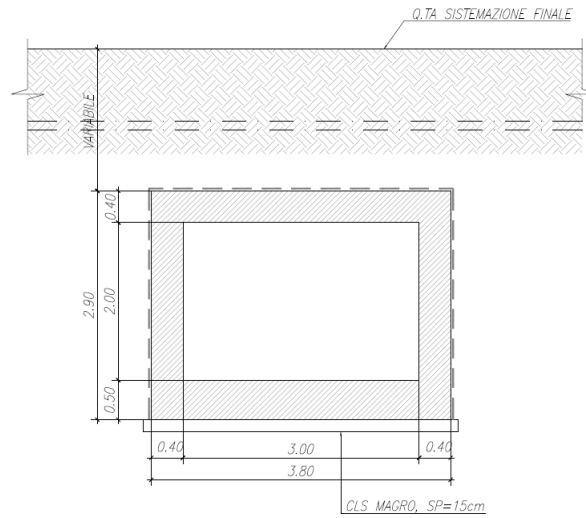


Figura 4: Sezione scatolare chiusa 300x200 cm – Concio 2

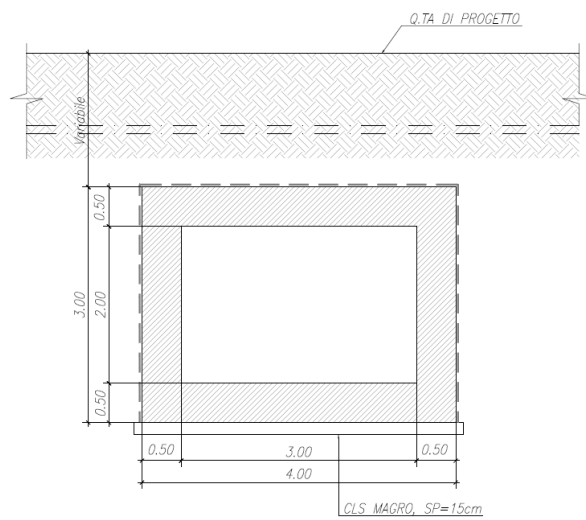


Figura 5: Sezione scatolare chiusa 300x200 cm – Concio 4

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

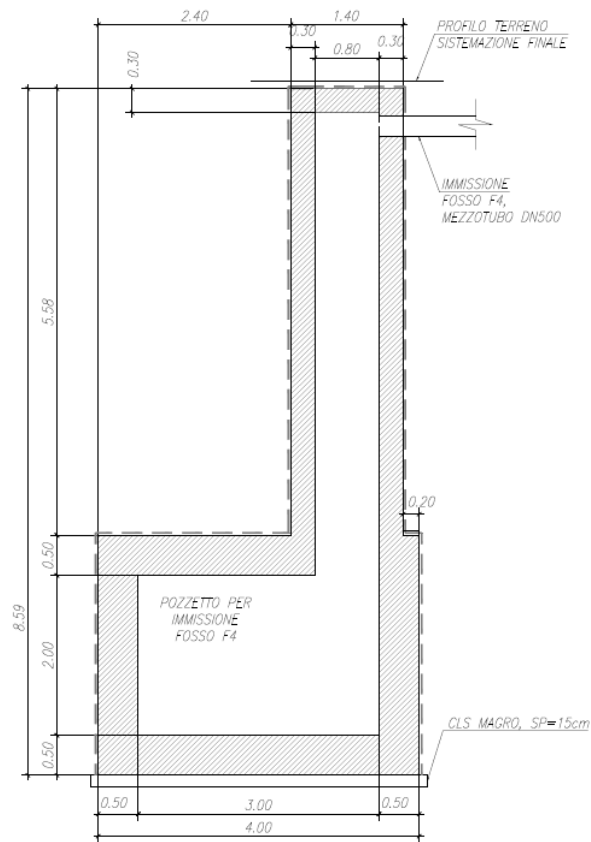


Figura 6: Scatolare chiuso 300x200 cm con fosso di guardia – Concio 4

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.

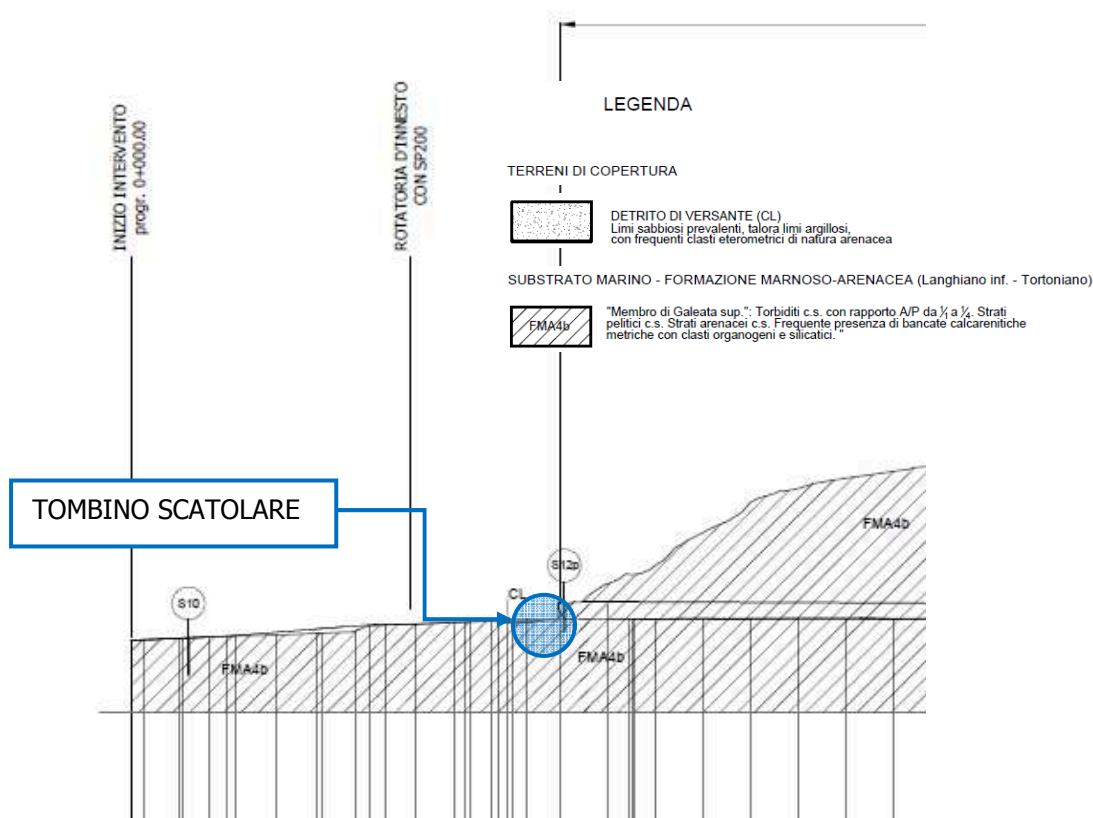


Figura 7 – Collegamento lato Umbria: sezione stratigrafica lungo l’asse stradale.

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.

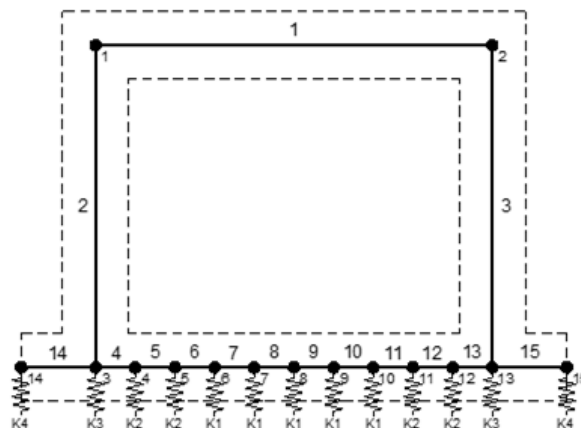
Pertanto, non è presente una falda lateralmente continua e, dunque, nelle verifiche non viene modellata una superficie piezometrica.

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.

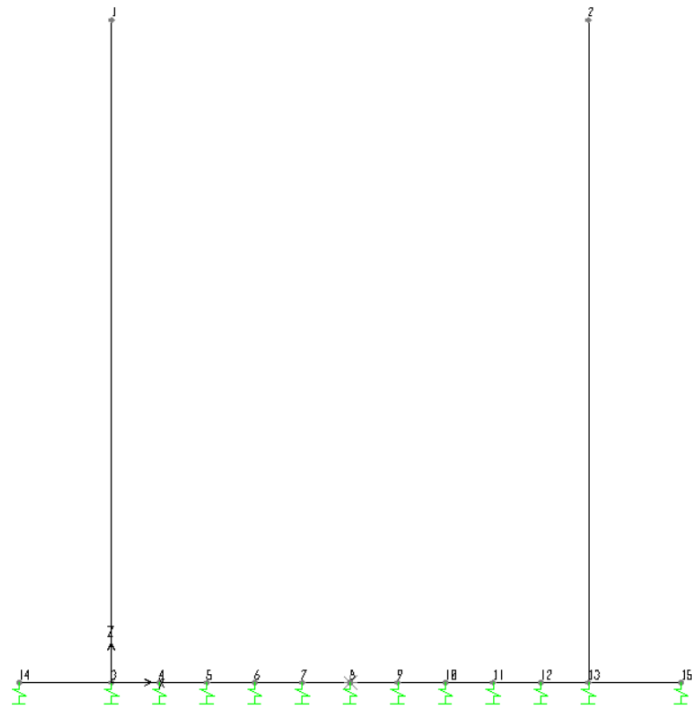


Figura 8: Numerazione nodi – Sezione aperta ad "U"

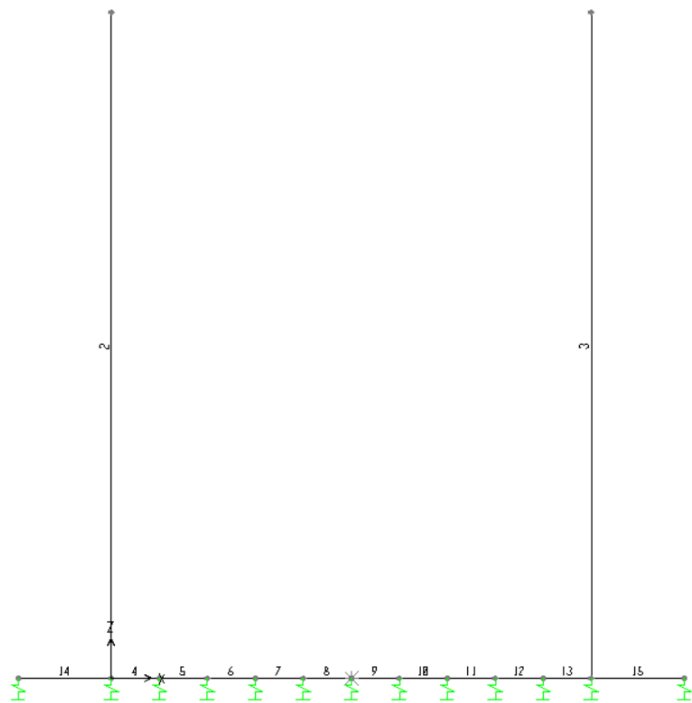


Figura 9: Numerazione aste – Sezione aperta ad "U"

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

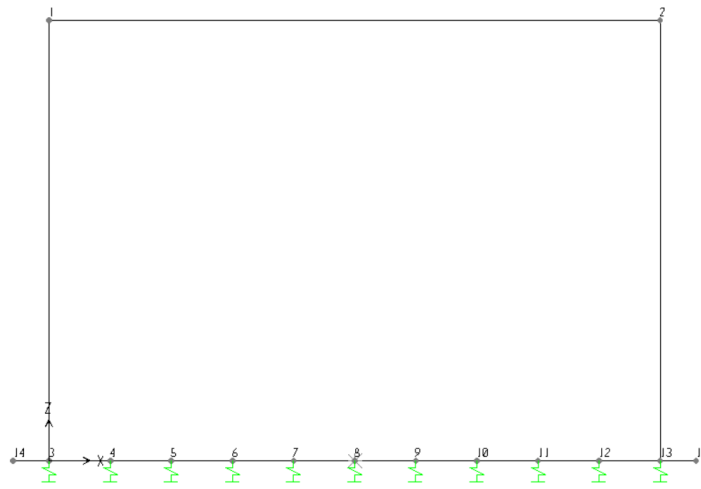


Figura 10: Numerazione nodi – Sezione scatolare chiusa

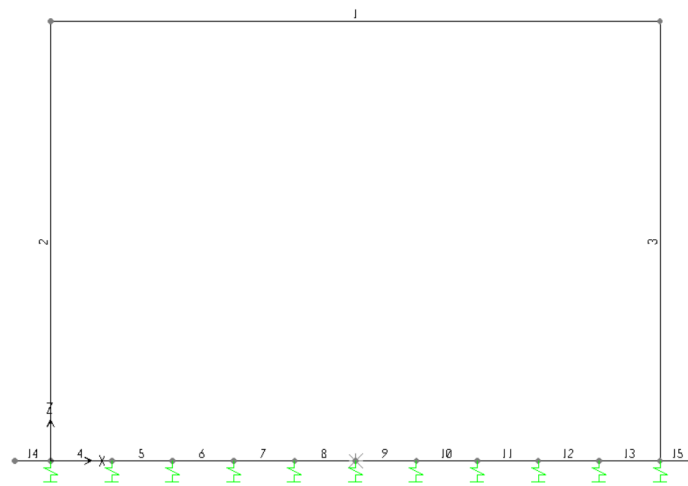


Figura 11: Numerazione aste – Sezione scatolare chiusa

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:

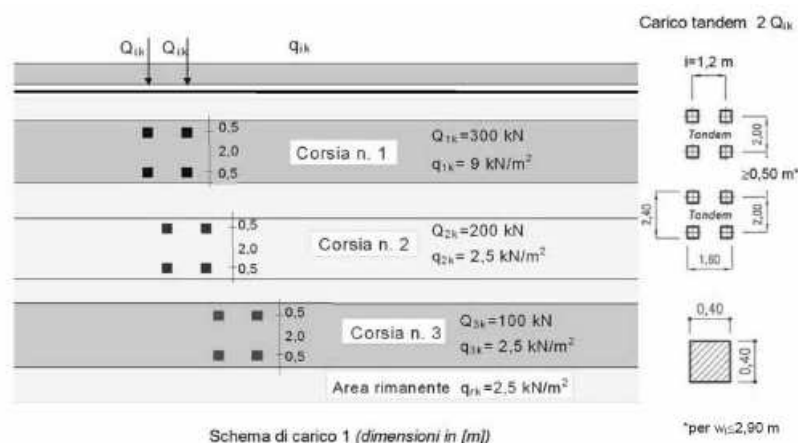
rinterro $\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$

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

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:

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

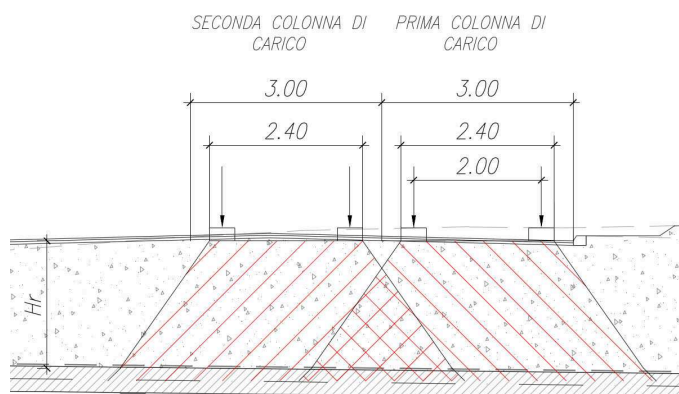


Figura 12: Diffusione trasversale del carico mobile

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

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):

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

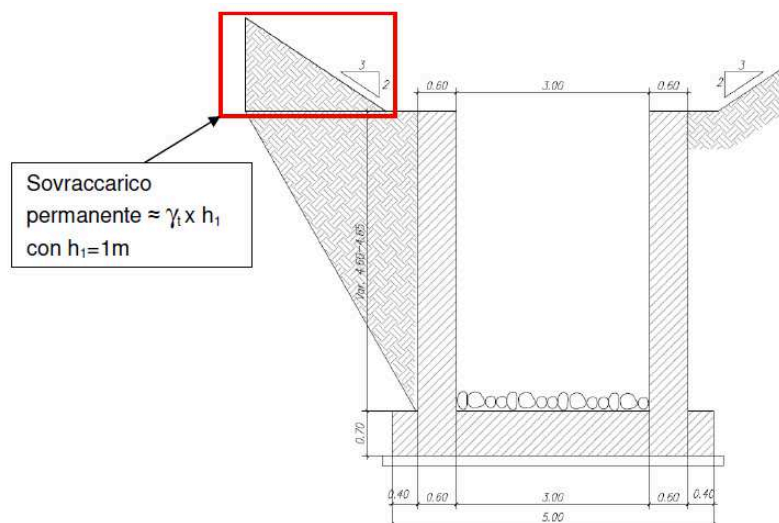


Figura 13: Muri ad "U" - Sovraccarico permanente equivalente

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:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- 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).

