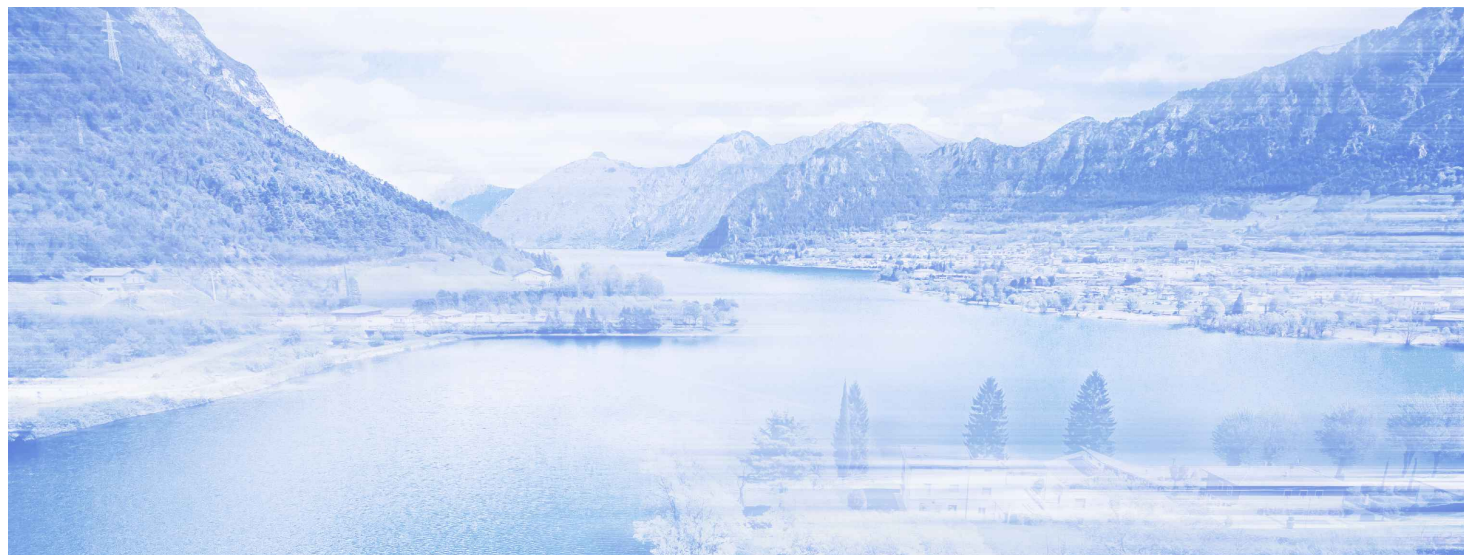


NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI



PROGETTO ESECUTIVO

IMBOCCO

OPERE PROVVISORIALI

Relazione di calcolo

| | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Fase PE | Ambito IMB | Opera OPR | Argomento GE | Progressivo 001 | Tipo elaborato RC | Revisione A |
| Redatto C. Bartolucci | | Controllato M. Ghidoli | | Approvato P. Galvanin | | Scala - Data 18/10/22 |

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO



Ing. M. Vergnani

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
ALPINA S.p.A.

Ing. Paola Erba

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
ALPINA S.p.A.

Ing. Paolo Galvanin

| REV. | DATA | OGGETTO REVISIONE | REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO |
|------|------------|-------------------|---------|-------------|-----------|
| A | 18/10/2022 | Prima emissione | CBA | MGI | PGA |
| - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - |

SOMMARIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 1 |
| 2 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 5 |
| 2.1 | Riferimenti normativi..... | 5 |
| 2.1.1 | Leggi e Decreti..... | 5 |
| 2.1.2 | Circolari Nazionali | 5 |
| 2.1.3 | Regolamenti Regionali | 5 |
| 2.1.4 | Norme Europee..... | 5 |
| 2.2 | Documenti di progetto esecutivo | 6 |
| 2.3 | Software di calcolo | 7 |
| 3 | RELAZIONE SUI MATERIALI | 8 |
| 3.1 | Calcestruzzo per strutture in cemento armato | 8 |
| 3.2 | Acciaio per armatura lenta..... | 9 |
| 3.3 | Acciaio per carpenteria metallica | 9 |
| 3.4 | Acciaio per tiranti..... | 9 |
| 4 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA..... | 10 |
| 4.1 | Inquadramento generale..... | 10 |
| 4.2 | Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici | 10 |
| 4.2.1 | Parametri geotecnici del terreno trattato | 11 |
| 4.3 | Livelli di falda..... | 12 |
| 5 | DEFINIZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO | 13 |
| 5.1 | Vita Nominale..... | 13 |
| 6 | DESCRIZIONE DELLE OPERE | 14 |
| 6.1 | Geometria delle opere e schemi di calcolo | 14 |
| 7 | CRITERI DI VERIFICA..... | 22 |
| 7.1 | Criteri di dimensionamento e modellazione delle opere | 22 |
| 7.1.1 | Analisi Statica | 22 |
| 7.1.1.1 | Combinazione statica SLU | 22 |
| 7.1.1.2 | Combinazione statica SLE..... | 23 |
| 8 | BERLINESE DI TESTATA Φ193.7/12.5MM CON TIRANTI (5 TREFOLI) | 24 |
| 8.1 | Schema di calcolo ‘Sez.1-1’ | 26 |
| 8.1.1 | Modellazione geotecnica..... | 26 |
| 8.1.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 26 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 8.1.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 27 |
| 8.1.4 | Sintesi analisi strutturale | 27 |
| 8.1.4.1 | Verifica strutturale micropalo SLU..... | 28 |
| 8.1.4.2 | Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3 | 28 |
| 8.1.4.3 | Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti | 28 |
| 8.1.4.4 | Verifica strutturale trave di coronamento in c.a..... | 29 |
| 8.1.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO..... | 30 |
| 8.1.5.1 | Verifica di stabilità globale..... | 30 |
| 8.1.5.2 | Verifica della spinta a valle della paratia | 31 |
| 8.1.5.3 | Verifica sfilamento tirante..... | 32 |
| 8.2 | Schema di calcolo ‘Sez.2-2’ | 33 |
| 8.2.1 | Modellazione geotecnica..... | 33 |
| 8.2.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 33 |
| 8.2.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 34 |
| 8.2.4 | Sintesi analisi strutturale | 34 |
| 8.2.4.1 | Verifica strutturale micropalo SLU..... | 35 |
| 8.2.4.2 | Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3 | 35 |
| 8.2.4.3 | Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti | 36 |
| 8.2.4.4 | Verifica strutturale trave di coronamento in c.a..... | 36 |
| 8.2.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO | 36 |
| 8.2.5.1 | Verifica di stabilità globale..... | 36 |
| 8.2.5.2 | Verifica della spinta a valle della paratia | 36 |
| 8.2.5.3 | Verifica sfilamento tirante..... | 36 |
| 9 | MURO PREFABBRICATO TIPO ‘TENSITER’..... | 38 |
| 10 | PALI TIPO “A1-A2” Φ900/600 L=17M | 39 |
| 10.1 | Modellazione geotecnica | 40 |
| 10.2 | Descrizione delle fasi di calcolo..... | 40 |
| 10.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 41 |
| 10.4 | Sintesi analisi strutturale..... | 42 |
| 10.4.1 | Verifica strutturale palo..... | 43 |
| 10.4.1.1 | Gabbia 1 – 22 Φ 30..... | 44 |
| 10.4.1.2 | Gabbia 2 – 22 Φ 20..... | 45 |
| 10.4.2 | Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Φ 508/20mm L=12m..... | 46 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 10.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO | 47 |
| 10.5.1 | Verifica della spinta a valle della paratia..... | 47 |
| 11 | PALI TIPO “B2” Φ900/600 L=21.5M – FASE 1 (SCAVO LATO LAGO) | 48 |
| 11.1 | Modellazione geotecnica | 49 |
| 11.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 50 |
| 11.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 51 |
| 11.4 | Sintesi analisi strutturale | 51 |
| 11.4.1 | Verifica strutturale palo..... | 53 |
| 11.4.1.1 | Gabbia 22 Φ 30..... | 54 |
| 11.4.2 | Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Φ 508/20mm L=3.7m (inclinazione 45°) | 55 |
| 11.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO | 56 |
| 11.5.1 | Verifica della spinta a valle della paratia..... | 56 |
| 12 | PALI TIPO “B2” Φ900/600 L=21.5M – FASE 2 (SCAVO LATO MONTE) | 57 |
| 12.1 | Modellazione geotecnica | 58 |
| 12.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 59 |
| 12.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 60 |
| 12.4 | Sintesi analisi strutturale | 60 |
| 12.4.1 | Verifica strutturale palo..... | 62 |
| 12.4.1.1 | Gabbia 22 Φ 30..... | 63 |
| 12.4.2 | Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Φ 508/20mm L=5.5m (inclinazione 45°) | 64 |
| 12.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO | 65 |
| 12.5.1 | Verifica della spinta a valle della paratia..... | 65 |
| 13 | PALI TIPO “C1-C2” Φ900/600 L=21.5M | 66 |
| 13.1 | Modellazione geotecnica | 67 |
| 13.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 68 |
| 13.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 69 |
| 13.4 | Sintesi analisi strutturale | 69 |
| 13.4.1 | Verifica strutturale palo..... | 71 |
| 13.4.1.1 | Gabbia 22 Φ 30..... | 71 |
| 13.4.2 | Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Φ 508/20mm L=5.5m (inclinazione 45°) | 72 |
| 13.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO | 73 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 13.5.1 | Verifica della spinta a valle della paratia | 73 |
| 14 | PALI TIPO “D1” Φ900/600 L=21.5M | 74 |
| 14.1 | Modellazione geotecnica | 75 |
| 14.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 76 |
| 14.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 77 |
| 14.4 | Sintesi analisi strutturale | 77 |
| 14.4.1 | Verifica strutturale palo | 78 |
| 14.4.2 | Verifica strutturale trave di ripartizione SLU Comb. A1+M1+R3 | 79 |
| 14.4.3 | Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Φ 508/20mm L=5.9m | 80 |
| 14.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO | 81 |
| 14.5.1 | Verifica di stabilità globale | 81 |
| 14.5.2 | Verifica della spinta a valle della paratia | 82 |
| 14.5.3 | Verifica sfilamento tirante | 82 |
| 15 | TRAVE DI CORONAMENTO SU PALI SECANTI | 84 |
| 15.1 | Trave di coronamento a q.ta +365.9m | 85 |
| 15.1.1 | Modellazione comportamento nel piano orizzontale | 85 |
| 15.1.1.1 | Sollecitazioni | 88 |
| 15.1.1.2 | Schemi armatura | 90 |
| 15.1.1.3 | Verifica strutturale trave SLU | 90 |
| 15.1.1.4 | Verifica strutturale trave SLU (Mensola tozza) | 92 |
| 15.2 | Trave di coronamento a q.ta +371.9m | 96 |
| 15.2.1 | Modellazione comportamento nel piano orizzontale | 97 |
| 15.2.1.1 | Sollecitazioni | 101 |
| 15.2.1.2 | Schemi armatura | 104 |
| 15.2.1.3 | Verifica strutturale trave SLU | 105 |
| 15.2.1.4 | Verifica strutturale trave SLU (Mensola tozza) | 111 |
| 15.2.2 | Modellazione comportamento nel piano verticale | 117 |
| 15.2.2.1 | Sollecitazioni | 120 |
| 15.2.2.2 | Schemi armatura | 121 |
| 15.2.2.3 | Verifica strutturale trave SLU | 121 |
| 16 | PALANCOLE METALLICHE PUNTONATE L430 | 132 |
| 16.1 | Schema di calcolo ‘Sez.5-1’ | 133 |
| 16.1.1 | Modellazione geotecnica | 133 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 16.1.2 | Descrizione delle fasi di calcolo | 134 |
| 16.1.3 | Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti | 135 |
| 16.1.4 | Sintesi analisi strutturale | 136 |
| 16.1.4.1 | Verifiche allo SLU di tipo STR..... | 136 |
| 16.1.5 | Verifica allo SLU di tipo GEO..... | 139 |
| 16.1.5.1 | Verifica di stabilità globale | 139 |
| 16.1.5.2 | Verifica della spinta a valle della paratia | 140 |
| 17 | TAPPO DI FONDO IN JET GROUTING – VERIFICA AL SOLLEVAMENTO..... | 141 |
| 17.1 | Pali Secanti Tipo ‘A1-A2’..... | 141 |
| 17.2 | Pali Secanti Tipo ‘B2’ – Fase 1 | 142 |
| 17.3 | Pali Secanti Tipo ‘B2’ – Fase 2 | 143 |
| 17.4 | Pali Secanti Tipo ‘C1-C2’ | 144 |
| 17.5 | Pali Secanti Tipo ‘D1’ | 145 |
| 17.6 | Palancole Metalliche Puntionate | 146 |
| 18 | MONITORAGGIO..... | 148 |
| 18.1 | Schema di monitoraggio | 148 |
| 18.1.1 | Frequenza delle letture..... | 149 |
| 18.1.2 | Valori di soglia e gestione dei dati | 150 |
| 18.2 | Caratteristiche tecniche strumentazione di monitoraggio | 152 |
| 18.2.1 | Mire ottiche per la misura degli spostamenti..... | 152 |
| 18.2.2 | Strain gauges | 152 |
| 18.2.3 | Celle di carico per tiranti | 152 |
| 18.2.4 | Tubi inclinometrici fissi..... | 153 |

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento a livello di progettazione esecutiva delle opere provvisorie previste nell'area di imbocco della galleria naturale lato Idro. Esse ricadono nell'ambito dei lavori delle Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del lago d'idro.

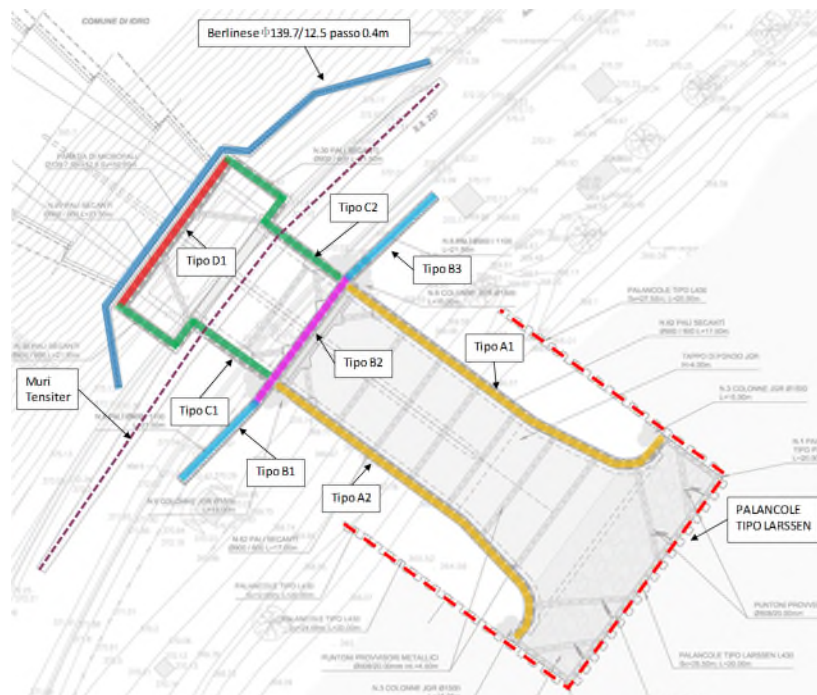
L'imbocco della galleria idraulica lato Idro prevede la realizzazione di diverse opere strutturali che si estendono dal lago d'Idro fino a monte della Via Nazionale S.S. 237, interferendo con la S.S.237 stessa. Una vista d'insieme dell'intervento è rappresentata in Figura 1-1. Come si evince dalla planimetria, è prevista la realizzazione di opere provvisorie, necessarie al sostegno degli scavi durante le fasi di costruzione del manufatto di imbocco. La presente relazione riporta i criteri di dimensionamento e le verifiche statiche effettuate sulle opere strutturali provvisorie. I criteri di dimensionamento e le verifiche svolte delle opere definitive sono contenute nelle relazioni PE-IMB-OSD-TP-001-RC, PE-IMB-OSD-FP-001-RC e PE-IMB-OSD-FP-002-RC alle quali si rimanda per maggiori informazioni.



