

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Costruttivo 2: Bologna - Politecnico**

PROGETTO DEFINITIVO		 INFRATRASPORTI S.r.l.												
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337K	PROGETTO STRUTTURALE – POZZI E MANUFATTI DI LINEA POZZO DI INTERTRATTA PORTA NUOVA RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE												
		ELABORATO							REV.		SCALA	DATA		
		MT	L2	T1	A2	D	STR	PPN	R	001	Int.	Est.	-	16/11/2023
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi											0	1	-	

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	18/01/22	LFA	PDM	FRI	RCR
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	16/11/23	PDM	PDM	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.4.11</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRPPNR001</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	9.4.11	1	MTL2T1A2D	STRPPNR001	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>						
LOTTO 2	CARTELLA	9.4.11	1	MTL2T1A2D	STRPPNR001													



INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
2.2	PROGRAMMI DI CALCOLO	7
3.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	CALCESTRUZZO PER MICROPALI/MICROPALI: C25/30	8
3.2	MAGRONE: C12/15	8
3.3	SOLETTA DI FONDO/STRUTTURE INTERNE: C30/37	8
3.4	ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO: B450C	9
3.5	ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA	9
3.6	COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE: MICROPALI	9
4.	DESCRIZIONE DELLE OPERE	11
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	14
5.1	CONTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	14
5.2	PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO	16
6.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	17
6.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE	17
6.2	FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO	18
6.3	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	18
6.4	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	19
7.	CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE	21
7.1	CENNI NORMATIVI	21
7.2	MODELLAZIONE NUMERICA	23
7.3	CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE	24
8.	CABINA TECNICA	26
8.1	ANALISI DEI CARICHI	26
8.2	MODELLO DI CALCOLO	27
8.3	SOLLECITAZIONI AGENTI PER UNITÀ DI LUNGHEZZA	36
8.4	VERIFICHE PILASTRATE C.A. (CONTROPARETI)	39

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

8.5	VERIFICHE TRAVATE C.A.	58
8.6	SINTESI DELLE SEZIONI ED ARMATURE ADOTTATE	68
8.7	VERIFICA A GALLEGGIAMENTO STRUTTURE INTERNE	69
9.	SEZIONE TRASVERSALE DEL POZZO	71
10.	SOLETTONE DI FONDO DEL POZZO	73
11.	RIVESTIMENTO DEFINITIVO DEL CUNICOLO DI COLLEGAMENTO DEL POZZO	79

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan della Linea 2 – tratta funzionale 1: Politecnico-Rebaudengo	5
Figura 2.	Sezione trasversale del pozzo di intertratta Porta Nuova (PPN)	11
Figura 3.	Presenza di una rampa interrata da demolire e di tiranti esistenti lato via Lagrange potenzialmente interferenti con i micropali del pozzo di intertratta Porta Nuova (PPN)	12
Figura 4.	Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)	14
Figura 5.	Schematizzazione metodo di Wood	25
Figura 6.	Carichi in condizione permanenti portati [kN/m]	28
Figura 7.	Carichi in condizione variabile Fsx [kN/m]	29
Figura 8.	Carichi in condizione variabile Fdx [kN/m]	30
Figura 9.	Carichi in condizione variabile F _{CV} [kN/m]	30
Figura 10.	Carichi in condizione Sisma [kN/m]	31
Figura 11.	Carichi in condizione E [kN/m]	32
Figura 12.	Carichi in condizione pesi (spinta idrica) [kN/m]	33
Figura 13.	Inviluppo Diagramma Momento flettente agente SLU [kNm]	36
Figura 14.	Inviluppo Sforzo normale agente SLU [kN]	37
Figura 15.	Inviluppo taglio agente [kN]	37
Figura 16.	Deformazioni massime registrate SLU [m]	38
Figura 17.	Schema statico della sezione trasversale del pozzo	71

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.	Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche di riferimento	16
Tabella 2.	Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base	19
Tabella 3.	Sintesi delle azioni sismiche di progetto	20
Tabella 4.	Coefficienti parziali per le azioni	22
Tabella 5.	Coefficienti parziali per le resistenze dei materiali naturali	22
Tabella 6.	Coefficienti parziali per le verifiche di opere di materiali sciolti	23
Tabella 7.	Coefficienti amplificativi dei carichi secondo NTC 2018	23
Tabella 8.	Combinazioni di carico SLU	34

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Tabella 9. Combinazioni di carico SLE rara	35
Tabella 10. Combinazioni di carico SLE frequente	35
Tabella 11. Combinazioni di carico SLE quasi permanente	35
Tabella 12. Sintesi delle sezioni geometriche ed armature adottate	68
Tabella 13. Coefficienti amplificativi dei carichi secondo NTC 2018	69
Tabella 14. Calcolo azione stabilizzante	70
Tabella 15. Verifica al galleggiamento e calcolo del SF	70
Tabella 16. Calcolo del carico agente	72
Tabella 17. Risultato della verifica condotta	72
Tabella 18. Sollecitazioni caratteristiche	73
Tabella 19. Momento flettente di calcolo	73
Tabella 20. Taglio di calcolo	74
Tabella 21. Verifiche allo SLE	74
Tabella 22. Verifiche a pressoflessione allo SLU	79
Tabella 23. Verifiche a taglio allo SLU	79
Tabella 24. Verifiche allo SLE	79



1. PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell’ambito dell’affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto le fasi realizzative, le analisi strutturali e le verifiche relative alle opere definitive del pozzo di ventilazione Porta Nuova “PPN” previsto alla PK 8+537.66.

Il tracciato urbano della Linea 2 della Metropolitana di Torino, si sviluppa per circa 14.50 km dal settore Nord/Est al settore Sud/Ovest della città di Torino e cioè dalla nuova stazione Rebaudengo del passante ferroviario, si inserisce nell’ex scalo ferroviario Vanchiglia, utilizzando la trincea tra le vie Gottardo e Sempione, percorre corso Regio Parco, attraversa il fiume Dora, i Giardini Reali, piazza castello, devia verso via Roma, interseca la linea 1 esistente nella stazione di Porta Nuova e, attraversando prima la stazione ferroviaria di Porta Nuova e successivamente corso Stati Uniti, devia su Corso Trento, percorre corso Duca degli Abruzzi per immettersi lungo corso Orbassano fino al cimitero parco (per maggiori dettagli si riporta nella figura seguente il key-plan della linea in questione).

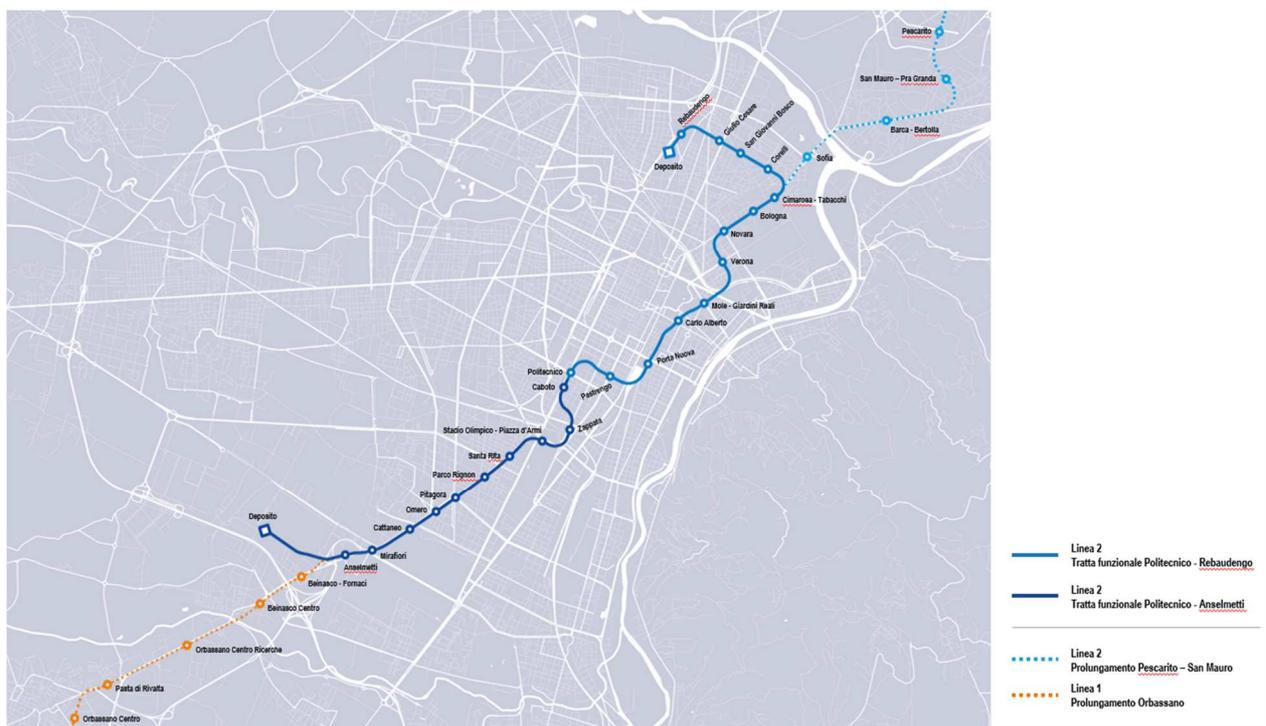


Figura 1. Key-plan della Linea 2 – tratta funzionale 1: Politecnico-Rebaudengo

La prima tratta funzionale della Linea 2 della Metropolitana di Torino, inclusa tra le stazioni Rebaudengo e Politecnico, si colloca interamente nel territorio comunale di Torino, presenta una lunghezza di circa 9,7 km, e, procedendo da nord verso sud, si sviluppa a partire dalla stazione di corrispondenza con la stazione F.S. Rebaudengo-Fossata, proseguendo poi lungo la ex trincea ferroviaria posta tra via Gottardo e via Sempione. Il tracciato, a partire dalla fermata Corelli passa lungo via Bologna, al fine di servire meglio gli insediamenti dell’area interessata esistenti e futuri con le fermate intermedie Cimarosa-Tabacchi, Bologna e Novara. Dopo la fermata Novara, il tracciato si allontana dall’asse di Via Bologna mediante una curva in direzione sud-est e si immette

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

sotto l'asse di Corso Verona fino alla Stazione Verona ubicata in Largo Verona. Dopo la fermata Verona, sotto attraversato il fiume Dora e Corso Regina Margherita, la linea entra nel centro storico della città con le fermate Mole/Giardini Reali e Carlo Alberto, portandosi poi in corrispondenza di via Lagrange, sino ad arrivare alla stazione Porta Nuova, posta lungo via Nizza, che sarà di corrispondenza sia con la linea F.S. che con la Linea 1 della metropolitana di Torino.

Dalla fermata Porta Nuova il tracciato prosegue lungo l'allineamento di via Pastrengo, per poi portarsi su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

La tratta funzionale è costituita dalle seguenti opere:

- 13 stazioni sotterranee;
- 12 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi
- La galleria di linea costituita da:
 - o Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo tradizionale per una lunghezza di 135m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo;
 - o Un tratto in galleria artificiale in Cut&Cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0km che collega le stazioni Rebaudengo, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
 - o Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Borin Machine) avente diametro di circa 10,00m, che scaverà la galleria di linea dal manufatto in retrostazione Bologna fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5,6km;
- Un pozzo terminale di fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico;
- Il manufatto in retrostazione Rebaudengo, avente la funzione di deposito-officina, per la manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio;
- La predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.

Nella presente relazione saranno trattati i seguenti argomenti:

- documenti e normative di riferimento per la progettazione definitiva delle opere;
- descrizione delle opere e delle caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione;
- descrizione del contesto geologico, idrogeologico e caratterizzazione geotecnica;
- caratterizzazione sismica dell'area di riferimento;
- criteri di calcolo delle opere, dimensionamento e verifica delle stesse.

2. DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 Normative di riferimento

La progettazione definitiva delle opere sarà condotta in accordo alle seguenti norme:

- [1] Legge n. 1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

- [2] DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le costruzioni” - NTC2018 - (GU n.42 del 20/02/2018).
- [3] Circolare esplicativa del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018” (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).
- [4] UNI EN 206:2016, “Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- [5] UNI 11104-2016, “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206”.
- [6] Stucchi M., et al., 2004 - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (<https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>).
- [7] Azioni sismiche - Spettri di risposta ver.1.03 (Software sperimentale disponibile dal sito del CSLPP, <http://cslp.mit.gov.it>).
- [8] Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [9] Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
- [10] Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

2.2 Programmi di calcolo

Per il dimensionamento delle paratie/micropali:

- Plaxis 2D Connect Edition V21 Update 1 – Bentley
- PresFle v5.33 - Concrete

Per le analisi di stabilità:

- Plaxis 2D Connect Edition V21 Update 1 – Bentley

Per il dimensionamento delle opera interne:

- Sismicad della Concrete S.r.l.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 Calcestruzzo per micropali/micropali: C25/30

Classe di esposizione:	XC2
Classe di consistenza:	S3
Dosaggio minimo cemento:	300Kg/m ³
Diametro massimo aggregati:	25mm
Resistenza caratteristica a compressione:	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ MPa}$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 32.90 \text{ MPa}$
Modulo Elastico:	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447.16 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione media:	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.55 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione:	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione di calcolo:	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ MPa}$

3.2 Magrone: C12/15

Classe di esposizione:	X0
------------------------	----

3.3 Soletta di fondo/strutture interne: C30/37

Classe di esposizione:	XC2
Classe di consistenza:	S3
Dosaggio minimo cemento:	300Kg/m ³
Diametro massimo aggregati:	25mm
Resistenza caratteristica a compressione:	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ MPa}$
Modulo Elastico:	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019.43 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 17.40 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione media:	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.94 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione:	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.03 \text{ MPa}$

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Resistenza a trazione di calcolo: $f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = 1.35 \text{ MPa}$

3.4 Acciaio da cemento armato: B450C

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = f_{yk}/1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
Allungamento caratteristico	$\geq 7.5\%$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

3.5 Acciaio da carpenteria metallica

Tubi:

Acciaio S355J0

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

Profili e piastre:

Acciaio S355J0

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

3.6 Copriferro minimo e copriferro nominale: Micropali

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

Il copriferro viene calcolato secondo le prescrizioni dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1, §4.4.1): il copriferro nominale è definito come il copriferro minimo (c_{min}) più un margine di progetto per gli scostamenti ΔC_{dev} :

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$$

Il copriferro minimo (c_{min}) è pari a:

$$C_{min} = \max (C_{min,b}; C_{min,dur} + \Delta C_{dur,\gamma} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

in cui:

- $C_{min,b}$ è il copriferro minimo dovuto al requisito di aderenza e vale 20 mm (diametro massimo delle barre isolate);
- $C_{min,dur}$ è il copriferro minimo dovuto alle condizioni ambientali (30 mm);

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

- $\Delta c_{dur,\gamma}$ riduzione del copriferro per margine di sicurezza (0 mm);
- $\Delta c_{dur,st}$ riduzione del copriferro per utilizzo di acciaio inossidabile (0 mm);
- $\Delta c_{dur,add}$ riduzione del copriferro per utilizzo di protezione aggiuntiva (0 mm).

Pertanto, si ha $c_{min} = 45$ mm. Nel caso in esame, sarà adottato un copriferro nominale pari a 50 mm per tutte le opere interne e 75 mm per i micropali.



4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il pozzo di ventilazione oggetto di studio della presente relazione tecnica e di calcolo, si sviluppa per una profondità circa 41 m. L'opera è composta da una cabina tecnica, un pozzo circolare avente diametro interno di 6.00 m e un tronchino di collegamento che collegherà la galleria di linea con il pozzo di ventilazione. Si riporta nella figura seguente un esempio grafico dell'opera oggetto di studio nella presente.

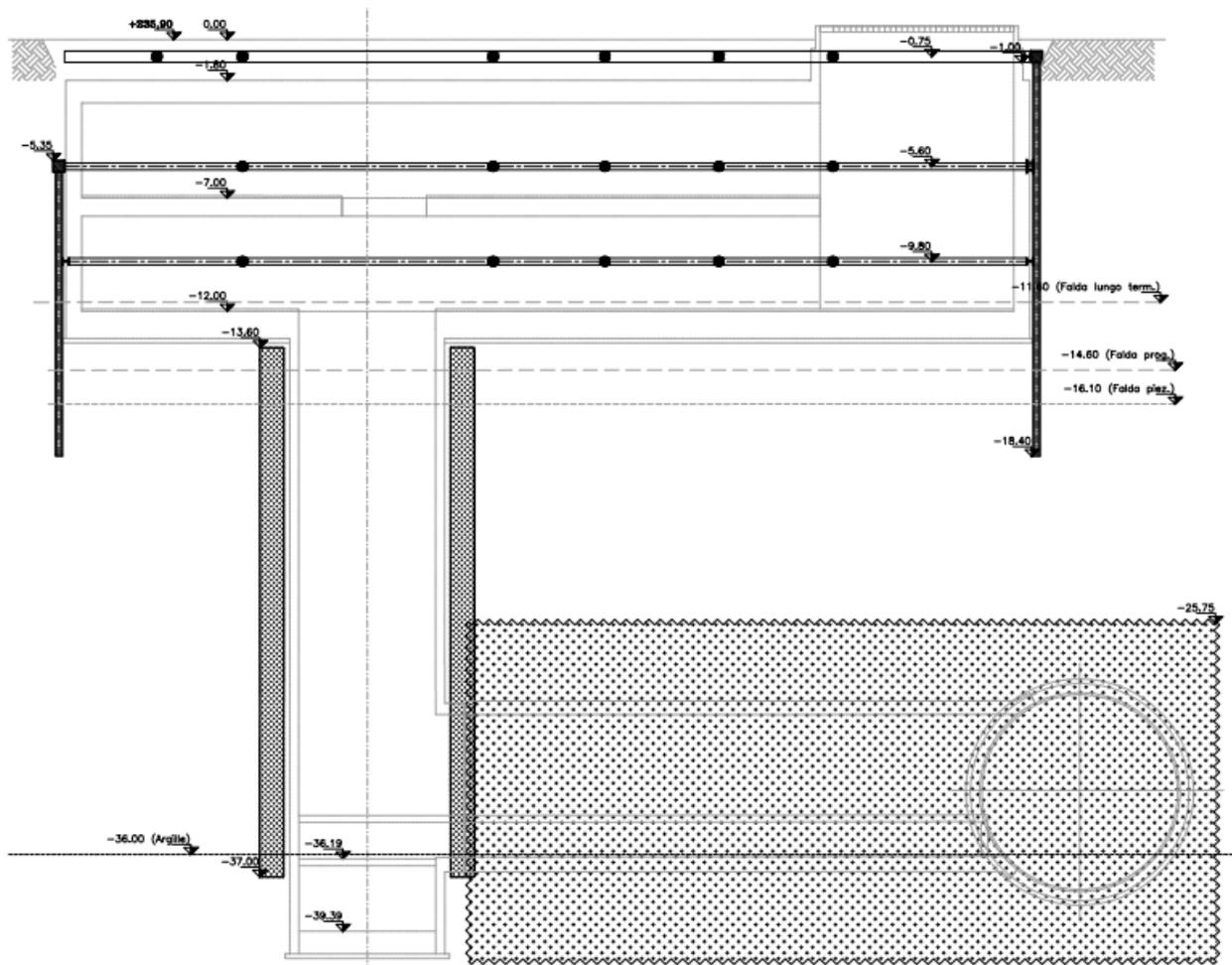


Figura 2. Sezione trasversale del pozzo di intertratta Porta Nuova (PPN)

La cabina tecnica verrà realizzata attraverso la tecnologia esecutiva di tipo bottom-up, caratterizzata da uno scavo sostenuto da paratia di micropali e puntelli in carpenteria metallica. In particolare, le fasi realizzative prevedono:

- deviazione della viabilità esistente, posizionamento recinzioni di cantiere e barriere acustiche;
- deviazioni pubblici servizi/sottoservizi;
- bonifica bellica superficiale e profonda;
- rimozione della pavimentazione per uno spessore di circa 0.50 m;
- esecuzione della paratia di micropali a presidio dello scavo della cabina tecnica con perforazione con martello a fondo foro (tipo "Odex") armati con tubo metallico $\varnothing 273\text{mm}$



sp=7.1mm; i micropali interferenti con la rampa esistente di un parcheggio interrato, verranno eseguiti in un secondo tempo;

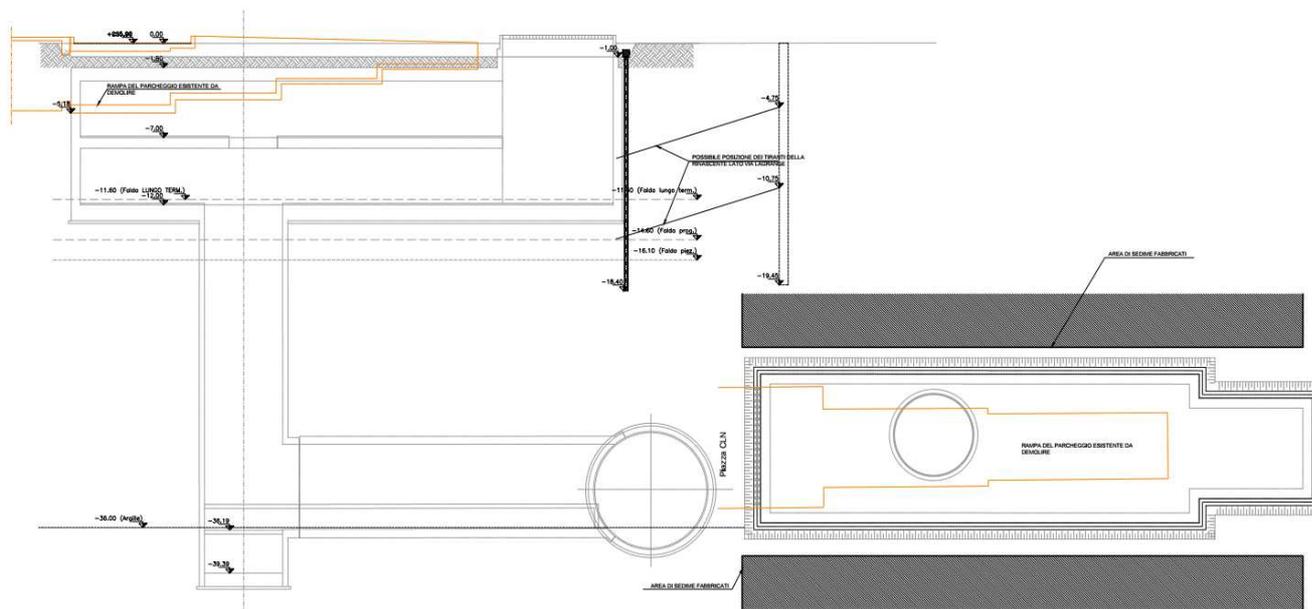


Figura 3. Presenza di una rampa interrata da demolire e di tiranti esistenti lato via Lagrange potenzialmente interferenti con i micropali del pozzo di intertratta Porta Nuova (PPN)

- realizzazione del cordolo di irrigidimento in testa ai micropali, in conglomerato cementizio armato (dimensione cordolo 50x50cm - C30/37, incidenza armatura = 300 kg/m³);
- demolizione della rampa esistente e realizzazione dei consolidamenti (sub-verticali) in jet grouting per un volume che copra una distanza pari a 2,50 m dallo sviluppo esterno delle superfici di scavo della galleria TBM e del tronchino di raccordo;
- installazione del primo ordine di puntoni metallici provvisori di contrasto fissati al cordolo testa micropali (tubi in acciaio $\varnothing 273.8 \times 8 \text{mm}$);
- scavo fino a quota installazione secondo ordine di puntoni di contrasto (-0.50 m quota asse puntone);
- installazione travi perimetrali accoppiate 2xHEB500 e secondo ordine di puntoni provvisori di contrasto (tubi in acciaio $\varnothing 355.6 \times 10 \text{mm}$);
- scavo fino a quota installazione terzo ordine di puntoni di contrasto (-0.50 m quota asse puntone);
- installazione travi perimetrali costituite da una HEB400 e terzo ordine di puntoni provvisori di contrasto (tubi in acciaio $\varnothing 273.8 \times 8 \text{mm}$);
- scavo fino a quota fondo cabina tecnica;
- realizzazione consolidamenti in jet grouting a tergo delle paratie pozzo verticale da fondo scavo cabina tecnica; le colonne saranno immerse per almeno 1 m nello strato delle argille;
- realizzazione paratia di micropali $\varnothing 220/450 \text{mm}$ con perforazione con martello a fondo foro (tipo "Odex") armati con tubo metallico $\varnothing 193.7 \text{mm}$ sp=8mm in corrispondenza del pozzo verticale e a partire da quota fondo scavo cabina tecnica;
- realizzazioni cordolo testa micropali del pozzo verticale (dimensione cordolo 50x50cm - C30/37, incidenza armatura = 100 kg/m³);
- dal fondo della cabina tecnica, posa del dispersore di terra e disposizione di riprese verticali laterali per successiva risalita dei cavi elettrici di messa a terra verticali, getto di



- calcestruzzo magro, posa in opera del manto di impermeabilizzazione con risvolti sulle pareti e realizzazione della soletta di fondo della cabina tecnica in calcestruzzo armato gettato in opera;
- scavo dell'area interna al pozzo, per successivi abbassamenti fino a quota imposta tronchino di collegamento scavo del pozzo, per ribassi successivi fino a quota fondo scavo e contestuale posa in opera centine HEB160 (passo di 2,40m, uno strato di calcestruzzo proiettato C25/30 spessore medio 15cm armato con rete metallica elettrosaldato \varnothing 8 maglia 20x20cm);
 - passaggio galleria TBM;
 - taglio della porzione di micropali e centine in corrispondenza dell'innesto del collegamento con la galleria di linea;
 - scavo del tronco di collegamento in galleria naturale con installazione di centine metalliche HEB160/1000, rete elettrosaldato e strato di cls proiettato fibrorinforzato;
 - installazione del tubo di drenaggio sotto l'arco rovescio del tronchino di collegamento;
 - inserimento di un telaio costituito da profili formati a freddo a sostegno dei conci a guida del taglio degli stessi per l'apertura del cunicolo di collegamento con la galleria di linea;
 - modifica del telaio di contrasto dei conci in galleria con taglio di parte delle centine ed inserimento di un puntone in acciaio;
 - taglio a diamante dei conci di galleria per l'apertura del cunicolo di collegamento con la galleria di linea;
 - posa in opera del manto impermeabilizzante su tutto il perimetro di scavo del tronco di collegamento con la galleria di linea;
 - esecuzione del rivestimento definitivo in c.a. del tronco di collegamento;
 - ad avvenuta maturazione, rimozione del telaio di contrasto dei conci;
 - scavo fino a quota fondo pozzo;
 - posa del dispersore di terra e disposizione di riprese verticali laterali per successiva risalita dei cavi elettrici di messa a terra verticali, getto di calcestruzzo magro, posa in opera del manto di impermeabilizzazione con risvolti sulle pareti e realizzazione della soletta di fondo del pozzo in calcestruzzo armato gettato in opera;
 - esecuzione delle opere in c.a. della vasca di aggrottamento e della soletta di copertura;
 - posa in opera del manto di impermeabilizzazione su tutto il perimetro di scavo del pozzo;
 - esecuzione delle pareti di rivestimento definitivo del pozzo in c.a. e solidarizzazione con la soletta di fondo della cabina tecnica realizzata in precedenza;
 - rimozione dei puntoni provvisori del terzo livello e getto delle pareti di rivestimento e soletta intermedia della cabina tecnica;
 - ad avvenuta maturazione della soletta intermedia, rimozione dei puntoni provvisori e getto delle pareti di rivestimento e soletta di copertura della cabina tecnica;
 - ad avvenuta maturazione della soletta di copertura rimozione dei puntoni provvisori;
 - demolizione cordoli testa micropali;
 - posa muretto di sostegno del terreno al di sopra della soletta di copertura;
 - posa in opera del sistema di impermeabilizzazione e dei relativi massetti di protezione all'estradosso della soletta;
 - eventuale ripristino sottoservizi;
 - rinterro fino alla quota di posa della pavimentazione prevista in progetto;
 - posa in opera della pavimentazione prevista in progetto e degli arredi e ripristino viabilità.