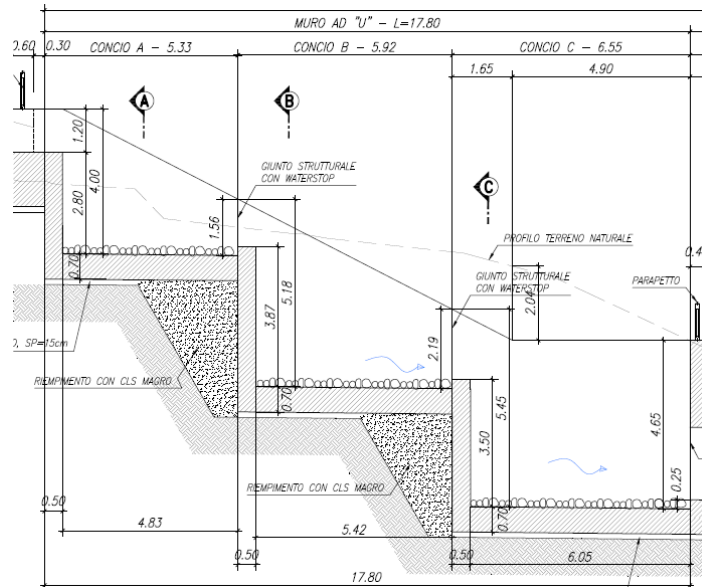


Figura 14: Profilo longitudinale muro ad "U" – Conci A-B-C

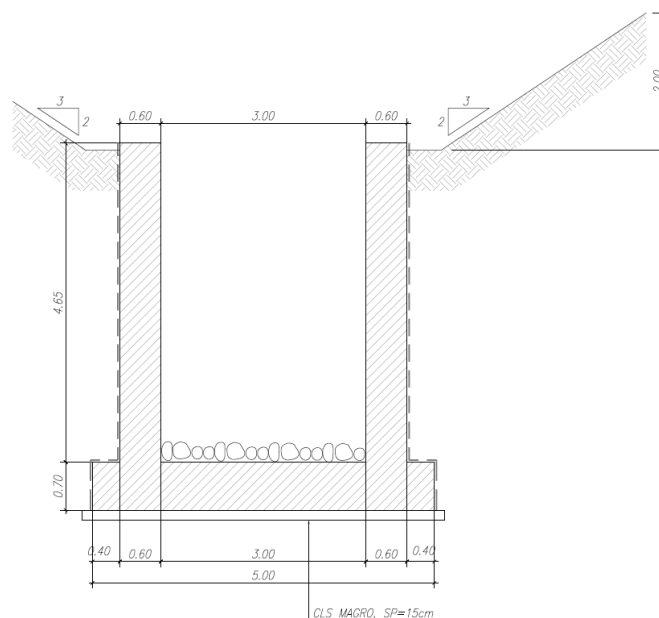


Figura 15: Sezione trasversale muro ad "U" – Concio C

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

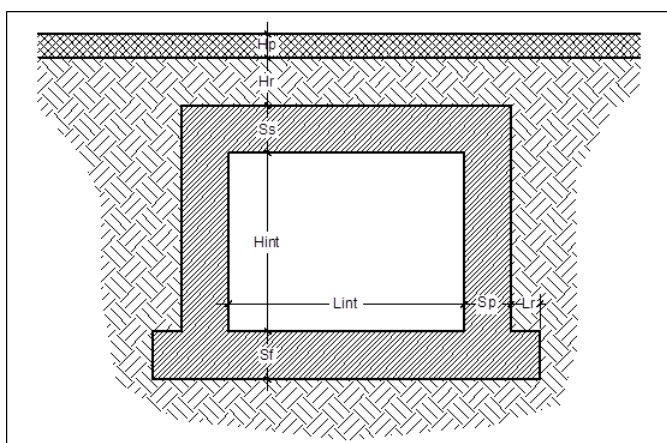
| | | | |
|---|-----------|-----------|-----------------|
| Calcestruzzo armato - Peso specifico | γ | 25 | kN/m^3 |
| Calcestruzzo armato - Tipo | | C30/37 | |
| Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica | R_{ck} | 37 | N/mm^2 |
| Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica | f_{ck} | 31 | N/mm^2 |
| 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 |

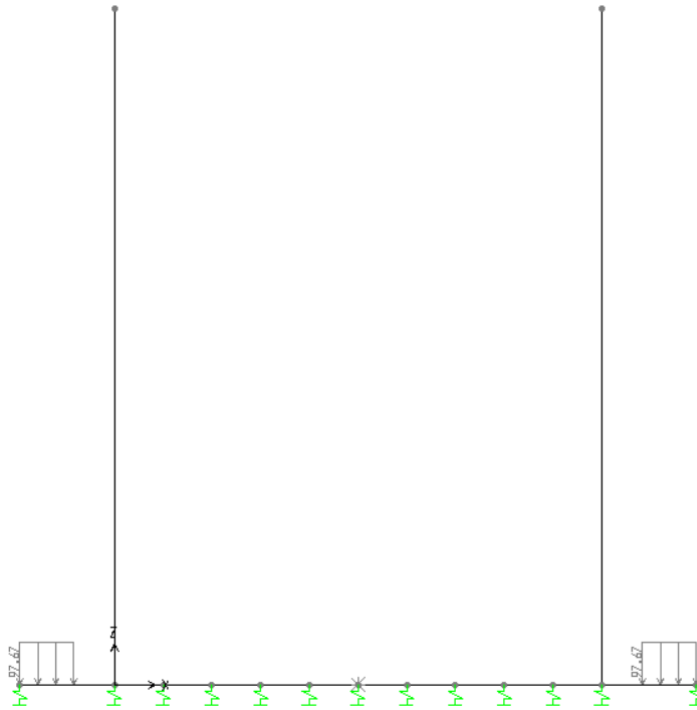


Figura 16: Carichi permanenti (PERM)

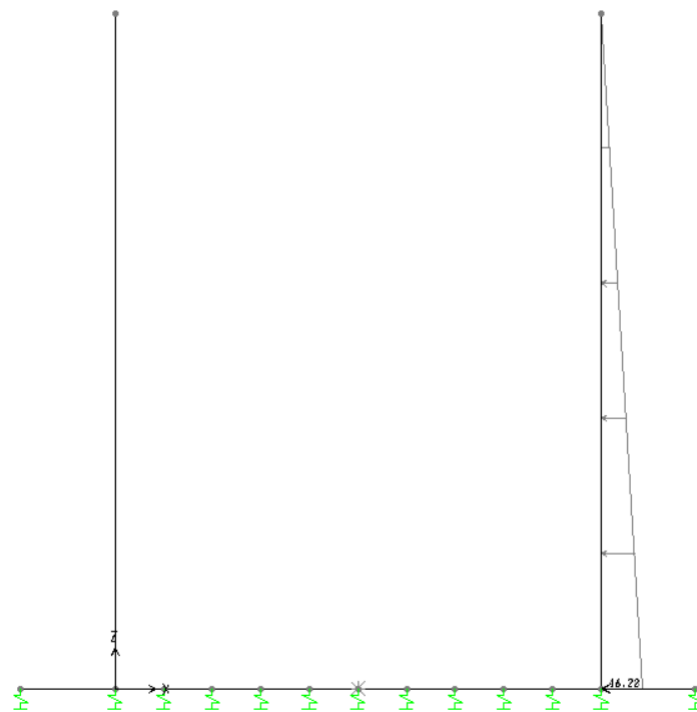


Figura 17: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

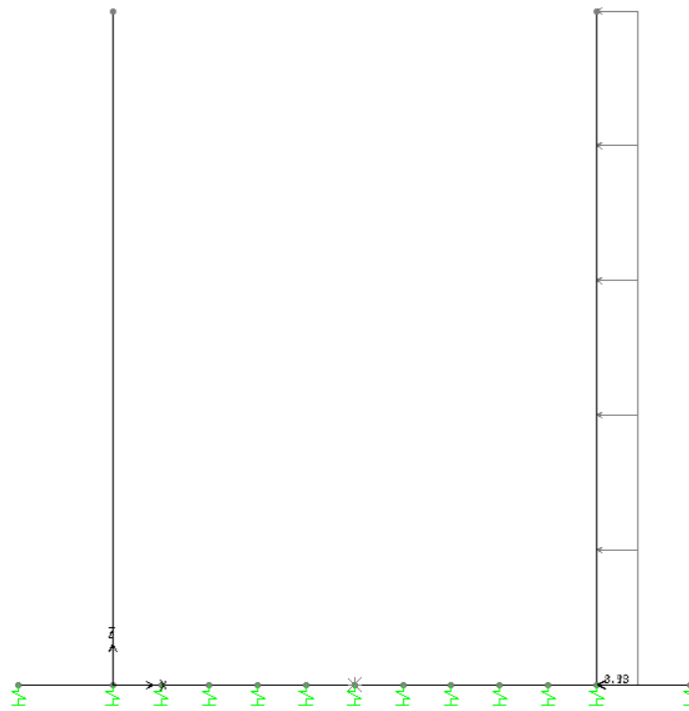


Figura 18: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

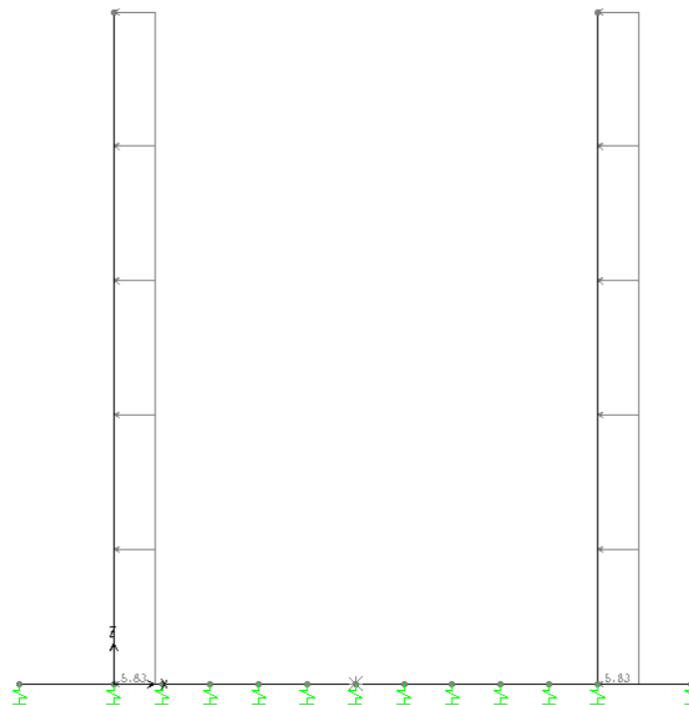


Figura 19: Forze d'inerzia (SISMAH)

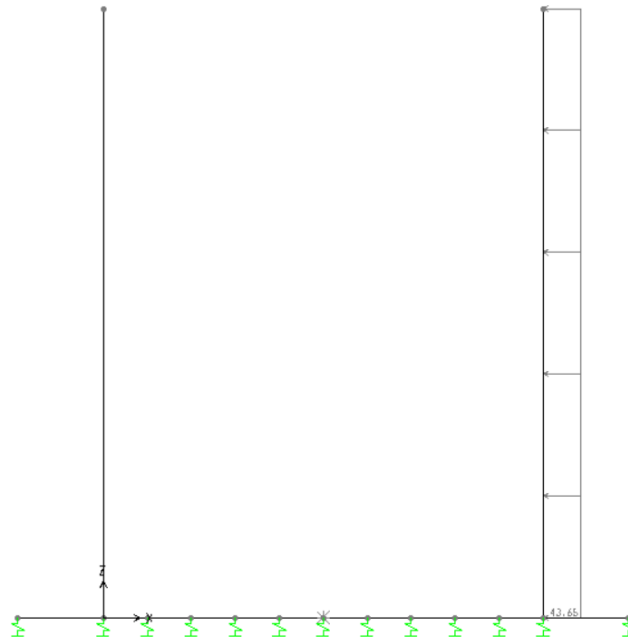


Figura 20: Sovrappinta sismica (SPSDX)

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.

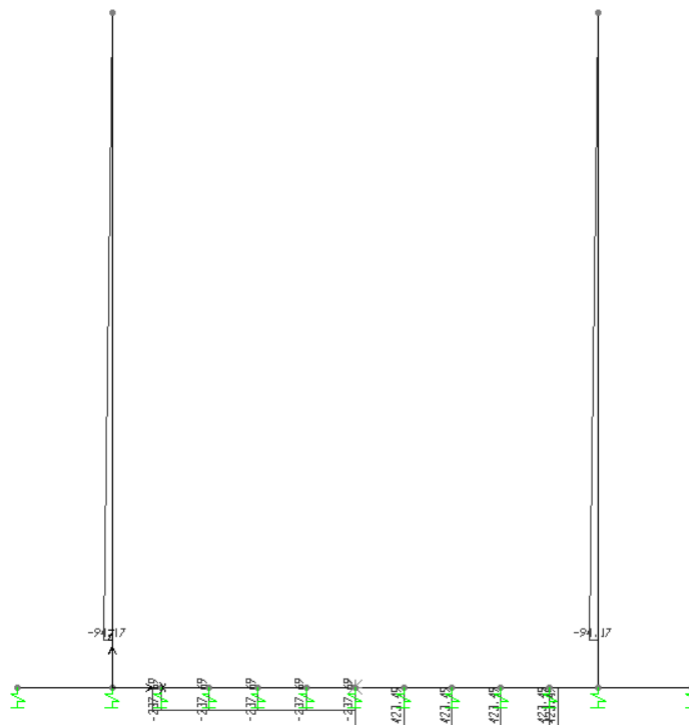


Figura 21: Sforzo normale – Involuppo SLU

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

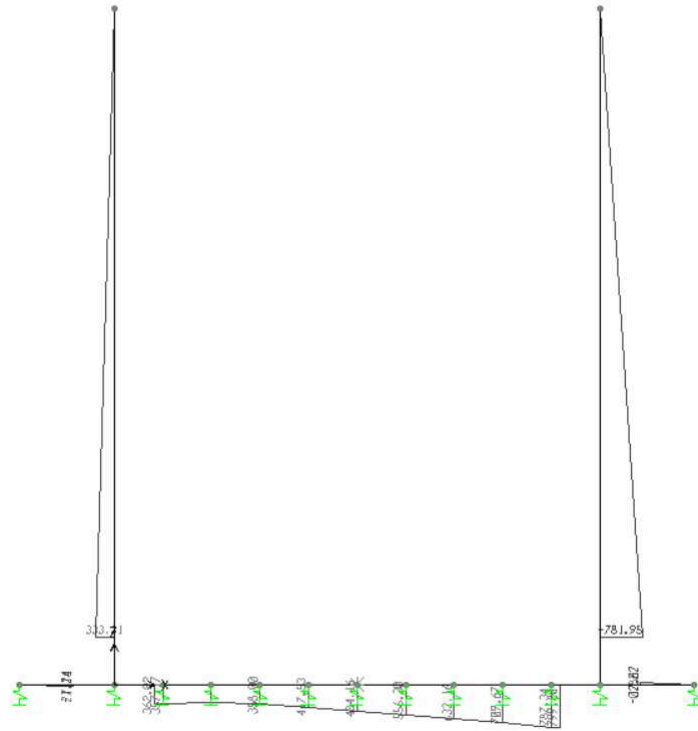


Figura 22: Momento flettente – Inviluppo SLU

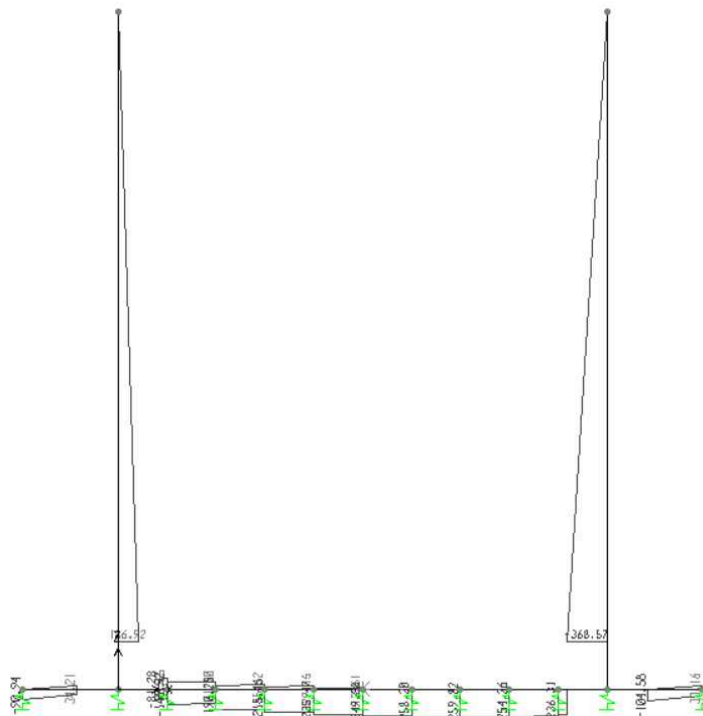


Figura 23: Taglio – Inviluppo SLU

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 40x40 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).