Figura 1-1 Opere provvisorie planimetria di progetto

La struttura definitiva dell'imbocco è costituita da un manufatto avente due differenti configurazioni. In corrispondenza della SS 237, il manufatto prevede una sezione scatolare chiusa con setto centrale. A valle della paratia di pali frontale, il manufatto prevede due paratie definitive di pali secanti che si estendono sino all'interno del lago d'Idro e sagomano il canale ad 'U' per facilitare l'ingresso dell'acqua all'interno della galleria.

Le opere provvisionali previste per l'imbocco della galleria sono state raggruppate secondo il keyplan riportato di seguito:



| TIPOLOGIA | Diametro/passaggio [mm] | Quota estradosso trave di coronamento [m slm] | H trave di coronamento [m] | Quota testa palo [m slm] | L palo [m] |
|-----------|-------------------------|---|----------------------------|--------------------------|------------|
| Pali "A1" | 900/600 | 365.9 | 1 | 364.9 | 17 |
| Pali "A2" | 900/600 | 365.9 | 1 | 364.9 | 17 |
| Pali "B1" | 900/1100 | 371.9 | 1.5 | 370.4 | 21.5 |
| Pali "B2" | 900/600 | 371.9 | 1.5 | 370.4 | 21.5 |
| Pali "B3" | 900/1100 | 371.9 | 1.5 | 370.4 | 21.5 |
| Pali "C1" | 900/600 | 371.9 | 1.5 | 370.4 | 21.5 |
| Pali "C2" | 900/600 | 371.9 | 1.5 | 370.4 | 21.5 |
| Pali "D1" | 900/600 | 371.9 | 1.5 | 370.4 | 21.5 |

| TIPOLOGIA | Profilo | Quota testa palanca [m slm] | L palanca [m] |
|-----------|--------------|-----------------------------|---------------|
| Palanca | Larssen L430 | 368.5 | 20 |

| TIPOLOGIA | H muro [m] |
|---------------|------------|
| Muri Tensiter | 1.58÷5.50 |

| TIPOLOGIA | Profilo/spessore/passaggio [mm] | Quota estradosso trave di coronamento [m slm] | L berlinese [m] |
|-----------|---------------------------------|---|-----------------|
| Berlinese | Φ139.7/sp. 12.5/passaggio 0.4m | 374.40÷383.85 | 6÷16.5 |

Figura 1-2 Keyplan - Opere provvisionali

Si descrivono brevemente le tipologie individuate:

- Berlinese di testata di micropali con tiranti

- o Per la realizzazione del primo concio della galleria naturale è necessaria la realizzazione di una berlinese di micropali che crei lo spazio necessario alle lavorazioni di cantiere. La paratia è composta da due tratti, uno frontale ed uno laterale. Il tratto frontale è a tergo del vano paratoie e permette di realizzare il pozzo per il fabbricato paratoie e delle annesse strutture di carattere definitivo; il tratto laterale è posto ad entrambi i lati del pozzo, ha andamento obliquo e permette di collegare il fabbricato paratoie con la S.S.237 realizzando la viabilità di accesso ed il muro di sostegno definitivo. Lo sviluppo complessivo dell'opera è pari a 52m circa.

La berlinese è costituita da micropali $\varnothing 139.7$, di spessore 12.5mm, posti ad interasse 40cm. L'altezza di ritenuta varia da 3.2m ad un massimo di 12.65m. Conseguentemente, lungo lo sviluppo dell'opera sono previsti diversi da uno a cinque ordini di tiranti provvisori. Il collegamento tra tiranti e berlinese è realizzato con una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB200.

Il piano di lavoro per l'esecuzione dell'opera varia lungo lo sviluppo dell'opera stessa ed è posto ad una quota superiore della S.S.237 esistente. Il sostegno di questo materiale riportato dovrà essere garantito da una ulteriore opera provvisoria costituita da un muro prefabbricato tipo "Tensiter".

- Muro prefabbricato in conci tipo Tensiter (o equi prestazionale)

- o Per il muro prefabbricato si prevedono moduli di altezza crescente da un minimo di 1.50m ad un massimo di 5.5m. Una volta solidarizzati i moduli alla platea di fondazione gettata in opera, a tergo del muro verrà realizzato un terrapieno fino alla quota del piano di lavoro 381.30m slm previsto per la berlinese con tiranti (≈ 9 m da piano fondazione muro). Da quota testa muro a quota piano di lavoro berlinese, il terrapieno ha una pendenza di 4H:3V. Per dettagli in merito al dimensionamento di tale opera si rimanda alla relazione PE-IMB-OPR-GE-002-RC.

- Pali tipo "D1", "C1", "C2"

- o La realizzazione della berlinese con tiranti, a sostegno del terreno esistente, permette di iniziare le lavorazioni di cantiere per la costruzione delle opere di sostegno dell'imbocco della galleria e del pozzo del fabbricato paratoie.

Per l'imbocco della galleria si prevede una paratia di pali secanti di testata nominati come pali tipo 'D1' di diametro $\varnothing 900$, passo 0.6m e lunghezza 21.5m. Tale paratia è parallela al tratto frontale della berlinese tirantata ed è contrasta in testa da No. 2 puntoni metallici provvisori. I puntoni sono dei tubolari di diametro $\varnothing 508$, spessore 20mm e luce 6m. A circa 2m da quota testa palo è previsto un secondo ordine di puntoni metallici aventi le stesse caratteristiche del primo ordine. L'altezza totale di scavo è di circa 14.2m. Contro tale paratia verrà realizzata la dima di attacco della galleria naturale.

A sostegno del pozzo si prevedono due paratie di pali secanti nominati come pali tipo 'C1' e 'C2' di diametro $\varnothing 900$, passo 0.6m e lunghezza 21.5m. L'altezza totale di scavo è di circa 13.3m. Tali paratie sono in continuità da un lato con la paratia di pali 'D1' e dall'altro con la paratia frontale di pali secanti tipo "B2". L'altezza di scavo è la medesima di quella dei pali tipo 'D1'.

- Pali tipo "B1", "B2", "B3"

- o La paratia di pali secanti tipo "B2" è posizionata trasversalmente rispetto alla direzione di flusso della galleria ed è costituita da pali di diametro $\varnothing 900$, passo 0.6m e lunghezza 21.5m. Tale paratia è contrastata in testa da puntoni metallici provvisori. I puntoni sono dei tubolari di diametro $\varnothing 508$, spessore 20mm. L'altezza totale di scavo è di circa 13.3m. Le paratie di pali

tipo “B1” – “B3” forniscono continuità all'allineamento di pali tipo “B2”, non svolgendo direttamente una funzione di ritenuta, in quanto non sono previsti scavi rilevanti al piede della stessa.

Le prime fasi esecutive per la realizzazione delle opere di imbocco, riguardano lo scavo della porzione di galleria lato lago, ovvero a valle della S.S. 237.

Si rende quindi necessaria l'esecuzione di una paratia di pali secanti a sostegno della S.S. 237. Tale paratia fungerà da sostegno anche nelle fasi successive (scavo pozzo – lato monte), nelle quali verrà deviata la viabilità a valle (zona in cui la galleria sarà già stata completata e rinterrata).