I micropali delle paratie presentano uno spessore di 0.30 m e lunghezza totale di 17.50 m; l'interasse tra i pali è pari a 0.45 m, il cordolo di irrigidimento in testa ai pali in sezione ha le dimensioni 0.50x0.50 m.



5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 Contesto geologico e idrogeologico

L'area lungo la quale si realizzerà la linea 2 della Metropolitana di Torino si ubica nella cosiddetta "pianura piemontese settentrionale" delimitata a Nord-Ovest dalle Alpi e verso Sud-Est dai rilievi collinari della Collina di Torino e del Monferrato. Tale struttura è caratterizzata da una potente serie di età pliocenico superiore – olocenica formata dagli apporti successivi di due ampi conoidi fluvio-glaciali appartenenti al fiume Dora Riparia e torrente Stura di Lanzo. All'interno dei depositi fluvio-glaciali, si rinvengono termini litologici legati ai litotipi del bacino idrografico di alimentazione, per esempio serpentiniti e ultrabasiti del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, gneiss e quarziti del Complesso del Dora Maira. I materiali di natura continentale sono sovrapposti ad una serie marina pliocenica composta da depositi sabbiosi, sabbioso-limosi fino a totalmente limosi. Ad ulteriore profondità si rinvengono formazioni marine di età terziaria di natura prevalentemente marnosa ed arenaceo-conglomeratica costituenti la Collina di Torino. Come si può osservare dalla figura sottostante, il fianco occidentale della Collina di Torino, con struttura anticlinale con asse circa NE-SW, si immerge al di sotto dei depositi quaternari della pianura.



Figura 4. Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)

I terreni presenti in superficie appartengono quindi all'ambiente continentale e risalgono al periodo Pleistocenico (Era Quaternaria); tali depositi sono formati in prevalenza da materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi all'interno dei quali si rinvengono localmente ciottoli silicatici, silicei e calcarei. I ciottoli possono avere dimensioni molto variabili (fino a pluridecimetriche, in media di 10-30 cm), e generalmente sono composti da quarziti, gneiss, serpentiniti e metagabbri. A minori profondità si possono incontrare lenti limoso-argillose attribuibili al fiume Po. La caratteristica principale dei depositi pleistocenici di origine fluvio-glaciale è la presenza in forma discontinua e localizzata, di orizzonti e livelli con grado di cementazione (e/o addensamento) variabile. I livelli conglomeratici, dotati di maggior cementazione, sono caratteristici del sottosuolo di Torino e sono conosciuti con il nome di "puddinghe". I depositi fluvio-glaciali possono presentare caratteristiche notevolmente variabili in termini di resistenza e deformabilità geotecnica in funzione del grado di cementazione ma anche dal punto di vista granulometrico.

A maggiori profondità, al di sotto dei depositi del Quaternario, si possono riscontrare i seguenti materiali geologici, dipendendo dalla zona della città in considerazione:

- depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano (Pleistocene inferiore-Pliocene superiore) che possono essere di due differenti tipologie:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

- materiale di ambiente lacustre-palustre, caratterizzati da una granulometria predominante fine e costituiti da alternanza di limi e argille;
- materiali di ambiente fluviale, più grossolani e rappresentati da livelli sabbioso-ghiaiosi;
- la successione marina Pliocenica (composta da limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio-azzurre con fossili);
- la successione marina Oligo-Miocenica della Collina di Torino (formata da marne, siltiti, arenarie e conglomerati marini).

In base agli studi idrogeologici realizzati nella città di Torino e considerando le esperienze previe di progetti simili, possono essere identificati due principali livelli idrogeologici:

- Complesso ghiaioso-sabbioso, sede dell'acquifero libero principale, è formato dai depositi grossolani del Quaternario (ciottoli, ghiaie, e sabbie in matrice sabbioso-limosa) con potenza tra i 30-40 m. In genere i depositi quaternari possono essere caratterizzati da una permeabilità maggiore a $1.0E-04$ m/s (permeabilità da media a alta) e localmente presentano un grado di permeabilità inferiore (permeabilità media, compresa tra $1.0E-06$ m/s e $1.0E-04$ m/s).
- Complesso argilloso-limoso-ghiaioso, sede di un acquifero profondo di tipo "multifalda" situato ad una profondità indicativa tra 40 e 200 m dal p.c. Questo acquifero è costituito da alternanze di depositi medio grossolani e fini appartenenti ai depositi fluviolacustri del Villafranchiano (con una permeabilità media, compresa tra $1.0E-06$ m/s e $1.0E-04$ m/s), chiusi al tetto da depositi argillosi (potenti fino a 20-30 m e con permeabilità medio-bassa, da $1.0E-08$ m/s a $1.0E-06$ m/s).

Si può concludere che i lavori della Linea 2 interferiranno esclusivamente con l'acquifero superficiale del complesso ghiaioso-sabbioso, con eccezione della tratta compresa tra le stazioni di Zappata e Caboto lungo la quale la soletta della galleria attraverserà i depositi del Villafranchiano. Con riferimento all'esperienza della Linea 1 della Metropolitana di Torino, la falda superficiale si colloca ad una profondità variabile tra i 14 m ed i 16 m dal piano campagna e l'oscillazione annuale può raggiungere un valore massimo di 2.0 m.



5.2 Parametri geotecnici di riferimento

Con riferimento alla relazione Geotecnica, sono state individuate 7 unità geotecniche, caratterizzate da un comportamento meccanico-deformativo simile.

Nella seguente tabella si riportano gli intervalli di valori proposti per i parametri di resistenza e deformabilità delle unità geotecniche interessate dalla realizzazione delle opere in sotterraneo della linea 2 della Metropolitana di Torino. Considerando la quantità di prove di laboratorio eseguite sino a questa fase, ed una volta verificato che i materiali attraversati sono principalmente gli stessi, si è usato come riferimento la caratterizzazione geo-meccanica utilizzata nel contesto del progetto esecutiva della linea 1 della Metropolitana di Torino esistente.

Tabella 1. Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche di riferimento

Tabella 34. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno

Unità	Geologia	Peso di volume (γ)	Coesione c' (kPa)	Angolo resistenza ϕ'	Modulo (MPa)	Poisson (-)	Coeff. permeabilità (m/s)
1	UID	18÷19	0	29÷30	12÷16	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
2	AFR-INS	18÷19	10÷15	36÷38	150÷170	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
3	AFR-INS	19÷20	30÷50	38÷40	170÷200	0.30	$8 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-6}$
4	AFR-INS	19÷20	50÷100	38÷40	200÷260	0.30	$8 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-6}$
6	SFR	18÷20	15÷25	30÷32	90÷100	0.35	$5 \cdot 10^{-6}$
5	FAA	19÷21	35÷40	22-26	50÷80	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$
7	SAF	20÷21	25÷50	26÷28	100÷200	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$

NOTE:

- 1) Il valore del coefficiente di permeabilità nell'Unità 1 (UID) è assimilato a quello degli strati immediatamente inferiori, tenuto conto della sua elevata variabilità granulometrica,
- 2) Lo stesso parametro per l'Unità 2 (AFR e INS) va inteso come valore minimo e per direzione di flusso orizzontale; per direzione di flusso verticale è di circa un ordine di grandezza inferiore.
- 3) Il valore di k nell'Unità 6 (SFR) è stimato in base alla granulometria del terreno.
- 4) Il valore di k per le Unità 5 e 7 (FAA e SAF) si base sui risultati delle prove edometriche, con riferimento al terreno sovraconsolidato.

Per ulteriori dettagli e/o approfondimenti in merito alla caratterizzazione geotecnica dei materiali si rimanda all'elaborato specialistico.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La caratterizzazione sismica prevede:

- la definizione dell'accelerazione sismica di riferimento su substrato rigido di base;
- l'individuazione della classe di sottosuolo, per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica;
- l'individuazione di un valore di riferimento per la magnitudo massima attesa.

6.1 Valutazione dell'azione sismica di base

La valutazione dell'azione sismica per il dimensionamento degli elementi delle infrastrutture, si basa sulla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui la pericolosità è quantificata dall'accelerazione di picco (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità), a_g/g , in condizioni ideali di sottosuolo rigido e superficie orizzontale, associata a diverse probabilità di superamento in 50 anni. I valori di a_g/g sono dati su una griglia di punti equi-spaziati di 10km. Sulla stessa griglia sono dati anche in valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su substrato rigido (Cfr. §3.2 "azione sismica" delle NTC 2018 che, per i valori di a_g , F_o , T^*_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si rimanda agli allegati A e B delle NTC 2008), per le probabilità di superamento associate agli stati limite di verifica previsti dalla normativa di riferimento.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La normativa delinea il processo di individuazione dell'azione sismica di progetto che prevede:

- la definizione della vita utile dell'opera, V_R , sulla base della correlazione tra vita nominale V_N e classe d'uso C_U : $V_R = V_N \times C_U$
- la stima del periodo di ritorno, T_R , sulla base delle probabilità di superamento, P_{VR} , associata agli stati limite di verifica, secondo la formula: $T_R = V_R / \ln(1 - P_{VR})$
- la stima dei valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su suolo rigido (parametri d'azione) in funzione di T_R .

I parametri d'azione sono:

- a_g/g , accelerazione massima normalizzata, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- F_o , moltiplicatore di a_g/g che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- $T^*_{c_r}$, periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido.
- Gli stati limite di verifica previsti dalla NTC2018 sono elencati di seguito, con le corrispondenti probabilità di superamento in 50 anni:
 - Stato limite ultimo di collasso, SLC, $P_{RV} = 5\%$;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

- Stato limite ultimo di vulnerabilità, SLV, $P_{RV} = 10\%$;
- Stato limite di esercizio, di danno, SLD, $P_{RV} = 63\%$;
- Stato limite di esercizio, di operatività, SLO, $P_{RV} = 81\%$.

6.2 Fattore di amplificazione dello spettro di risposta elastico

In coerenza con le prescrizioni normative, l'accelerazione orizzontale massima in superficie, a_{max}/g , si ottiene moltiplicando l'accelerazione massima di base, a_g/g , per un fattore di amplificazione stratigrafica, S_s , ed uno di amplificazione topografica, S_T :

$$a_{max} /g = S_s \cdot S_T \cdot a_g/g$$

Il fattore di amplificazione stratigrafica dipende dalla classe di sottosuolo definita sulla base di indagini specifiche per la valutazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , nel sottosuolo di sedime delle singole opere, e si calcola secondo la formulazione riportata nella normativa di riferimento (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.IV), in funzione dei parametri spettrali F_0 ed a_g/g .

La classe di sottosuolo modifica anche il valore del periodo T_C di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione, attraverso il coefficiente C_C secondo la formulazione riportata in norma (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.IV).

Nel caso specifico, l'andamento altimetrico dell'area attraversata dall'infrastruttura di progetto, prevalentemente pianeggiante, con rilievi di pendenza minore di 15° , giustifica l'assunzione di una categoria topografica T1, a cui corrisponde $S_T = 1$ (Tabella 3.2.III e Tabella 3.2.V).

6.3 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

6.4 Valutazione dell'azione sismica di progetto

Sulla base delle caratteristiche delle opere in progetto, sono stati scelti i seguenti parametri:

- **Vita nominale: 100 anni** (Tipo di costruzione di categoria 3 – grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica);
- **Classe d'uso: III** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significanti. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provoca situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso;
- **Coefficienti C_u : 1.5** (funzione della classe d'uso).

I parametri di pericolosità sismica di base sono stati elaborati a partire dalle coordinate del sito di riferimento. Con riferimento alle opere in oggetto:

- **Latitudine: 45.08081°**
- **Longitudine: 7.694603°**

Sulla base di tali parametri di ingresso si ottengono i seguenti valori di pericolosità sismica:

Tabella 2. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base

Parametri stati limite	u.m.	SLD	SLV
Probabilità di superamento (P_{VR})	%	63	10
Tempo di ritorno (T_R)	anni	151	1424
Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido (a_g)	g	0.039	0.068
Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0)	-	2.681	2.854
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*c)	s	0.232	0.290

La categoria di sottosuolo è stata definita in funzione dei materiali naturali interessati dalle opere in progetto; in particolare nel caso in esame si adotta la categoria di sottosuolo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*).

Per quanto riguarda le condizioni topografiche è stata attribuita alle opere in oggetto la categoria T1 (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$*).

Sulla base di quanto sopra esposto, i parametri sismici di progetto che saranno impiegate per le analisi delle opere in oggetto risultano:



Tabella 3. Sintesi delle azioni sismiche di progetto

Stato Limite	Coefficienti sismici	Depositi di paleofrana
SLD	Ss	1.200
	Cc	1.473
	St	1.000
	a_{max} (g)	0.046
SLV	Ss	1.200
	Cc	1.409
	St	1.000
	a_{max} (g)	0.080

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

7. CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE

In ottemperanza con la normativa vigente, i calcoli sono condotti con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2018.

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera.

Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali e per le verifiche geotecniche.

7.1 Cenni Normativi

I criteri per la verifica e il dimensionamento di seguito esposti si applicano a tutte le opere.

In accordo con quanto prescritto dalla Normativa vigente, per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d < R_d$$

in cui E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, mentre R_d è il valore di progetto della resistenza. Per quanto concerne le azioni di progetto, E_d , queste possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Le azioni sull'opera di sostegno sono quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi e all'acqua. In particolar modo, nella valutazione dei sovraccarichi a tergo di un'opera di sostegno, è necessario tenere in conto dell'eventuale presenza di costruzioni, di depositi di materiale, di veicoli in transito o di apparecchi di sollevamento.

I valori dei coefficienti parziali da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi sono riportati nella seguente tabella (Tab. 2.6.I delle NTC 2018):



Tabella 4. Coefficienti parziali per le azioni

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

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

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, opportunamente ridotto in funzione del coefficiente parziale specificato nella Tab 6.2.II delle NTC2018.

Tabella 5. Coefficienti parziali per le resistenze dei materiali naturali

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Le analisi finalizzate al dimensionamento strutturale nelle quali si consideri l'interazione terreno – struttura si dovranno eseguire con i valori caratteristici dei parametri geotecnici, amplificando l'effetto delle azioni con i coefficienti parziali del gruppo A1, così come previsto al §6.2.4.2 della normativa vigente.

Per il calcolo e la verifica si devono considerare i seguenti stati limite ultimi, accertando che le resistenze superino le azioni agenti per ciascuno stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - Collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
 - Collasso per carico limite verticale;
 - Sfilamento di uno o più ancoraggi;
 - Instabilità del fondo scavo;
 - Instabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno.
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza di uno o più sistemi di contrasto;
 - Raggiungimento della resistenza della struttura della paratia.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno deve essere effettuata secondo l'approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3).

Tabella 6. Coefficienti parziali per le verifiche di opere di materiali sciolti

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

Le verifiche a galleggiamento saranno condotte considerando opportuni coefficienti di sicurezza, di cui al paragrafo 6.2.4.2 delle NTC 2018:

Tabella 7. Coefficienti amplificativi dei carichi secondo NTC 2018

	Effetto	Coefficiente parziale	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G1	Favorevole	YG1	0.9
	Sfavorevole		1.1
Carichi permanenti G2	Favorevole	YG2	0.8
	Sfavorevole		1.5
Azioni variabili Q	Favorevole	YQi	0.0
	Sfavorevole		1.5

7.2 Modellazione numerica

L'approccio avuto rispetto alla progettazione è stato differente a seconda dell'opera oggetto di studio.

Tale differenza è dettata dalla diversa geometria delle strutture definitive costituenti le opere interne. Nel caso specifico, le opere oggetto di dimensionamento sono:

- camera a una cella completamente interrata ⇒ scatolare chiuso;
- sezione trasversale del pozzo ⇒ schema statico: anello circolare chiuso;
- sezione trasversale policentrica del cunicolo di collegamento tra pozzo e galleria di linea.

La prima è stata schematizzata con modelli piani FEM; in particolare si è utilizzato il codice Sismicad (Finite Element Analysis System), in cui le strutture sono schematizzate con un modello chiuso costituito da elementi finiti monodimensionali (elementi beams) sui quali sono stati applicati staticamente i carichi agenti (sia verticali che orizzontali).

La seconda è stata dimensionata facendo riferimento alle formule classiche della "Scienza delle costruzioni", considerando un anello circolare di profondità unitaria soggetto a pressione radiale costante.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Infine, la terza, è stata dimensionata andando a verificare le sezioni dell'opera definitiva alle sollecitazioni registrate durante la analisi condotte dal punto di vista geotecnico e riportate nella specifica relazione. Le sollecitazioni fornite dalla modellazione geotecnica, considerate come caratteristiche, sono state amplificate del 50% per condurre le verifiche allo Stato Limite Ultimo in conformità con quanto previsto dalla normativa vigente.

7.3 Carichi applicati alle strutture

Al fine di massimizzare le azioni sollecitanti per la definizione dei carichi (permanenti, accidentali, ecc.) per le relative combinazioni (Stati Limite Ultimi, Stati limiti di Esercizio, Stati limiti di Danno, etc.) saranno prese in considerazione tutte le prescrizioni del citato DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20/02/2018).

I software FEM più comuni consentono l'applicazione di forze e momenti concentrati o distribuiti esterni, per situazioni molto speciali. I carichi da considerare sono riepilogati di seguito.

- **Peso della struttura.** Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali (CLS) pari a:
 $\gamma_{cls}=25.0 \text{ kN/m}^3$
- **Spinte del suolo e ricoprimento della struttura definitiva.** La spinta del terreno viene solitamente calcolata dai software considerando la storia di carico dell'opera di sostegno, in diverse fasi di costruzione, considerando la pressione attiva (K_a) e la pressione passiva (K_p).
- **Spinta pressione idraulica in caso di presenza di falda.** Nella fase transitoria della costruzione i micropali saranno progettati al fine di sopportare la spinta del suolo e la spinta idraulica dovuta alla falda quando presente. A lungo termine, invece, si considereranno i micropali come strutture permanenti per la sola spinta del suolo. Per quanto riguarda la spinta idraulica, a favore di sicurezza, si considererà che i giunti fra un micropali e l'altro non saranno più in grado di "trattenere" l'acqua di falda che, quindi, andrà a esercitare la propria pressione per la sua interezza sulle fodere interne opportunamente impermeabilizzate.
 I livelli di breve termine (fase di costruzione) e lungo termine (fase di esercizio) sono così definiti:
 - Breve termine: livello indicato sul profilo + 1.5m (livello di falda considerato nella verifica a galleggiamento del tappo di fondo).
 - Lungo termine: livello di breve termine + 3.0m (livello di falda considerato nella verifica a sifonamento e a galleggiamento della stazione).
- **Sovraccarichi esterni per circolazione mezzi.** Fatte salve situazioni singolari dove il ricoprimento non ha uno spessore adeguato a ridistribuire i carichi stradali da normativa agenti sull'estradosso della soletta (per queste configurazioni rimangono valide le indicazioni definite dalle NTC2018), per simulare la presenza di circolazione di mezzi di cantiere (nella fase di costruzione) e traffico stradale (nella fase definitiva) a tergo delle opere di sostegno, sarà considerato un carico nastriforme di 20 kPa applicato uniformemente su tutto il solaio di copertura e come spinta dal solo lato di azione del sisma. Tale sovraccarico sarà considerato anche in fase di costruzione quale carico di cantiere e/o riapertura al traffico.



- **Carichi degli edifici posti a tergo delle opere di contenimento.** Per tenere in conto di questa situazione si considererà, quale scarico a quota fondazione dell'edificio, un carico di 10 kPa per ogni piano dell'edificio stesso.
- **Carichi sismici.** Per quello che riguarda l'applicazione della spinta sismica, si utilizzerà il metodo di Wood (1973). Tale metodo fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata.