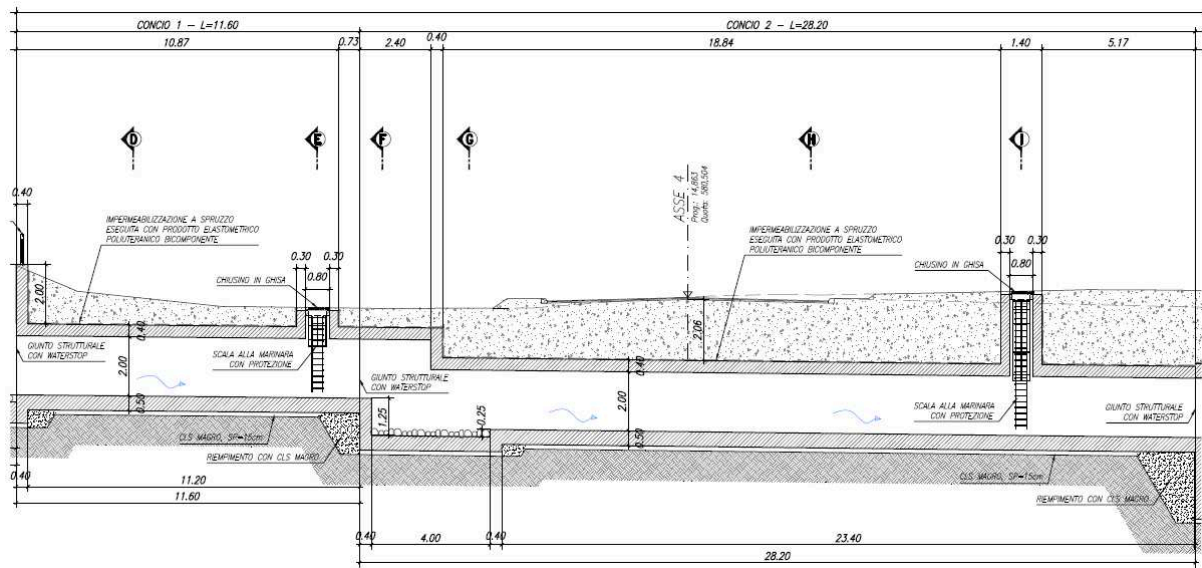


Figura 24: Profilo longitudinale scatolare chiuso – Conci 1-2

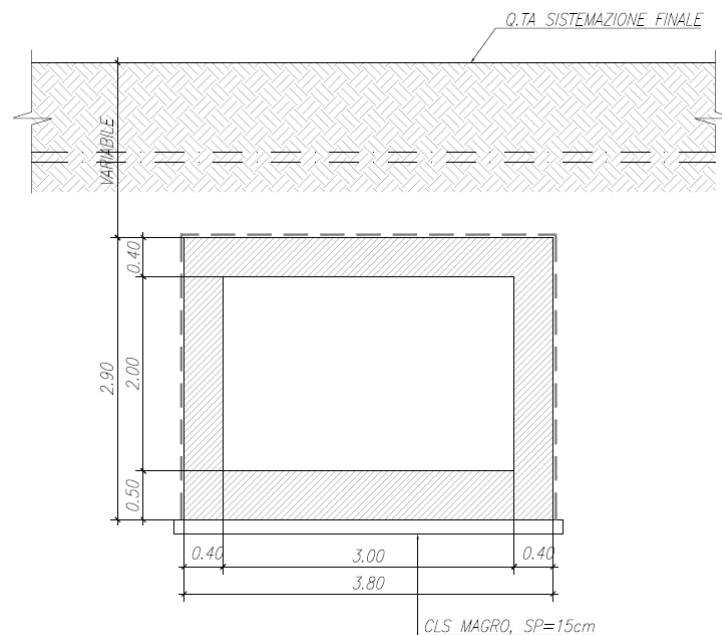


Figura 25: Sezione trasversale scatolare chiuso – Concio 2

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

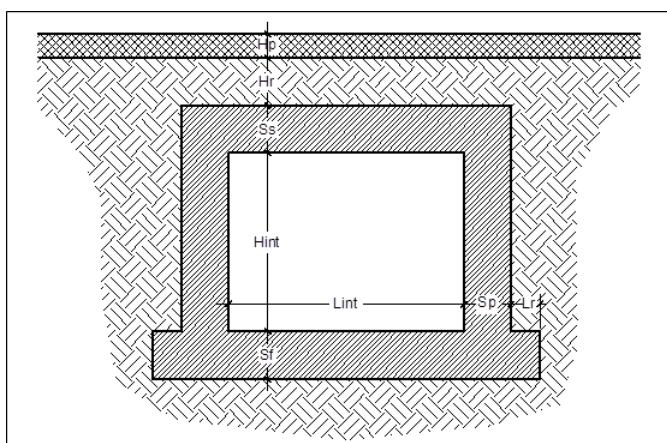
| | | | |
|---|-----------|------------|-------------------|
| Calcestruzzo armato - Peso specifico | γ | 25 | kN/m ³ |
| Calcestruzzo armato - Tipo | | C30/37 | |
| Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica | R_{ck} | 37 | N/mm ² |
| Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica | f_{ck} | 31 | N/mm 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 |

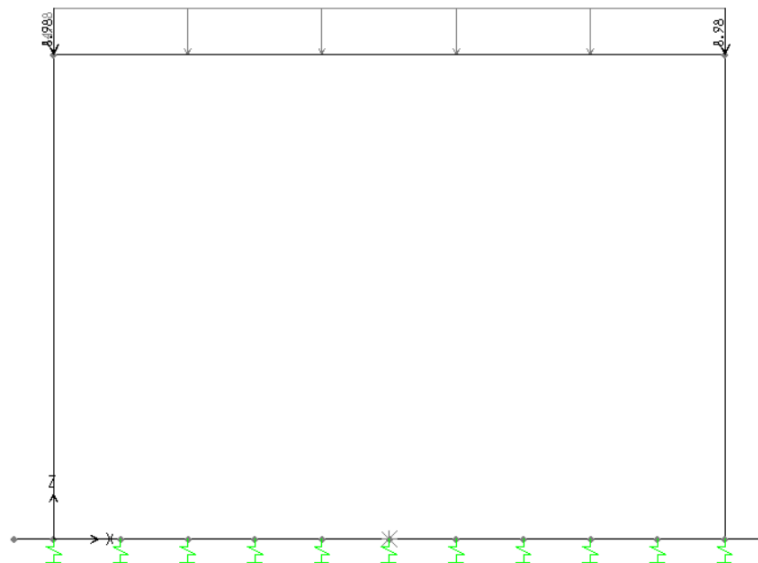


Figura 26: Carichi permanenti (PERM)

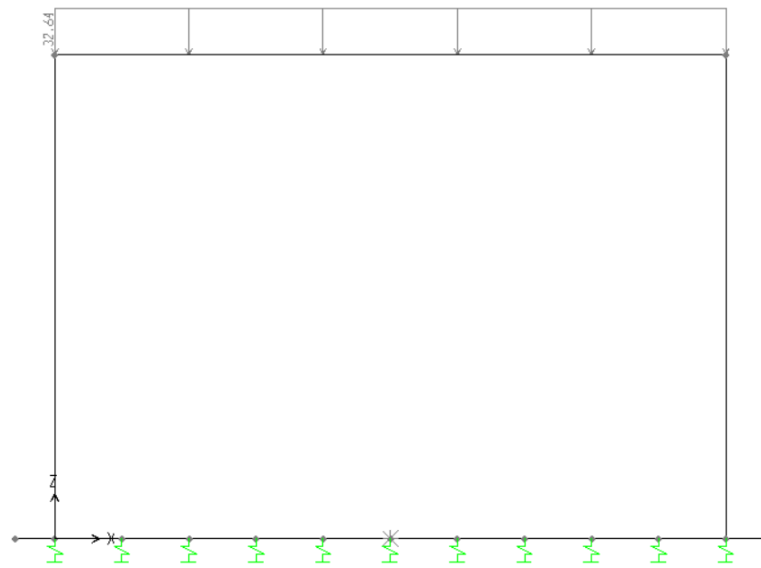


Figura 27: Carichi da traffico tandem – CdC M_{max} (Q1k-M)

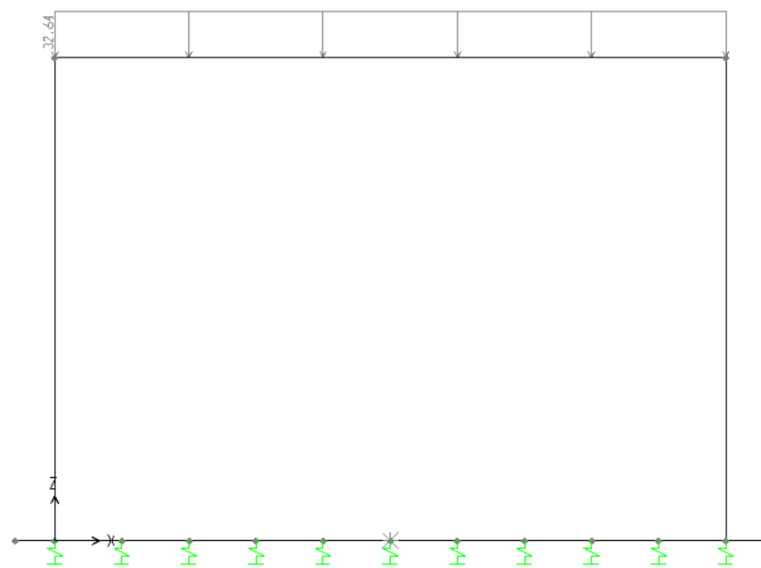


Figura 28: Carichi da traffico tandem – CdC V_{max} (Q1k-T)

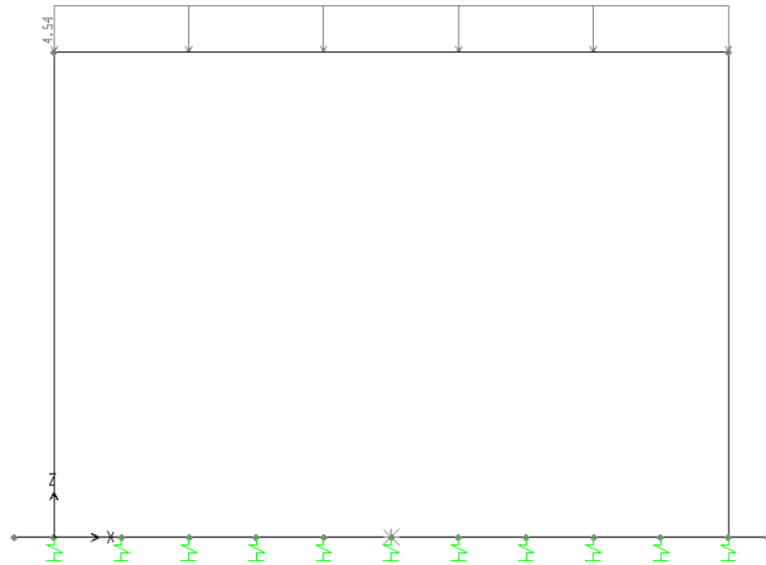


Figura 29: Carichi da traffico distribuiti (Q2)

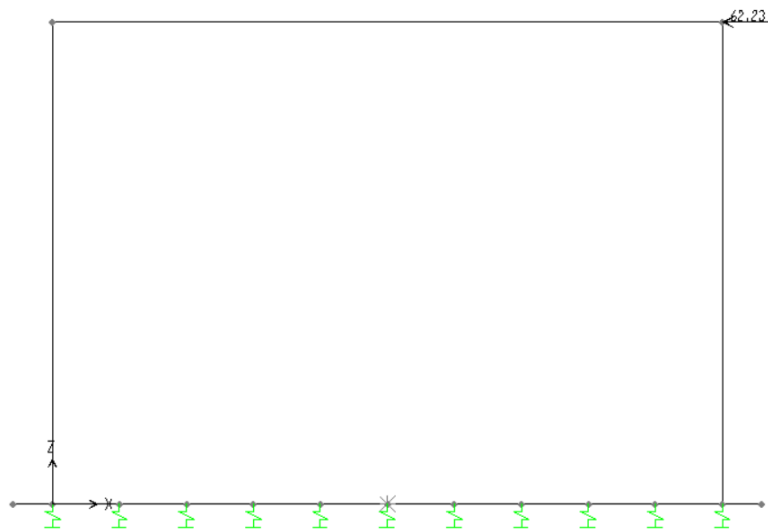


Figura 30: Frenatura (Q3)

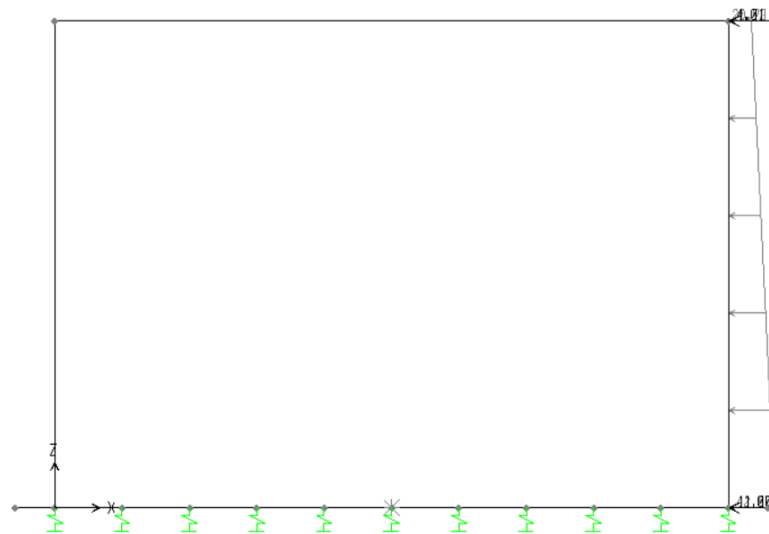


Figura 31: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

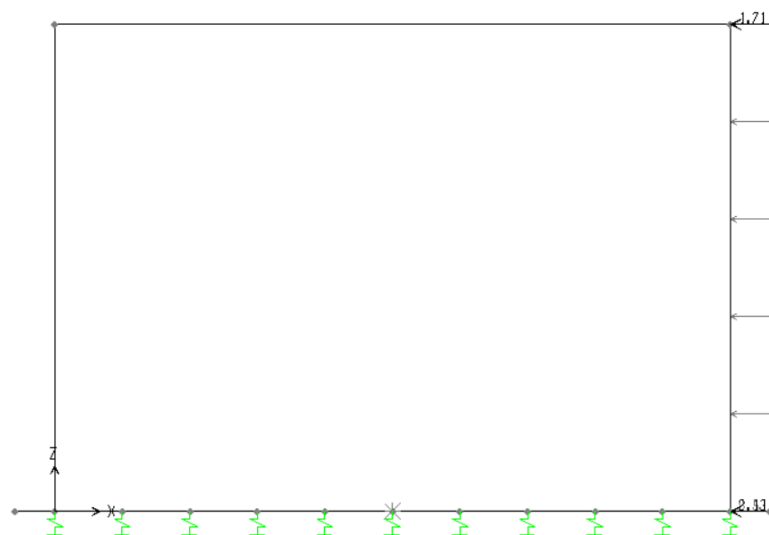


Figura 32: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

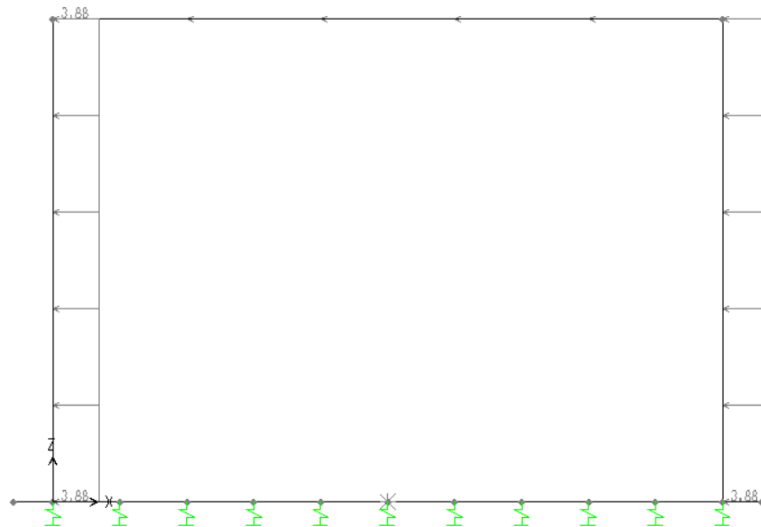


Figura 33: Forze d'inerzia (SISMAH)

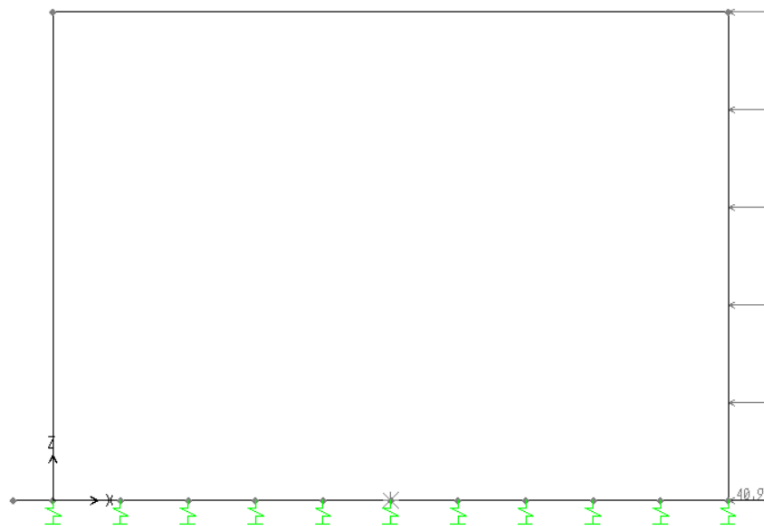


Figura 34: Sovrappinta sismica (SPSDX)

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.