- Pali tipo “A1”, “A2”
 - o Paratia di pali secanti posta ai lati dei muri del manufatto definitivo costituita da pali tipo “A1”, “A2” di diametro Ø900, passo 0.6m e lunghezza 17m. Tale paratia è contrastata in testa da puntoni metallici provvisori. I puntoni sono dei tubolari di diametro Ø508, spessore 20mm. L'altezza totale di scavo è di circa 7.3m.
- Palancole metalliche di tipo Larssen puntonate con puntoni metallici
 - o La paratia di palancole è posta nelle acque del lago e svolge il ruolo di 'cofferdam' a contenimento dell'acqua durante le fasi di costruzione delle strutture definitive. Le palancole sono costituite da profili tipo Larssen L430 (o equi prestazionali) di profondità L=20m, puntonate da profilati metallici circolari Ø508.20 di lunghezza variabile tra 6.15 e 9.0m, posti ad interasse 5.2m. Il collegamento tra puntoni e palancole è affidato ad una trave di ripartizione metallica di sezione composta da due profili HEB400 posta in asse ai puntoni metallici stessi.

Le tipologie di opere a valle della paratia frontale di cui sopra sono caratterizzate da scavi sotto la quota di falda. La falda è alla quota del Lago di Idro ed oscilla tra una quota di minima regolazione (o esercizio) pari a 364.75m ad una di massima regolazione di 368.0m slm. La quota fondo scavo del canale di imbocco è pari a 357.50m e 358.60m slm rispettivamente nella zona delle palancole metalliche parallele alla S.S.237 e nella paratia di pali frontali. Pertanto, il battente idraulico sulla quota di falda di esercizio risulta essere variabile tra 6.2 e 7.2m.

Allo scopo di contrastare la sottospinta idraulica nelle fasi di scavo, è prevista la realizzazione di un consolidamento con colonne in jet grouting tra la paratia di pali frontale e le palancole metalliche. Il trattamento jet si estende nella zona compresa tra la quota di fondo scavo dell'imbocco della galleria ed il piede delle opere provvisionali. Per maggiori dettagli sull'intervento jet si rimanda agli elaborati di 2.2.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti normativi

2.1.1 Leggi e Decreti

- [1] Legge n.1086 del 05.11.1971
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica. G.U. n.321 del 21.12.1971
- [2] Legge n.64 del 02.02.1974
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche. G.U. n.76 del 21.3.1974
- [3] Decreto Ministero delle Infrastrutture del 17.01.2018
Norme tecniche per le costruzioni.
- [4] Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse). G.U. n. 156 del 08.07.2014

2.1.2 Circolari Nazionali

- [5] Circolare del 21.01.2019 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

2.1.3 Regolamenti Regionali

- [6] Decreto Giunta Regionale – Regione Lombardia del 11.07.2014
Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.

2.1.4 Norme Europee

- [7] Eurocodice 1 "Azioni sulle strutture / Parte 1-7: Azioni generali – Azioni eccezionali" UNI EN 1991-1-7 - Settembre 2005
- [8] Eurocodice 2 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo / Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici" UNI EN 1992-1-1 - Novembre 2005
- [9] Eurocodice 7 (1997) – Progettazione geotecnica –Parte I: Regole Generali – UNI EN 1997- 1 Maggio 2009
- [10] Eurocodice 8 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica / Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici" UNI EN 1998-1 - Marzo 2005
- [11] Eurocodice 8 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica / Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" UNI EN 1998-5 – Gennaio 2005

- [12] Norma UNI EN 206-1:2016 "Calcestruzzo / Parte 1 : Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- [13] Norma UNI 11104:2016 "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206-1"

2.2 Documenti di progetto esecutivo

Di seguito si riportano gli elaborati grafici di riferimento dell'intervento in progetto a cui si rimanda per tutte le indicazioni di dettaglio.

| | | |
|------------------------|--|--------------|
| | Imbocco | |
| | Opere strutturali definitive | |
| | Generali | |
| PE-IMB-OSD-GE-001-PL | Planimetria di progetto | 1:200 |
| PE-IMB-OSD-GE-002-PZ | Pianta e sezione longitudinale | 1:100 |
| PE-IMB-OSD-GE-003-SZ | Sezioni trasversali | 1:100 |
| PE-IMB-OSD-GE-004-PL | Planimetria di tracciamento soletta di fondazione | 1:100 |
| PE-IMB-OSD-GE-005-FE | Fasi esecutive: planimetria e sezioni - Tav. 1/5 | 1:200 |
| PE-IMB-OSD-GE-006-FE | Fasi esecutive: planimetria e sezioni - Tav. 2/5 | 1:200 |
| PE-IMB-OSD-GE-007-FE | Fasi esecutive: planimetria e sezioni - Tav. 3/5 | 1:200 |
| PE-IMB-OSD-GE-008-FE | Fasi esecutive: planimetria e sezioni - Tav. 4/5 | 1:200 |
| PE-IMB-OSD-GE-009-FE | Fasi esecutive: planimetria e sezioni - Tav. 5/5 | 1:200 |
| | Tratto di presa | |
| PE-IMB-OSD-TP-001-RC-A | Relazione di calcolo | - |
| PE-IMB-OSD-TP-002-CP-A | Carpenteria e particolari costruttivi - Tav. 1/2 | 1:100 / 1:20 |
| PE-IMB-OSD-TP-003-CP-A | Carpenteria e particolari costruttivi - Tav. 2/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-TP-004-AR-A | Armatura - Tav. 1/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-TP-005-AR-A | Armatura - Tav. 2/2 | 1:50 |
| | Fabbricato paratoie | |
| PE-IMB-OSD-FP-001-RC-A | Camera paratoie - Relazione di calcolo | - |
| PE-IMB-OSD-FP-002-RC-A | Muri piazzale - Relazione di calcolo | - |
| PE-IMB-OSD-FP-003-PZ-A | Camera paratoie - Pianta e sezioni | 1:100 |
| PE-IMB-OSD-FP-004-PL-A | Planimetria di progetto e tracciamento | 1:100 |
| PE-IMB-OSD-FP-005-CP-A | Camera paratoie - Carpenteria - Tav. 1/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-006-CP-A | Camera paratoie - Carpenteria - Tav. 2/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-007-AR-A | Camera paratoie - Armatura - Tav. 1/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-008-AR-A | Camera paratoie - Armatura - Tav. 2/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-009-CP-A | Muri piazzale - Carpenteria | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-010-AR-A | Muri piazzale - Armatura - Tav. 1/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-011-AR-A | Muri piazzale - Armatura - Tav. 2/2 | 1:50 |
| PE-IMB-OSD-FP-012-FE-A | Fasi esecutive: Camera paratoie | 1:100 |
| | Opere provvisoriali | |
| PE-IMB-OPR-GE-001-RC-A | Relazione di calcolo | - |
| PE-IMB-OPR-GE-002-RC-A | Muri prefabbricati provvisori - Relazione di calcolo | - |
| PE-IMB-OPR-GE-003-PL-A | Planimetria di progetto | 1:200 |
| PE-IMB-OPR-GE-004-PT-A | Planimetria di tracciamento | 1:100 |
| PE-IMB-OPR-GE-005-PZ-A | Pianta e sviluppatte - Tratto lago | 1:100 |
| PE-IMB-OPR-GE-006-PZ-A | Pianta e sviluppatte - Tratto monte | 1:100 |

| | | |
|------------------------|---|--------------|
| PE-IMB-OPR-GE-007-SZ-A | Sezioni - Tratto lago | 1:100 |
| PE-IMB-OPR-GE-008-SZ-A | Sezioni - Tratto monte | 1:100 |
| PE-IMB-OPR-GE-009-CA-A | Pali - Carpenteria e armatura | 1:100 / 1:25 |
| PE-IMB-OPR-GE-010-CA-A | Travi di coronamento - Carpenteria e armatura | 1:100 / 1:20 |
| PE-IMB-OPR-GE-011-DT-A | Particolari costruttivi | VARIE |
| PE-IMB-OPR-GE-012-PZ-A | Muri prefabbricati provvisori - Disegni generali e tracciamento | VARIE |
| PE-IMB-OPR-GE-013-CA-A | Muri prefabbricati provvisori - Carpenteria e armatura | VARIE |
| PE-IMB-OPR-GE-014-DT-A | Tappo di fondo in Jet-Grouting | VARIE |
| | Viabilità | |
| PE-IMB-VIA-GE-001-PZ-A | Deviazione provvisoria - Planimetria, profilo e sezioni tipo | VARIE |
| PE-IMB-VIA-GE-002-SZ-A | Deviazione provvisoria - Sezioni trasversali | 1:200 |
| PE-IMB-VIA-GE-003-PL-A | Sistemazione definitiva - Planimetria | 1:250 |
| PE-IMB-VIA-GE-004-PF-A | Sistemazione definitiva - Profilo, sezioni tipo e particolari | VARIE |
| PE-IMB-VIA-GE-005-SZ-A | Sistemazione definitiva - Sezioni trasversali | 1:200 |