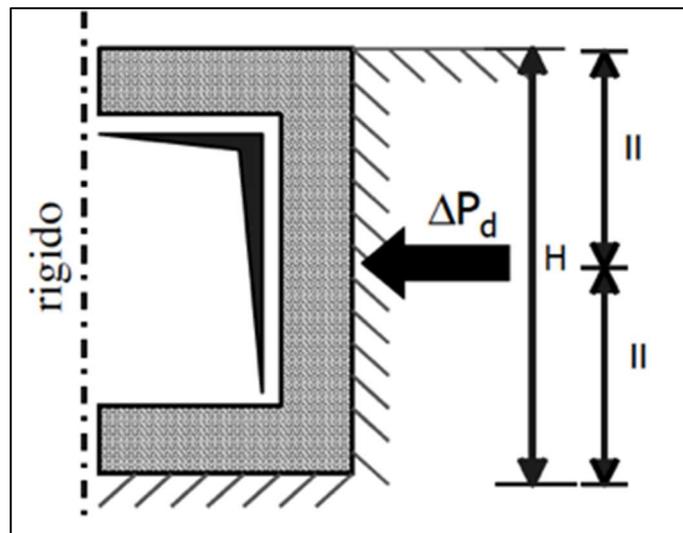


Figura 5. Schematizzazione metodo di Wood

Tale metodo è utilizzato nel caso di manufatti scatolari e l'incremento di spinta legato al sisma può essere stimato secondo la relazione:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

In cui γ è il peso specifico del terreno supposto uniforme. Poiché tale risultante ha il punto di applicazione a metà dell'altezza H del muro, è possibile assumere una pressione uniforme di entità pari a:

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

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

8. CABINA TECNICA

8.1 Analisi dei carichi

della struttura definitiva si sono considerati agenti i seguenti carichi:

- peso proprio della struttura, da calcolare in base al peso per unità di volume del calcestruzzo armato, pari a $\gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$.
- carichi del terreno di ricoprimento della struttura definitiva:
 - o pressione verticale uniformemente distribuita, da calcolare con: $\gamma_{ter} = 19 \text{ kN/m}^3$;
 - o $\gamma_{pav} = 24 \text{ kN/m}^3$;

tenendo conto di 1,80 m di terreno e 0,30 m di pavimentazione stradale al di sopra della soletta di copertura;

- o spinta orizzontale, da calcolare considerando k_0 come coefficiente di spinta del terreno;
- o sovraccarico variabile indotto dal transito stradale agente in fase definitiva: pressione verticale, uniformemente distribuita, pari a $q_{v1} = 20 \text{ kN/m}^2$ sulla soletta di copertura;
- o spinta orizzontale dovuta al massimo tra il carico di transito stradale ($q_2 = 20 \text{ kN/m}^2$) ed il carico generato dal fabbricato in adiacenza ($q_2 = 10 \text{ kN/m}^2 \times n^{\circ}_{\text{piani}}$), uniformemente distribuita, pari a $q_{h2} = k_0 \cdot q_{v2r}$, sugli elementi verticali, agente da entrambe i lati della struttura.
- o sovraccarichi accidentali dovuti agli impianti e agente all'interno della cabina: 5 kN/m^2 .
- o sovraccarico fisso: $g_2 = 2,50 \text{ kN/m}^2$
- o sovraccarico dovuto al peso dei ventilatori pari a $10,00 \text{ kN/m}^2$

Nel calcolo della spinta laterale del terreno è stato applicato il coefficiente amplificativo previsto dalla combinazione A1-M1-R1 della Tab. 2.6.1. delle NTC 2018.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

8.2 Modello di calcolo

I dati di input utilizzati per la definizione del modello sono:

- la geometria;
- i vincoli;
- i carichi agenti (i carichi sono sempre per metro lineare nella direzione perpendicolare al piano di analisi).

Geometria

E' una struttura scatolare chiusa interrotta nella mezzeria da un solaio intermedio ed è formata dalla soletta di fondo, dalle pareti del rivestimento definitivo e dalla soletta di copertura.

Dimensioni:

- larghezza netta interna 9,60 m;
- altezza netta interna per ciascun piano 4,20 m;
- spessore solettone di fondo 1,20 m;
- spessore solettone di copertura 1,00 m;
- spessore solettone piano intermedio 0,80m;
- spessore piedritti 0,70 m.

Vincoli

L'elemento orizzontale inferiore è vincolato esternamente da molle, che simulano il terreno, in direzione verticale (vincoli di tipo *spring*) di rigidezza $k_{\text{sottofondo}}$ pari a 40000 kN/m³.

Carichi agenti

Per quanto riguarda i carichi a cui sono soggette le strutture si sono suddivisi in verticali (sulla soletta di copertura) ed orizzontali (sulle pareti), definendo le 6 seguenti condizioni di carico:

- 1) permanenti verticali (peso proprio, carico terreno e pavimentazione) $q_p = 1,80 \times 19 + 0,30 \times 24 = 41,40 \text{ kN/m}^2$
- 2) permanente verticale (G2) = 2,50 kN/m²
- 3) permanenti orizzontali (spinta trapezoidale dovuta al terreno, spinta dovuta al sovraccarico pavimentazione, con $k_0 = 0,412$)
 - valore in asse solettone di copertura: $(19 \times 2,30 + 0,3 \times 24) \times 0,412 = 50,90 \times 0,412 = 20,97 \text{ kN/m}^2$
 - valore in asse solettone di fondo: $(19 \times 12,60 + 0,3 \times 24) \times 0,412 = 246,60 \times 0,412 = 101,60 \text{ kN/m}^2$
- variabili stradali soletta (sovraccarico distribuito su soletta di copertura) $q_v = 20 \text{ kN/m}^2$
- spinta indotta dalla presenza di fabbricati su parete sinistra: $q_{sx} = 50 \times 0,412 = 20,60 \text{ kN/m}^2$
- spinta indotta dalla presenza di fabbricati su parete destra: $q_{sx} = 50 \times 0,412 = 20,60 \text{ kN/m}^2$
- variabili impianti:
 - solettone di fondo: 5 kN/m²
 - piano intermedio (carico dovuto alla possibile presenza dei ventilatori): 10 kN/m²



4) spinta idrostatica:

- sottospinta: $\gamma_w z = 10 \times 1,10 = 11 \text{ kN/m}^2$
- spinta triangolare laterale:
 1. valore inizio falda a lungo termine (quota -11,50m): $q = 0,00 \text{ kN/m}^2$
 2. valore in asse solettone di fondo: $q = 11,10 \text{ kN/m}^2$

5) spinta indotta da sisma:

- $\Delta_p = (a_g/g) S Y H = 0,068 \times 1,2 \times 19,00 \times 11,30 = 17,52 \text{ kN/m}$

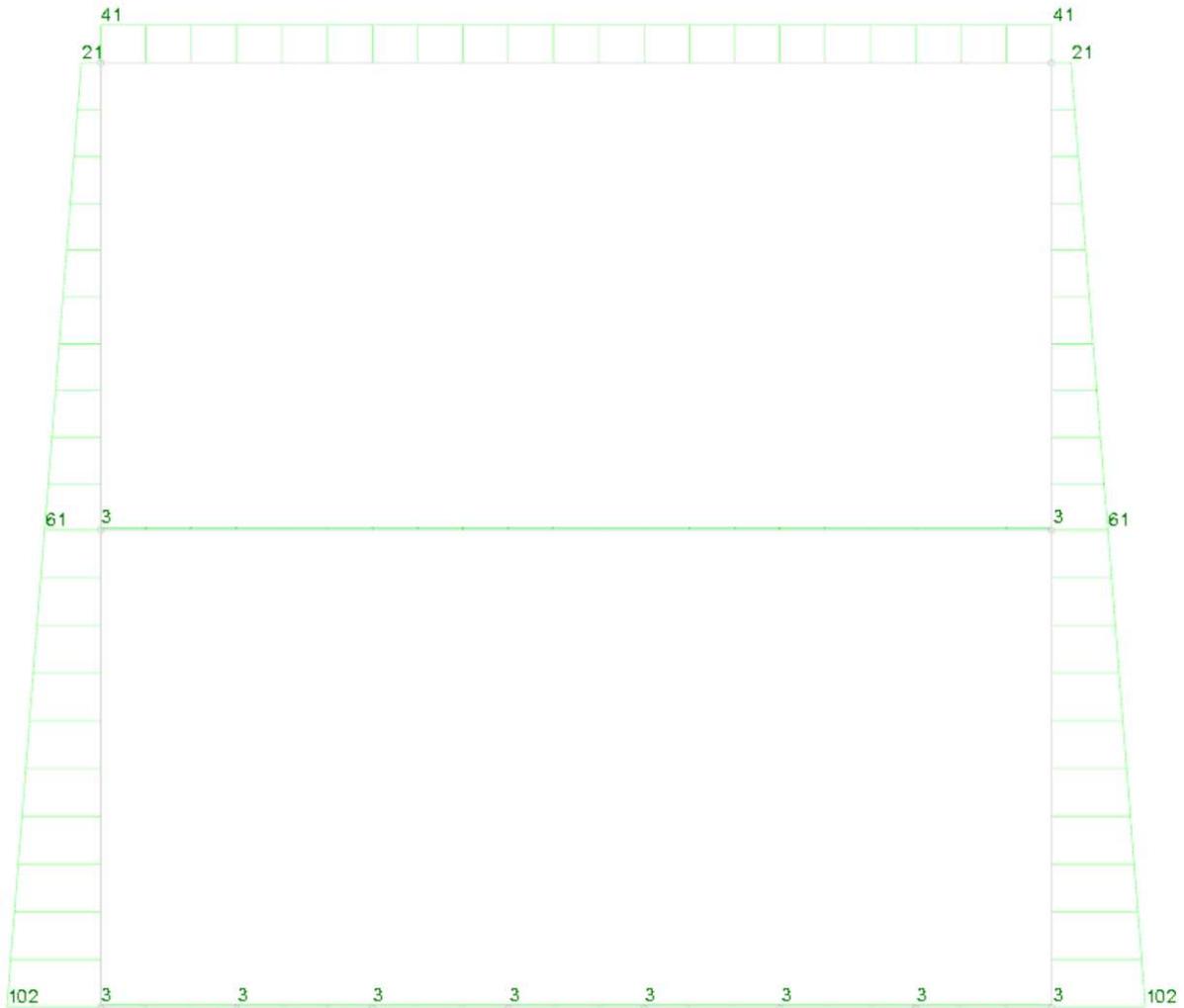


Figura 6. Carichi in condizione permanenti portati [kN/m]



Figura 7. Carichi in condizione variabile F_{sx} [kN/m]

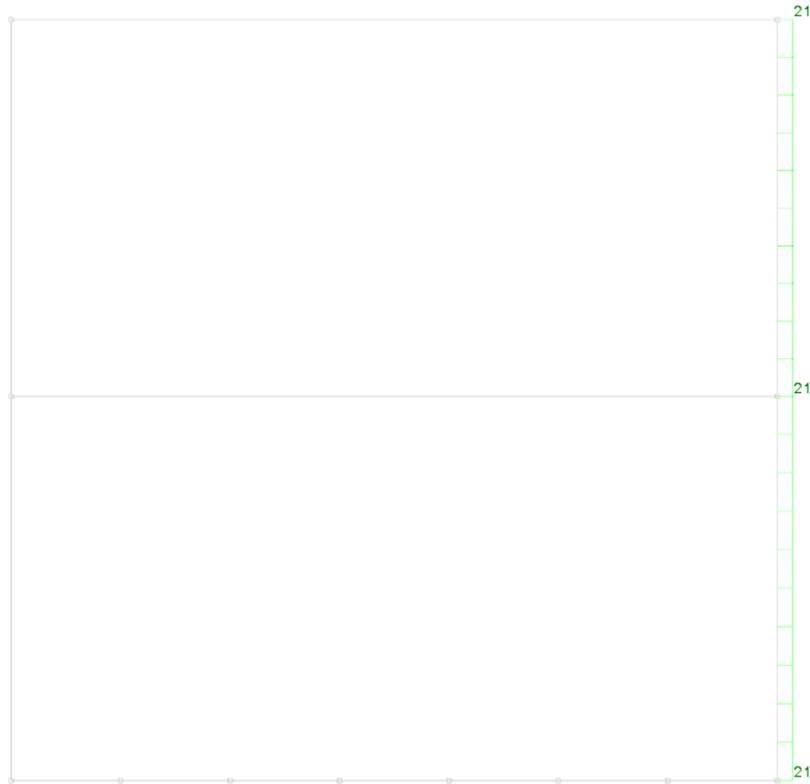


Figura 8. Carichi in condizione variabile F_{dx} [kN/m]

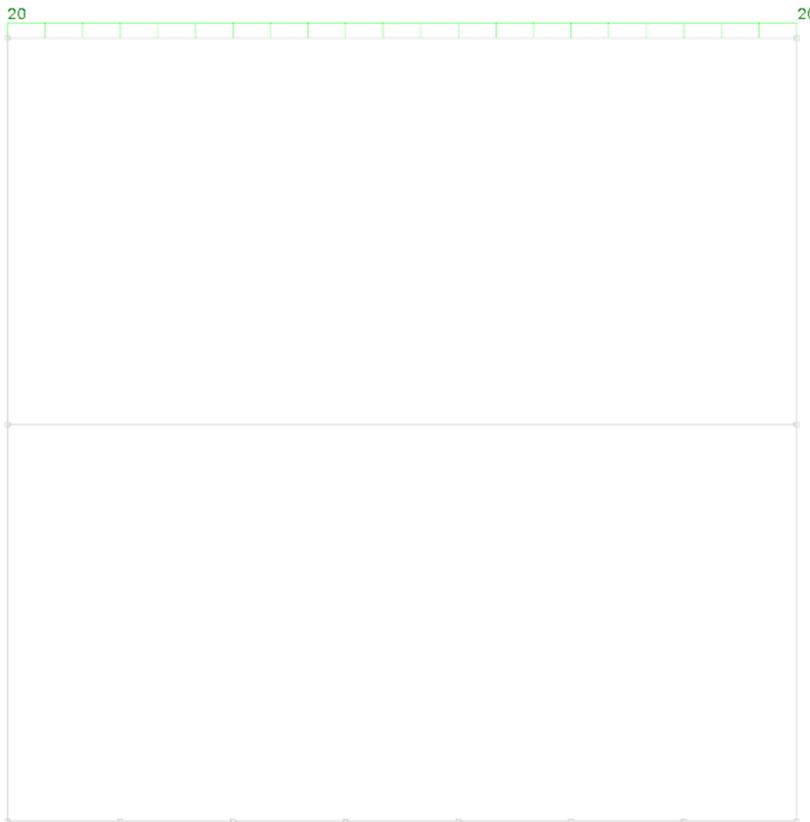


Figura 9. Carichi in condizione variabile F_{CV} [kN/m]

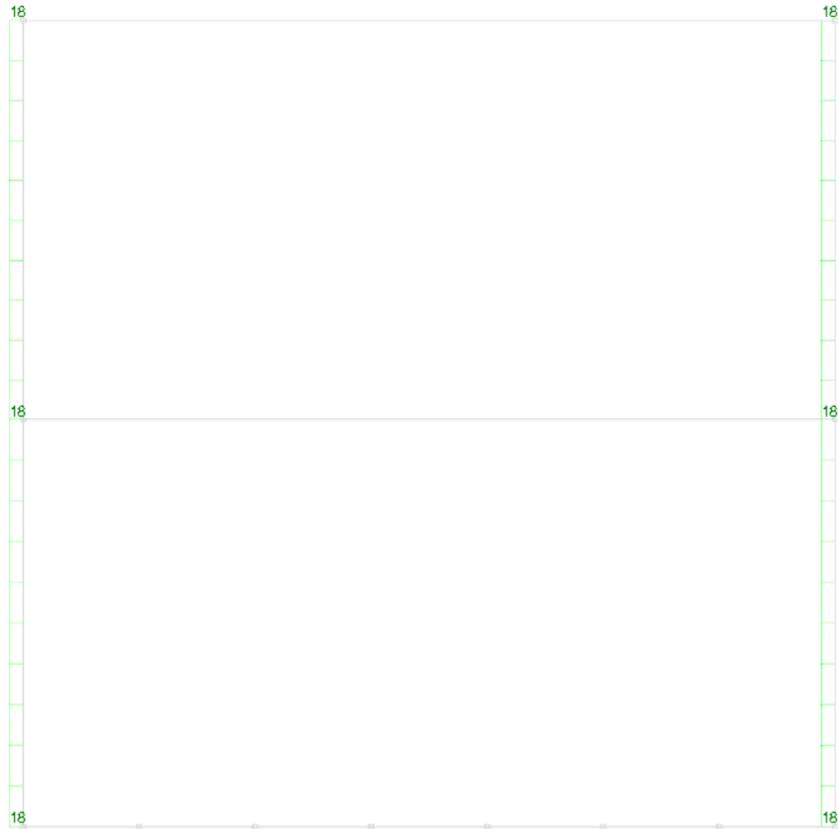


Figura 10. Carichi in condizione Sisma [kN/m]

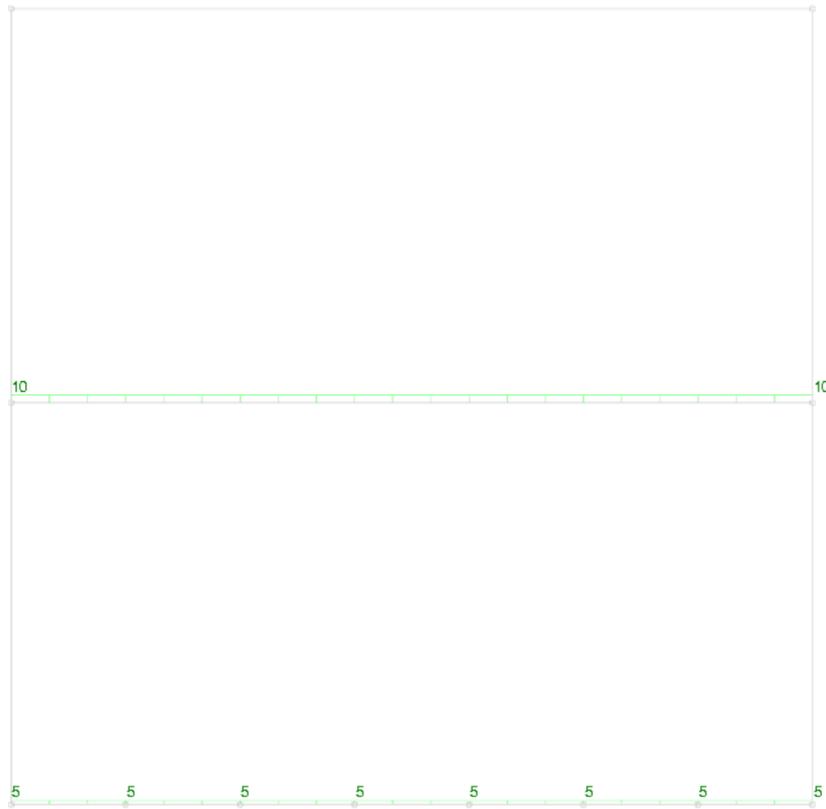


Figura 11. Carichi in condizione E [kN/m]



Figura 12. Carichi in condizione pesi (spinta idrica) [kN/m]

Con queste condizioni di carico si sono definite le seguenti combinazioni di carico:

Nome: E' il nome esteso che contraddistingue la condizione elementare di carico.

Nome breve: E' il nome compatto della condizione elementare di carico, che viene utilizzato altrove nella relazione.

Pesi: Pesi strutturali

Port.: Permanenti portati

Variabile Fsx: Variabile Fsx

Variabile E (CV): Variabile E (CV)

Variabile Fdx: Variabile Fdx

Variabile F(CV): Variabile F(CV)

Sisma: Sisma

Tutte le combinazioni di carico vengono raggruppate per famiglia di appartenenza. Le celle di una riga contengono i coefficienti moltiplicatori della i-esima combinazione, dove il valore della prima cella è da intendersi come moltiplicatore associato alla prima condizione elementare, la seconda cella si riferisce alla seconda condizione elementare e così via.

**Famiglia SLU**

Il nome compatto della famiglia è SLU.

Tabella 8. Combinazioni di carico SLU

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Variabile Fsx	Variabile (CV)	Variabile Fdx	Variabile F(CV)	Sisma
1	SLU 1	1	0.8	0	1.5	0	1.5	0
2	SLU 2	1	0.8	0	1.5	1.05	1.5	0
3	SLU 3	1	0.8	0	1.5	1.5	1.05	0
4	SLU 4	1	0.8	0	1.5	0	1.05	0
5	SLU 5	1	0.8	0	1.5	1.05	1.05	0
6	SLU 6	1	0.8	1.05	1.5	0	1.5	0
7	SLU 7	1	0.8	1.05	1.5	0	1.05	0
8	SLU 8	1	0.8	1.5	1.5	0	1.05	0
9	SLU 9	1	1.5	0	1.5	0	1.5	0
10	SLU 10	1	1.5	0	1.5	1.05	1.5	0
11	SLU 11	1	1.5	0	1.5	1.5	1.05	0
12	SLU 12	1	1.5	0	1.5	0	1.05	0
13	SLU 13	1	1.5	0	1.5	1.05	1.05	0
14	SLU 14	1	1.5	1.05	1.5	0	1.5	0
15	SLU 15	1	1.5	1.05	1.5	0	1.05	0
16	SLU 16	1	1.5	1.5	1.5	0	1.05	0
17	SLU 17	1.3	0.8	0	1.5	0	1.5	0
18	SLU 18	1.3	0.8	0	1.5	1.05	1.5	0
19	SLU 19	1.3	0.8	0	1.5	1.5	1.05	0
20	SLU 20	1.3	0.8	0	1.5	0	1.05	0
21	SLU 21	1.3	0.8	0	1.5	1.05	1.05	0
22	SLU 22	1.3	0.8	1.05	1.5	0	1.5	0
23	SLU 23	1.3	0.8	1.05	1.5	0	1.05	0
24	SLU 24	1.3	0.8	1.5	1.5	0	1.05	0
25	SLU 25	1.3	1.5	0	1.5	0	1.5	0
26	SLU 26	1.3	1.5	0	1.5	1.05	1.5	0
27	SLU 27	1.3	1.5	0	1.5	1.5	1.05	0
28	SLU 28	1.3	1.5	0	1.5	0	1.05	0
29	SLU 29	1.3	1.5	0	1.5	1.05	1.05	0
30	SLU 30	1.3	1.5	1.05	1.5	0	1.5	0
31	SLU 31	1.3	1.5	1.05	1.5	0	1.05	0
32	SLU 32	1.3	1.5	1.5	1.5	0	1.05	0
Sisma	SLU Sisma	1	1	0.7	1	0.7	0.7	1

Famiglia SLE rara

Il nome compatto della famiglia è SLE RA.



Tabella 9. Combinazioni di carico SLE rara

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Variabile Fsx	Variabile (CV)	E Variabile Fdx	Variabile F(CV)	Sisma
1	SLE RA 1	1	1	0	1	0	1	0
2	SLE RA 2	1	1	0	1	0.7	1	0
3	SLE RA 3	1	1	0	1	1	0.7	0
4	SLE RA 4	1	1	0	1	0	0.7	0
5	SLE RA 5	1	1	0	1	0.7	0.7	0
6	SLE RA 6	1	1	0.7	1	0	1	0
7	SLE RA 7	1	1	0.7	1	0	0.7	0
8	SLE RA 8	1	1	1	1	0	0.7	0

Famiglia SLE frequente

Il nome compatto della famiglia è SLE FR.

Tabella 10. Combinazioni di carico SLE frequente

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Variabile Fsx	Variabile (CV)	E Variabile Fdx	Variabile F(CV)	Sisma
1	SLE FR 1	1	1	0	0.8	0	0.5	0
2	SLE FR 2	1	1	0	0.8	0.6	0.5	0
3	SLE FR 3	1	1	0	0.8	0.7	0.3	0
4	SLE FR 4	1	1	0	0.9	0	0.3	0
5	SLE FR 5	1	1	0	0.9	0.6	0.3	0
6	SLE FR 6	1	1	0.6	0.8	0	0.5	0
7	SLE FR 7	1	1	0.6	0.9	0	0.3	0
8	SLE FR 8	1	1	0.7	0.8	0	0.3	0

Famiglia SLE quasi permanente

Il nome compatto della famiglia è SLE QP.

Tabella 11. Combinazioni di carico SLE quasi permanente

Nome	Nome breve	Pesi	Port.	Variabile Fsx	Variabile (CV)	E Variabile Fdx	Variabile F(CV)	Sisma
1	SLE QP 1	1	1	0	0.8	0	0.3	0
2	SLE QP 2	1	1	0	0.8	0.6	0.3	0
3	SLE QP 3	1	1	0.6	0.8	0	0.3	0

Nota: le combinazioni di carico sono state determinate facendo riferimento ai coefficienti amplificativi previsto dalla combinazione A1-M1-R1 della Tab. 2.6.1. delle NTC 2018.