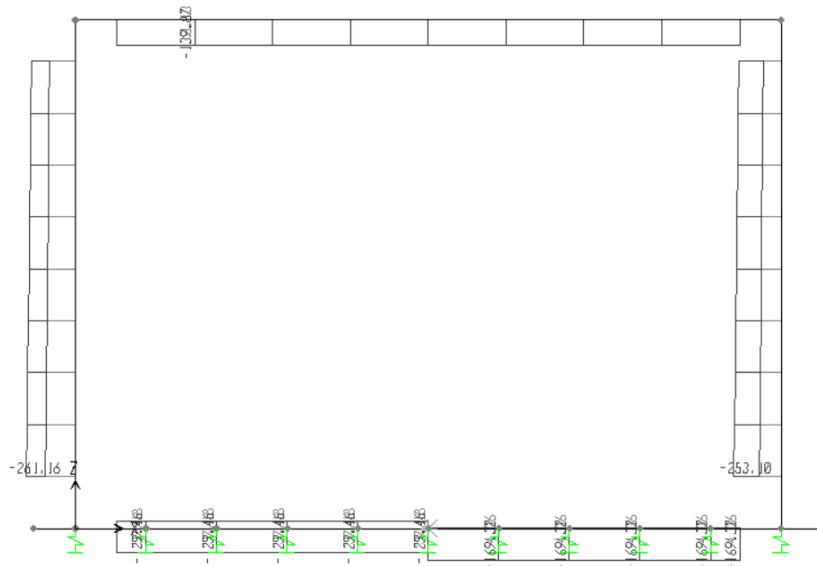


Figura 35: Sforzo normale – Involuppo SLU

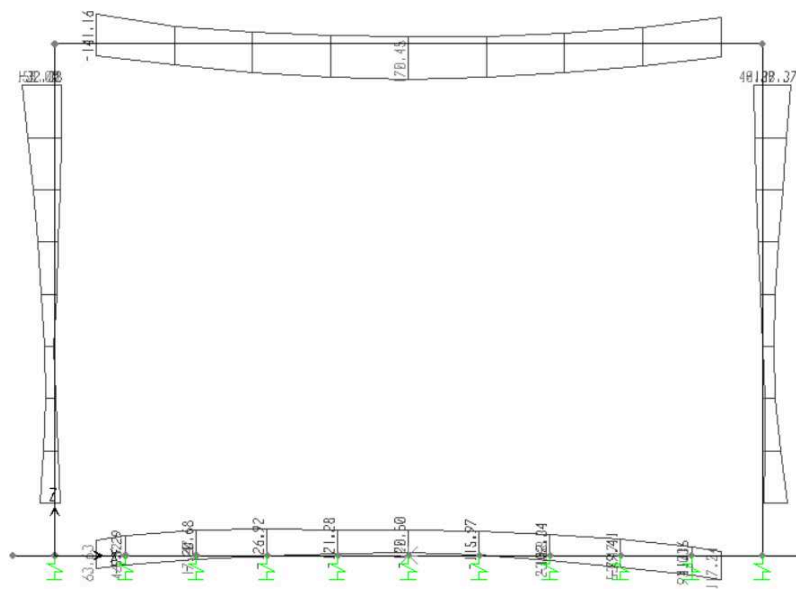


Figura 36: Momento flettente – Involuppo SLU

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

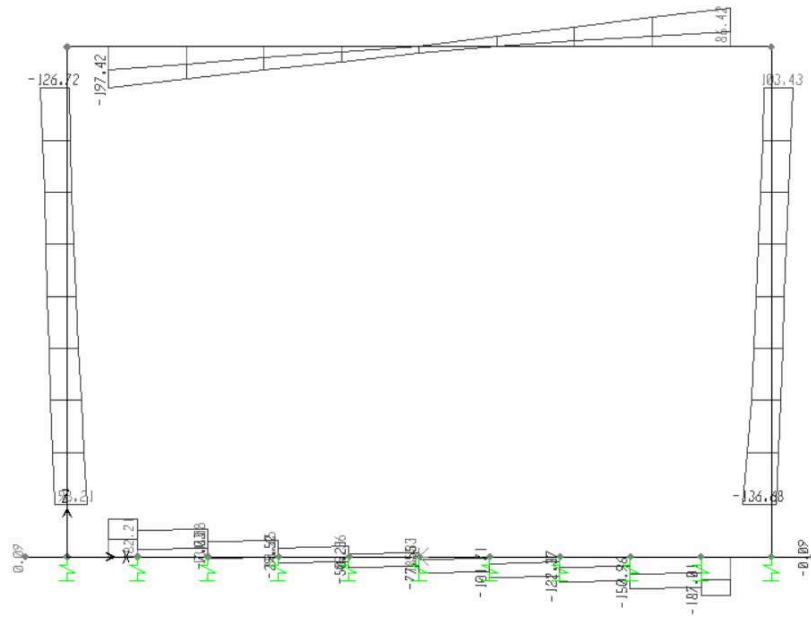
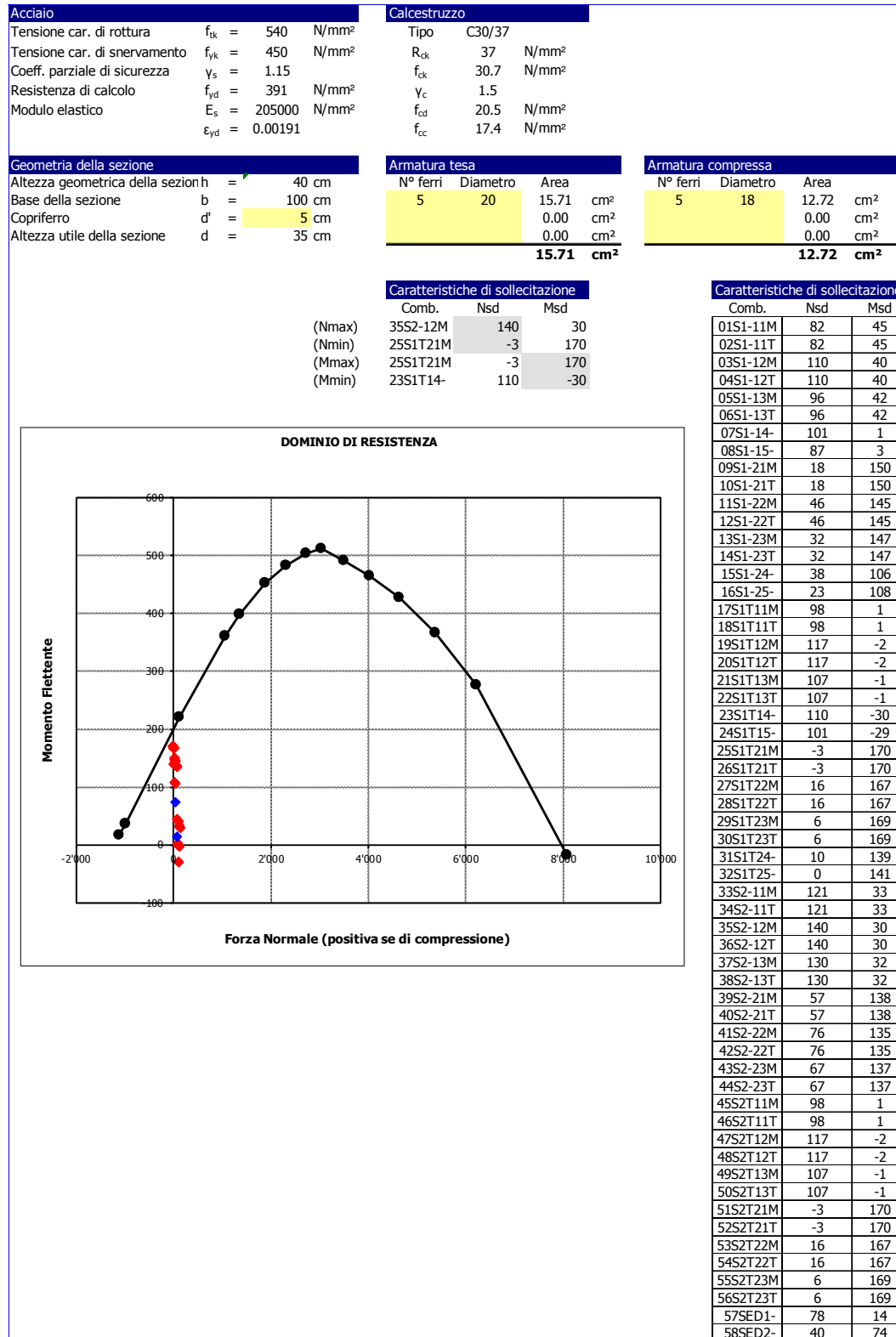


Figura 37: Taglio – Involuppo SLU

9.3 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

9.3.1 Soletta superiore in campata



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

Momento Flettente

Forza Normale (positiva se di compressione)

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 |

| 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 |

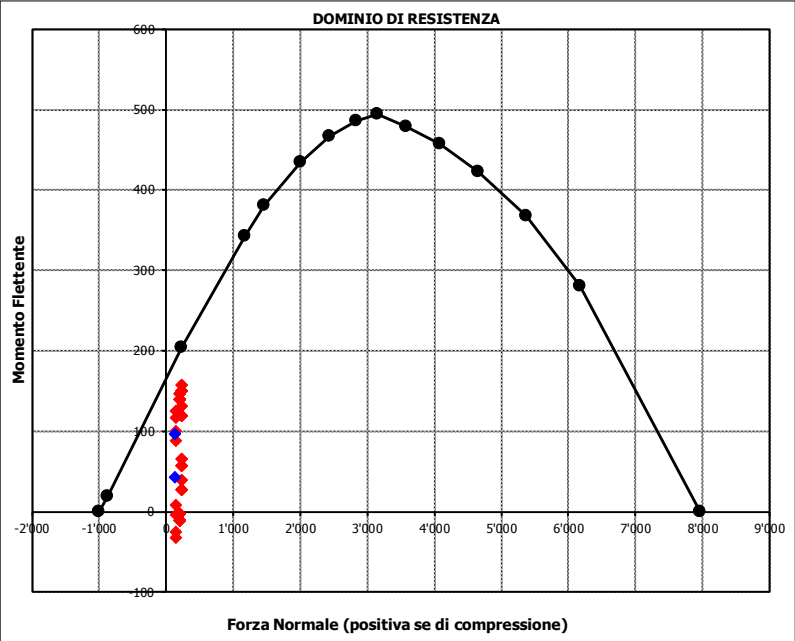
9.3.4 Piedritto in sommità

| 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 |



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 | γ_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 |
| | ϵ_{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 |

DOMINIO DI RESISTENZA

Y-axis: Momento Flettente (Ncm)

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

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 | $f_{y,d} = 391$ 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 | |
| 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

Momento Flettente (Y)

Forza Normale (positiva se di compressione) (X)

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_{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_{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_{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 | 3.8 | N/mm ² | < σ_{camm} |
| Trazione nell'acciaio (1° strato) | σ_s | 138.3 | N/mm ² | < σ_{amm} |

| | | | | |
|--|-----------|--------|-----------------|--------------------------|
| 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 | 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 | 3.0 | N/mm ² | < | σ_{camm} |
| Trazione nell'acciaio (1° strato) | σ_s | 141.9 | N/mm ² | < | σ_{samm} |

| | | | | | |
|--|-----------|---------|-----------------|---|------------------------|
| 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_{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 | - | 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).

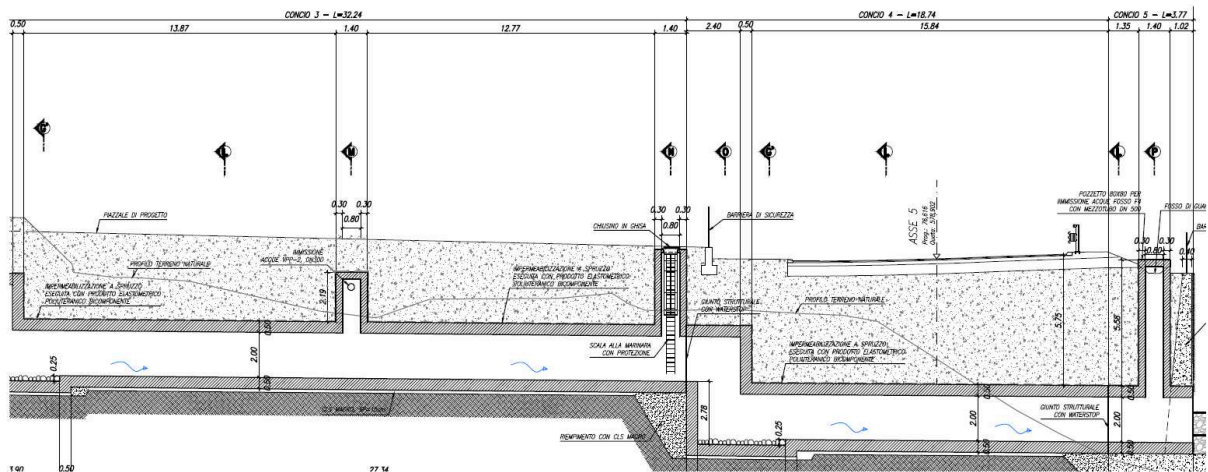


Figura 38: Profilo longitudinale scatolare chiuso – Conci 3-4

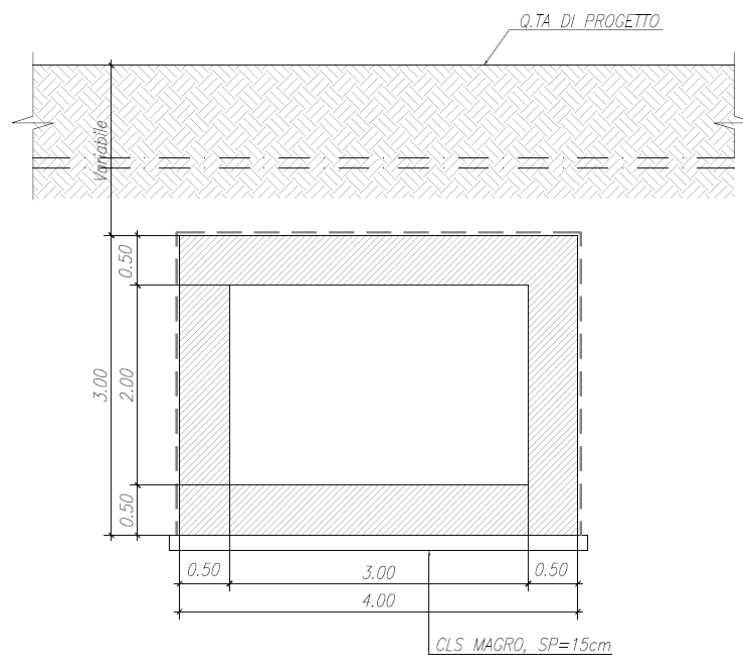


Figura 39: Sezione trasversale scatolare chiuso – Concio 2

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

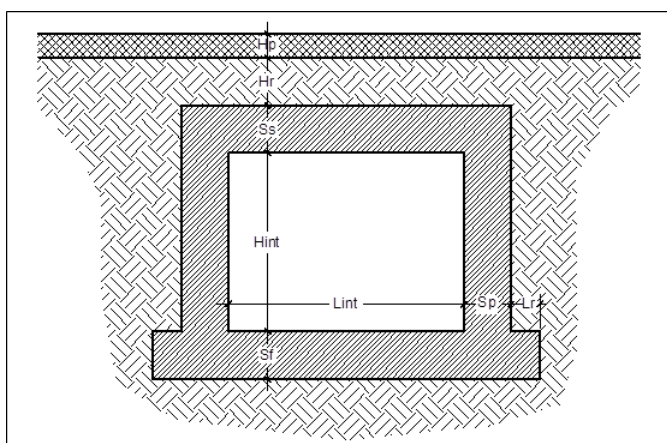
| | | | |
|---|-----------|------------|-------------------|
| Calcestruzzo armato - Peso specifico | γ | 25 | kN/m ³ |
| Calcestruzzo armato - Tipo | | C30/37 | |
| Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica | R_{ck} | 37 | N/mm ² |
| Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica | f_{ck} | 31 | N/mm 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/m² |
| Forza orizz. sui piedritti | FHp | $0.388 \cdot (0.50 \cdot 25) / 1.00 =$ 4.86 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 | $\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f)^2$ | 217.05 kN/m |
| Pressione risultante | $\Delta p_E = \Delta S_E / H$ | 72.35 kN/m² |