Tabella 1: Elenco elaborati – Imbocco – Generali e Opere provvisionali

2.3 Software di calcolo

Per eseguire le analisi numeriche riportate nella presente relazione sono stati impiegati i seguenti software:

- Software di calcolo agli elementi finiti (FEM) per il calcolo delle paratie e della stabilità globale: PARATIE PLUS 2022 (Versione 22.0.8) della Harpaceas;
- Verifica delle Sezioni in c.a.: RC-Sec della Geostru Software di Reggio Calabria (Versione 2021.11)

3 RELAZIONE SUI MATERIALI

Si riporta di seguito l'elenco con le caratteristiche principali dei materiali utilizzati per il dimensionamento e le verifiche dei vari elementi costituenti il manufatto. I materiali per le strutture in cemento armato sono differenziati in relazione alle loro funzioni.

3.1 Calcestruzzo per strutture in cemento armato

Pali e travi di ripartizione

| | |
|---------------------------------|--------|
| Classe di resistenza | C25/30 |
| Classe di esposizione | XC2 |
| Classe di consistenza | S4/S5 |
| Massimo rapporto A/C | 0.60 |
| Diametro massimo dell'aggregato | 25 mm. |
| Copriferro nominale | 40 mm |

Miscela cementizia per tiranti/micropali

| | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Classe di resistenza | C25/30 |
| Resistenza caratteristica cubica | $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ |
| Classe di esposizione | XC4-XA2 |
| Massimo rapporto A/C | 0,50 |
| Cemento tipo | 42.5R |

Soletta di copertura

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Classe di resistenza | C32/40 |
| Resistenza caratteristica cubica | $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza caratteristica cilindrica | $f_{ck} \geq 33,20 \text{ N/mm}^2$ |
| Classe di esposizione | XC4-XA2 |
| Classe di consistenza | S4 (slump 160 ÷ 210 cm) |
| Diametro massimo dell'aggregato | 20 mm |
| Massimo rapporto A/C | 0,50 |
| Contenuto minimo di cemento | 340 kg/m ³ |
| Copriferro nominale | 40 mm |

Elevazioni (setti e muri)

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Classe di resistenza | C32/40 |
| Resistenza caratteristica cubica | $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza caratteristica cilindrica | $f_{ck} \geq 33,20 \text{ N/mm}^2$ |
| Classe di esposizione | XC4-XA2 |
| Classe di consistenza | S4 (slump 160 ÷ 210mm) |
| Diametro massimo dell'aggregato | 20 mm |
| Massimo rapporto A/C | 0,50 |
| Contenuto minimo di cemento | 340 kg/m ³ |
| Copriferro nominale | 40 mm |

Platea di fondazione

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Classe di resistenza | C32/40 |
| Resistenza caratteristica cubica | $R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza caratteristica cilindrica | $f_{ck} \geq 33,20 \text{ N/mm}^2$ |
| Classe di esposizione | XC4-XA2 |
| Classe di consistenza | S4 (slump 160 ÷ 210mm) |
| Diametro massimo dell'aggregato | 25 mm |

| | |
|--|------------------------------------|
| Massimo rapporto A/C | 0,50 |
| Contenuto minimo di cemento | 340 kg/m ³ |
| Copriferro nominale | 40 mm |
| <u>Magrone di pulizia e livellamento</u> | |
| Classe di resistenza | C12/15 |
| Resistenza caratteristica cubica | $R_{ck} \geq 15 \text{ N/mm}^2$ |
| Resistenza caratteristica cilindrica | $f_{ck} \geq 12,45 \text{ N/mm}^2$ |
| Contenuto minimo di cemento | 150 kg/m ³ |

3.2 Acciaio per armatura lenta

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

| | |
|--|----------------------------------|
| Tipo di acciaio | B450C |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$ |
| Rapporto tensioni caratteristiche | $1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$ |
| Rapporto tensioni di snervamento | $(f_y/f_{y,nom})_k < 1,25$ |
| Allungamento a carico massimo | $(A_{gt})_k \geq 7,5\%$ |

3.3 Acciaio per carpenteria metallica

| | |
|---|--------|
| Armature per c.a. | B450C |
| Per carpenteria metallica opere provvisoriali | S355 |
| Per palancole provvisoriali | S355GP |

3.4 Acciaio per tiranti

| | |
|--|---------------------------------|
| Trefoli diametro nominale (pollici) | 0.6" (15.24 mm) |
| Sezione nominale | 139 mm ² |
| Acciaio per tiranti in trefoli da 0.6" stabilizzati: | |
| tensione caratteristica a rottura | $f_{ptk} \geq 1870 \text{ MPa}$ |

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Inquadramento generale

Per un quadro completo delle condizioni geotecniche ed idrogeologiche dell'opera si rimanda ai seguenti documenti di progetto esecutivo:

- PE-000-GEO-IN-001-RT-A Relazione Tecnica Indagini Geognostiche Progetto Esecutivo
- PE-000-GEO-II-002-RG-A Relazione Generale indagini integrative
- PE-000-GEO-GG-001-RH Relazione Geologica ed Idrogeologica
- PE-000-GEO-GG-002-RB Relazione di Caratterizzazione Geomeccanica
- PE-000-GEO-GG-003-RB Relazione di Caratterizzazione Geotecnica
- PE-000-GEO-SS-001-RH Relazione Sismica

4.2 Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici

L'intervento trattato nella presente relazione si riferisce alle opere provvisorie all'imbocco della galleria di bypass in corrispondenza del fabbricato paratoie, a valle della S.S. 237. Le opere in progetto saranno realizzate nei depositi detritici di versante che sono costituiti da ghiaie grossolane con clasti spigolosi con sfericità bassa, immersi in matrice sabbioso – limosa. Sono presenti frequenti porzioni cementate, ben visibili in affioramento.

Di seguito si riporta invece uno stralcio del profilo geologico del terreno interessato dall'opera ed i relativi parametri geotecnici utilizzati nel dimensionamento delle opere oggetto della presente relazione.