8.3 Sollecitazioni agenti per unità di lunghezza

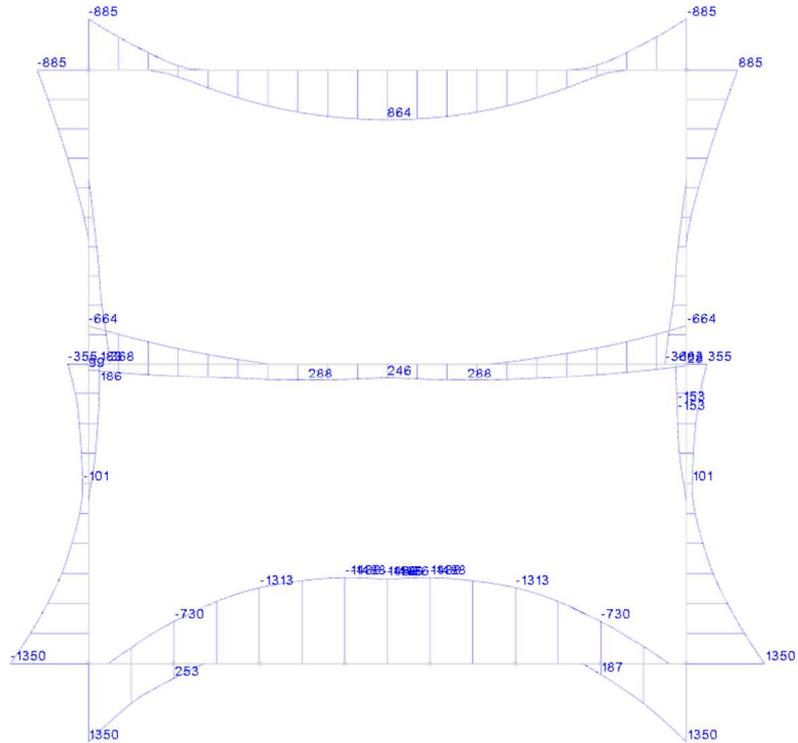


Figura 13. Involuppo Diagramma Momento flettente agente SLU [kNm]

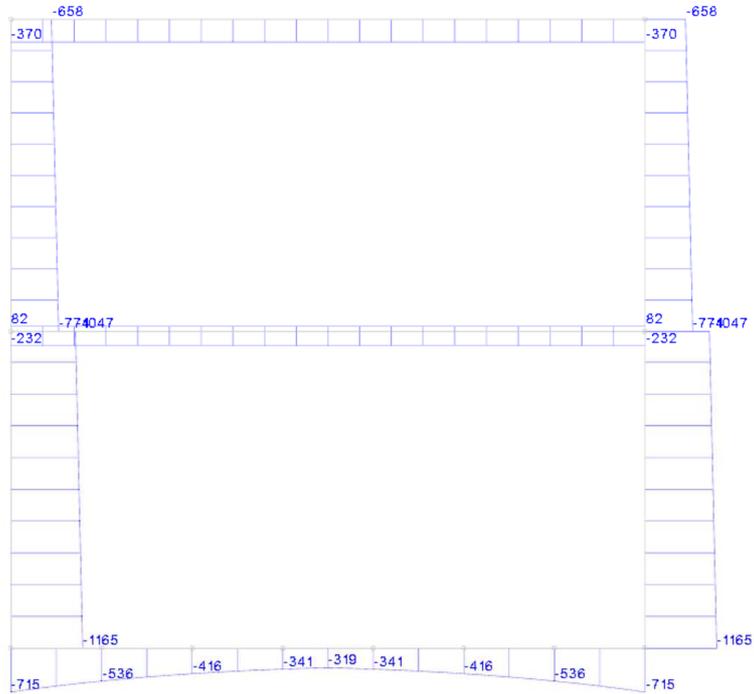


Figura 14. Inviluppo Sforzo normale agente SLU [kN]

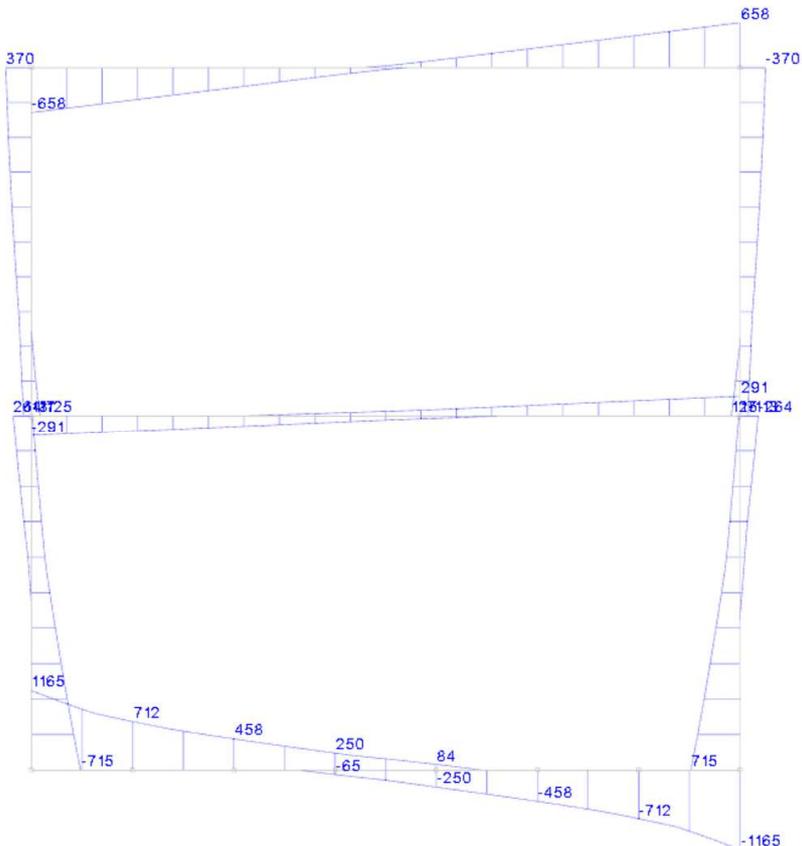


Figura 15. Inviluppo taglio agente [kN]

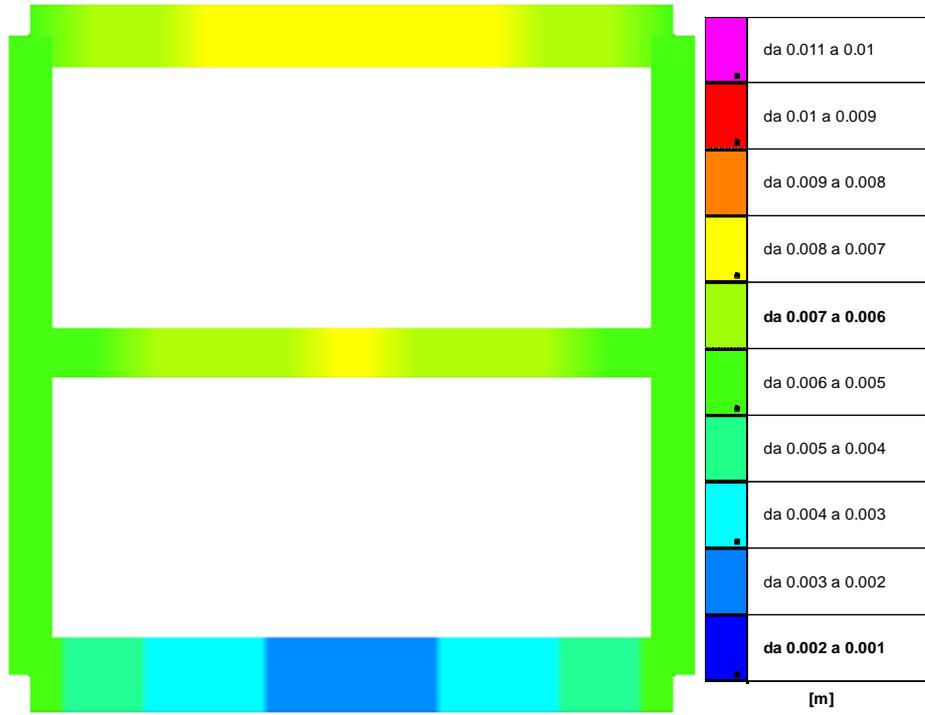


Figura 16. Deformazioni massime registrate SLU [m]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

8.4 Verifiche pilastrate C.A. (CONTROPARETI)

Le unità di misura elencate nel capitolo sono in [m, kN] ove non espressamente specificato.

Q.inf.: quota inferiore. [m]

Q.sup.: quota superiore. [m]

Sezione: sezione impiegata.

Esistente: campata esistente.

Secondaria: campata secondaria.

Dissipativa: campata dissipativa.

Interna a parete: campata adiacente ad una parete in c.a.

Sovraresistenza: aliquota di sovraresistenza da assicurare in verifica.

Materiale CLS: materiale calcestruzzo impiegato.

Materiale Acciaio: materiale/i acciaio impiegato/i.

FC: fattore di confidenza riferito al materiale CLS.

Staffatura: descrizione della staffatura del campo considerato.

quota: quota di riferimento. [m]

sommatoriaBiQuadro: sommatoriaBiquadro.

α_n : coefficiente di efficienza longitudinale.

α_s : coefficiente di efficienza trasversale.

b_x : dimensione del nucleo confinato in direzione x. [m]

b_y : dimensione del nucleo confinato in direzione y. [m]

D0: dimensione del nucleo confinato circolare. [m]

σ_l : pressione di confinamento trasversale. [kN/m²]

α : coefficiente di efficienza.

σ_2 : pressione efficace di confinamento. [kN/m²]

$f_{ck,c}$: resistenza caratteristica confinata del cls. [kN/m²]

$\epsilon_{2,c}$: deformazione elastica confinata del cls.

$\epsilon_{cu2,c}$: deformazione ultima confinata del cls.

Posizione: posizione della barra.

X: ascissa relativa della barra rispetto al baricentro della sezione. [m]

Y: ordinata relativa della barra rispetto al baricentro della sezione. [m]

Diametro: diametro nominale della barra. [m]

Area: area nominale della barra. [m²]

Q.inf.: quota inferiore della barra. [m]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Q.sup.: quota superiore della barra. [m]

Materiale: materiale della barra.

Quota: quota della sezione. [m]

As: area complessiva delle armature verticali. [m²]

%: percentuale di acciaio.

At: area delle armature verticali destinata alla verifica di torsione. [m²]

Pos.: posizioni barre longitudinali presenti nella sezione.

Mx: momento Mx. [kN*m]

My: momento My. [kN*m]

N: sforzo normale. [kN]

MRdx: momento resistente in direzione X. [kN*m]

MRdy: momento resistente in direzione Y. [kN*m]

Comb.: combinazione peggiore.

Coeff.s.: coefficiente di sicurezza minimo.

Verifica: stato di verifica.

Staffe: staffatura presente nella sezione.

Direzione X: dati della verifica a taglio in direzione X.

V: taglio di verifica per la direzione considerata. [kN]

N: sforzo normale per la verifica nella direzione considerata. [kN]

Comb.: combinazione per la verifica nella direzione considerata.

VRd: resistenza a taglio del calcestruzzo non staffato per la verifica nella direzione considerata. [kN]

VRsd: resistenza a taglio delle staffe per la verifica nella direzione considerata. [kN]

VRcd: resistenza a taglio delle bielle compresse per la verifica nella direzione considerata. [kN]

Cot: cotangente delle bielle compresse per la verifica nella direzione considerata.

c.s.: coefficiente di sicurezza per la verifica nella direzione considerata.

Direzione Y: dati della verifica a taglio in direzione Y.

$\sigma_{c,max}$: tensione massima sul calcestruzzo. [kN/m²]

$\sigma_{f,max}$: tensione massima sull'acciaio. [kN/m²]

$M_{x,sr}$: momento Mx di fessurazione. [kN*m]

$M_{y,sr}$: momento My di fessurazione. [kN*m]

$N_{,sr}$: sforzo normale di fessurazione. [kN]

σ_s : tensione massima sull'acciaio in condizioni fessurate. [kN/m²]

$A_{c,eff}$: area di calcestruzzo efficace. [m²]



ρ, eff : rapporto geometrico di area d'acciaio efficace.

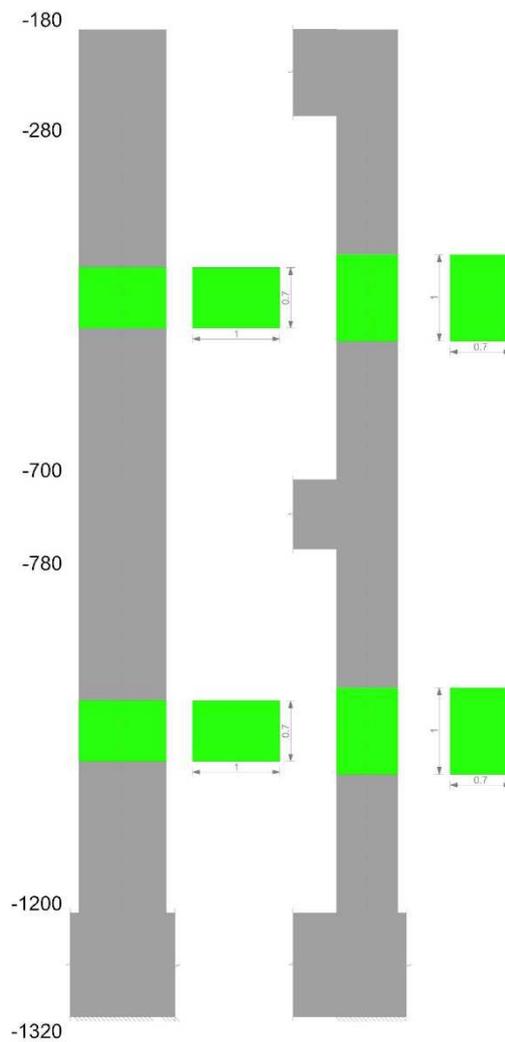
S_m : distanza media fra le fessure. [m]

W_k : apertura delle fessure. [m]

Fessurata: presenza di fessurazione.

Pilastrate (-328; -245)-(702; -245)

Geometria



Dati della pilastrata-tipo

Viene data una rappresentazione tabellare delle caratteristiche principali della sequenza di pilastri valida per tutte le pilastrate considerate.

Campate costituenti la pilastrata

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Q.inf.	Q.sup.	Sezione	Esistente	Secondaria	Dissipativa	Interna a parete	Sovraresistenza	Materiale CLS	Materiale Acciaio
-12	-7.8	R 100x70	No	No	No	No		C30/37	B450C
-7	-2.8	R 100x70	No	No	No	No		C30/37	B450C

Dati relativi al confinamento di sezioni secondo D.M. 17-01-18 NTC §4.1.2.1.2.1

Staffatura	quota	sommatoriaBiQuadro	α_n	α_s	b_x	b_y	D0	σ_1	α	σ_2	$f_{ck,c}$	$\epsilon_{2,c}$	$\epsilon_{cu2,c}$
Staffa $\phi 14/30$ 2X 3Y (-1320/-1200)	-12.6	12930.102	0.58493	0.61806	0.886	0.586		785	0.36152	284	32129	-0.002	-0.0035
Staffa $\phi 14/25$ 2X 3Y (-1200/-1100)	-12	12930.102	0.58493	0.6757	0.886	0.586		942	0.39524	372	32571	-0.00225	-0.00592
Staffa $\phi 14/27.5$ 2X 3Y (-1100/-880)	-10.8	12930.102	0.58493	0.64658	0.886	0.586		856	0.37821	324	32329	-0.00222	-0.00561
Staffa $\phi 14/25$ 2X 3Y (-880/-780)	-8.7	12930.102	0.58493	0.6757	0.886	0.586		942	0.39524	372	32571	-0.00225	-0.00592
Staffa $\phi 14/26.7$ 2X 3Y (-780/-700)	-7.4	12930.102	0.58493	0.65622	0.886	0.586		883	0.38384	339	32405	-0.002	-0.0035
Staffa $\phi 14/25$ 2X 3Y (-700/-600)	-7	12930.102	0.58493	0.6757	0.886	0.586		942	0.39524	372	32571	-0.00225	-0.00592
Staffa $\phi 14/27.5$ 2X 3Y (-600/-380)	-5.8	12930.102	0.58493	0.64658	0.886	0.586		856	0.37821	324	32329	-0.00222	-0.00561
Staffa $\phi 14/25$ 2X 3Y (-380/-280)	-3.7	12930.102	0.58493	0.6757	0.886	0.586		942	0.39524	372	32571	-0.00225	-0.00592
Staffa $\phi 14/25$ 2X 3Y (-280/-180)	-2.3	12930.102	0.58493	0.6757	0.886	0.586		942	0.39524	372	32571	-0.002	-0.0035

Disposizione delle armature longitudinali

Posizione	X	Y	Diametro	Area	Q.inf.	Q.sup.	Sezione	Materiale
p.1	-0.4193	-0.2693	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.4193	-0.2693	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.4193	0.2693	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.4193	0.2693	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.3391	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.2422	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.1453	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.0484	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.0484	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.1453	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.2422	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.3391	-0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.3391	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.2422	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.1453	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	-0.0484	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.0484	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.1453	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C



Posizione	X	Y	Diametro	Area	Q.inf.	Q.sup.	Sezione	Materiale
p.1	0.2422	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.1	0.3391	0.274	0.024	0.0004524	-12.6	-12	R 100x70	B450C
p.2	-0.4193	-0.2693	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.4193	-0.2693	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.4193	0.2693	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.4193	0.2693	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.3391	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.2422	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.1453	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.0484	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.0484	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.1453	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.2422	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.3391	-0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.3391	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.2422	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.1453	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	-0.0484	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.0484	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.1453	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.2422	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.2	0.3391	0.274	0.024	0.0004524	-12	-7	R 100x70	B450C
p.3	-0.4193	-0.2693	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.4193	-0.2693	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.4193	0.2693	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.4193	0.2693	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.3391	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.2422	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.1453	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.0484	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.0484	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.1453	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.2422	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.3391	-0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C



Posizione	X	Y	Diametro	Area	Q.inf.	Q.sup.	Sezione	Materiale
p.3	-0.3391	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.2422	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.1453	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	-0.0484	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.0484	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.1453	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.2422	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C
p.3	0.3391	0.274	0.024	0.0004524	-7	-2.589	R 100x70	B450C

**Pilastrata (-328; -245)***Verifica a pressoflessione in SLU*

Quota	As	%	At	Pos.	Mx	My	N	MRdx	MRdy	Comb.	Coeff.s.	Verifica
-12	0.009048	2.6	0	1,2	953.7459	25.0233	-962.43	1294.1238	33.9537	SLU 32	1.357	Si
-11.7	0.009048	2.6	0	1,2	784.7698	24.8488	-955.72	1365.2812	43.2299	SLU 32	1.74	Si
-11.4	0.009048	2.6	0	1,2	628.486	24.6713	-948.9	1458.5821	57.2569	SLU 32	2.321	Si
-11.1	0.009048	1.3	0	2	476.0731	20.3791	-783.81	1496.5607	64.0628	SLU 24	3.144	Si
-10.8	0.009048	1.3	0	2	374.7236	-20.2017	-776.99	1587.1107	-85.5625	SLU 24	4.235	Si
-10.5	0.009048	1.3	0	2	282.312	-20.0242	-770.16	1642.7866	-116.5219	SLU 24	5.819	Si
-10.2	0.009048	1.3	0	2	198.7266	-21.7065	-834.87	1505.6092	-164.4548	SLU 22	7.576	Si
-9.9	0.009048	1.3	0	2	133.5325	23.0566	-886.79	1198.306	206.9075	SLU 17	8.974	Si
-9.6	0.009048	1.3	0	2	99.6834	24.4067	-938.72	964.1259	236.0587	SLU 18	9.672	Si
-9.3	0.009048	1.3	0	2	106.8972	23.6788	-910.72	1029.9457	228.1435	SLU 19	9.635	Si
-9	0.009048	1.3	0	2	120.7681	23.5014	-903.9	1116.7556	217.3196	SLU 19	9.247	Si
-8.7	0.009048	1.3	0	2	139.8477	23.3239	-897.07	1232.0227	205.4777	SLU 19	8.81	Si
-8.4	0.009048	1.3	0	2	143.1182	27.2612	-1048.51	1139.9684	217.1416	SLU 27	7.965	Si
-8.1	0.009048	1.3	0	2	192.4607	27.0838	-1041.68	1350.0111	189.9785	SLU 27	7.014	Si
-7.8	0.009048	1.3	0	2	249.6965	26.9093	-1034.97	1526.6014	164.5186	SLU 27	6.114	Si
-7	0.009048	2.6	0	2,3	-318.4323	15.7013	-615.74	-1565.3255	77.1831	SLU 18	4.916	Si
-6.7	0.009048	2.6	0	2,3	-277.4598	15.5301	-609.03	-1610.3797	90.1371	SLU 18	5.804	Si
-6.4	0.009048	2.6	0	2,3	-233.8044	19.1619	-751.45	-1635.3336	134.027	SLU 26	6.994	Si
-6.1	0.009048	1.3	0	3	-200.9774	-18.1473	-711.66	-1605.5226	-144.9708	SLU 30	7.989	Si
-5.8	0.009048	1.3	0	3	-181.4766	-16.6112	-651.42	-1590.8225	-145.6136	SLU 32	8.766	Si
-5.5	0.009048	1.3	0	3	-154.0072	-16.4372	-644.59	-1508.3275	-160.9834	SLU 32	9.794	Si
-5.2	0.009048	1.3	0	3	-117.6417	-16.2631	-637.77	-1337.5731	-184.9099	SLU 32	11.37	Si
-4.9	0.009048	1.3	0	3	63.0721	18.2917	-717.32	845.5268	245.2137	SLU 26	13.406	Si
-4.6	0.009048	1.3	0	3	139.4259	18.1195	-710.57	1379.5746	179.2871	SLU 26	9.895	Si
-4.3	0.009048	1.3	0	3	222.9867	17.9436	-703.67	1630.7313	131.2242	SLU 26	7.313	Si
-4	0.009048	1.3	0	3	309.068	16.7678	-657.56	1596.1405	86.5951	SLU 27	5.164	Si
-3.7	0.009048	1.3	0	3	400.0209	16.5938	-650.74	1491.3198	61.8633	SLU 27	3.728	Si
-3.4	0.009048	1.3	0	3	495.2423	16.4197	-643.91	1393.1337	46.1893	SLU 27	2.813	Si
-3.1	0.009048	1.3	0	3	594.4257	16.2457	-637.09	1315.8201	35.9614	SLU 27	2.214	Si
-2.8	0.009048	1.3	0	3	695.5741	16.0746	-630.37	1257.4787	29.06	SLU 27	1.808	Si



Verifica a taglio in famiglia SLU

Quota	Staffe	Direzione X								Direzione Y						Verifica		
		V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd		Cot	c.s.
-12	2X/3Y ø14/25	0	-814.03	SLU 1	300.87	934.97	1570.18	2.5	1000	-599.89	-962.43	SLU 32	341.61	922.16	1583.29	2.5	1.54	Si
-11.7	2X/3Y ø14/25	0	-808.87	SLU 1	300.12	934.97	1569.41	2.5	1000	-546.66	-955.72	SLU 32	340.64	922.16	1582.28	2.5	1.69	Si
-11.4	2X/3Y ø14/25	0	-803.62	SLU 1	299.35	934.97	1568.61	2.5	1000	-494.51	-948.9	SLU 32	339.65	922.16	1581.26	2.5	1.86	Si
-11.1	2X/3Y ø14/25	0	-798.37	SLU 1	298.58	934.97	1567.82	2.5	1000	-444.17	-942.07	SLU 32	338.66	922.16	1580.23	2.5	2.08	Si
-10.8	2X/3Y ø14/27.5	0	-793.12	SLU 1	297.14	849.97	1556.27	2.5	1000	-395.02	-935.25	SLU 32	336.92	838.33	1568.51	2.5	2.12	Si
-10.5	2X/3Y ø14/27.5	0	-787.87	SLU 1	296.37	849.97	1555.47	2.5	1000	-346.91	-928.42	SLU 32	335.93	838.33	1567.48	2.5	2.42	Si
-10.2	2X/3Y ø14/27.5	0	-782.62	SLU 1	295.61	849.97	1554.68	2.5	1000	-299.84	-921.6	SLU 32	334.94	838.33	1566.46	2.5	2.8	Si
-9.9	2X/3Y ø14/27.5	0	-777.37	SLU 1	294.84	849.97	1553.89	2.5	1000	-253.82	-914.77	SLU 32	333.94	838.33	1565.44	2.5	3.3	Si
-9.6	2X/3Y ø14/27.5	0	-772.12	SLU 1	294.07	849.97	1553.1	2.5	1000	-208.87	-907.95	SLU 32	332.95	838.33	1564.41	2.5	4.01	Si
-9.3	2X/3Y ø14/27.5	0	-766.87	SLU 1	293.31	849.97	1552.3	2.5	1000	-179.08	-742.86	SLU 24	308.99	838.33	1539.62	2.5	4.68	Si
-9	2X/3Y ø14/27.5	0	-761.62	SLU 1	292.54	849.97	1551.51	2.5	1000	-151.91	-736.04	SLU 24	308	838.33	1538.6	2.5	5.52	Si
-8.7	2X/3Y ø14/25	0	-756.37	SLU 1	292.45	934.97	1561.48	2.5	1000	135.35	-952.21	SLU 11	340.13	922.16	1581.75	2.5	6.81	Si
-8.4	2X/3Y ø14/25	0	-751.12	SLU 1	291.69	934.97	1560.68	2.5	1000	166.83	-946.96	SLU 11	339.37	922.16	1580.96	2.5	5.53	Si
-8.1	2X/3Y ø14/25	0	-745.87	SLU 1	290.92	934.97	1559.89	2.5	1000	197.21	-941.71	SLU 11	338.61	922.16	1580.18	2.5	4.68	Si
-7.8	2X/3Y ø14/25	0	-740.71	SLU 1	290.17	934.97	1559.11	2.5	1000	226.07	-936.55	SLU 11	337.86	922.16	1579.4	2.5	4.08	Si
-7	2X/3Y ø14/25	0	-535.98	SLU 1	260.28	934.97	1528.19	2.5	1000	132.19	-615.74	SLU 18	291.3	922.16	1531.23	2.5	6.98	Si
-6.7	2X/3Y ø14/25	0	-530.82	SLU 1	259.52	934.97	1527.41	2.5	1000	145.54	-609.03	SLU 18	290.32	922.16	1530.23	2.5	6.34	Si
-6.4	2X/3Y ø14/25	0	-525.57	SLU 1	258.76	934.97	1526.62	2.5	1000	158.57	-602.2	SLU 18	289.33	922.16	1529.2	2.5	5.82	Si
-6.1	2X/3Y ø14/25	0	-520.32	SLU 1	257.99	934.97	1525.83	2.5	1000	171.02	-595.38	SLU 18	288.34	922.16	1528.18	2.5	5.39	Si
-5.8	2X/3Y ø14/27.5	0	-515.07	SLU 1	256.55	849.97	1514.27	2.5	1000	188.14	-737.8	SLU 26	308.26	838.33	1538.86	2.5	4.46	Si
-5.5	2X/3Y ø14/27.5	0	-509.82	SLU 1	255.78	849.97	1513.48	2.5	1000	209.36	-730.97	SLU 26	307.27	838.33	1537.84	2.5	4	Si
-5.2	2X/3Y ø14/27.5	0	-504.57	SLU 1	255.01	849.97	1512.69	2.5	1000	229.54	-724.15	SLU 26	306.28	838.33	1536.81	2.5	3.65	Si
-4.9	2X/3Y ø14/27.5	0	-499.32	SLU 1	254.25	849.97	1511.9	2.5	1000	248.68	-717.32	SLU 26	305.29	838.33	1535.79	2.5	3.37	Si
-4.6	2X/3Y ø14/27.5	0	-494.12	SLU 1	253.49	849.97	1511.11	2.5	1000	266.58	-710.57	SLU 26	304.31	838.33	1534.78	2.5	3.14	Si
-4.3	2X/3Y ø14/27.5	0	-488.82	SLU 1	252.72	849.97	1510.31	2.5	1000	283.76	-703.67	SLU 26	303.31	838.33	1533.74	2.5	2.95	Si
-4	2X/3Y ø14/27.5	0	-483.57	SLU 1	251.95	849.97	1509.52	2.5	1000	299.7	-696.85	SLU 26	302.32	838.33	1532.72	2.5	2.8	Si