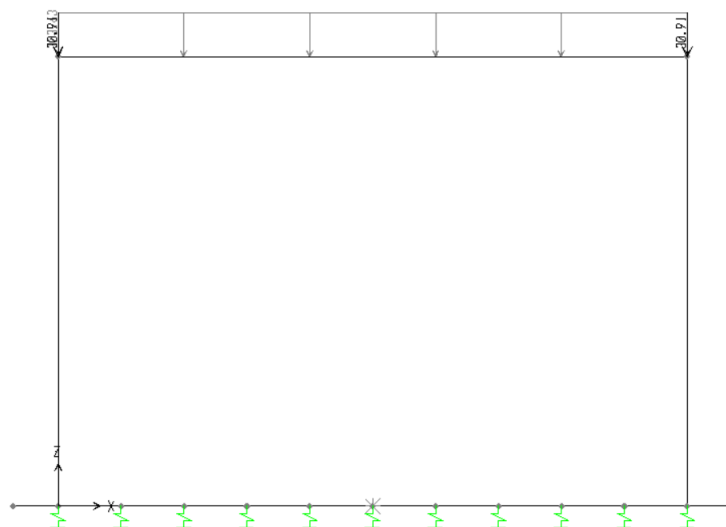


Figura 40: Carichi permanenti (PERM)

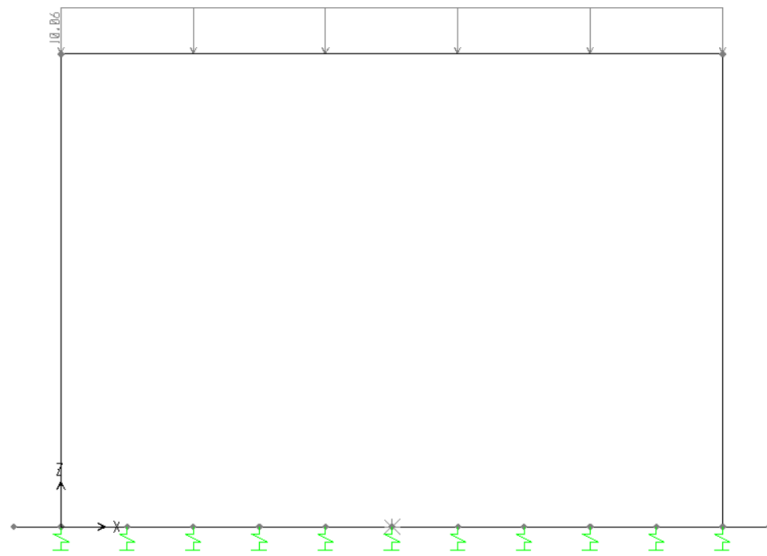


Figura 41: Carichi da traffico tandem – CdC M_{max} (Q1k-M)

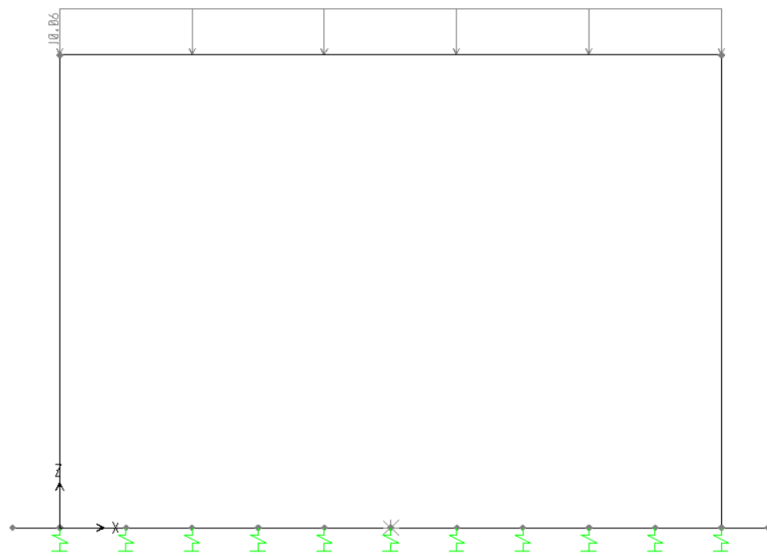


Figura 42: Carichi da traffico tandem – CdC V_{max} (Q1k-T)

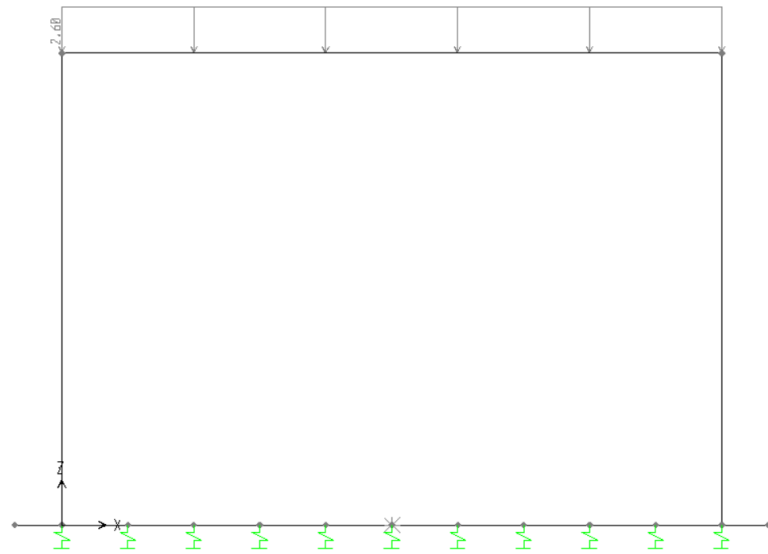


Figura 43: Carichi da traffico distribuiti (Q2)

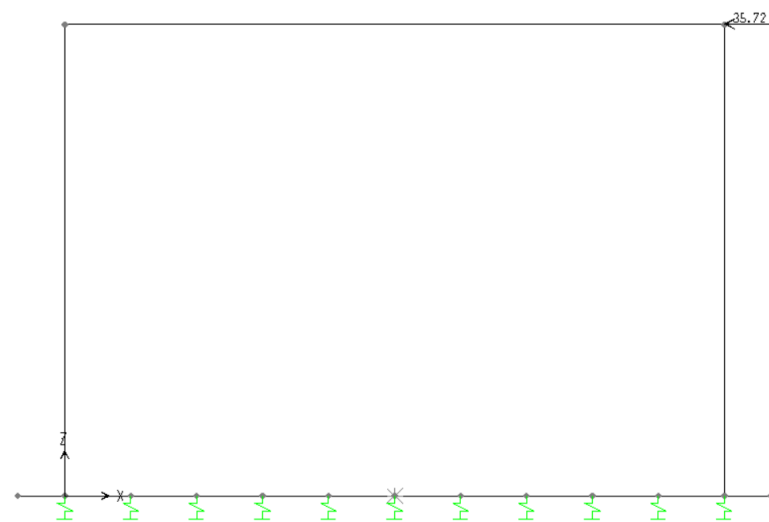


Figura 44: Frenatura (Q3)

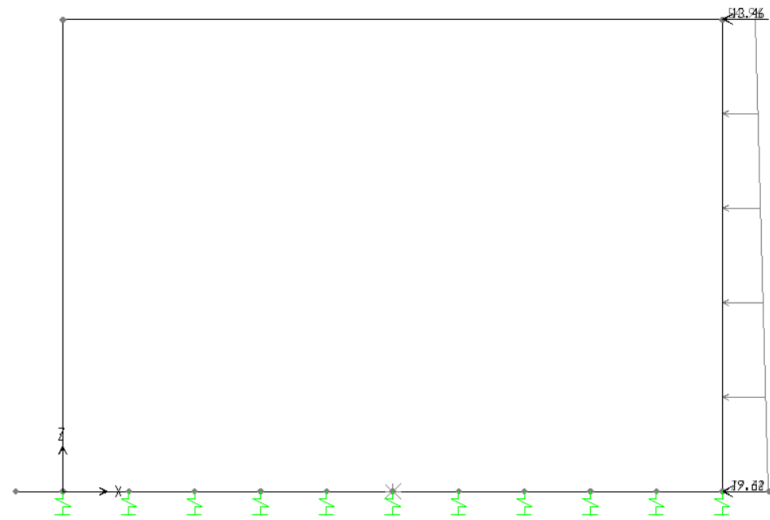


Figura 45: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

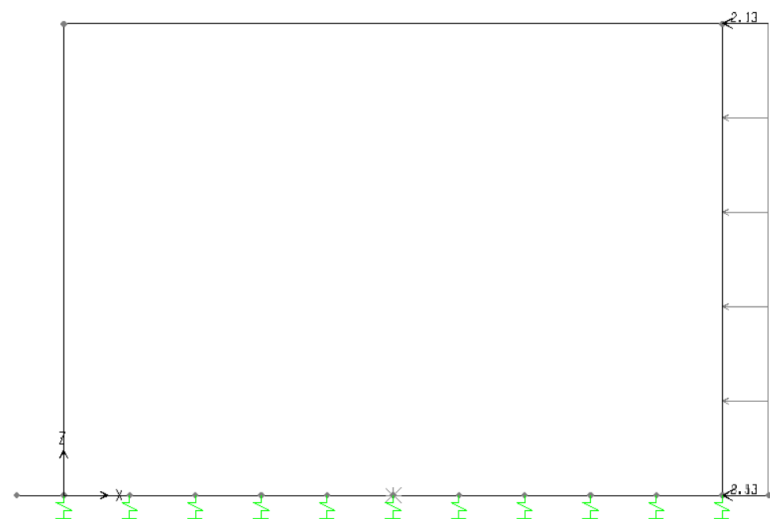


Figura 46: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

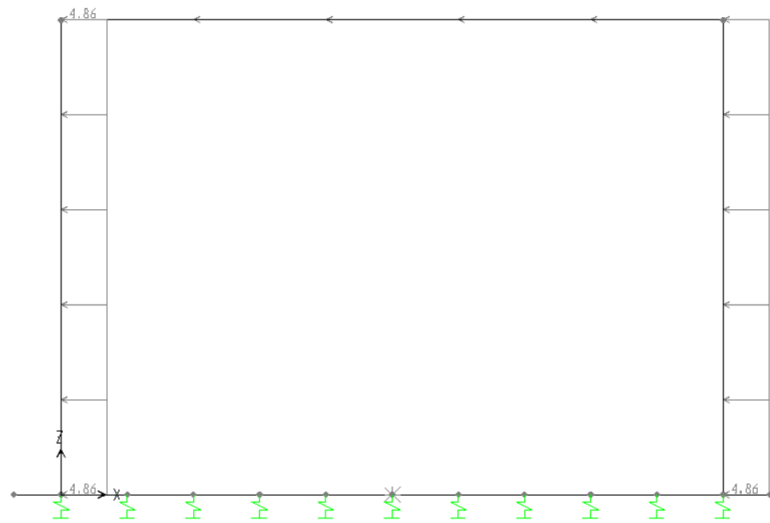


Figura 47: Forze d'inerzia (SISMAH)

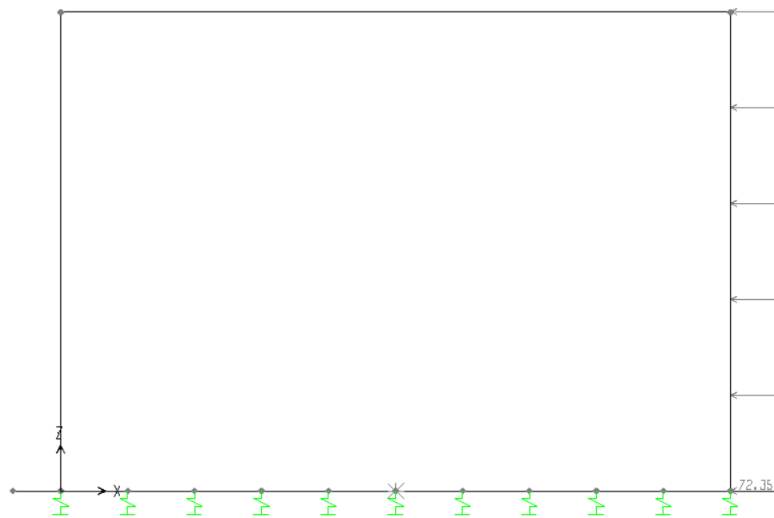


Figura 48: Sovrappinta sismica (SPSDX)

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.