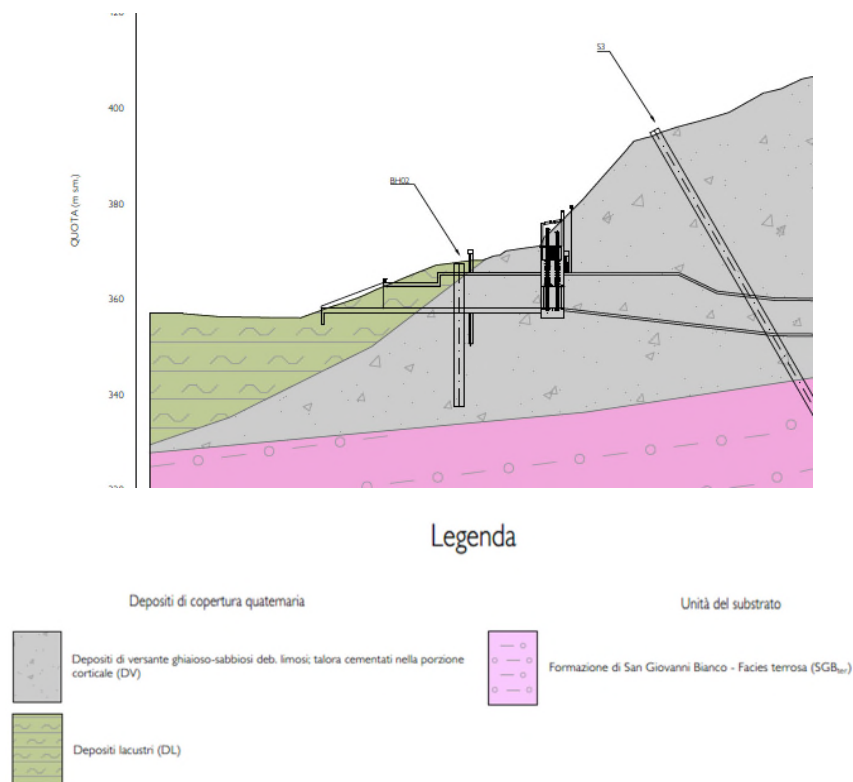


Figura 4-1 Sezione geologica imbocco nord

| IMBOCCO_LATO MONTE S.S. 237_a partire da quota 383.6m slm | | | | | | | | |
|---|-------|----------------------------------|------------|-------|--------------------------------|---------|-------|-----------------|
| Stratigrafia | | | Profondità | | Proprietà fisiche e meccaniche | | | |
| | | | | | γ_n | ϕ' | c' | E25 (operativo) |
| | | | da [m] | a [m] | [kN/m ³] | [°] | [kPa] | [MPa] |
| Strato 2 | G,S,L | Ghaia sabbiosa debolmente limosa | 0 | 5 | 20 | 40 | 0 | 60 |
| | | | 5 | 25 | 20 | 41 | 0 | 90 |
| | | | 25 | > | 20 | 40 | 0 | 130 |

Tabella 2 Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Lato Monte S.S. 237

| IMBOCCO_LATO VALLE S.S. 237_a partire da quota 372.7m slm | | | | | | | | |
|---|--------|----------------------------------|------------|-------|--------------------------------|---------|-------|-----------------|
| Stratigrafia | | | Profondità | | Proprietà fisiche e meccaniche | | | |
| | | | | | γ_n | ϕ' | c' | E25 (operativo) |
| | | | da [m] | a [m] | [kN/m ³] | [°] | [kPa] | [MPa] |
| Strato 2 | G,S,AL | Ghaia sabbiosa debolmente limosa | 0 | 2 | 20 | 40 | 0 | 20 |
| | | | 2 | 14 | 20 | 41 | 0 | 80 |
| | | | 14 | 15.5 | 20 | 39 | 0 | 15 |
| | | | 15.5 | 30 | 20 | 40 | 0 | 130 |

Tabella 3 Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Lato Valle S.S. 237

4.2.1 Parametri geotecnici del terreno trattato

I parametri di riferimento utilizzati negli schemi di calcolo per simulare la presenza del terreno trattato sono indicati di seguito.

- Iniezioni consolidamento per avanzamento galleria naturale

Strato: DDv_2 Sabbia/ghiaia

- o modulo E_{c50} del terreno consolidato
- o coesione del terreno consolidato

$$E_{vc} \geq 90 \cdot 1.7 = 153 \text{ MPa}$$

$$c' \geq 150 \text{ kPa}$$

- Consolidamento jet sotto quota fondo scavo pozzo

Strato: DDv_2 Sabbia/ghiaia

- o coesione del terreno consolidato
- o modulo E_{c50} del terreno consolidato

$$c' \geq 750 \text{ kPa}$$

$$E_{vc} \geq 90 \cdot 16.7 = 1500 \text{ MPa}$$

4.3 Livelli di falda

Nell'area di imbocco della galleria naturale la quota di falda è fissata dal livello dell'acqua del lago d'Idro che oscilla tra un livello di minima ed uno di massima regolazione rispettivamente pari a 366.08m slm e 368.00m slm.

Per il dimensionamento delle tipologie di strutture oggetto della presente relazione, la posizione della falda è assunta alle quote seguenti:

- Berlinese di pali con tiranti:
 - o Le quote di falda di esercizio e massima regolazione sopra descritte risultano essere inferiori alla quota di fondo scavo prevista per tale opera.
- Muro di sostegno a mensola prefabbricato
 - o la quota di intradosso fondazione muro è al di sopra della quota di massima regolazione del Lago. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione di calcolo PE-IMB-PAR-GE-002-RC.
- Pali secanti "D1" - "C1" - "C2" - "B2"
 - o La quota della falda è stata assunta alla quota di massima regolazione di 368.0m slm
- Pali secanti "A1" - "A2"
 - o La quota della falda è stata assunta alla quota di regolazione lago a 365.65m slm
- Palancole metalliche di tipo Larssen puntonate.
 - o Come accennato in §1, la falda è alla quota del Lago di Idro ed oscilla tra una quota di minima regolazione (o esercizio) pari a 364.75m ad una di massima regolazione di 368.0m slm. La quota di esercizio è stata utilizzata per la verifica a sollevamento del tampone di fondo in jet grouting. La quota di massima regolazione è stata invece utilizzata per le verifiche strutturali e geotecniche delle palancole metalliche.

5 DEFINIZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'opera strutturale secondo quanto esposto nelle "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018 (NTC 2008) [3], e in accordo con lo specifico D.M. 26/06/2014 – "Norme tecniche per la progettazione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" [4].

5.1 Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

| TIPI DI COSTRUZIONE | V_N (anni) |
|-------------------------|------------------------------|
| 1 - Opere provvisorie | ≤ 10 |
| 2 - Opere ordinarie | ≥ 50 |
| 3 - Grandi opere | ≥ 100 |

Tabella 4 Tipo e vita nominale V_N dell'opera

Nel caso in esame si è fatto riferimento al tipo 3 – Grandi opere - con vita nominale pari a $V_N = 100$ anni. Ai sensi del paragrafo 2.4.I delle NTC2018, la verifica sismica può essere omessa in quanto il tempo di realizzazione previsto per le opere provvisoriali in esame è inferiore a 2 anni.

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE

6.1 Geometria delle opere e schemi di calcolo

La costruzione della soglia di imbocco della galleria artificiale e del primo tratto di galleria naturale lato lago richiedono la realizzazione di opere provvisorie per mettere in secca l'area di cantiere e conseguentemente la realizzazione di opere di sostegno definitive. Le opere in esame si estendono dal lago d'Idro fino a monte della Via Nazionale S.S. 237, interferendo con la S.S. 237 stessa.

Le opere provvisorie previste all'imbocco della galleria naturale sono le seguenti:

- Berlinese di testata di micropali con tiranti
 - o Come anticipato nel Par. §1, la berlinese ha funzione di creare l'area di cantiere necessaria alla costruzione del fabbricato paratoie e delle strutture definitive ad esso annesso. Inoltre, modifica l'orografia del terreno esistente in previsione della realizzazione del muro di sostegno definitivo posto lungo la S.S.237 esistente ad entrambi i lati del fabbricato paratoie. La berlinese è costituita da micropali Ø139.7mm, di spessore 12.5mm, posti ad interasse 40cm. L'altezza di ritenuta varia da 3.2m ad un massimo di 12.65m. Conseguentemente, lungo lo sviluppo dell'opera sono previsti diversi da uno a cinque ordini di tiranti provvisori. Il collegamento tra tiranti e berlinese è realizzato con una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB200. La quota del piano di lavoro per l'esecuzione dell'opera varia lungo lo sviluppo dell'opera stessa e raggiunge una quota massima di 8.4 m dal piano stradale. Pertanto, è necessario creare una berma di terreno a lato del pendio esistente. Vista la vicinanza della strada S.S. 237 e dell'area di cantiere, il sostegno di tale berma dovrà essere garantito da una ulteriore opera provvisoria costituita da un muro prefabbricato tipo "Tensiter". Nella Figura 6-1 seguente è riportata alcuni stralci degli elaborati grafici di progetto.