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Quota	Staffe	Direzione X								Direzione Y								Verifica
		V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	
-3.7	2X/3Y ø14/25	0	-478.32	SLU 1	251.86	934.97	1519.48	2.5	1000	314.6	-690.02	SLU 26	302.08	922.16	1542.39	2.5	2.93	Si
-3.4	2X/3Y ø14/25	0	-473.07	SLU 1	251.09	934.97	1518.69	2.5	1000	328.45	-683.2	SLU 26	301.09	922.16	1541.36	2.5	2.81	Si
-3.1	2X/3Y ø14/25	0	-467.82	SLU 1	250.33	934.97	1517.9	2.5	1000	341.25	-676.37	SLU 26	300.1	922.16	1540.34	2.5	2.7	Si
-2.8	2X/3Y ø14/25	0	-462.66	SLU 1	249.57	934.97	1517.12	2.5	1000	352.81	-669.66	SLU 26	299.12	922.16	1539.33	2.5	2.61	Si

Verifica delle tensioni in combinazioni rara

Quota	Mx	My	N	Comb.	σc,max	Mx	My	N	Comb.	σf,max	Verifica
-12	666.6185	0	-695.14	SLE RA 8	-9576	666.6185	0	-695.14	SLE RA 8	219175	Si
-11.7	551.5623	0	-689.98	SLE RA 8	-8261	551.5623	0	-689.98	SLE RA 8	171082	Si
-11.4	444.9665	0	-684.73	SLE RA 8	-6963	444.9665	0	-684.73	SLE RA 8	127047	Si
-11.1	348.6556	0	-679.48	SLE RA 8	-5722	348.6556	0	-679.48	SLE RA 8	87878	Si
-10.8	262.6142	0	-674.23	SLE RA 8	-4583	262.6142	0	-674.23	SLE RA 8	-60729	Si
-10.5	180.836	0	-716.67	SLE RA 6	-3274	180.836	0	-716.67	SLE RA 6	-43243	Si
-10.2	119.0871	0	-711.42	SLE RA 6	-2542	119.0871	0	-711.42	SLE RA 6	-33381	Si
-9.9	67.7158	0	-745.34	SLE RA 1	-1983	67.7158	0	-745.34	SLE RA 1	-26073	Si
-9.6	40.6936	0	-779.25	SLE RA 2	-1711	40.6936	0	-779.25	SLE RA 2	-22586	Si
-9.3	44.3744	0	-759.89	SLE RA 3	-1725	44.3744	0	-759.89	SLE RA 3	-22746	Si
-9	55.6255	0	-754.64	SLE RA 3	-1852	55.6255	0	-754.64	SLE RA 3	-24387	Si
-8.7	73.3874	0	-749.39	SLE RA 3	-2049	73.3874	0	-749.39	SLE RA 3	-27340	Si
-8.4	97.459	0	-744.14	SLE RA 3	-2326	97.459	0	-744.14	SLE RA 3	-31025	Si
-8.1	127.9611	0	-738.89	SLE RA 3	-2677	127.9611	0	-738.89	SLE RA 3	-35740	Si
-7.8	163.7654	0	-733.73	SLE RA 3	-3087	163.7654	0	-733.73	SLE RA 3	-41328	Si
-7	-223.3296	0	-538.11	SLE RA 2	-3863	-223.3296	0	-538.11	SLE RA 2	-51209	Si
-6.7	-199.8559	0	-532.95	SLE RA 2	-3524	-199.8559	0	-532.95	SLE RA 2	-46594	Si
-6.4	-171.0855	0	-527.7	SLE RA 2	-2862	-171.0855	0	-527.7	SLE RA 2	-37965	Si
-6.1	-146.455	0	-500.47	SLE RA 6	-2532	-146.455	0	-500.47	SLE RA 6	-33457	Si
-5.8	-130.7085	0	-459.61	SLE RA 8	-2295	-130.7085	0	-459.61	SLE RA 8	-29777	Si
-5.5	-109.6497	0	-454.36	SLE RA 8	-2036	-109.6497	0	-454.36	SLE RA 8	-26376	Si
-5.2	-82.66	0	-449.11	SLE RA 8	-1705	-82.66	0	-449.11	SLE RA 8	-22067	Si
-4.9	-49.944	0	-443.86	SLE RA 8	-1303	-49.944	0	-443.86	SLE RA 8	-16894	Si
-4.6	94.1806	0	-496.25	SLE RA 2	-1916	94.1806	0	-496.25	SLE RA 2	-24861	Si
-4.3	152.6633	0	-490.95	SLE RA 2	-2603	152.6633	0	-490.95	SLE RA 2	-33894	Si
-4	213.808	0	-485.7	SLE RA 2	-3698	213.808	0	-485.7	SLE RA 3	49999	Si



Quota	Mx	My	N	Comb.	σ_c, \max	Mx	My	N	Comb.	σ_f, \max	Verifica
-3.7	278.0026	0	-480.45	SLE RA 2	-4553	276.1779	0	-454.26	SLE RA 3	76247	Si
-3.4	345.043	0	-475.2	SLE RA 2	-5437	342.4047	0	-449.01	SLE RA 3	104243	Si
-3.1	414.7246	0	-469.95	SLE RA 2	-6321	411.2729	0	-443.76	SLE RA 3	133574	Si
-2.8	485.657	0	-464.79	SLE RA 2	-7190	481.4054	0	-438.59	SLE RA 3	163596	Si

Tensione limite del calcestruzzo 18426 kN/m²

Tensione limite dell'acciaio 315000 kN/m²

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Verifica delle tensioni sul calcestruzzo in combinazioni quasi permanenti

Quota	Mx	My	N	Comb.	σ_c, \max	Verifica
-12	556.5553	0	-666.03	SLE QP 3	-8291	Si
-11.7	457.8601	0	-660.86	SLE QP 3	-7096	Si
-11.4	367.179	0	-655.61	SLE QP 3	-5938	Si
-11.1	286.039	0	-650.36	SLE QP 3	-4851	Si
-10.8	214.4026	0	-645.11	SLE QP 3	-3869	Si
-10.5	151.6104	0	-639.86	SLE QP 3	-2816	Si
-10.2	97.4612	0	-634.61	SLE QP 3	-2168	Si
-9.9	53.2566	0	-662.94	SLE QP 1	-1682	Si
-9.6	30.9796	0	-691.26	SLE QP 2	-1457	Si
-9.3	28.56	0	-686.01	SLE QP 2	-1420	Si
-9	32.8523	0	-680.76	SLE QP 2	-1463	Si
-8.7	43.6554	0	-675.51	SLE QP 2	-1580	Si
-8.4	60.7682	0	-670.26	SLE QP 2	-1777	Si
-8.1	84.3116	0	-665.01	SLE QP 2	-2049	Si
-7.8	113.273	0	-659.84	SLE QP 2	-2384	Si
-7	-187.1199	0	-464.44	SLE QP 2	-3271	Si
-6.7	-171.4775	0	-459.28	SLE QP 2	-3041	Si
-6.4	-150.671	0	-454.03	SLE QP 2	-2511	Si
-6.1	-132.7176	0	-429.94	SLE QP 3	-2263	Si
-5.8	-115.937	0	-424.69	SLE QP 3	-2066	Si
-5.5	-93.755	0	-419.44	SLE QP 3	-1793	Si
-5.2	-66.3761	0	-414.19	SLE QP 3	-1455	Si
-4.9	-34.0046	0	-408.94	SLE QP 3	-1055	Si

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Quota	Mx	My	N	Comb.	$\sigma_{c,max}$	Verifica
-4.6	66.897	0	-422.58	SLE QP 2	-1475	Si
-4.3	117.3301	0	-417.28	SLE QP 2	-2071	Si
-4	170.5108	0	-412.03	SLE QP 2	-2998	Si
-3.7	226.7415	0	-406.78	SLE QP 2	-3766	Si
-3.4	285.8178	0	-401.53	SLE QP 2	-4563	Si
-3.1	347.5355	0	-396.28	SLE QP 2	-5367	Si
-2.8	410.6367	0	-391.12	SLE QP 2	-6165	Si

Tensione limite del calcestruzzo 13820 kN/m²

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Verifica di apertura delle fessure nella famiglia di combinazioni frequente

Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	p,eff	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-12	576.4567	0	-660.43	SLE FR 8	294.7522	0	0	183403	0.04416	0.1024	0.0636	0.000043	Si	Si
-11.7	474.378	0	-655.27	SLE FR 8	305.7751	0	0	141272	0.04416	0.1024	0.0727	0.000034	Si	Si
-11.4	380.437	0	-650.02	SLE FR 8	322.5274	0	0	102831	0.04416	0.1024	0.0857	0.000026	Si	Si
-11.1	296.223	0	-644.77										No	Si
-10.8	221.7041	0	-639.52										No	Si
-10.5	156.2119	0	-634.27										No	Si
-10.2	99.5455	0	-629.02										No	Si
-9.9	55.9753	0	-683.54										No	Si
-9.6	30.2027	0	-678.28										No	Si
-9.3	11.5608	0	-673.04										No	Si
-9	-0.3692	0	-667.78										No	Si
-8.7	-5.7883	0	-662.54										No	Si
-8.4	-4.8978	0	-657.29										No	Si
-8.1	96.941	0	-670.6										No	Si
-7.8	128.3199	0	-665.44										No	Si
-7	-194.7137	0	-485.04										No	Si
-6.7	-175.2497	0	-459.28										No	Si
-6.4	-153.5705	0	-444.61										No	Si
-6.1	-135.8183	0	-429.94										No	Si
-5.8	-118.7019	0	-424.69										No	Si
-5.5	-97.4287	0	-417.87										No	Si
-5.2	-71.2605	0	-412.62										No	Si

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	ρ_{eff}	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-4.9	7.0759	0	-438.96										No	Si
-4.6	74.3785	0	-443.18										No	Si
-4.3	126.7228	0	-437.88										No	Si
-4	181.7944	0	-432.63										No	Si
-3.7	239.916	0	-427.38										No	Si
-3.4	300.8833	0	-422.13										No	Si
-3.1	364.4919	0	-416.88	SLE FR 2	294.6644	0	0	116027	0.04416	0.1024	0.0636	0.000022	Si	Si
-2.8	429.4524	0	-411.72	SLE FR 2	286.5559	0	0	143731	0.04416	0.1024	0.0636	0.000031	Si	Si

Valore limite di controllo 0,300 mm

Coefficiente di viscosità $F_i = 1.7$

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Verifica di apertura delle fessure nella famiglia di combinazioni quasi permanente

Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	ρ_{eff}	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-12	556.5553	0	-666.03	SLE QP 3	297.0708	0	0	174593	0.04416	0.1024	0.0636	0.00004	Si	Si
-11.7	457.8601	0	-660.86	SLE QP 3	308.8163	0	0	133846	0.04416	0.1024	0.0727	0.000032	Si	Si
-11.4	367.179	0	-655.61	SLE QP 3	326.7351	0	0	96953	0.04416	0.1024	0.0857	0.000024	Si	Si
-11.1	286.039	0	-650.36										No	Si
-10.8	214.4026	0	-645.11										No	Si
-10.5	151.6104	0	-639.86										No	Si
-10.2	97.4612	0	-634.61										No	Si
-9.9	53.2566	0	-662.94										No	Si
-9.6	28.9557	0	-657.68										No	Si
-9.3	11.7856	0	-652.44										No	Si
-9	1.3273	0	-647.18										No	Si
-8.7	-2.6201	0	-641.94										No	Si
-8.4	-0.2579	0	-636.69										No	Si
-8.1	8.5349	0	-631.43										No	Si
-7.8	113.273	0	-659.84										No	Si
-7	-187.1199	0	-464.44										No	Si
-6.7	-171.4775	0	-459.28										No	Si
-6.4	-150.1341	0	-444.61										No	Si
-6.1	-132.7176	0	-429.94										No	Si



Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σs	Ac,eff	p,eff	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-5.8	-115.937	0	-424.69										No	Si
-5.5	-93.755	0	-419.44										No	Si
-5.2	-66.3761	0	-414.19										No	Si
-4.9	1.4649	0	-418.36										No	Si
-4.6	66.897	0	-422.58										No	Si
-4.3	117.3301	0	-417.28										No	Si
-4	170.5108	0	-412.03										No	Si
-3.7	226.7415	0	-406.78										No	Si
-3.4	285.8178	0	-401.53										No	Si
-3.1	347.5355	0	-396.28	SLE QP 2	294.508	0	0	110735	0.04416	0.1024	0.0636	0.000021	Si	Si
-2.8	410.6367	0	-391.12	SLE QP 2	286.2903	0	0	137662	0.04416	0.1024	0.0636	0.000029	Si	Si

Valore limite di controllo 0,300 mm

Coefficiente di viscosità $F_i = 1.7$

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Pilastrata (702; -245)

Verifica a pressoflessione in SLU

Quota	As	%	At	Pos.	Mx	My	N	MRdx	MRdy	Comb.	Coeff.s.	Verifica
-12	0.009048	2.6	0	1,2	-953.7459	-25.0233	-962.43	-1294.1238	-33.9537	SLU 27	1.357	Si
-11.7	0.009048	2.6	0	1,2	-784.7698	-24.8488	-955.72	-1365.2812	-43.2299	SLU 27	1.74	Si
-11.4	0.009048	2.6	0	1,2	-628.486	-24.6713	-948.9	-1458.5821	-57.2569	SLU 27	2.321	Si
-11.1	0.009048	1.3	0	2	-476.0731	-20.3791	-783.81	-1496.5607	-64.0628	SLU 19	3.144	Si
-10.8	0.009048	1.3	0	2	-374.7236	-20.2017	-776.99	-1587.1107	-85.5625	SLU 19	4.235	Si
-10.5	0.009048	1.3	0	2	-282.312	-20.0242	-770.16	-1642.7866	-116.5219	SLU 19	5.819	Si
-10.2	0.009048	1.3	0	2	-198.7266	-21.7065	-834.87	-1505.6092	-164.4548	SLU 18	7.576	Si
-9.9	0.009048	1.3	0	2	-133.5325	-23.0566	-886.79	-1198.306	-206.9075	SLU 17	8.974	Si
-9.6	0.009048	1.3	0	2	-99.6834	24.4067	-938.72	-964.1259	236.0587	SLU 22	9.672	Si
-9.3	0.009048	1.3	0	2	-106.8972	23.6788	-910.72	-1029.9457	228.1435	SLU 24	9.635	Si
-9	0.009048	1.3	0	2	-120.7681	23.5014	-903.9	-1116.7556	217.3196	SLU 24	9.247	Si
-8.7	0.009048	1.3	0	2	-139.8477	23.3239	-897.07	-1232.0227	205.4777	SLU 24	8.81	Si
-8.4	0.009048	1.3	0	2	-143.1182	27.2612	-1048.51	-1139.9684	217.1416	SLU 32	7.965	Si
-8.1	0.009048	1.3	0	2	-192.4607	27.0838	-1041.68	-1350.0111	189.9785	SLU 32	7.014	Si
-7.8	0.009048	1.3	0	2	-249.6965	26.9093	-1034.97	-1526.6014	164.5186	SLU 32	6.114	Si



Quota	As	%	At	Pos.	Mx	My	N	MRdx	MRdy	Comb.	Coeff.s.	Verifica
-7	0.009048	2.6	0	2,3	318.4323	15.7013	-615.74	1565.3255	77.1831	SLU 22	4.916	Si
-6.7	0.009048	2.6	0	2,3	277.4598	15.5301	-609.03	1610.3797	90.1371	SLU 22	5.804	Si
-6.4	0.009048	2.6	0	2,3	233.8044	19.1619	-751.45	1635.3336	134.027	SLU 30	6.994	Si
-6.1	0.009048	1.3	0	3	200.9774	-18.1473	-711.66	1605.5226	-144.9708	SLU 26	7.989	Si
-5.8	0.009048	1.3	0	3	181.4766	-16.6112	-651.42	1590.8225	-145.6136	SLU 27	8.766	Si
-5.5	0.009048	1.3	0	3	154.0072	-16.4372	-644.59	1508.3275	-160.9834	SLU 27	9.794	Si
-5.2	0.009048	1.3	0	3	117.6417	-16.2631	-637.77	1337.5731	-184.9099	SLU 27	11.37	Si
-4.9	0.009048	1.3	0	3	-63.0721	18.2917	-717.32	-845.5268	245.2137	SLU 30	13.406	Si
-4.6	0.009048	1.3	0	3	-139.4259	18.1195	-710.57	-1379.5746	179.2871	SLU 30	9.895	Si
-4.3	0.009048	1.3	0	3	-222.9867	17.9436	-703.67	-1630.7313	131.2242	SLU 30	7.313	Si
-4	0.009048	1.3	0	3	-309.068	-16.7678	-657.56	-1596.1405	-86.5951	SLU 32	5.164	Si
-3.7	0.009048	1.3	0	3	-400.0209	-16.5938	-650.74	-1491.3198	-61.8633	SLU 32	3.728	Si
-3.4	0.009048	1.3	0	3	-495.2423	-16.4197	-643.91	-1393.1337	-46.1893	SLU 32	2.813	Si
-3.1	0.009048	1.3	0	3	-594.4257	-16.2457	-637.09	-1315.8201	-35.9614	SLU 32	2.214	Si
-2.8	0.009048	1.3	0	3	-695.5741	-16.0746	-630.37	-1257.4787	-29.06	SLU 32	1.808	Si

Verifica a taglio in famiglia SLU

Quota	Staffe	Direzione X								Direzione Y								Verifica
		V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	
-12	2X/3Y ø14/25	0	-814.03	SLU 1	300.87	934.97	1570.18	2.5	1000	599.89	-962.43	SLU 27	341.61	922.16	1583.29	2.5	1.54	Si
-11.7	2X/3Y ø14/25	0	-808.87	SLU 1	300.12	934.97	1569.41	2.5	1000	546.66	-955.72	SLU 27	340.64	922.16	1582.28	2.5	1.69	Si
-11.4	2X/3Y ø14/25	0	-803.62	SLU 1	299.35	934.97	1568.61	2.5	1000	494.51	-948.9	SLU 27	339.65	922.16	1581.26	2.5	1.86	Si
-11.1	2X/3Y ø14/25	0	-798.37	SLU 1	298.58	934.97	1567.82	2.5	1000	444.17	-942.07	SLU 27	338.66	922.16	1580.23	2.5	2.08	Si
-10.8	2X/3Y ø14/27.5	0	-793.12	SLU 1	297.14	849.97	1556.27	2.5	1000	395.02	-935.25	SLU 27	336.92	838.33	1568.51	2.5	2.12	Si
-10.5	2X/3Y ø14/27.5	0	-787.87	SLU 1	296.37	849.97	1555.47	2.5	1000	346.91	-928.42	SLU 27	335.93	838.33	1567.48	2.5	2.42	Si
-10.2	2X/3Y ø14/27.5	0	-782.62	SLU 1	295.61	849.97	1554.68	2.5	1000	299.84	-921.6	SLU 27	334.94	838.33	1566.46	2.5	2.8	Si
-9.9	2X/3Y ø14/27.5	0	-777.37	SLU 1	294.84	849.97	1553.89	2.5	1000	253.82	-914.77	SLU 27	333.94	838.33	1565.44	2.5	3.3	Si
-9.6	2X/3Y ø14/27.5	0	-772.12	SLU 1	294.07	849.97	1553.1	2.5	1000	208.87	-907.95	SLU 27	332.95	838.33	1564.41	2.5	4.01	Si
-9.3	2X/3Y ø14/27.5	0	-766.87	SLU 1	293.31	849.97	1552.3	2.5	1000	179.08	-742.86	SLU 19	308.99	838.33	1539.62	2.5	4.68	Si
-9	2X/3Y ø14/27.5	0	-761.62	SLU 1	292.54	849.97	1551.51	2.5	1000	151.91	-736.04	SLU 19	308	838.33	1538.6	2.5	5.52	Si
-8.7	2X/3Y ø14/25	0	-756.37	SLU 1	292.45	934.97	1561.48	2.5	1000	-135.35	-952.21	SLU 16	340.13	922.16	1581.75	2.5	6.81	Si
-8.4	2X/3Y ø14/25	0	-751.12	SLU 1	291.69	934.97	1560.68	2.5	1000	-166.83	-946.96	SLU 16	339.37	922.16	1580.96	2.5	5.53	Si
-8.1	2X/3Y ø14/25	0	-745.87	SLU 1	290.92	934.97	1559.89	2.5	1000	-197.21	-941.71	SLU 16	338.61	922.16	1580.18	2.5	4.68	Si
-7.8	2X/3Y ø14/25	0	-740.71	SLU 1	290.17	934.97	1559.11	2.5	1000	-226.07	-936.55	SLU 16	337.86	922.16	1579.4	2.5	4.08	Si



Quota	Staffe	Direzione X								Direzione Y								Verifica
		V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	V	N	Comb.	VRd	VRsd	VRcd	Cot	c.s.	
-7	2X/3Y ø14/25	0	-535.98	SLU 1	260.28	934.97	1528.19	2.5	1000	-132.19	-615.74	SLU 22	291.3	922.16	1531.23	2.5	6.98	Si
-6.7	2X/3Y ø14/25	0	-530.82	SLU 1	259.52	934.97	1527.41	2.5	1000	-145.54	-609.03	SLU 22	290.32	922.16	1530.23	2.5	6.34	Si
-6.4	2X/3Y ø14/25	0	-525.57	SLU 1	258.76	934.97	1526.62	2.5	1000	-158.57	-602.2	SLU 22	289.33	922.16	1529.2	2.5	5.82	Si
-6.1	2X/3Y ø14/25	0	-520.32	SLU 1	257.99	934.97	1525.83	2.5	1000	-171.02	-595.38	SLU 22	288.34	922.16	1528.18	2.5	5.39	Si
-5.8	2X/3Y ø14/27.5	0	-515.07	SLU 1	256.55	849.97	1514.27	2.5	1000	-188.14	-737.8	SLU 30	308.26	838.33	1538.86	2.5	4.46	Si
-5.5	2X/3Y ø14/27.5	0	-509.82	SLU 1	255.78	849.97	1513.48	2.5	1000	-209.36	-730.97	SLU 30	307.27	838.33	1537.84	2.5	4	Si
-5.2	2X/3Y ø14/27.5	0	-504.57	SLU 1	255.01	849.97	1512.69	2.5	1000	-229.54	-724.15	SLU 30	306.28	838.33	1536.81	2.5	3.65	Si
-4.9	2X/3Y ø14/27.5	0	-499.32	SLU 1	254.25	849.97	1511.9	2.5	1000	-248.68	-717.32	SLU 30	305.29	838.33	1535.79	2.5	3.37	Si
-4.6	2X/3Y ø14/27.5	0	-494.12	SLU 1	253.49	849.97	1511.11	2.5	1000	-266.58	-710.57	SLU 30	304.31	838.33	1534.78	2.5	3.14	Si
-4.3	2X/3Y ø14/27.5	0	-488.82	SLU 1	252.72	849.97	1510.31	2.5	1000	-283.76	-703.67	SLU 30	303.31	838.33	1533.74	2.5	2.95	Si
-4	2X/3Y ø14/27.5	0	-483.57	SLU 1	251.95	849.97	1509.52	2.5	1000	-299.7	-696.85	SLU 30	302.32	838.33	1532.72	2.5	2.8	Si
-3.7	2X/3Y ø14/25	0	-478.32	SLU 1	251.86	934.97	1519.48	2.5	1000	-314.6	-690.02	SLU 30	302.08	922.16	1542.39	2.5	2.93	Si
-3.4	2X/3Y ø14/25	0	-473.07	SLU 1	251.09	934.97	1518.69	2.5	1000	-328.45	-683.2	SLU 30	301.09	922.16	1541.36	2.5	2.81	Si
-3.1	2X/3Y ø14/25	0	-467.82	SLU 1	250.33	934.97	1517.9	2.5	1000	-341.25	-676.37	SLU 30	300.1	922.16	1540.34	2.5	2.7	Si
-2.8	2X/3Y ø14/25	0	-462.66	SLU 1	249.57	934.97	1517.12	2.5	1000	-352.81	-669.66	SLU 30	299.12	922.16	1539.33	2.5	2.61	Si