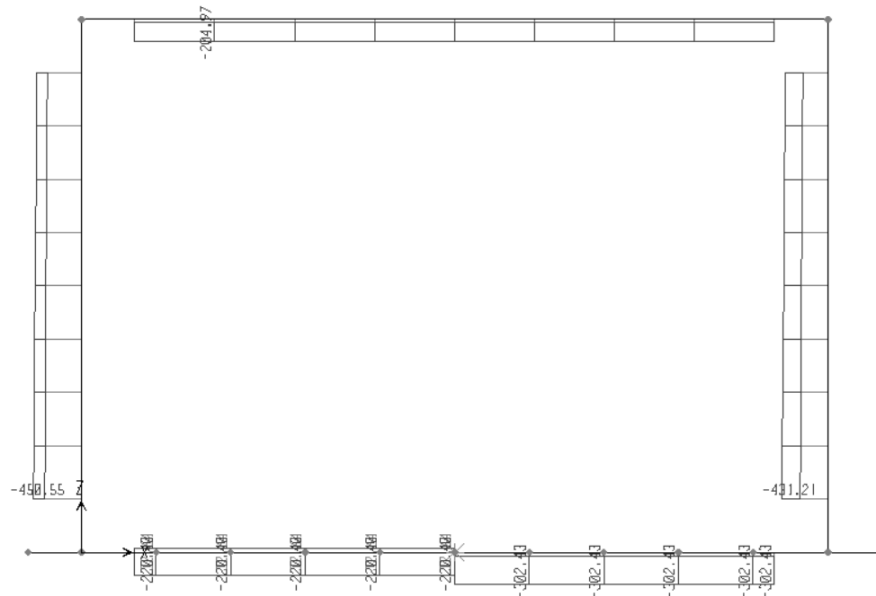


Figura 49: Sforzo normale – Inviluppo SLU

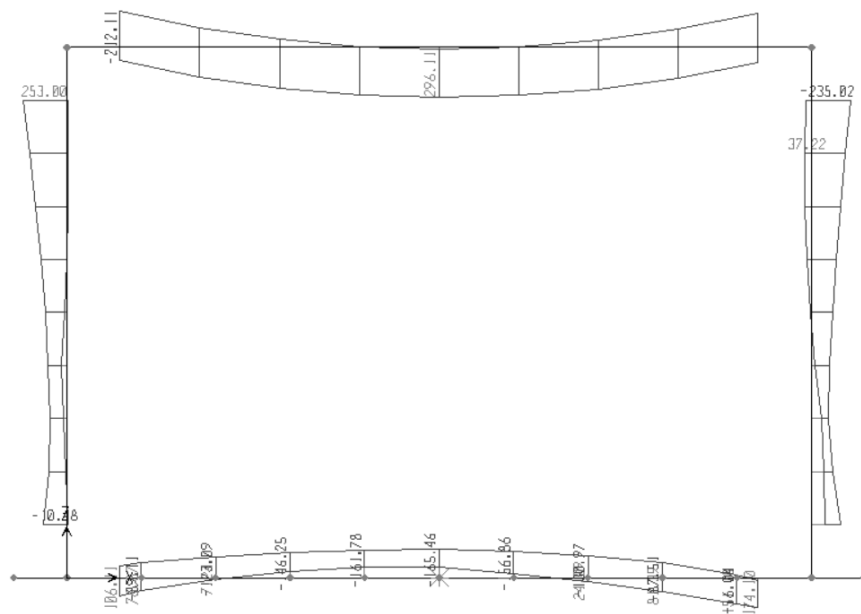


Figura 50: Momento flettente – Inviluppo SLU

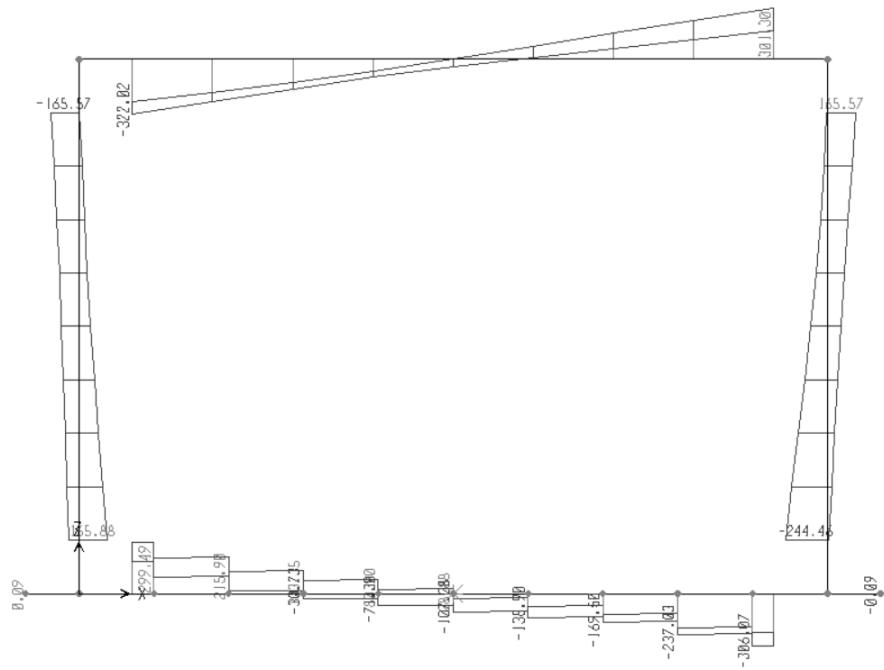
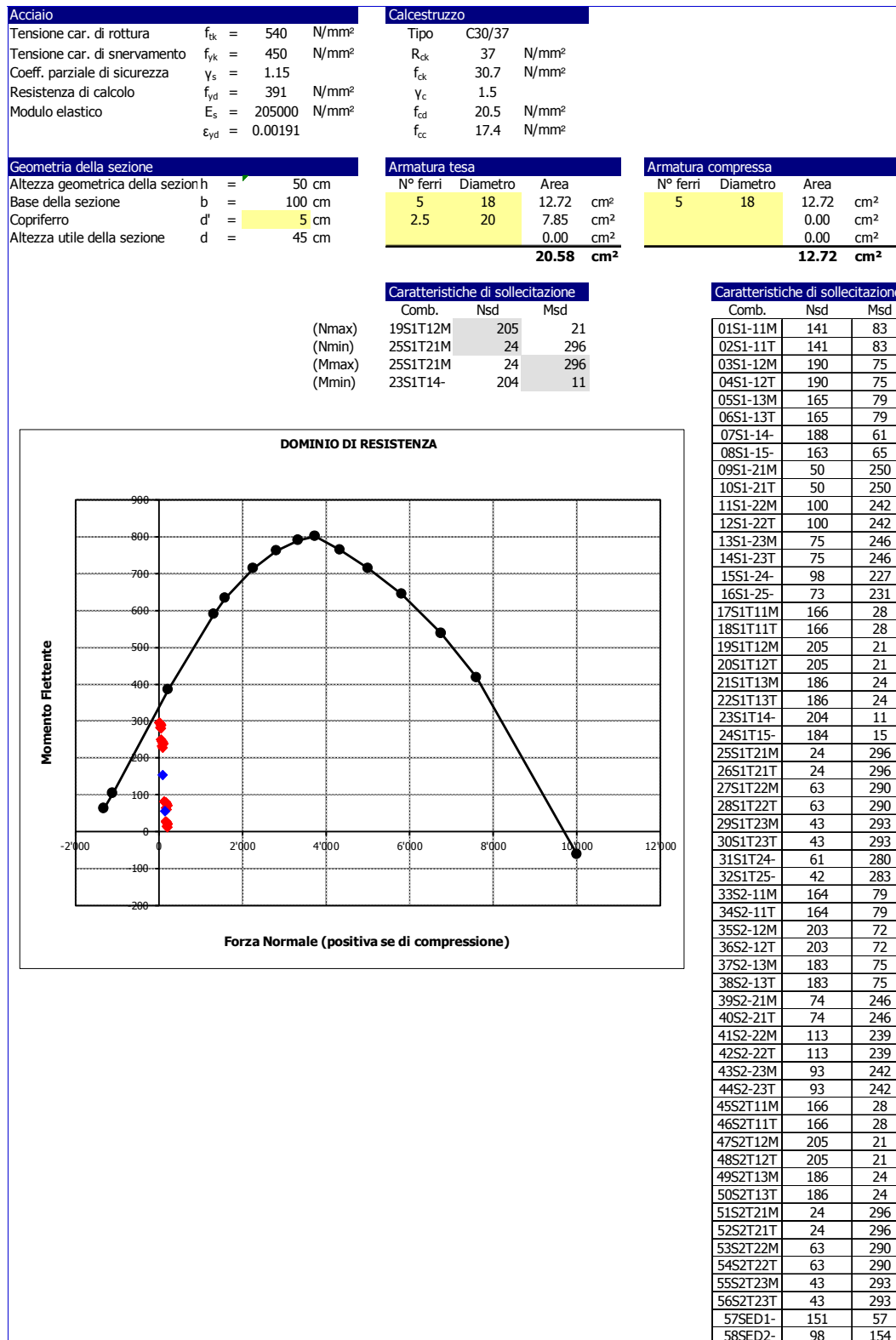


Figura 51: Taglio – Inviluppo SLU

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 | $f_{y,d} = 391$ 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 | |
| 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) | 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 |

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 |

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 |

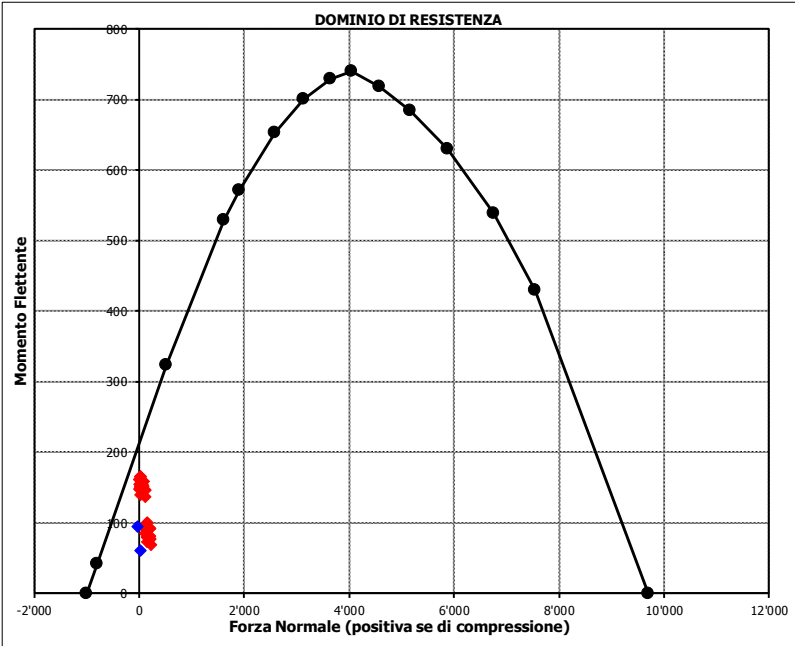
10.3.5 Soletta inferiore in campata

| 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 |

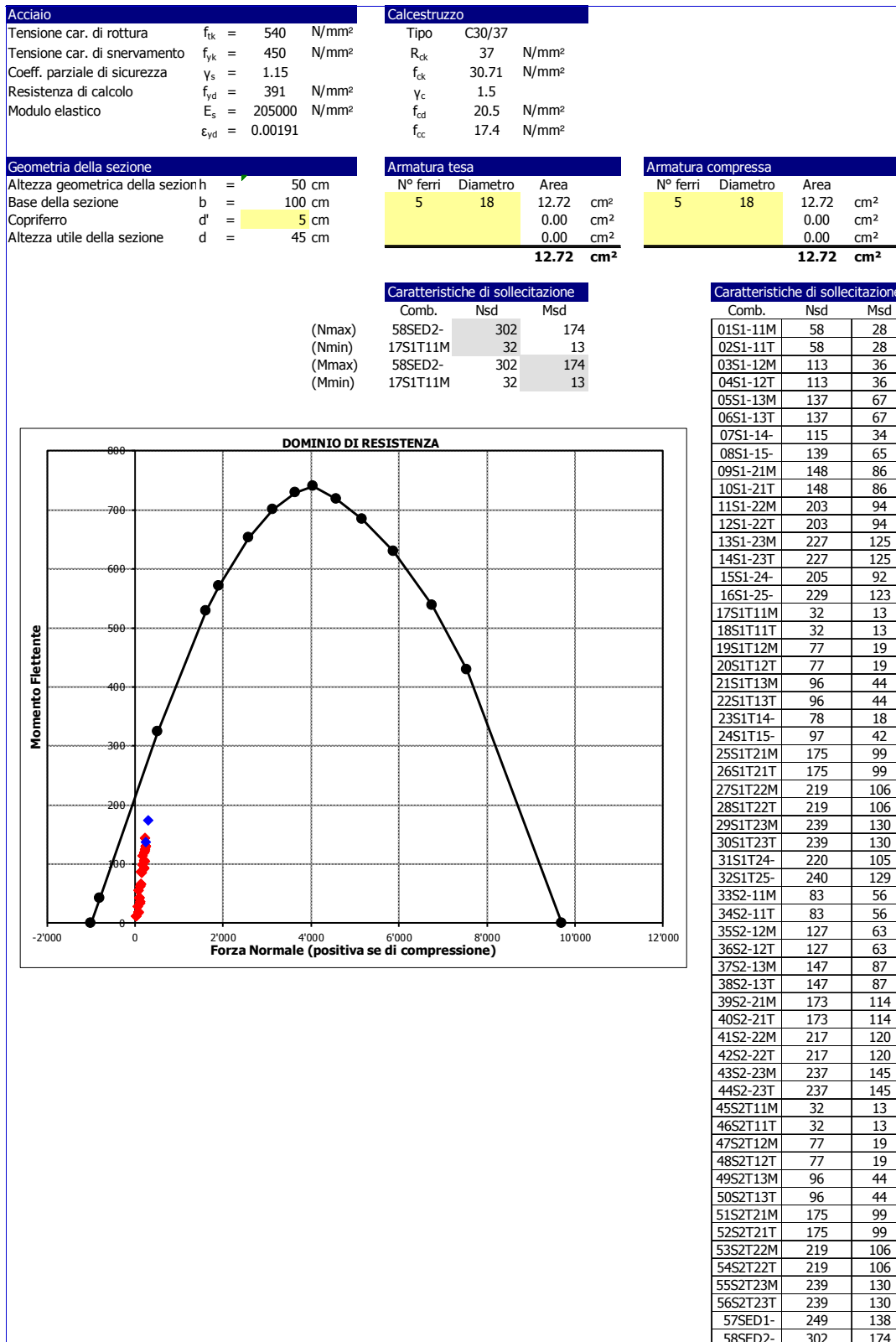
| Caratteristiche di sollecitazione | | | |
|-----------------------------------|----------|-----|-----|
| | Comb. | Nsd | Msd |
| (Nmax) | 31S1T24- | 220 | 69 |
| (Nmin) | 57SED1- | -33 | 95 |
| (Mmax) | 17S1T11M | 32 | 165 |
| (Mmin) | 58SED2- | 21 | 61 |

| 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

| | | 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 | 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 | \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 | 7.85 | cm ² | 3 | \emptyset 20 $C_{i2} =$ 5.0 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 | 5.5 | 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_{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 | < σ_{camm} |
| Trazione nell'acciaio (1° strato) | σ_s | 103.0 | N/mm ² | < σ_{amm} |

| | | | | |
|--|-----------|---------|-----------------|--------------------------|
| 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.

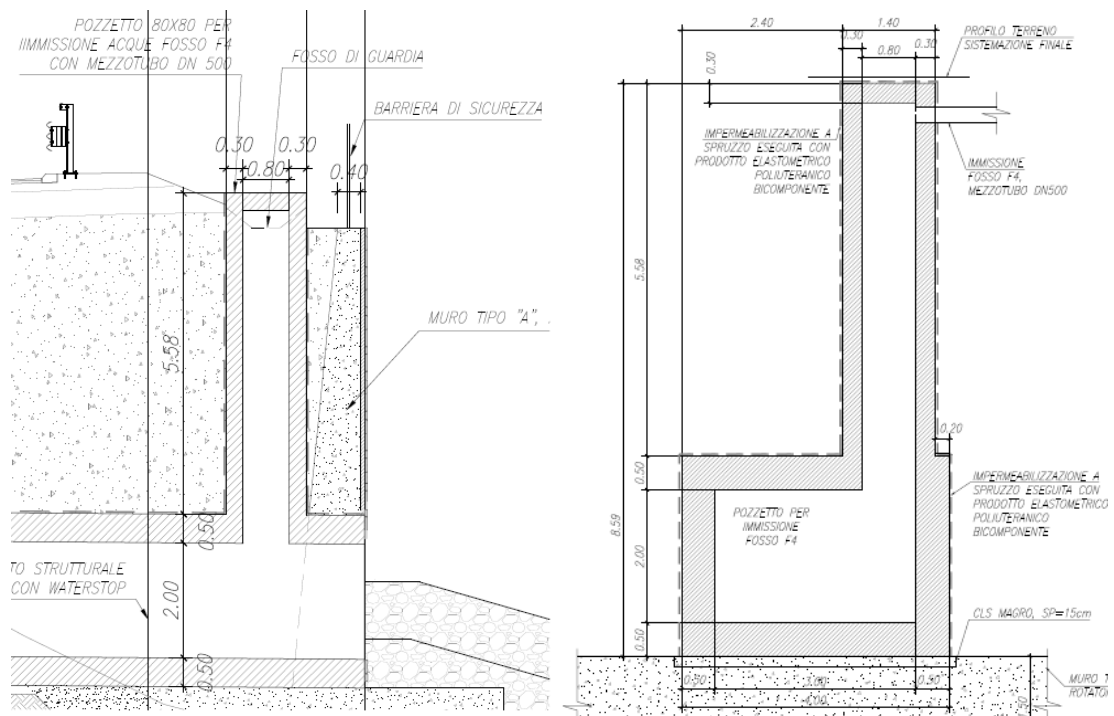


Figura 52: Sezione longitudinale e trasversale scatolare chiuso con fosso di guardia

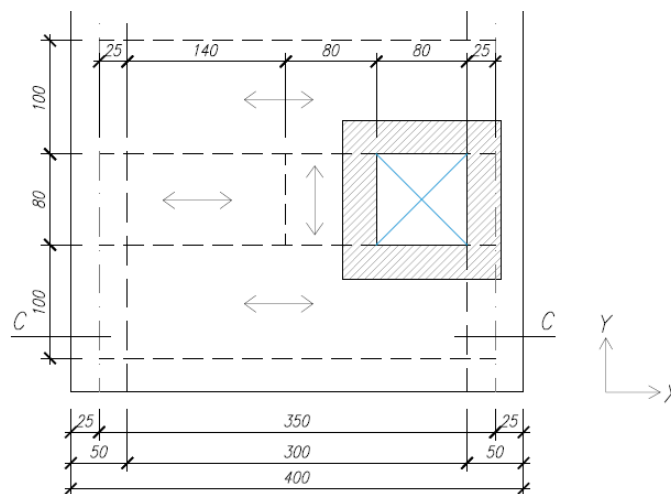


Figura 53: Vista in pianta scatolare chiuso con fosso di guardia

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.