Per il dimensionamento dell'opera sono state considerate No.2 sezioni di verifica avente le caratteristiche riassunte nella seguente.

| Sezione di riferimento | No. Ordini tiranti | Quota piano di lavoro | Quota fondo scavo | Altezza di ritenuta |
|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Sez. 1-1 | 4 | 382.40m slm | 371.90m slm | 10.5m |
| Sez. 2-2 | 5 | 383.85m slm | 371.90m slm | 11.95m |

Tabella 5 Berlinese di testata con tiranti – Caratteristiche principali

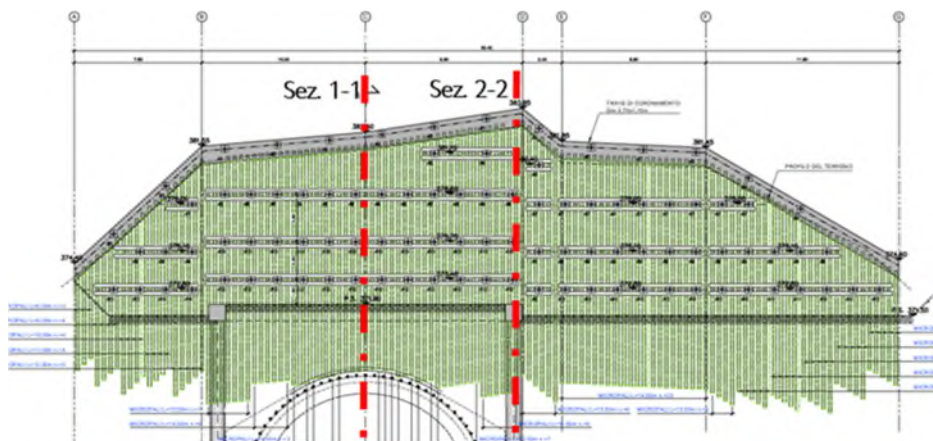


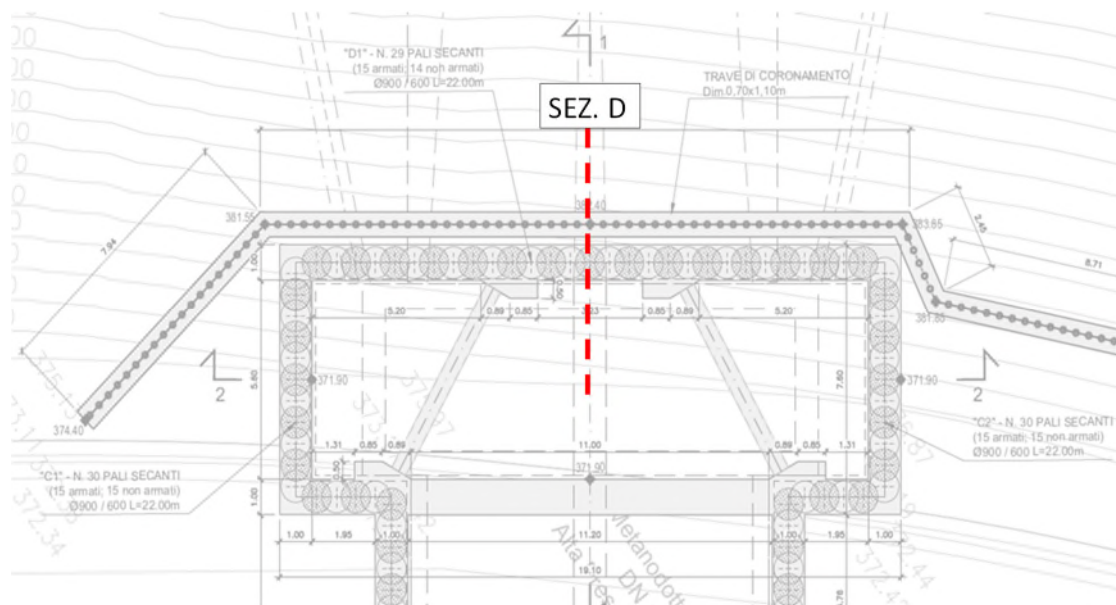
Figura 6-1 Berlinese di micropali con tiranti – Sviluppata

- Muro prefabbricato in conci tipo Tensiter (o equi prestazionale)
 - o Per dettagli in merito al dimensionamento di tale opera si rimanda alla relazione PE-IMB-OPR-GE-002-RC.
- Pali tipo "D1"
 - o La realizzazione della berlinese con tiranti consente la creazione di un piano di lavoro a quota 371.90m slm. Da tale quota, si procederà alla costruzione del pozzo di pali del fabbricato paratoie che sostiene lo scavo fino al raggiungimento della quota di imposta della dima prevista a 357.72m slm, 14.2m al di sotto del piano di lavoro. Il pozzo è costituito da tre allineamenti di pali secanti di diametro Ø900, passo 0.6m e lunghezza 21.5m. Negli elaborati di progetto di Par. §2.2 tali pali sono nominati come 'Pali tipo D1'.

I Pali tipo "D1" sono disposti paralleli al tratto frontale della berlinese tirantata e sono contrastati in testa da No. 2 puntoni metallici provvisori. I puntoni sono dei tubolari di diametro Ø508, spessore 20mm e luce 6m. A collegamento dei puntoni è prevista una trave di ripartizione di sezione 1x1.5m che delimita lo scavo dell'imbocco. I medesimi puntoni metallici provvisori sono previsti anche a circa 2m da quota testa palo.

| Sezione di riferimento | Battente idraulico (m) | Geometria opera di sostegno | Profondità max. scavo (m) |
|------------------------|------------------------|--|---------------------------|
| Sez. D | 368.0-357.72=10.28m | Pali secanti Ø900/600, L=21.5m No. 2 ordini di puntoni Ø508, sp.20mm L=6m (inclinati a 60°) | 371.9-357.72 = 14.2m |

Tabella 6 Pali tipo "D1" - Caratteristiche principali



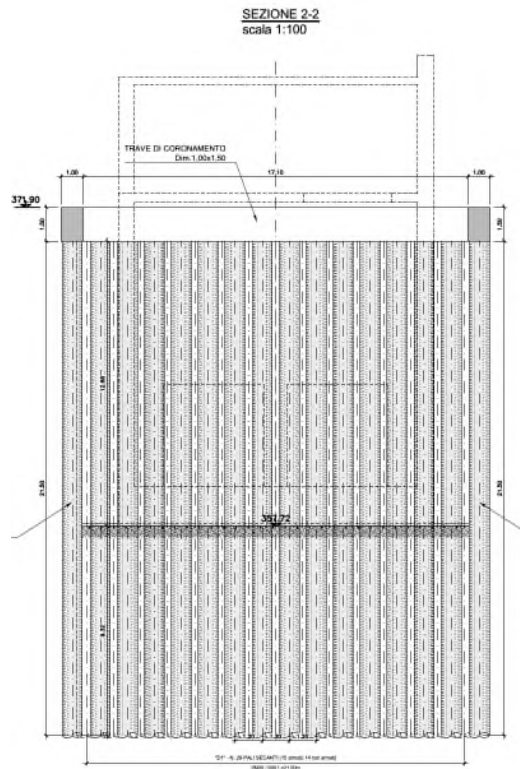


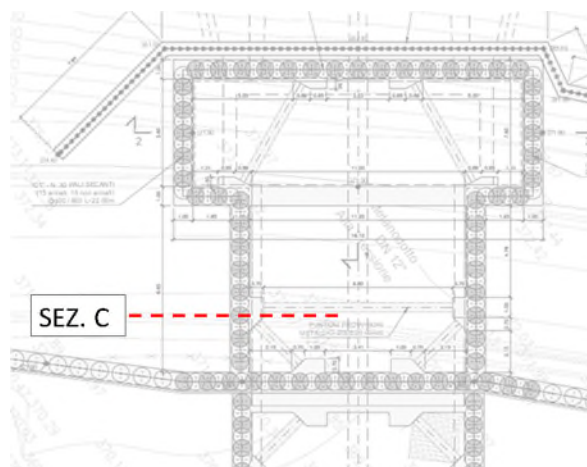
Figura 6-2 Pali tipo “D1” – Pianta e sezione