Verifica delle tensioni in combinazioni rara

Quota	Mx	My	N	Comb.	σc,max	Mx	My	N	Comb.	σf,max	Verifica
-12	-666.6185	0	-695.14	SLE RA 3	-9576	-666.6185	0	-695.14	SLE RA 3	219175	Si
-11.7	-551.5623	0	-689.98	SLE RA 3	-8261	-551.5623	0	-689.98	SLE RA 3	171082	Si
-11.4	-444.9665	0	-684.73	SLE RA 3	-6963	-444.9665	0	-684.73	SLE RA 3	127047	Si
-11.1	-348.6556	0	-679.48	SLE RA 3	-5722	-348.6556	0	-679.48	SLE RA 3	87878	Si
-10.8	-262.6142	0	-674.23	SLE RA 3	-4583	-262.6142	0	-674.23	SLE RA 3	-60729	Si
-10.5	-180.836	0	-716.67	SLE RA 2	-3274	-180.836	0	-716.67	SLE RA 2	-43243	Si
-10.2	-119.0871	0	-711.42	SLE RA 2	-2542	-119.0871	0	-711.42	SLE RA 2	-33381	Si
-9.9	-67.7158	0	-745.34	SLE RA 1	-1983	-67.7158	0	-745.34	SLE RA 1	-26073	Si
-9.6	-40.6936	0	-779.25	SLE RA 6	-1711	-40.6936	0	-779.25	SLE RA 6	-22586	Si
-9.3	-44.3744	0	-759.89	SLE RA 8	-1725	-44.3744	0	-759.89	SLE RA 8	-22746	Si
-9	-55.6255	0	-754.64	SLE RA 8	-1852	-55.6255	0	-754.64	SLE RA 8	-24387	Si
-8.7	-73.3874	0	-749.39	SLE RA 8	-2049	-73.3874	0	-749.39	SLE RA 8	-27340	Si
-8.4	-97.459	0	-744.14	SLE RA 8	-2326	-97.459	0	-744.14	SLE RA 8	-31025	Si
-8.1	-127.9611	0	-738.89	SLE RA 8	-2677	-127.9611	0	-738.89	SLE RA 8	-35740	Si
-7.8	-163.7654	0	-733.73	SLE RA 8	-3087	-163.7654	0	-733.73	SLE RA 8	-41328	Si

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Quota	Mx	My	N	Comb.	$\sigma_{c,max}$	Mx	My	N	Comb.	$\sigma_{f,max}$	Verifica
-7	223.3296	0	-538.11	SLE RA 6	-3863	223.3296	0	-538.11	SLE RA 6	-51209	Si
-6.7	199.8559	0	-532.95	SLE RA 6	-3524	199.8559	0	-532.95	SLE RA 6	-46594	Si
-6.4	171.0855	0	-527.7	SLE RA 6	-2862	171.0855	0	-527.7	SLE RA 6	-37965	Si
-6.1	146.455	0	-500.47	SLE RA 2	-2532	146.455	0	-500.47	SLE RA 2	-33457	Si
-5.8	130.7085	0	-459.61	SLE RA 3	-2295	130.7085	0	-459.61	SLE RA 3	-29777	Si
-5.5	109.6497	0	-454.36	SLE RA 3	-2036	109.6497	0	-454.36	SLE RA 3	-26376	Si
-5.2	82.66	0	-449.11	SLE RA 3	-1705	82.66	0	-449.11	SLE RA 3	-22067	Si
-4.9	49.944	0	-443.86	SLE RA 3	-1303	49.944	0	-443.86	SLE RA 3	-16894	Si
-4.6	-94.1806	0	-496.25	SLE RA 6	-1916	-94.1806	0	-496.25	SLE RA 6	-24861	Si
-4.3	-152.6633	0	-490.95	SLE RA 6	-2603	-152.6633	0	-490.95	SLE RA 6	-33894	Si
-4	-213.808	0	-485.7	SLE RA 6	-3698	-212.7967	0	-459.51	SLE RA 8	49999	Si
-3.7	-278.0026	0	-480.45	SLE RA 6	-4553	-276.1779	0	-454.26	SLE RA 8	76247	Si
-3.4	-345.043	0	-475.2	SLE RA 6	-5437	-342.4047	0	-449.01	SLE RA 8	104243	Si
-3.1	-414.7246	0	-469.95	SLE RA 6	-6321	-411.2729	0	-443.76	SLE RA 8	133574	Si
-2.8	-485.657	0	-464.79	SLE RA 6	-7190	-481.4054	0	-438.59	SLE RA 8	163596	Si

Tensione limite del calcestruzzo 18426 kN/m²Tensione limite dell'acciaio 315000 kN/m²

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Verifica delle tensioni sul calcestruzzo in combinazioni quasi permanenti

Quota	Mx	My	N	Comb.	$\sigma_{c,max}$	Verifica
-12	-556.5553	0	-666.03	SLE QP 2	-8291	Si
-11.7	-457.8601	0	-660.86	SLE QP 2	-7096	Si
-11.4	-367.179	0	-655.61	SLE QP 2	-5938	Si
-11.1	-286.039	0	-650.36	SLE QP 2	-4851	Si
-10.8	-214.4026	0	-645.11	SLE QP 2	-3869	Si
-10.5	-151.6104	0	-639.86	SLE QP 2	-2816	Si
-10.2	-97.4612	0	-634.61	SLE QP 2	-2168	Si
-9.9	-53.2566	0	-662.94	SLE QP 1	-1682	Si
-9.6	-30.9796	0	-691.26	SLE QP 3	-1457	Si
-9.3	-28.56	0	-686.01	SLE QP 3	-1420	Si
-9	-32.8523	0	-680.76	SLE QP 3	-1463	Si
-8.7	-43.6554	0	-675.51	SLE QP 3	-1580	Si

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Quota	Mx	My	N	Comb.	$\sigma_{c,max}$	Verifica
-8.4	-60.7682	0	-670.26	SLE QP 3	-1777	Si
-8.1	-84.3116	0	-665.01	SLE QP 3	-2049	Si
-7.8	-113.273	0	-659.84	SLE QP 3	-2384	Si
-7	187.1199	0	-464.44	SLE QP 3	-3271	Si
-6.7	171.4775	0	-459.28	SLE QP 3	-3041	Si
-6.4	150.671	0	-454.03	SLE QP 3	-2511	Si
-6.1	132.7176	0	-429.94	SLE QP 2	-2263	Si
-5.8	115.937	0	-424.69	SLE QP 2	-2066	Si
-5.5	93.755	0	-419.44	SLE QP 2	-1793	Si
-5.2	66.3761	0	-414.19	SLE QP 2	-1455	Si
-4.9	34.0046	0	-408.94	SLE QP 2	-1055	Si
-4.6	-66.897	0	-422.58	SLE QP 3	-1475	Si
-4.3	-117.3301	0	-417.28	SLE QP 3	-2071	Si
-4	-170.5108	0	-412.03	SLE QP 3	-2998	Si
-3.7	-226.7415	0	-406.78	SLE QP 3	-3766	Si
-3.4	-285.8178	0	-401.53	SLE QP 3	-4563	Si
-3.1	-347.5355	0	-396.28	SLE QP 3	-5367	Si
-2.8	-410.6367	0	-391.12	SLE QP 3	-6165	Si

Tensione limite del calcestruzzo 13820 kN/m²

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Verifica di apertura delle fessure nella famiglia di combinazioni frequente

Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	ρ_{eff}	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-12	-576.4567	0	-660.43	SLE FR 3	-294.7522	0	0	183403	0.04416	0.1024	0.0636	0.000043	Si	Si
-11.7	-474.378	0	-655.27	SLE FR 3	-305.7751	0	0	141272	0.04416	0.1024	0.0727	0.000034	Si	Si
-11.4	-380.437	0	-650.02	SLE FR 3	-322.5274	0	0	102831	0.04416	0.1024	0.0857	0.000026	Si	Si
-11.1	-296.223	0	-644.77										No	Si
-10.8	-221.7041	0	-639.52										No	Si
-10.5	-156.2119	0	-634.27										No	Si
-10.2	-99.5455	0	-629.02										No	Si
-9.9	-55.9753	0	-683.54										No	Si
-9.6	-30.2027	0	-678.28										No	Si
-9.3	-11.5608	0	-673.04										No	Si
-9	0.3692	0	-667.78										No	Si



Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	ρ_{eff}	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-8.7	5.7883	0	-662.54										No	Si
-8.4	4.8978	0	-657.29										No	Si
-8.1	-96.941	0	-670.6										No	Si
-7.8	-128.3199	0	-665.44										No	Si
-7	194.7137	0	-485.04										No	Si
-6.7	175.2497	0	-459.28										No	Si
-6.4	153.5705	0	-444.61										No	Si
-6.1	135.8183	0	-429.94										No	Si
-5.8	118.7019	0	-424.69										No	Si
-5.5	97.4287	0	-417.87										No	Si
-5.2	71.2605	0	-412.62										No	Si
-4.9	-7.0759	0	-438.96										No	Si
-4.6	-74.3785	0	-443.18										No	Si
-4.3	-126.7228	0	-437.88										No	Si
-4	-181.7944	0	-432.63										No	Si
-3.7	-239.916	0	-427.38										No	Si
-3.4	-300.8833	0	-422.13										No	Si
-3.1	-364.4919	0	-416.88	SLE FR 6	-294.6644	0	0	116027	0.04416	0.1024	0.0636	0.000022	Si	Si
-2.8	-429.4524	0	-411.72	SLE FR 6	-286.5559	0	0	143731	0.04416	0.1024	0.0636	0.000031	Si	Si

Valore limite di controllo 0,300 mm

Coefficiente di viscosità $F_i = 1.7$

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

Verifica di apertura delle fessure nella famiglia di combinazioni quasi permanente

Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	ρ_{eff}	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-12	-556.5553	0	-666.03	SLE QP 2	-297.0708	0	0	174593	0.04416	0.1024	0.0636	0.00004	Si	Si
-11.7	-457.8601	0	-660.86	SLE QP 2	-308.8163	0	0	133846	0.04416	0.1024	0.0727	0.000032	Si	Si
-11.4	-367.179	0	-655.61	SLE QP 2	-326.7351	0	0	96953	0.04416	0.1024	0.0857	0.000024	Si	Si
-11.1	-286.039	0	-650.36										No	Si
-10.8	-214.4026	0	-645.11										No	Si
-10.5	-151.6104	0	-639.86										No	Si
-10.2	-97.4612	0	-634.61										No	Si
-9.9	-53.2566	0	-662.94										No	Si

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Quota	Mx	My	N	Comb.	Mx,sr	My,sr	N,sr	σ_s	Ac,eff	ρ_{eff}	Sm	Wk	Fessurata	Verifica
-9.6	-28.9557	0	-657.68										No	Si
-9.3	-11.7856	0	-652.44										No	Si
-9	-1.3273	0	-647.18										No	Si
-8.7	2.6201	0	-641.94										No	Si
-8.4	0.2579	0	-636.69										No	Si
-8.1	-8.5349	0	-631.43										No	Si
-7.8	-113.273	0	-659.84										No	Si
-7	187.1199	0	-464.44										No	Si
-6.7	171.4775	0	-459.28										No	Si
-6.4	150.1341	0	-444.61										No	Si
-6.1	132.7176	0	-429.94										No	Si
-5.8	115.937	0	-424.69										No	Si
-5.5	93.755	0	-419.44										No	Si
-5.2	66.3761	0	-414.19										No	Si
-4.9	-1.4649	0	-418.36										No	Si
-4.6	-66.897	0	-422.58										No	Si
-4.3	-117.3301	0	-417.28										No	Si
-4	-170.5108	0	-412.03										No	Si
-3.7	-226.7415	0	-406.78										No	Si
-3.4	-285.8178	0	-401.53										No	Si
-3.1	-347.5355	0	-396.28	SLE QP 3	-294.508	0	0	110735	0.04416	0.1024	0.0636	0.000021	Si	Si
-2.8	-410.6367	0	-391.12	SLE QP 3	-286.2903	0	0	137662	0.04416	0.1024	0.0636	0.000029	Si	Si

Valore limite di controllo 0,300 mm

Coefficiente di viscosità $F_i = 1.7$

Coefficiente di omogeneizzazione impiegato 15

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

8.5 Verifiche travate C.A.

Le unità di misura elencate nel capitolo sono in [m, kN, deg] ove non espressamente specificato.

N°: indice progressivo della sezione.

Descrizione: descrizione della sezione.

Tipo: tipo di sezione.

Base: base della sezione. [m]

Altezza: altezza della sezione. [m]

Copriferro sup.: distanza del bordo della staffa dalla superficie superiore del getto. [m]

Copriferro inf.: distanza del bordo della staffa dalla superficie inferiore del getto. [m]

Copriferro lat.: distanza del bordo della staffa dalle superfici laterali del getto. [m]

x: distanza da asse appoggio sinistro. [m]

A sup.: area efficace di armatura longitudinale superiore. [m²]

C.b. sup.: distanza dal bordo del baricentro dell'armatura longitudinale superiore. [m]

A inf.: area efficace di armatura longitudinale inferiore. [m²]

C.b. inf.: distanza dal bordo del baricentro dell'armatura longitudinale inferiore. [m]

M+ela: momento flettente desunto dal solutore che tende le fibre inferiori. [kN*m]

Comb.: combinazione.

M+des: momento flettente di progetto che tende le fibre inferiori. [kN*m]

M+ult: momento ultimo per trazione delle fibre inferiori. [kN*m]

x/d: rapporto tra posizione asse neutro e altezza utile.

coeff: coefficiente di sicurezza.

M-ela: momento flettente desunto dal solutore che tende le fibre superiori. [kN*m]

M-des: momento flettente di progetto che tende le fibre superiori. [kN*m]

M-ult: momento ultimo per trazione delle fibre superiori. [kN*m]

Verifica: stato di verifica.

A st: area di staffe per unità di lunghezza. [m²]

A sl: area di armatura longitudinale tesa per valutazione resistenza taglio in assenza di armature a taglio. [m²]

A sag: area equivalente di barre piegate per unità di lunghezza. [m²]

Vela: taglio elastico. [kN]

Vdes: taglio di progetto. [kN]

Vrd: resistenza a taglio della sezione senza armature. [kN]

Vrcd: sforzo di taglio che produce il cedimento delle bielle. [kN]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Vrsd: resistenza a taglio per la presenza delle armature. [kN]

Vult: taglio ultimo. [kN]

cotg θ : cotg dell'angolo di inclinazione dei puntoni in calcestruzzo.

Rara: famiglia di combinazione di verifica.

Mela: momento elastico. [kN*m]

Mdes: momento di progetto. [kN*m]

σc : tensione di compressione nel calcestruzzo. [kN/m²]

$\sigma c \text{ lim.}$: tensione limite di compressione nel calcestruzzo. [kN/m²]

σf : tensione di trazione nell'acciaio. [kN/m²]

$\sigma f \text{ lim.}$: tensione limite di trazione nell'acciaio. [kN/m²]

Elastica+: massima freccia a sezione interamente reagente di solo calcestruzzo. [m]

Elastica-: minima freccia a sezione interamente reagente di solo calcestruzzo. [m]

Fess.+: massima freccia a sezione fessurata ed omogeneizzata. [m]

Fess.-: minima freccia a sezione fessurata ed omogeneizzata. [m]

Quasi permanente: famiglia di combinazione di verifica.

$\sigma \text{ FRP}$: tensione di trazione nell'FRP. [kN/m²]

$\sigma \text{ FRP lim.}$: tensione limite di trazione nell'FRP. [kN/m²]

Fess. viscosa+: massima freccia a sezione fessurata ed omogeneizzata a viscosità esaurita. [m]

Fess. viscosa-: minima freccia a sezione fessurata ed omogeneizzata a viscosità esaurita. [m]

I/f: rapporto luce su freccia in combinazione quasi permanente.

Frequente: famiglia di combinazione di verifica.

Bordo: bordo interessato dalla fessura.

Rara: famiglia di combinazione per verifica inferiore.

Dmax: distanza massima tra le fessure. [m]

Esm: dilatazione media delle barre di armatura.

Wd: valore di calcolo di apertura delle fessure. [m]

Comb: combinazione.

Frequente: famiglia di combinazione per verifica inferiore.

Quasi permanente: famiglia di combinazione per verifica inferiore.

Size X: misura dell'impronta al suolo lungo X. [m]

Size Y: misura dell'impronta al suolo lungo Y. [m]

Sis.: indicazione combinazione sismica.

Cnd: indicazione condizione di carico (BT breve termine o LT lungo termine).

Fx: componente orizzontale del carico lungo x. [kN]

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Fy: componente orizzontale del carico lungo y. [kN]

Fz: componente verticale del carico. [kN]

IncX: inclinazione del carico lungo x. [deg]

IncY: inclinazione del carico lungo y. [deg]

Phi: angolo di attrito di progetto. [deg]

Ad: adesione di progetto. [kN/m²]

RPI: resistenza passiva laterale unitaria di progetto. [kN/m]

γR: coefficiente parziale sulla resistenza di progetto.

Rd: resistenza di progetto. [kN]

Ed: azione di progetto. [kN]

Rd/Ed: coefficiente di sicurezza allo scorrimento.

Aste: numero delle aste del tratto in verifica.

Size X: misura dell'impronta al suolo lungo la direzione X locale. [m]

Size Y: misura dell'impronta al suolo lungo la direzione Y locale. [m]

Type: indicazione del tipo di combinazione statica o sismica.

Cond: indicazione della condizione di carico (BT breve termine o LT lungo termine).

Rd/Ed: coefficiente di sicurezza alla capacità portante.

Mx: momento risultante agente attorno x. [kN*m]

My: momento risultante agente attorno y. [kN*m]

Inc.x: inclinazione del carico lungo x. [deg]

Inc.y: inclinazione del carico lungo y. [deg]

Ecc.x: eccentricità del carico lungo x. [m]

Ecc.y: eccentricità del carico lungo y. [m]

B': larghezza efficace. [m]

L': lunghezza efficace. [m]

qd: sovraccarico di progetto. [kN/m²]

γs: peso specifico di progetto del suolo. [kN/m³]

Fi: angolo di attrito di progetto. [deg]

Coes: coesione di progetto. [kN/m²]

Amax: accelerazione normalizzata max al suolo.

N:

Nq: fattore di capacità portante per il termine di sovraccarico.

Nc: fattore di capacità portante per il termine coesivo.

Ng: fattore di capacità portante per il termine attritivo.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

S:

Sq: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine di sovraccarico.*

Sc: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine coesivo.*

Sg: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine attritivo.*

D:

Dq: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine di sovraccarico.*

Dc: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine coesivo.*

Dg: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine attritivo.*

I:

Iq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine di sovraccarico.*

Ic: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine coesivo.*

Ig: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine attritivo.*

B:

Bq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine di sovraccarico.*

Bc: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine coesivo.*

Bg: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine attritivo.*

G:

Gq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine di sovraccarico.*

Gc: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine coesivo.*

Gg: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine attritivo.*

P:

Pq: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine di sovraccarico.*

Pc: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine coesivo.*

Pg: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine attritivo.*

E:

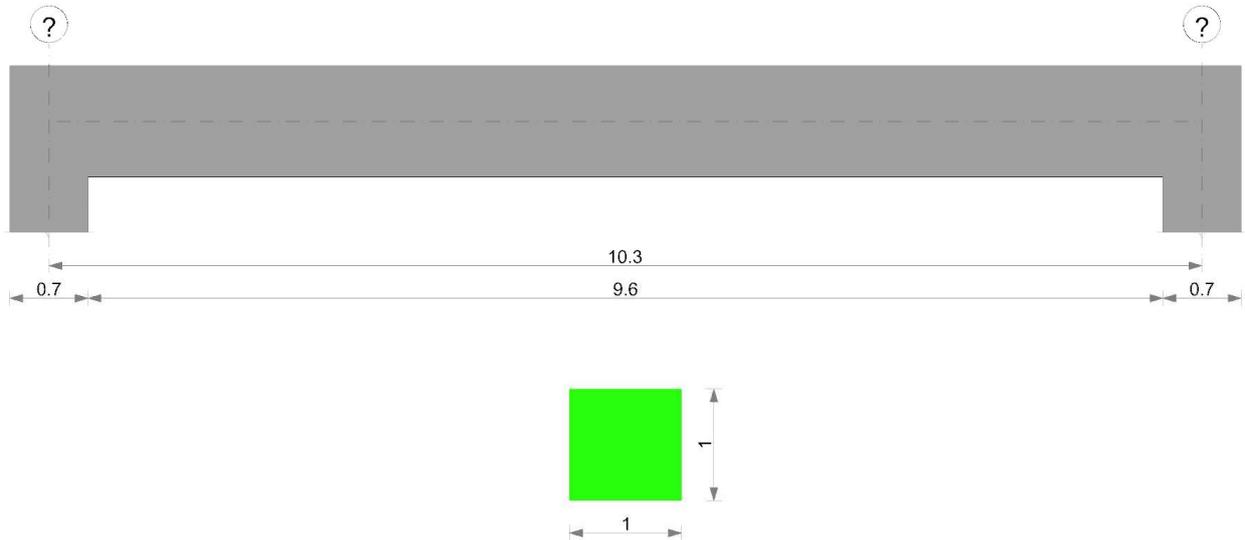
Eq: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine di sovraccarico.*

Ec: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine coesivo.*

Eg: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine attritivo.*



Trave a "Solettone di copertura" (-328; -245)-(702; -245)
Geometria



Caratteristiche dei materiali
Acciaio: B450C Fyk 450000

Calcestruzzo: C30/37 Rck 37000

Elenco delle sezioni

N°	Descrizione	Tipo	Base	Altezza	Copriferro sup.	Copriferro inf.	Copriferro lat.
1	R 100x100	Rettangolare	1	1	0.05	0.05	0.05

Diagramma verifica stato limite ultimo flessione



Diagramma verifica stato limite ultimo taglio

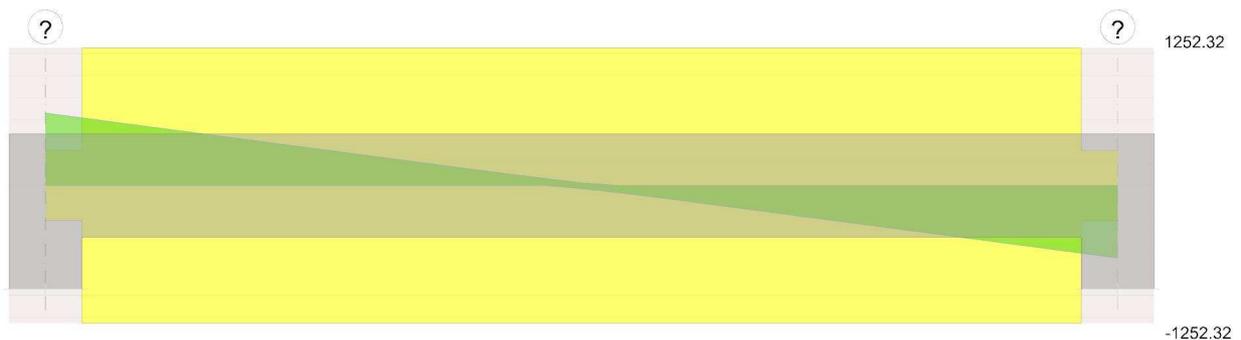
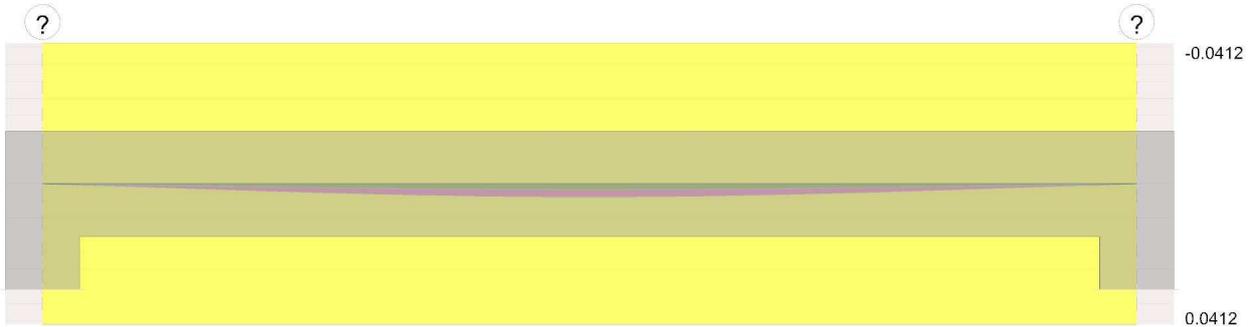