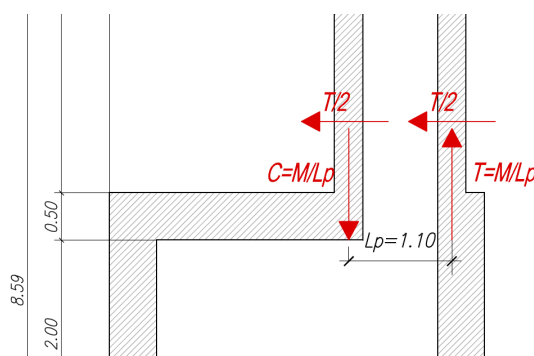


Figura 54: Scomposizione delle azioni alla base del fosso

| 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 | ° |

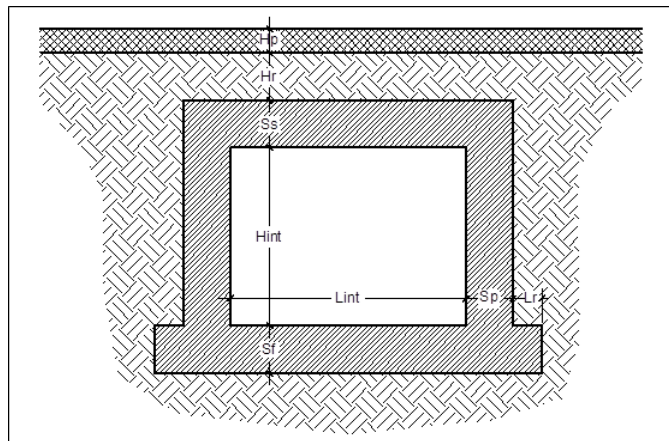
| | | | |
|---|----|------------|-------------------|
| Terreno di fondazione | Kw | 25000 | kN/m ³ |
| Condizioni ambientali per ver. a fessurazione | | aggressive | |

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) | $Q_{1k} \quad 1000 / 96.00 =$ | 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 |
| | $q_{1k} \quad 9.00 \cdot (3.00 / 10.21) =$ | 2.65 | kN/m² |
| Frenamento q3 | | | |
| q3 | $q3 \quad 180 < 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900 \text{ kN}$ | 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 | $1 - \text{sen}(35^\circ) =$ | 0.426 | |
| Spinta alla quota di estradosso sol. sup. | $p1 \quad 0.426 \cdot 120.48 =$ | 51.38 | kN/m ² |
| Spinta in asse sol. sup. | $p2 \quad 0.426 \cdot (120.48 + 21 \cdot 0.50/2) =$ | 53.61 | kN/m² |
| Spinta in asse sol. inf. | $p3 \quad 0.426 \cdot [120.48 + 21 \cdot (0.50/2 + 2.00 + 0.50/2)] =$ | 76.00 | kN/m² |
| Spinta alla quota di intradosso sol. inf. | $p4 \quad 0.426 \cdot [120.48 + 21 \cdot (0.50/2 + 2.00 + 0.50)] =$ | 78.24 | kN/m ² |
| Spinta semispessore sol. sup. | $F1 \quad (51.38 + 53.61)/2 \cdot 0.50/2$ | 13.12 | kN/m |
| Spinta semispessore sol. inf. | $F2 \quad (76.00 + 78.24)/2 \cdot 0.50/2$ | 19.28 | kN/m |
| Spinta del carico accidentale | | | |
| Spinta dovuta a $q = 20 \text{ kN/m}^2$ | $p \quad 0.426 \cdot 20$ | 8.53 | kN/m² |
| Sisma orizzontale | | | |
| Stato limite | Salvaguardia della vita - SLU - | SLV | |
| Vita nominale | V_r | 50 | anni |
| Classe d'uso | C_u | IV | |
| accelerazione orizzontale | a_g/g | 0.288 | |
| amplificazione spettrale | F_o | 2.397 | |
| Categoria sottosuolo | A, B, C, D, E | B | |
| Coeff. Amplificazione stratigrafica | S_s | 1.124 | |
| Coeff. Amplificazione topografica | S_t | 1 | |
| Coefficiente S | $S = S_s \cdot S_t$ | 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. | $FH_s \quad 0.324 \cdot (0.50 \cdot 25 + 0 + 0 \cdot 13.06) / 1.20 =$ | 3.37 | kN/m² |
| Forza orizz. sui piedritti | $FH_p \quad 0.324 \cdot (0.50 \cdot 25) / 1.20 =$ | 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 |

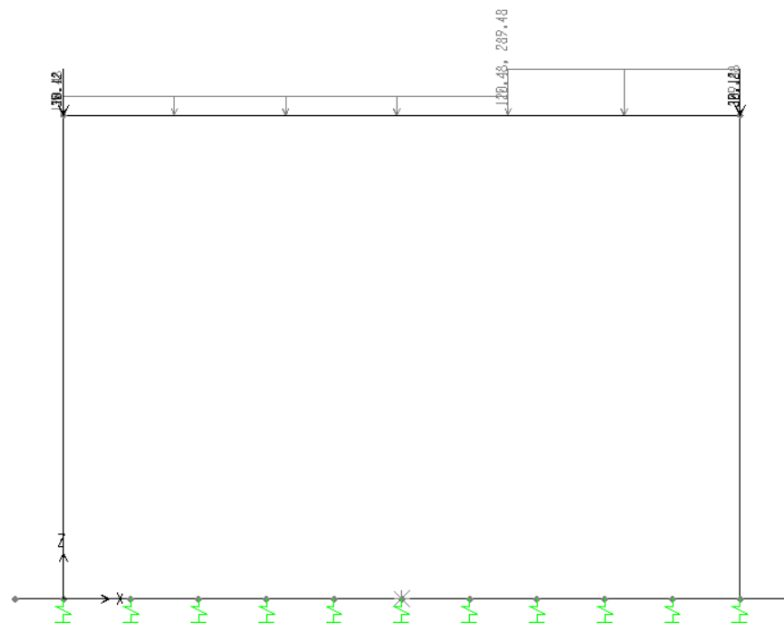


Figura 55: Carichi permanenti (PERM)

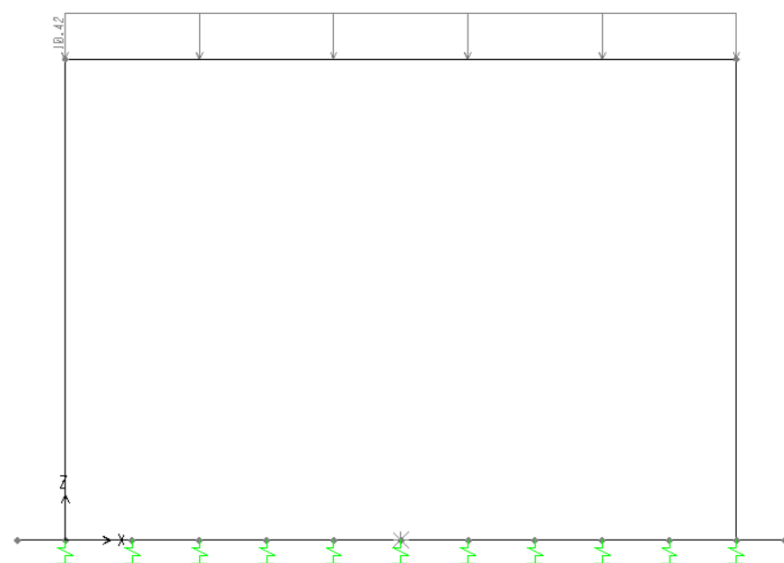


Figura 56: Carichi da traffico tandem – CdC Mmax (Q1k-M)

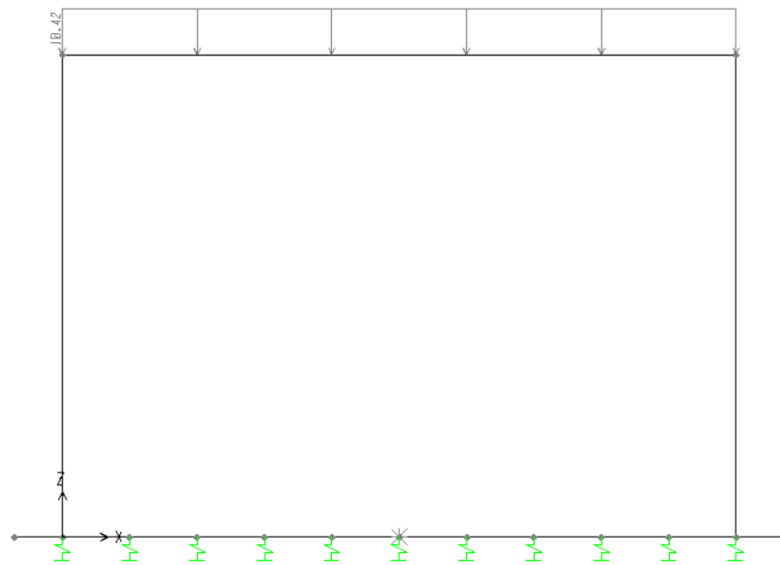


Figura 57: Carichi da traffico tandem – CdC Vmax (Q1k-T)

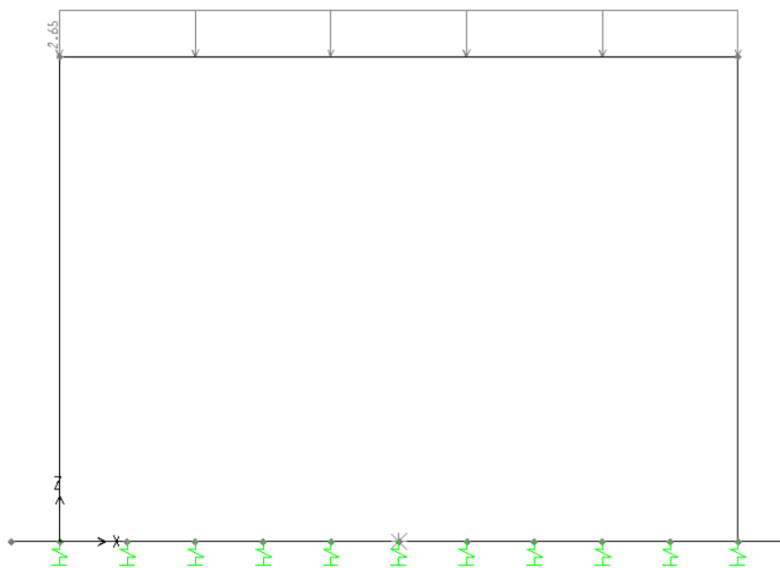


Figura 58: Carichi da traffico distribuiti (Q2)

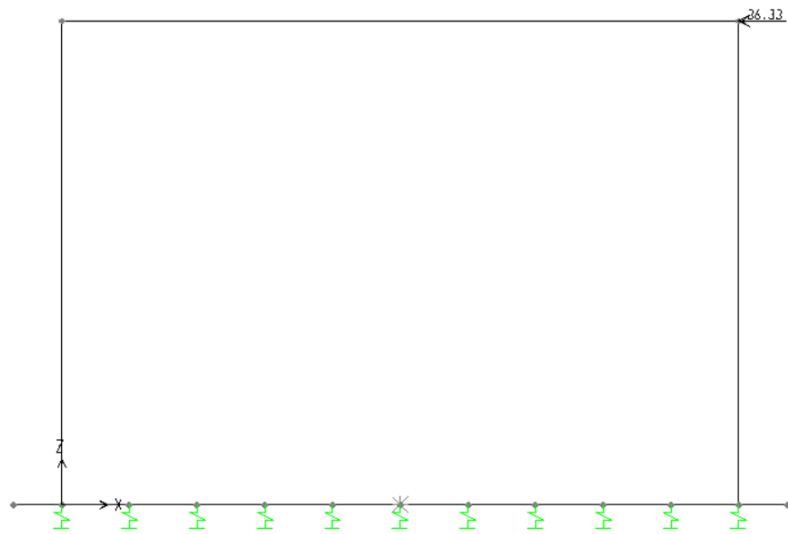


Figura 59: Frenatura (Q3)

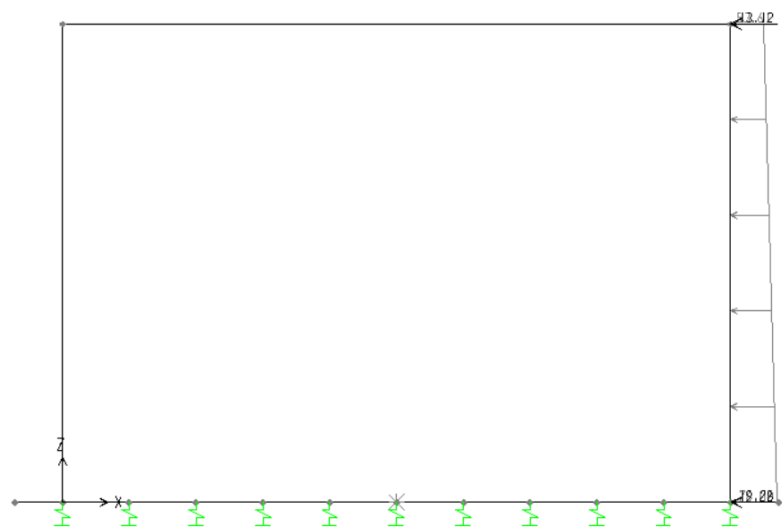


Figura 60: Spinta del terreno sulla parete dx (SPTDX)

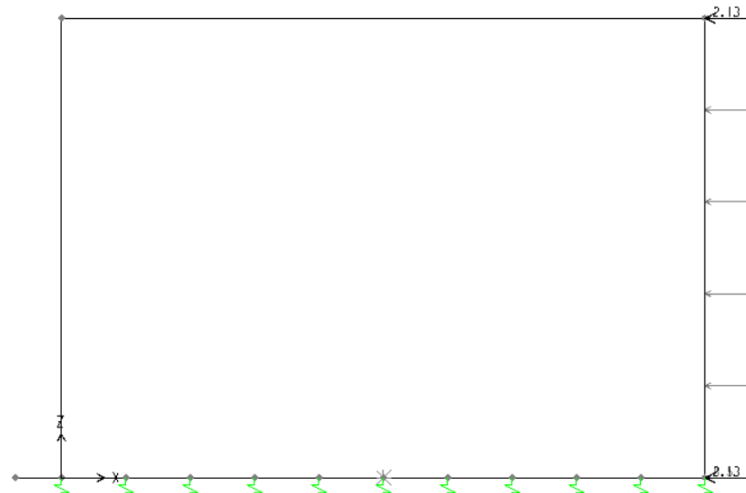


Figura 61: Spinta del sovraccarico sulla parete dx (SPACCDX)

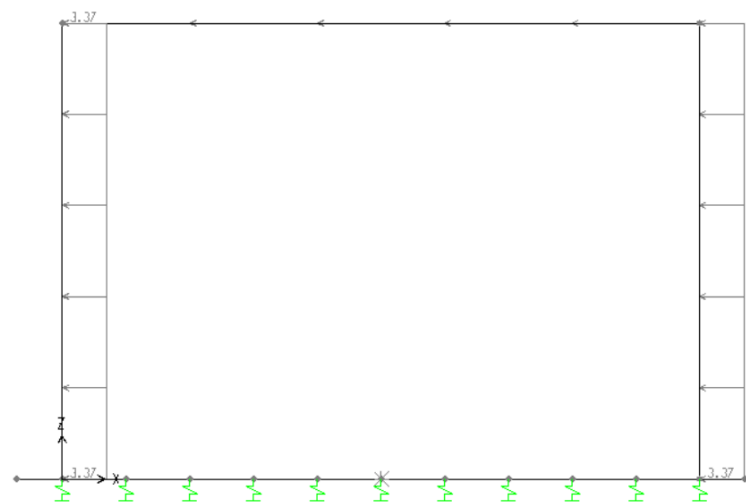


Figura 62: Forze d'inerzia (SISMAH)

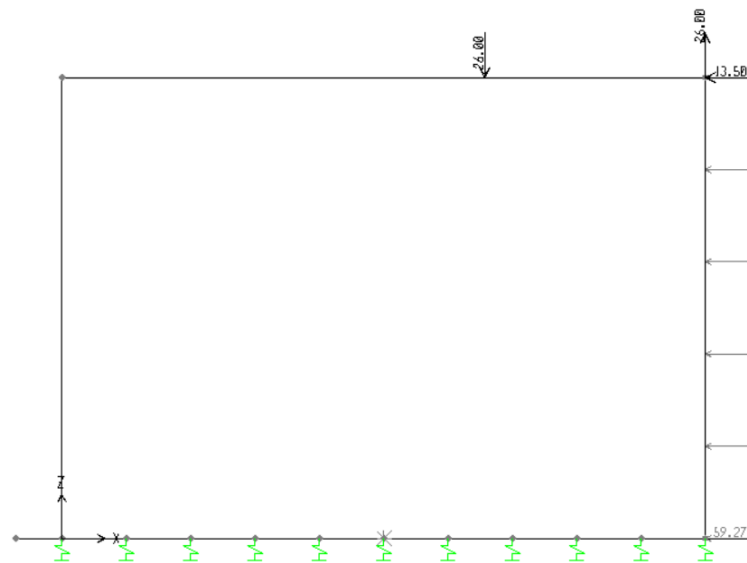


Figura 63: Sovrappinta sismica (SPSDX)

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.