Diagramma verifica stato limite esercizio quasi permanente freccia



Verifiche a flessione in famiglia SLU

x	A sup.	C.b. sup.	A inf.	C.b. inf.	M+ela	Comb.	M+des	M+ult	x/d	coeff	M-ela	Comb.	M-des	M-ult	x/d	coeff	Verifica
0	0.002262	0.076	0.002262	0.076							-884.5677	SLU 26	-769.5275	-797.7046	0.077	1.04	Si
0.35	0.002262	0.076	0.002262	0.076	-261.6597	SLU Sisma	68.1881	797.7046	0.077	11.7	-666.7364	SLU 27	-666.7364	-797.7046	0.077	1.2	Si
5.15	0.002262	0.076	0.004524	0.076	863.6037	SLU 25	863.6037	1551.2897	0.108	1.8							Si
9.95	0.002262	0.076	0.002262	0.076	-272.474	SLU 3	54.9599	797.7046	0.077	14.51	-666.7364	SLU 32	-666.7364	-797.7046	0.077	1.2	Si
10.3	0.002262	0.076	0.002262	0.076							-884.5677	SLU 30	-769.5275	-797.7046	0.077	1.04	Si

Verifiche a taglio in famiglia SLU

x	A st	A sl	A sag	Vela	Comb.	Vdes	Vrd	Vrcd	Vrsd	Vult	cotgθ	coeff	Verifica
0	0	0.002262	0	658.17	SLU 26	658.17	318.27	2495.13	0	318.27	2.5	0.48	Si
0.35	0.0000154	0.002262	0	614.56	SLU 26	614.56	318.27	2495.13	1252.32	1252.32	2.5	2.04	Si
5.15	0.0000154	0.004524	0	23.55	SLU 19	23.55	400.99	2495.13	1252.32	1252.32	2.5	53.19	Si
5.15	0.0000154	0.004524	0	-26.7	SLU Sisma	-26.7	-400.99	-2495.13	-1252.32	-1252.32	2.5	46.9	Si
9.95	0.0000154	0.002262	0	-614.56	SLU 30	-614.56	-318.27	-2495.13	-1252.32	-1252.32	2.5	2.04	Si
10.3	0	0.002262	0	-658.17	SLU 30	-658.17	-318.27	-2495.13	0	-318.27	2.5	0.48	Si

Verifiche delle tensioni in esercizio

x	Rara							Quasi permanente							Verifica
	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ f.	σ f lim.	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ FRP	σ FRP lim.	
0	-612.0234	2	-532.3294	2786	18426	41792	315000	-523.5971	2	-456.7796	2391	13820			Si
0.35	-461.0021	3	-461.0021	2413	18426	36192	315000	-394.3154	2	-394.3154	2064	13820			Si
5.15	597.6284	1	597.6284	3023	18426	43030	315000	491.2716	1	491.2716	2485	13820			Si
9.95	-461.0021	8	-461.0021	2413	18426	36192	315000	-394.3154	3	-394.3154	2064	13820			Si
10.3	-612.0234	6	-532.3294	2786	18426	41792	315000	-523.5971	3	-456.7796	2391	13820			Si

Verifica di apertura delle fessure

La campata non presenta apertura delle fessure

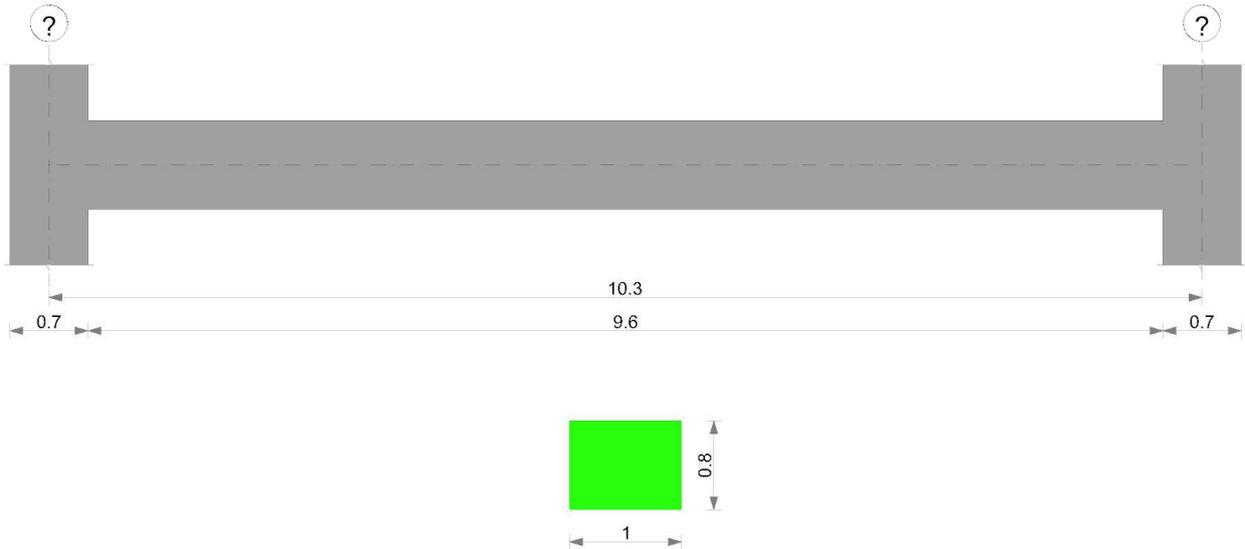
Verifica di deformabilità

x	Rara				Frequente				Quasi permanente						Verifica	
	Elastica+	Elastica-	Fess.+	Fess.-	Elastica+	Elastica-	Fess.+	Fess.-	Elastica+	Elastica-	Fess. viscosa+	Comb.	Fess. viscosa-	Comb.		l/f
0.35	0.00017	0.00013	0.00014	0.0001	0.00014	0.00012	0.00012	0.0001	0.00013	0.00012	0.0003	3	0.00025	3	9999	Si
5.15	0.00204	0.00183	0.00179	0.0016	0.00178	0.00163	0.00156	0.00143	0.00167	0.00164	0.00376	1	0.00369	1	2739	Si
9.95	0.00017	0.00013	0.00014	0.0001	0.00014	0.00012	0.00012	0.0001	0.00013	0.00012	0.0003	2	0.00025	2	9999	Si



Trave a "Solettone intermedio" (-328; -245)-(702; -245)

Geometria



Caratteristiche dei materiali

Acciaio: B450C Fyk 450000

Calcestruzzo: C30/37 Rck 37000

Elenco delle sezioni

N°	Descrizione	Tipo	Base	Altezza	Copriferro sup.	Copriferro inf.	Copriferro lat.
1	R 100x80	Rettangolare	1	0.8	0.05	0.05	0.05

Diagramma verifica stato limite ultimo flessione

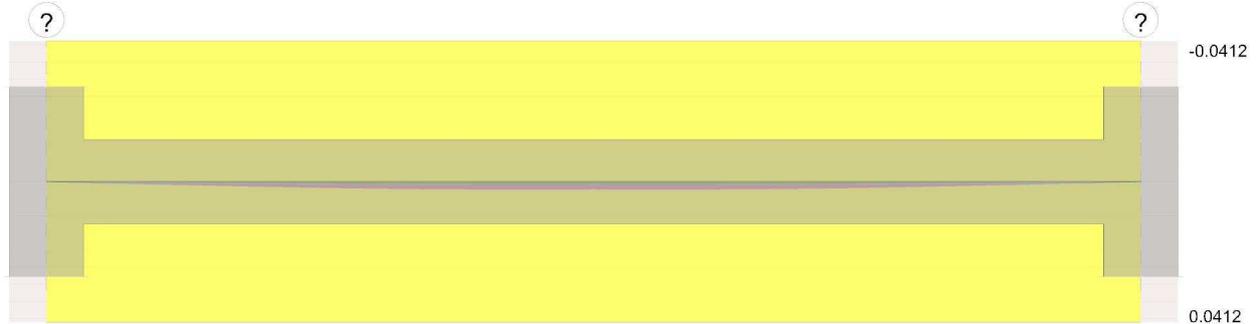


Diagramma verifica stato limite ultimo taglio





Diagramma verifica stato limite esercizio quasi permanente freccia



Verifiche a flessione in famiglia SLU

x	A sup.	C.b. sup.	A inf.	C.b. inf.	M+ela	Comb.	M+des	M+ult	x/d	coeff	M-ela	Comb.	M-des	M-ult	x/d	coeff	Verifica
0	0.003167	0.076	0.003167	0.076	99.0596	SLU Sisma	99.0596	852.0251	0.111	8.6	-663.8794	SLU 27	-613.0314	-852.0251	0.111	1.39	Si
0.35	0.003167	0.076	0.003167	0.076	131.6474	SLU Sisma	191.736	852.0251	0.111	4.44	-564.874	SLU 27	-564.874	-852.0251	0.111	1.51	Si
5.15	0.003167	0.076	0.003167	0.076	245.6616	SLU 19	279.9894	852.0251	0.111	3.04							Si
9.95	0.003167	0.076	0.003167	0.076	71.1491	SLU 3	153.8696	852.0251	0.111	5.54	-564.874	SLU 32	-564.874	-852.0251	0.111	1.51	Si
10.3	0.003167	0.076	0.003167	0.076	27.899	SLU 3	27.899	852.0251	0.111	30.54	-663.8794	SLU 32	-613.0314	-852.0251	0.111	1.39	Si

Verifiche a taglio in famiglia SLU

x	A st	A sl	A sag	Vela	Comb.	Vdes	Vrd	Vrcd	Vrsd	Vult	cotgθ	coeff	Verifica
0	0	0.003167	0	290.85	SLU 27	290.85	315.07	1955.06	0	315.07	2.5	1.08	Si
0.35	0.0000154	0.003167	0	275.18	SLU 27	275.18	315.07	1955.06	981.25	981.25	2.5	3.57	Si
5.15	0.0000154	0.003167	0	60.38	SLU 19	60.38	315.07	1955.06	981.25	981.25	2.5	16.25	Si
5.15	0.0000154	0.003167	0	-68.48	SLU Sisma	-68.48	-315.07	-1955.06	-981.25	-981.25	2.5	14.33	Si
9.95	0.0000154	0.003167	0	-275.18	SLU 32	-275.18	-315.07	-1955.06	-981.25	-981.25	2.5	3.57	Si
10.3	0	0.003167	0	-290.85	SLU 32	-290.85	-315.07	-1955.06	0	-315.07	2.5	1.08	Si

Verifiche delle tensioni in esercizio

x	Rara								Quasi permanente							Verifica
	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ f.	σ f lim.	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ FRP	σ FRP lim.		
0	-461.026	3	-424.727	5080	18426	204430	315000	-362.3866	2	-330.7057	3956	13820			Si	
0.35	-390.3821	3	-390.3821	4669	18426	187899	315000	-300.8588	2	-300.8588	3599	13820			Si	
5.15	177.2859	3	198.8467	1511	18426	22665	315000	166.4743	2	175.8695	1336	13820			Si	
9.95	-390.3821	8	-390.3821	4669	18426	187899	315000	-300.8588	3	-300.8588	3599	13820			Si	
10.3	-461.026	8	-424.727	5080	18426	204430	315000	-362.3866	3	-330.7057	3956	13820			Si	

Verifica di apertura delle fessure

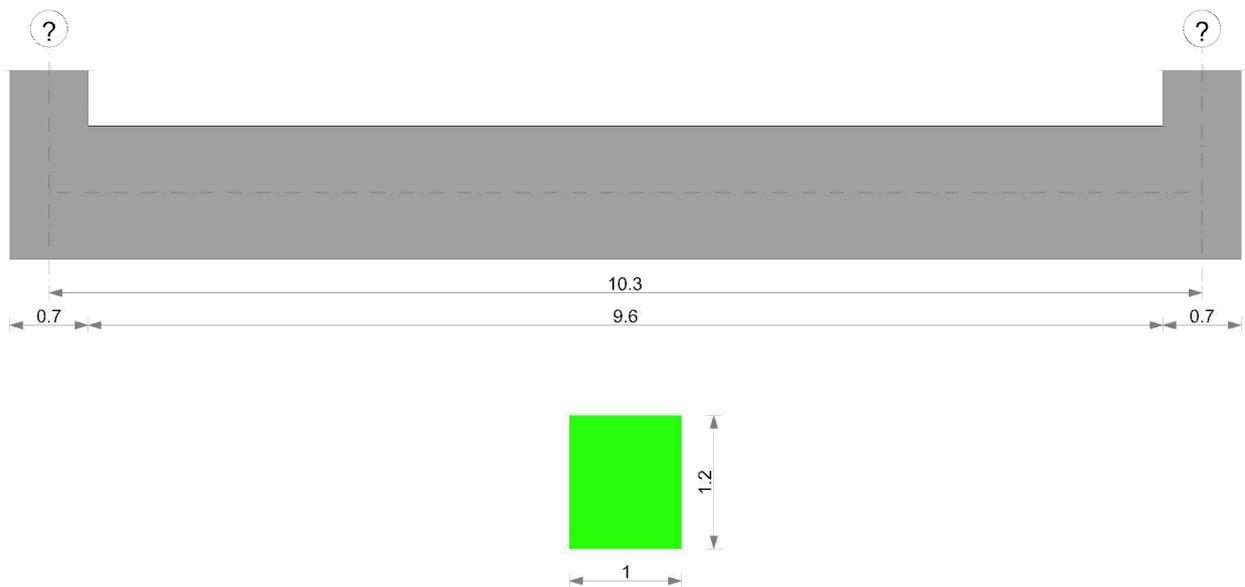
x	Bordo	Rara				Frequente				Quasi permanente				Verifica
		Dmax	Esm	Wd	Comb	Dmax	Esm	Wd	Comb	Dmax	Esm	Wd	Comb	
0	superiore	0.462	0.0006	0.000275	3	0.462	0.00049	0.000227	3	0.462	0.00046	0.000214	2	Si
0.35	superiore	0.462	0.00055	0.000253	3	0.462	0.00045	0.000208	3	0.462	0.00042	0.000195	2	Si
9.95	superiore	0.462	0.00055	0.000253	8	0.462	0.00045	0.000208	8	0.462	0.00042	0.000195	3	Si
10.3	superiore	0.462	0.0006	0.000275	8	0.462	0.00049	0.000227	8	0.462	0.00046	0.000214	3	Si

Verifica di deformabilità



x	Rara				Frequente				Quasi permanente						Verifica	
	Elastica+	Elastica-	Fess.+	Fess.-	Elastica+	Elastica-	Fess.+	Fess.-	Elastica+	Elastica-	Fess. viscosa+	Comb.	Fess. viscosa-	Comb.		l/f
0.35	0.00014	-0.00001	0.00012	-0.00003	0.00011	0.00001	0.0001	-0.00001	0.0001	0.00001	0.00023	3	0	3	9999	Si
4.46	0.00109	0.00092	0.00095	0.0008	0.00103	0.00088	0.0009	0.00077	0.00099	0.00089	0.00221	3	0.00198	3	4653	Si
5.15	0.00103	0.00102	0.0009	0.00089	0.00101	0.00096	0.00088	0.00084	0.00097	0.00097	0.00216	2	0.00216	2	4770	Si
9.95	0.00014	-0.00001	0.00012	-0.00003	0.00011	0.00001	0.0001	-0.00001	0.0001	0.00001	0.00023	2	0	2	9999	Si

Trave di fondazione a "Solettone di fondo" (-328; -245)-(702; -245)
Geometria



Caratteristiche dei materiali

Acciaio: B450C Fyk 450000

Calcestruzzo: C30/37 Rck 37000

Elenco delle sezioni

N°	Descrizione	Tipo	Base	Altezza	Copriferro sup.	Copriferro inf.	Copriferro lat.
1	R 100x120	Rettangolare	1	1.2	0.05	0.05	0.05

Diagramma verifica stato limite ultimo flessione

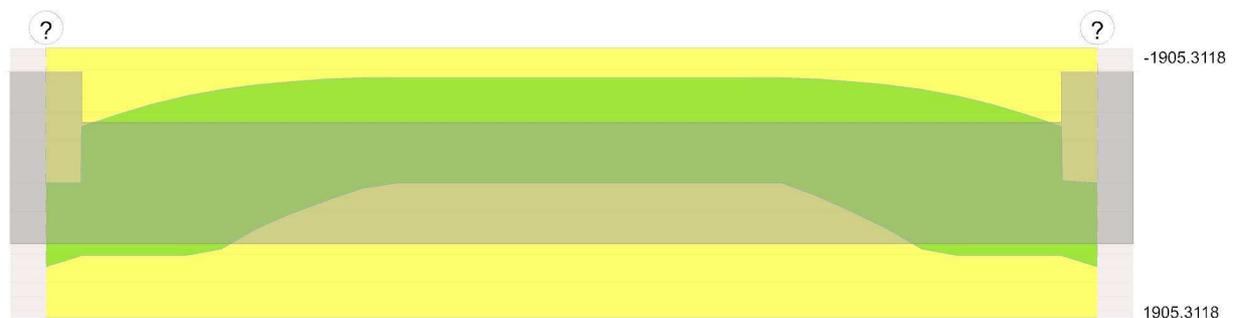


Diagramma verifica stato limite ultimo taglio



Verifiche a flessione in famiglia SLU

x	A sup.	C.b. sup.	A inf.	C.b. inf.	M+ela	Comb.	M+des	M+ult	x/d	coeff	M-ela	Comb.	M-des	M-ult	x/d	coeff	Verifica
0	0.004524	0.076	0.004524	0.076	1350.1927	SLU 32	1179.4176	1905.3118	0.08	1.62							Si
0.35	0.004524	0.076	0.004524	0.076	1020.7715	SLU 32	1020.7715	1905.3118	0.08	1.87	-7.5729	SLU 3	-796.9854	-1905.3118	0.08	2.39	Si
3.78	0.004524	0.076	0.004524	0.076							-1446.1401	SLU 26	-1488.3005	-1905.3118	0.08	1.28	Si
5.15	0.004524	0.076	0.004524	0.076							-1466.2557	SLU 25	-1488.3005	-1905.3118	0.08	1.28	Si
9.95	0.004524	0.076	0.004524	0.076	1020.7814	SLU 27	1020.7814	1905.3118	0.08	1.87	-34.5128	SLU Sisma	-796.9668	-1905.3118	0.08	2.39	Si
10.3	0.004524	0.076	0.004524	0.076	1350.1927	SLU 27	1179.4275	1905.3118	0.08	1.62							Si

Verifiche a taglio in famiglia SLU

x	A st	A sl	A sag	Vela	Comb.	Vdes	Vrd	Vrcd	Vrsd	Vult	cotgθ	coeff	Verifica
0	0.0000155	0.004524	0	-1165.23	SLU 26	-1165.23	-443.41	-3035.21	-1537.23	-1537.23	2.5	1.32	Si
0.35	0.0000155	0.004524	0	-1031.23	SLU 26	-1031.23	-443.41	-3035.21	-1537.23	-1537.23	2.5	1.49	Si
5.15	0.0000155	0.004524	0	145.99	SLU 27	145.99	443.41	3035.21	1537.23	1537.23	2.5	10.53	Si
5.15	0.0000155	0.004524	0	-165.54	SLU Sisma	-165.54	-443.41	-3035.21	-1537.23	-1537.23	2.5	9.29	Si
9.95	0.0000155	0.004524	0	1031.23	SLU 30	1031.23	443.41	3035.21	1537.23	1537.23	2.5	1.49	Si
10.3	0.0000155	0.004524	0	1165.23	SLU 30	1165.23	443.41	3035.21	1537.23	1537.23	2.5	1.32	Si

Verifiche delle tensioni in esercizio

x	Rara							Quasi permanente							Verifica
	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ f.	σ f lim.	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ FRP	σ FRP lim.	
0	936.088	8	812.6346	2690	18426	40348	315000	790.2592	3	671.9188	2224	13820			Si
0.35	698.2704	8	698.2704	2311	18426	34670	315000	563.3727	3	563.3727	1865	13820			Si
5.15	-1059.3668	1	-1072.4223	5323	18426	229568	315000	-941.1305	1	-951.2339	4721	13820			Si
9.95	698.2795	3	698.2795	2311	18426	34670	315000	563.3871	2	563.3871	1865	13820			Si
10.3	936.088	3	812.6437	2690	18426	40349	315000	790.2592	2	671.9333	2224	13820			Si

Verifica di apertura delle fessure

x	Bordo	Rara				Frequente				Quasi permanente				Verifica
		Dmax	Esm	Wd	Comb	Dmax	Esm	Wd	Comb	Dmax	Esm	Wd	Comb	
3.43	superiore	0.389	0.00067	0.00026	2	0.389	0.00069	0.000269	2	0.389	0.00066	0.000258	2	Si
5.15	superiore	0.389	0.00067	0.00026	2	0.389	0.00069	0.000269	2	0.389	0.00066	0.000258	2	Si



8.6 Sintesi delle sezioni ed armature adottate

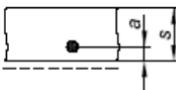
Tabella 12. Sintesi delle sezioni geometriche ed armature adottate

Elemento/Sezione		B [m]	H [m]	Af [-]	A'f [-]	Spilli [kNm]	ρ (As/Ac) [-]
Soletta copertura	campata	1,00	1,00	1 ϕ 24/10	1 ϕ 24/20	1 ϕ 14/30/40	0,007
	incastro	1,00	1,00	1 ϕ 24/20	1 ϕ 24/20	1 ϕ 14/30/40	0,005
Soletta intermedia	campata	1,00	0,80	1 ϕ 24/15	1 ϕ 24/15	1 ϕ 14/30/40	0,008
	incastro	1,00	0,80	1 ϕ 24/15	1 ϕ 24/15	1 ϕ 14/30/40	0,008
Soletta di fondo	campata	1,00	1,20	1 ϕ 24/10	1 ϕ 24/10	1 ϕ 14/30/40	0,008
	incastro	1,00	1,20	1 ϕ 24/10	1 ϕ 24/10	1 ϕ 14/30/40	0,008
Parete	incastro	1,00	0,70	1 ϕ 24/10	1 ϕ 24/10	1 ϕ 14/30/40	0,013

Verifiche di resistenza al fuoco

Si valuta la resistenza al fuoco della struttura in c.a. secondo le direttive contenute nel documento *UNI 9502:2001* e per l'esattezza si esegue la verifica della capacità portante con i metodi semplificati riportati in Appendice A ed in particolare il punto A.1 "Verifica con il sistema tabellare".

Se si verifica che la distanza a per tutte le armature dimensionate con il calcolo a freddo sia uguale o maggiore di quella riportata nel prospetto A.1, ciò è condizione sufficiente a garantire la capacità portante dell'elemento costruttivo, sempre che si possa escludere una minor capacità per riduzione di resistenza del conglomerato cementizio invece che dell'acciaio.

Acciaio	Tempo di esposizione t (min)	Fuoco su un lato 
Per acciaio ordinario (tipo 1)	30	2,00
	60	2,00
	90	2,72
	120	3,40
	180	4,50
	240	5,44

Si ipotizza la presenza del fuoco all'interno della struttura scatolare. Essendo il ricoprimento delle armature principali $c = 4,80$ cm e l'armatura adottata un $\phi 24$, si ha una distanza di calcolo comunque maggiore di 3,40 cm (REI 120) come riportato nel prospetto sopra citato.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

8.7 Verifica a galleggiamento strutture interne

Per la verifica al galleggiamento delle strutture in c.a. sottofalda, saranno considerate le seguenti configurazioni:

- Falda registrata in fase di monitoraggio
- Falda di progetto
- Falda a lungo termine (LT)

In entrambe le configurazioni, le verifiche saranno eseguite confrontando il valore di progetto della forza destabilizzante con la sommatoria di tutte le azioni permanenti stabilizzanti:

$$Vdst,d \leq Gstb;d + Rd$$

L'azione sfavorevole destabilizzante è la pressione dell'acqua sotto la piastra di fondazione e sotto la base dei micropali.

Le azioni permanenti, favorevoli alla stabilizzazione, sono il peso proprio delle strutture e il parziale ritombamento sulla soletta di copertura;

Viceversa, il peso proprio delle apparecchiature all'interno del pozzo (come ad esempio trasformatori, ventilatori, ecc.) non verrà preso in considerazione nella verifica a galleggiamento.

L'effetto complessivo di questi elementi sarà valutato considerando opportuni coefficienti di sicurezza, di cui al paragrafo 6.2.4.2 delle NTC 2018:

Tabella 13. Coefficienti amplificativi dei carichi secondo NTC 2018

	Effetto	Coefficiente parziale	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G1	Favorevole	YG1	0.9
	Sfavorevole		1.1
Carichi permanenti G2	Favorevole	YG2	0.8
	Sfavorevole		1.5
Azioni variabili Q	Favorevole	YQi	0.0
	Sfavorevole		1.5



Tabella 14. Calcolo azione stabilizzante

POZZO PORTA NUOVA						
	B	L	h	γ	C	F _{Sd}
	m	m	m	kN/m ³	-	KN
Solettone di fondo	11,00	1,00	1,20	25,00	0,90	297,00
Magrone	11,00	1,00	0,15	25,00	0,90	37,13
Finiture -2	9,60	1,00	1,00	2,50	0,80	19,20
Impalcato -1	11,00	1,00	0,80	25,00	0,90	198,00
Finiture -1	9,60	1,00	1,00	2,50	0,80	19,20
Copertura	11,00	1,00	1,00	25,00	0,90	247,50
Ricoprimento	11,00	1,00	1,80	18,00	0,80	285,12
Pareti 70	1,00	8,40	0,70	25,00	0,90	132,30
						1235,45

Tabella 15. Verifica al galleggiamento e calcolo del SF

	A	Z _{falda}	h _{falda}	γ	C	F _{Sd}	SF
	m	m	m	kN/m ³	-	KN	-
Falda attuale	-	-	-	-	-	-	-
Falda progetto	-	-	-	-	-	-	-
Falda LT	11,00	11,60	1,75	10,00	1,10	211,75	5,83



9. SEZIONE TRASVERSALE DEL POZZO

L'elemento strutturale pozzo è stato dimensionato come tubo circolare sottoposto a una pressione radiale esterna uniformemente distribuita, secondo lo schema statico riportato in figura.

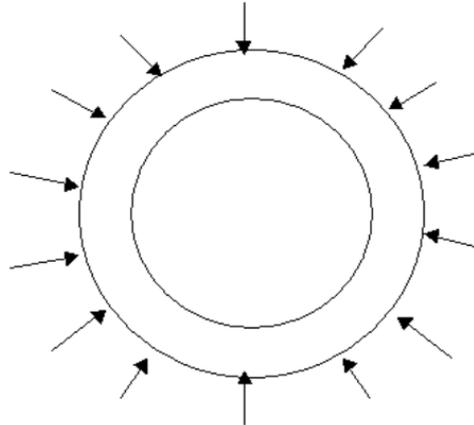


Figura 17. Schema statico della sezione trasversale del pozzo

Il pozzo è pertanto sottoposto ad una sollecitazione di compressione semplice ricavabile per mezzo della formula di Mariotte:

$$N_{sk} = q \cdot \frac{d}{2}$$

Essendo:

- q spinta orizzontale del terreno calcolata a fondo pozzo d diametro del pozzo;
- d diametro del pozzo, espresso come sotto riportato (640cm);
- $q = k_0 \sigma'_v + q_{var} + h_w + \gamma_w$
- k_0 coefficiente di spinta a riposo;
- σ'_v tensione efficace a quota fondo pozzo;
- h_w battente idraulico;
- γ_w peso specifico dell'acqua;
- q_{var} massimo tra il carico variabile stradale ed il carico generato dal fabbricato presente in superficie;



Tabella 16. Calcolo del carico agente

<i>Calcolo della spinta orizzontale del terreno calcolata a fondo pozzo e del conseguente N_{Ek}</i>									
k_0	h_z	Y_{sat}	σ'_v	q_{var}	h_w	Y_w	q	d	N_{Ek}
[-]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[m]	[kN]
0,412	40,40	20,4	824,16	20,6	28,9	10	467	6,8	1588

Per le verifiche allo Stato Limite Ultimo le sollecitazioni caratteristiche sono state opportunamente moltiplicate per il coefficiente amplificativo 1,5 in conformità con quanto previsto dalla normativa vigente.

Tabella 17. Risultato della verifica condotta

Pozzo	q	Sezione resistente: geometria ed armature adottate					Verifica e calcolo FS			
		B	H	A _f	A' _f	c	N_{Ed}	N_{Rd}	FS	ρ
[-]	[kN/m ²]	[cm]	[cm]	[-]	[-]	[cm]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
PPN	467	100	40	5 Φ 16	5 Φ 16	6	2382	7170	3,01	0,005



10. SOLETTONE DI FONDO DEL POZZO

I solettoni vengono calcolati con lo schema di appoggio e carico uniformemente distribuito dovuto al battente d'acqua.

Applicando le formule del Bares, le sollecitazioni di momento e taglio valgono rispettivamente:

$$M_{sk} = q \frac{a^2}{16} (3 + \mu)(1 - \rho^2)$$

$$V_{sk} = 0,5 q a \rho$$

Essendo:

- $\rho = \frac{r}{a}$
- $\mu = 0,25$

indicando con r l'ascissa considerata lungo la direzione del raggio e a il raggio del pozzo (320 cm). La verifica è stata condotta sia a lungo termine sia a breve termine, considerando i corrispondenti battenti d'acqua.

Verifica a breve termine: - profondità di falda -14,60m;

Verifica in esercizio: - profondità di falda -11,60m; - quota intradosso fondazione -35,60m;

Tabella 18. Sollecitazioni caratteristiche

	Calcolo sollecitazioni caratteristiche						
	r	a	μ	ρ	q	M_{sk}	V_{sk}
	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN/m ²]	[kNm]	[kN]
a breve termine	3,40	3,40	0,25	1,00	259	0	440
	0,00	3,40	0,25	0,00	259	608	0
In esercizio	3,40	3,40	0,25	1,00	289	0	491
	0,00	3,40	0,25	0,00	289	679	0

Per le verifiche allo Stato Limite Ultimo le sollecitazioni caratteristiche sono state opportunamente moltiplicate per il coefficiente amplificativo 1,5 in conformità con quanto previsto dalla normativa vigente.

(*) $\gamma = 1,5$

Tabella 19. Momento flettente di calcolo

Verifica	M_{sd} [kNm] (*)	B [m]	H [m]	A_f	A'_f	M_{Rd} [kNm]	FS [-]	ρ (As/Ac) [-]
Breve termine	912	1,00	1,00	1 Φ 24/10	1 Φ 24/10	1552	1,70	0,009
In esercizio	1018	1,00	1,00	1 Φ 24/10	1 Φ 24/10	1552	1,52	0,009

(*) $\gamma = 1,5$

Tabella 20. Taglio di calcolo

Verifica	V _{sd} [kN] (*)	B [m]	H [m]	Spilli	V _{rd} [kN]	V _{rds} [kN]	V _{rdc} [kN]	FS [-]
Breve termine	660	1,00	1,00	1Φ14/40/40	402	822	2511	1,25
In esercizio	736	1,00	1,00	1Φ14/40/40	402	822	2511	1,12

(**) $\gamma = 1,00$

Tabella 21. Verifiche allo SLE

Verifica	M _{sk} [kNm] (**)	N _{sk} [kN] (**)	σ _s [MPa]	σ _c [MPa]	x [mm]	w [mm]
Breve termine	608	0	158,35	-4,03	257	0,144
Lungo termine	679	0	176,85	-4,49	257	0,169

I valori massimi di confronto sono:

$$\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 30 = 13,50 \text{ MPa}$$

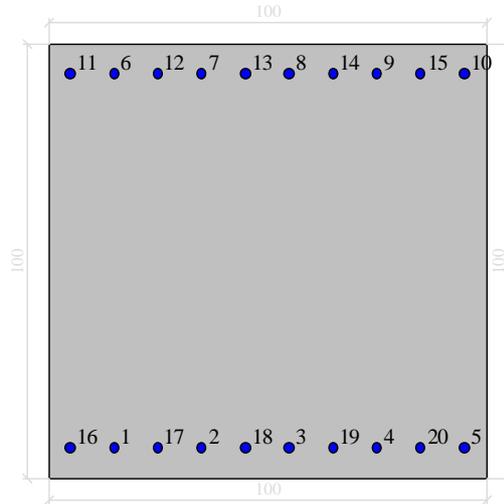
$$\sigma_s = 0,70 f_{yk} = 0,70 \times 430 = 301 \text{ MPa}$$

$$w_{max} = 0,30 \text{ mm}$$

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.



Dati di input



Dati generali

Unità di misura daN, cm

Primo limite deformativo del cls -.002

Secondo limite deformativo del cls -.0035

Limite deformativo dell'acciaio .01

Molt. gamma c in compressione semplice 1.25

Materiali per i poligoni

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Ec = 140000	Ec=140000
2	Par.Rett.	Rck 370 SLU	fcd=-174 ec1=-0.002 ec2=-0.0035

Materiali per le armature

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Es = 2100000	Es=2100000
2	Lin.Rett.	B450C (SLU)	Es=2100000 fyd=3913.04

Conglomerati di cls

Poligono 1 (pieno)

fctd 0 daN/cm²

Ec 140000 daN/cm²

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Materiale : Lineare $E_c = 140000$

deformazione iniziale impressa:

Tetha X = 0

Tetha Y = 0

Epsilon(0,0)= 0

n°	X(cm)	Y(cm)
1	-50.	-50.
2	-50.	50.
3	50.	50.
4	50.	-50.

Armature

n°	Ø(mm)	X(cm)	Y(cm)	Eps.iniz.	pol.	tipo
1	24.	-35.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
2	24.	-15.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
3	24.	5.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
4	24.	25.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
5	24.	45.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
6	24.	-35.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
7	24.	-15.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
8	24.	5.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
9	24.	25.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
10	24.	45.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
11	24.	-45.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
12	24.	-25.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
13	24.	-5.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
14	24.	15.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
15	24.	35.	43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
16	24.	-45.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
17	24.	-25.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
18	24.	-5.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
19	24.	15.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000
20	24.	35.	-43.	0.	1	Lineare Es = 2100000

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Valutazione delle tensioni

Unità di misura daN, cm

Verifica n° 1*Sollecitazioni riferite al baricentro*

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(daN)	sc,max(daN/cm q)	sc,min(daN/cm q)	sf,max(daN/cm q)	sf,min(daN/cm q)	sp,max(daN/cm q)	sp,min(daN/cm q)
6080000	0	0	0.0	-40.3	1583.5	-439.7	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
2,723549E-04	1,120270E-05	-1,230774E-22	-2,87780E-04	8,32490E-04	7,54071E-04

Hutile (d)=93,

X asse n.=25,68845896 cm

X/d =0,276219989

scarto di convergenza = 1,84E-08 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cm^q

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm ^q)	Jxid(cm ⁴)	Jyid(cm ⁴)	Jxyid(cm ⁴)	Jnd(cm ⁴)
0.	-24.31	3926.013923	3.876617E+06	3.260369E+06	-8.767115E-11	3.876617E+06

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	1.120270E-05	-1.230774E-22	2.723549E-04

Eq.asse n.: X*(1,230774E-22) + Y*(1,120270E-05) + (2,723549E-04) = 0

Verifica n° 2*Sollecitazioni riferite al baricentro*

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(daN)	sc,max(daN/cm q)	sc,min(daN/cm q)	sf,max(daN/cm q)	sf,min(daN/cm q)	sp,max(daN/cm q)	sp,min(daN/cm q)
6790000	0	0	0.0	-45.0	1768.5	-491.0	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

3,041595E-04	1,251091E-05	2,240727E-22	-3,21386E-04	9,29705E-04	8,42129E-04
--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	-------------

Hutile (d)=93,

X asse n.=25,68845896 cm

X/d =0,276219989

scarto di convergenza = 1,84E-08 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cm^q

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm ^q)	Jxid(cm ⁴)	Jyid(cm ⁴)	Jxyid(cm ⁴)	Jnd(cm ⁴)
0.	-24.31	3926.013923	3.876617E+06	3.260369E+06	-8.048478E-11	3.876617E+06

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	1.251091E-05	2.240727E-22	3.041595E-04

Eq.asse n.: $X*(-2,240727E-22) + Y*(1,251091E-05) + (3,041595E-04) = 0$ *Verifiche a fessurazione*

Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K1	K2	Beta1	Beta2
6080000	0	0	15	0.144	0.144	287	5.0171E-04	20.6	0.8	0.5	1	0.5
6790000	0	0	15	0.1693	0.1693	287	5.8976E-04	20.6	0.8	0.5	1	0.5



11. RIVESTIMENTO DEFINITIVO DEL CUNICOLO DI COLLEGAMENTO DEL POZZO

Per le verifiche delle sezioni degli elementi costituenti il rivestimento definitivo del cunicolo di collegamento del pozzo si fa riferimento alle sollecitazioni riportate nello specifico elaborato (quale MTL2T1A2D-STRPPNR003) amplificate degli opportuni coefficienti sicurezza a seconda della verifica oggetto di studio.

Per le verifiche allo Stato Limite Ultimo le sollecitazioni caratteristiche sono state opportunamente moltiplicate per il coefficiente amplificativo 1,5 in conformità con quanto previsto dalla normativa vigente.

(*) $\gamma = 1,5$

Tabella 22. Verifiche a pressoflessione allo SLU

Elemento/Sezione [-]	M_{sd} [kNm]	N_{sd} [kN]	B [m]	H [m]	A_f	A'_f	ρ (A_s/A_c) [-]	M_{Rd} [kNm]	FS [-]
Arco rovescio	-315,45	-1058,85	1,00	0,65	1 Φ 20/20	1 Φ 20/20	0,005	1102,29	3,49
Piedritto	-292,05	-953,40	1,00	0,50	1 Φ 20/20	1 Φ 20/20	0,006	638,52	2,18
Calotta	-241,35	-1029,30	1,00	0,50	1 Φ 20/20	1 Φ 20/20	0,006	740,57	3,07

(*) $\gamma = 1,5$

Tabella 23. Verifiche a taglio allo SLU

Elemento/Sezione [-]	V_{sd} [kN] (*)	B [m]	H [m]	Spilli	V_{rd} [kN]	V_{rds} [kN]	V_{rdc} [kN]	FS [-]
Arco rovescio	106,25	1,00	0,65	1 Φ 16/20/20	225,72	1749,21	1825,32	16,67
Piedritto	-597,15	1,00	0,50	1 Φ 14/20/20	327,15	1325,84	1348,15	2,22
Calotta	200,70	1,00	0,50	1 Φ 14/20/20	337,39	1325,84	1358,74	6,67

(**) $\gamma = 1,00$

Tabella 24. Verifiche allo SLE

Elemento/Sezione [-]	M_{sk} [kNm] (**)	N_{sk} [kN] (**)	σ_s [MPa]	σ_c [MPa]	x [mm]	w [mm]
Arco rovescio	-210,30	-705,90	67,53	-4,79	30,05	Non fessurata
Piedritto	-194,70	-635,60	127,60	-7,00	20,31	0,13
Calotta	-160,90	-682,20	72,87	-5,68	24,27	Non fessurata



I valori massimi di confronto sono:

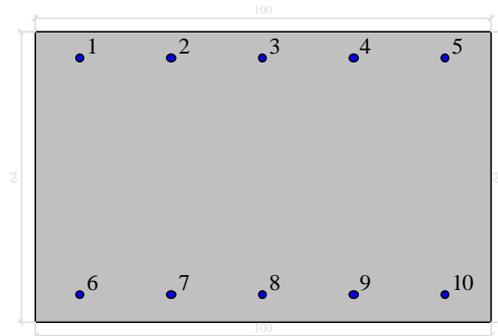
$$\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 30 = 13,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 0,70 f_{yk} = 0,70 \times 430 = 301 \text{ MPa}$$

$$w_{max} = 0,30 \text{ mm}$$

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.

Dati di input e verifiche all'esercizio Arco Rovescio



Dati generali

Unità di misura daN, cm

Primo limite deformativo del cls -.002

Secondo limite deformativo del cls -.0035

Limite deformativo dell'acciaio .01

Molt. gamma c in compressione semplice 1.25

Materiali per i poligoni

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Ec = 140000	Ec=140000
2	Par.Rett.	Rck 370 SLU	fcd=-174 ec1=-0.002 ec2=-0.0035

Materiali per le armature

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Es = 2100000	Es=2100000

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

2	Lin.Rett.	B450C (SLU)	Es=2100000 fyd=3913.04
---	-----------	-------------	------------------------

Conglomerati di cls

Poligono 1 (pieno)

fctd 0 daN/cm^qEc 140000 daN/cm^q

Materiale : Lineare Ec = 140000

deformazione iniziale impressa:

Tetha X = 0

Tetha Y = 0

Epsilon(0,0)= 0

n°	X(cm)	Y(cm)
1	-50.	-32.
2	-50.	32.
3	50.	32.
4	50.	-32.

Armature

n°	Ø(mm)	X(cm)	Y(cm)	Eps.iniz.	pol.	tipo
1	20.	-40.	26.276254	0.	1	Lineare Es = 2100000
2	20.	-20.	26.276254	0.	1	Lineare Es = 2100000
3	20.	0.	26.276254	0.	1	Lineare Es = 2100000
4	20.	20.	26.276254	0.	1	Lineare Es = 2100000
5	20.	40.	26.276254	0.	1	Lineare Es = 2100000
6	20.	-40.	-26.28	0.	1	Lineare Es = 2100000
7	20.	-20.	-26.28	0.	1	Lineare Es = 2100000
8	20.	0.	-26.28	0.	1	Lineare Es = 2100000
9	20.	20.	-26.28	0.	1	Lineare Es = 2100000
10	20.	40.	-26.28	0.	1	Lineare Es = 2100000

Valutazione delle tensioni nella famiglia Combinazioni

Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	sc,max(daN/cm ^q)	sf,max(daN/cm ^q)	sp,min(daN/cm ^q)	sp,max(daN/cm ^q)
1	5710000	0	0	-133.4	6777.9	0.0	0.0

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo – Lotto Costruttivo 2: Bologna-Politecnico
Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di calcolo strutture	01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Valutazione delle tensioni nella combinazione peggiore

Tensione massima del cls

Sc,min -133.38

Famiglia di combinazioni: Combinazioni

combinazione:

Mx 5710000

My 0

N 0

Tensione massima dei profili

Sp,min 0

Sp,max 0

Famiglia di combinazioni: Combinazioni

combinazione:

Mx 5710000

My 0

N 0

Tensione massima delle armature

Sf,max 6777.88

Famiglia di combinazioni: Combinazioni

combinazione:

Mx 5710000

My 0

N 0

Valutazione delle tensioni

Unità di misura daN, cm

Verifica n° 1

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(da N)	sc,max(daN/c mq)	sc,min(daN/c mq)	sf,max(daN/c mq)	sf,min(daN/c mq)	sp,max(daN/c mq)	sp,min(daN/c mq)
2103000	0	-70590	0.0	-47.9	675.4	-582.3	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
2,217705E-05	1,139577E-05	-6,809580E-23	-3,42488E-04	3,86842E-04	3,21615E-04

Hutile (d)=58,276254

X asse n.=30,05392291 cm

X/d =0,515714734

scarto di convergenza = 6,28E-08 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cm²

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm ²)	Jxid(cm ⁴)	Jyid(cm ⁴)	Jxyid(cm ⁴)	Jnd(cm ⁴)
0.	-14.67	3476.631189	6.689542E+05	2.881485E+06	-5.437738E-12	6.689542E+05

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	1.139577E-05	-6.809580E-23	2.217705E-05

Eq.asse n.: $X*(6,809580E-23) + Y*(1,139577E-05) + (2,217705E-05) = 0$

Verifiche a fessurazione

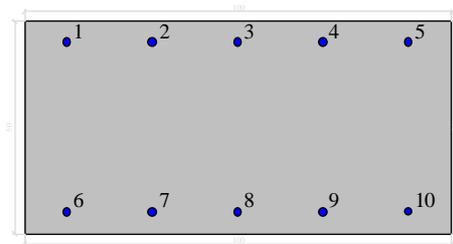
Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K1	K2	Beta1	Beta2
2103000	0	-70590	15	0	0	0	0.0000E00	20.6	0.8	0.5	1	0.5



Dati di input e verifiche all'esercizio piedritti e calotta



Dati generali

Unità di misura daN, cm

Primo limite deformativo del cls -.002

Secondo limite deformativo del cls -.0035

Limite deformativo dell'acciaio .01

Molt. gamma c in compressione semplice 1.25

Materiali per i poligoni

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Ec = 140000	Ec=140000
2	Par.Rett.	Rck 370 SLU	fcd=-174 ec1=-0.002 ec2=-0.0035

Materiali per le armature

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Es = 2100000	Es=2100000
2	Lin.Rett.	B450C (SLU)	Es=2100000 fyd=3913.04

Conglomerati di cls

Poligono 1 (pieno)

fctd 0 daN/cm²

Ec 140000 daN/cm²

Materiale : Lineare Ec = 140000

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

deformazione iniziale impressa:

Tetha X = 0

Tetha Y = 0

Epsilon(0,0)= 0

n°	X(cm)	Y(cm)
1	-50.	-25.
2	-50.	25.
3	50.	25.
4	50.	-25.

Armature

n°	Ø(mm)	X(cm)	Y(cm)	Eps.iniz.	pol.	tipo
1	20.	-40.	20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
2	20.	-20.	20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
3	20.	0.	20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
4	20.	20.	20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
5	20.	40.	20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
6	20.	-40.	-20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
7	20.	-20.	-20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
8	20.	0.	-20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
9	20.	20.	-20.	0.	1	Lineare Es = 2100000
10	20.	40.	-19.997939	0.	1	Lineare Es = 2100000

Valutazione delle tensioni

Unità di misura daN, cm

Verifica n° 1

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(da N)	sc,max(daN/c mq)	sc,min(daN/c mq)	sf,max(daN/c mq)	sf,min(daN/c mq)	sp,max(daN/c mq)	sp,min(daN/c mq)
1947000	0	- 63560	0.0	-70.1	1276.4	-792.2	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
1,152842E-04	2,462574E-05	4,621519E-11	-5,00362E-04	7,30930E-04	6,07801E-04

Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Hutile (d)=45,000169

X asse n.=20,31864376 cm

X/d =0,451523722

scarto di convergenza = 6,79E-08 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cm^q

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm ^q)	Jxid(cm ⁴)	Jyid(cm ⁴)	Jxyid(cm ⁴)	Jnd(cm ⁴)
0.	-12.05	2503.09389	3.426466E+05	2.070204E+06	5.037027E+00	3.426466E+05

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	2.462574E-05	4.621519E-11	1.152842E-04

Eq.asse n.: $X*(-4,621519E-11) + Y*(2,462574E-05) + (1,152842E-04) = 0$

Verifica n° 2

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(da N)	sc,max(daN/c mq)	sc,min(daN/c mq)	sf,max(daN/c mq)	sf,min(daN/c mq)	sp,max(daN/c mq)	sp,min(daN/c mq)
1609000	0	-68220	0.0	-56.9	728.8	-677.5	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
1,221876E-05	1,674068E-05	2,710571E-11	-4,06300E-04	4,30737E-04	3,47033E-04

Hutile (d)=45,000146

X asse n.=24,27019663 cm

X/d =0,539335956

scarto di convergenza = 5,65E-09 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cm^q



Pozzo di intertratta Porta Nuova – Relazione di
calcolo strutture

01_MTL2T1A2DSTRPPNR001-0-1

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cmq)	Jxid(cm^4)	Jyid(cm^4)	Jxyid(cm^4)	Jnd(cm^4)
0.	-10.77	2898.250465	3.729393E+05	2.399501E+06	5.240287E+00	3.729393E+05

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	1.674068E-05	2.710571E-11	1.221876E-05

Eq.asse n.: $X*(-2,710571E-11) + Y*(1,674068E-05) + (1,221876E-05) = 0$

Verifiche a fessurazione

Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K1	K2	Beta1	Beta2
1947000	0	-63560	15	0.1277	0.1277	350	3.6468E-04	20.6	0.8	0.5	1	0.5
1609000	0	-68220	15	0	0	0	0.0000E00	20.6	0.8	0.5	1	0.5