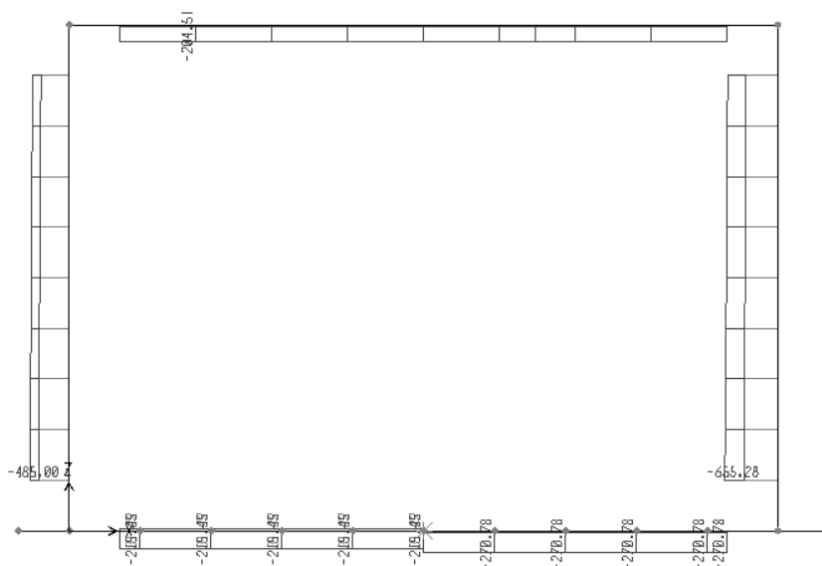


Figura 64: Sforzo normale – Involuppo SLU

Nuovo tombino scatolare lato Umbria – Relazione tecnica e di calcolo

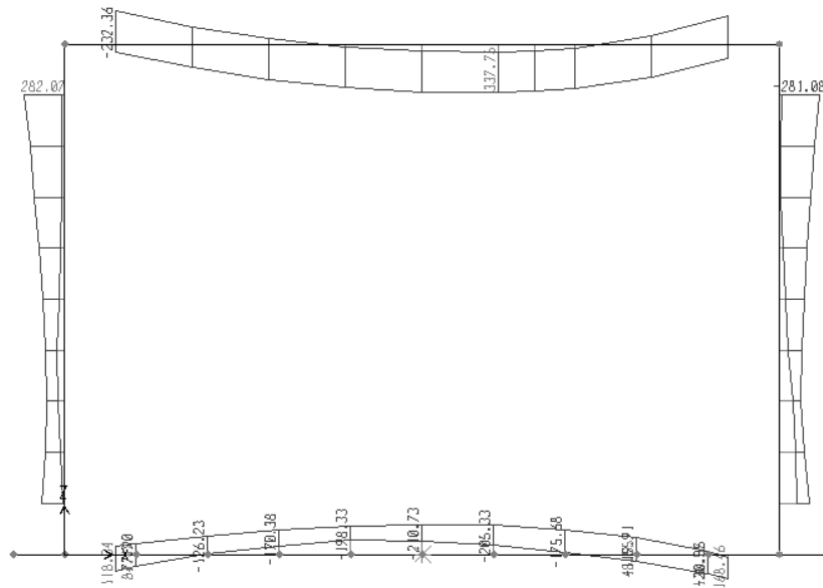


Figura 65: Momento flettente – Inviluppo SLU

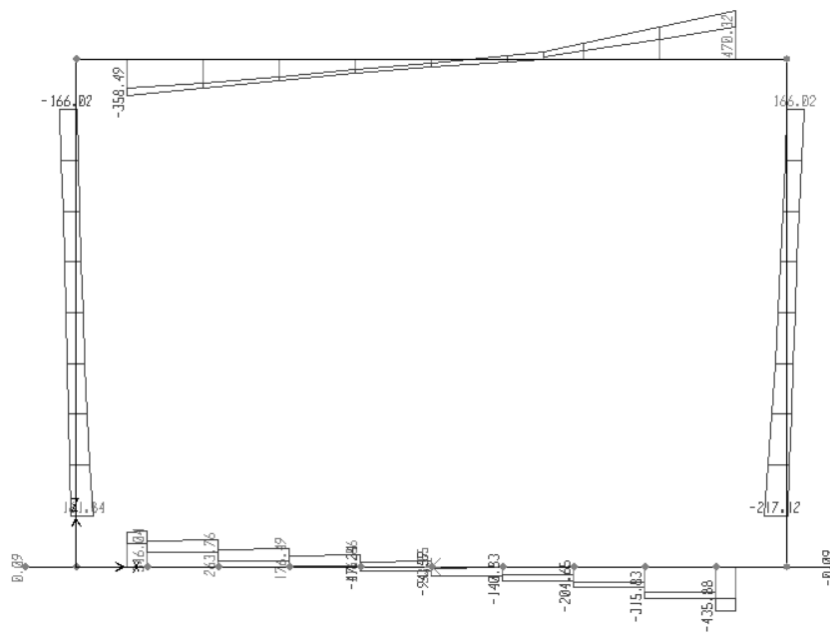


Figura 66: Taglio – Inviluppo SLU

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 |

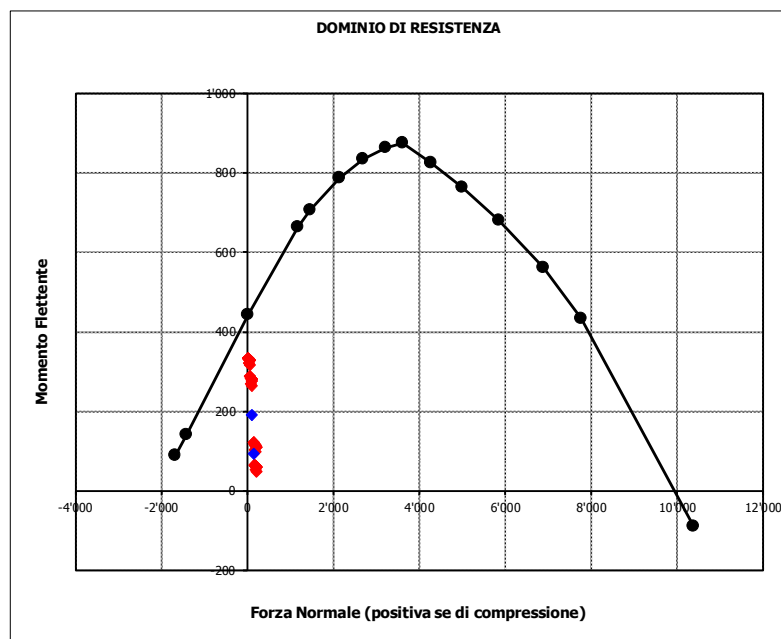
| Geometria della sezione | |
|----------------------------------|--------------|
| Altezza geometrica della sezione | $h = 50$ cm |
| Base della sezione | $b = 100$ cm |
| Copriferro | $d' = 5$ cm |
| Altezza utile della sezione | $d = 45$ cm |

| 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 |

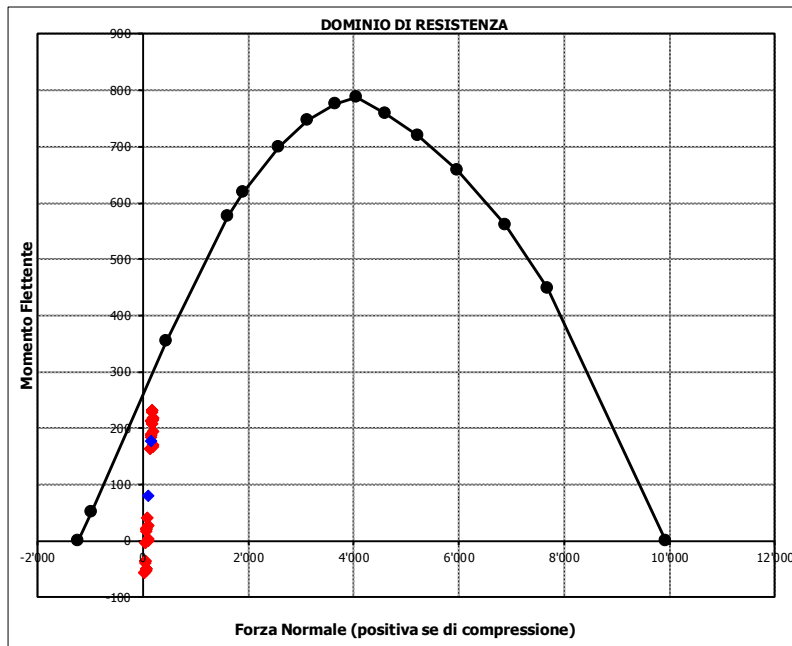
| Geometria della sezione | |
|----------------------------------|--------------|
| Altezza geometrica della sezione | $h = 50$ cm |
| Base della sezione | $b = 100$ cm |
| Copriferro | $d' = 5$ cm |
| Altezza utile della sezione | $d = 45$ cm |

| 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 |

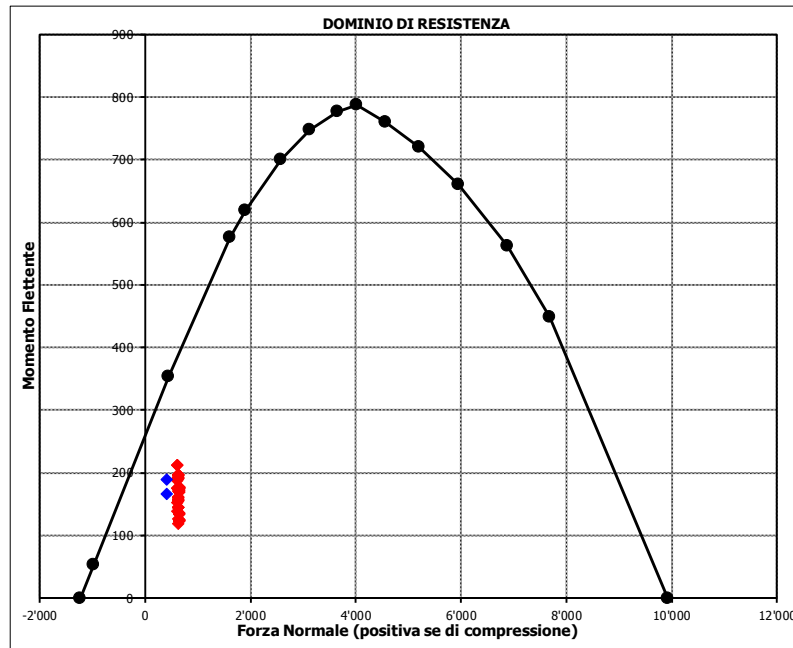
| Armatura tesa | | | |
|---------------|----------|--------------|-----------------------|
| N° ferri | Diametro | Area | |
| 5 | 20 | 15.71 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | 15.71 | cm² |

| 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 |

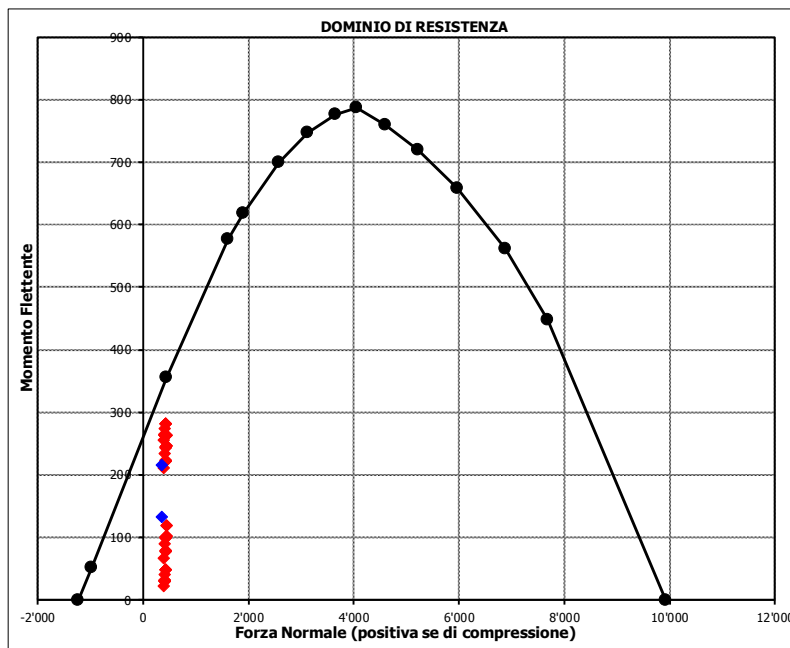
| Armatura tesa | | | |
|---------------|----------|--------------|-----------------------|
| N° ferri | Diametro | Area | |
| 5 | 20 | 15.71 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | 15.71 | cm² |

| 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 |

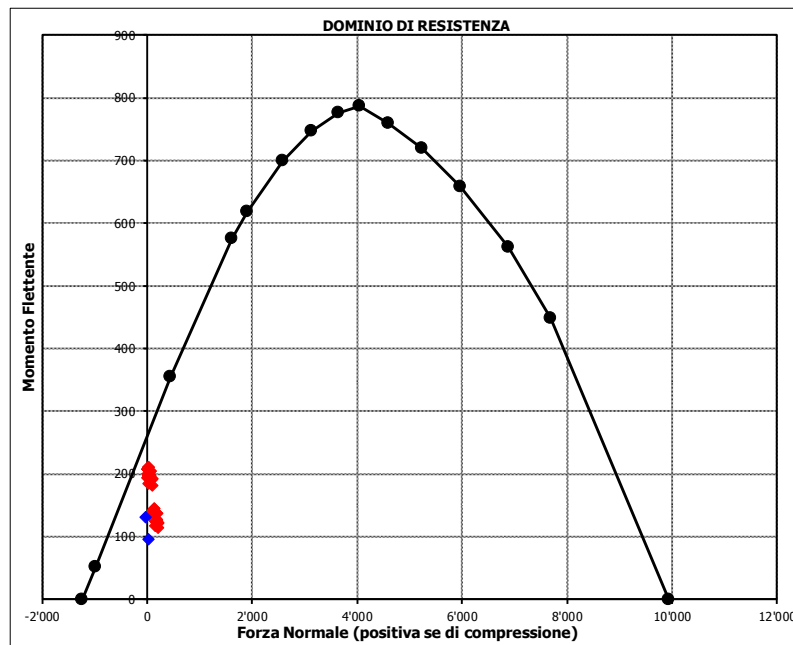
| Armatura tesa | | | |
|---------------|----------|-------|-----------------------------|
| N° ferri | Diametro | Area | |
| 5 | 20 | 15.71 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | | 15.71 cm² |

| 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 | $f_{yEd} = 391$ 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 |

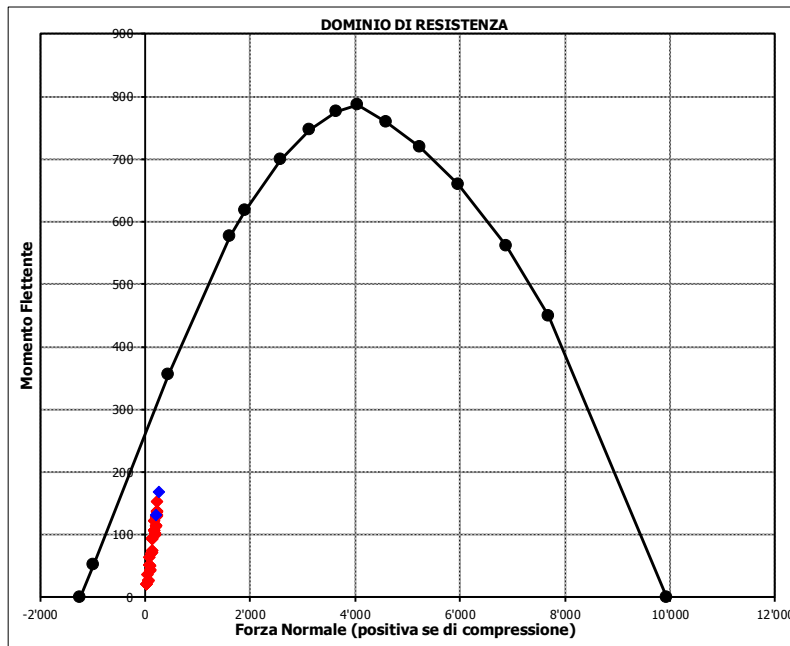
| Armatura tesa | | | |
|---------------|----------|-------|-----------------------------|
| N° ferri | Diametro | Area | |
| 5 | 20 | 15.71 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | 0.00 | cm ² |
| | | | 15.71 cm² |

| 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) | 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 | \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 | 11.31 | cm ² | 3 | \emptyset 24 $C_{t2} =$ 5.0 cm |
| Armatura tesa (1° strato) | AS_1 | 15.71 | cm ² | 5 | \emptyset 20 $C_{t1} =$ 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.