- Pali tipo “C1-C2”

- o Ortogonali ai ‘Pali tipo D1’, sono previsti due allineamenti di pali indicati come ‘Pali tipo C1’ e ‘Pali tipo C2’ aventi le medesime dei ‘Pali tipo D1’ ad esclusione dei puntoni metallici provvisori che non sono previsti.

| Sezione di riferimento | Battente idraulico (m) | Geometria opera di sostegno | Profondità max. scavo (m) |
|------------------------|------------------------|---|---------------------------|
| Sez. C | 368.0-358.6= 9.4m | Pali secanti Ø900/600, L=21.5m No. 1 ordine di puntoni Ø508, sp.20 L=5.5m (inclinati a 45°) | 371.9-358.6 = 13.3m |

Tabella 7 Pali tipo “C1”-“C2” - Caratteristiche principali



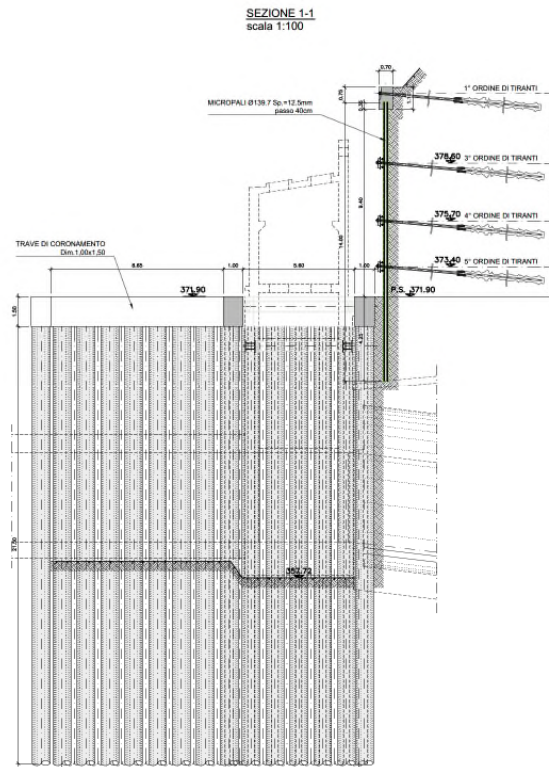


Figura 6-3 Pali tipo “C1”-“C2” – Pianta e sezione

- Pali tipo “B2”

- o Si tratta di una paratia di pali di diametro $\varnothing 900$, passo 0.6m e lunghezza 21.5m, disposti su una sola fila con due ordini di puntoni metallici, eseguiti in fasi temporali diverse, in accordo alle fasi esecutive delle opere di imbocco:
 - Fase 1: scavo (lato Lago) per la realizzazione del piano di lavoro a quota +365.90m slm. La paratia di pali tipo “B2” sostiene la parete frontale di scavo. Una volta raggiunto il piano di lavoro a +365.90, vengono eseguite le paratie di pali “A1”-“A2” (ortogonali al tratto “B2”) con un ordine di puntoni metallici in testa alla trave di coronamento, permettendo quindi il completamento dello scavo, con il raggiungimento della quota di intradosso scatolare +358.60m slm.
 - Fase 2: scavo (lato Monte). La paratia di pali tipo “B2” sostiene il terrapieno di riempimento e il traffico della deviazione stradale. Lo scavo lato monte prevede un ordine di puntoni in testa alla trave di coronamento. Lo scavo prevede il raggiungimento della quota di intradosso scatolare +358.60m slm.

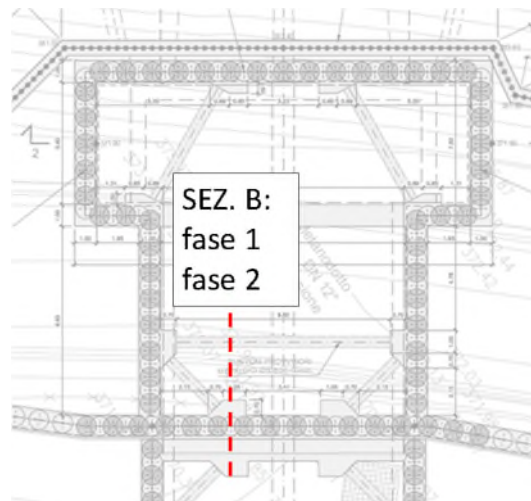


Figura 6-4 Pali tipo “B2” – Pianta - viste e sezioni

- Pali tipo “A1-A2”

- o Le paratie di pali tipo “A1”-“A2” sono collocate ai lati del manufatto di imbocco nella tratta a valle della S.S. 237. Vengono realizzate durante le prime fasi esecutive a partire dal piano di lavoro a quota +365.90m slm. Si prevede un ordine di puntoni metallici in testa alla trave di coronamento, al fine di consentire l’abbassamento del piano di lavoro alla quota 358.60 m.s.l.m.

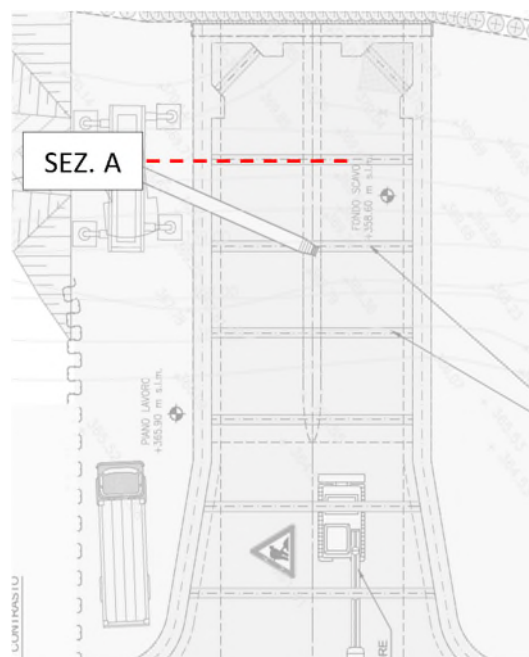


Figura 6-5 Pali tipo “A1”-“A2” – Pianta - viste e sezioni

- Palancole metalliche di tipo Larsen puntonate con puntoni metallici

- o Il palancolato metallico provvisorio è un’opera necessaria a contenere la spinta dell’acqua durante le fasi di scavo dell’imbocco prevista a 357.50 e 358.60m slm. Il palancolato ha una forma ad “U” a delimitare perfettamente l’imbocco lato lago e si sviluppa su un tratto fronte lago lungo 25.5m e due tratti laterali di circa 24.7m ciascuno. Le palancole sono costituite da profili Larssen L430, lunghezza 20.00m e quota testa di 368.50m slm.

- o Il palancolato è contrastato da puntoni metallici provvisori costituiti da No.4 profili tubolari cavi Ø508 spessore 20mm. I puntoni hanno interasse di circa 5.2m, luce di 6.2m o 9m, quota asse 365.40m, inclinati a 45° e 50° in pianta. Il collegamento tra puntoni metallici e palancole è realizzato con una trave di ripartizione costituita da due profili HEB400 accoppiati con le ali disposte lungo la trave di ripartizione.

| Sezione di riferimento | Battente idraulico (m) | Geometria opera di sostegno | Profondità massima scavo (m) |
|------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1 | 365.65-357.5= 8.15m | Palancole Larssen L430 L=20m | 365.90-357.5 = 8.4m |

Tabella 8 Caratteristiche Palancole metalliche

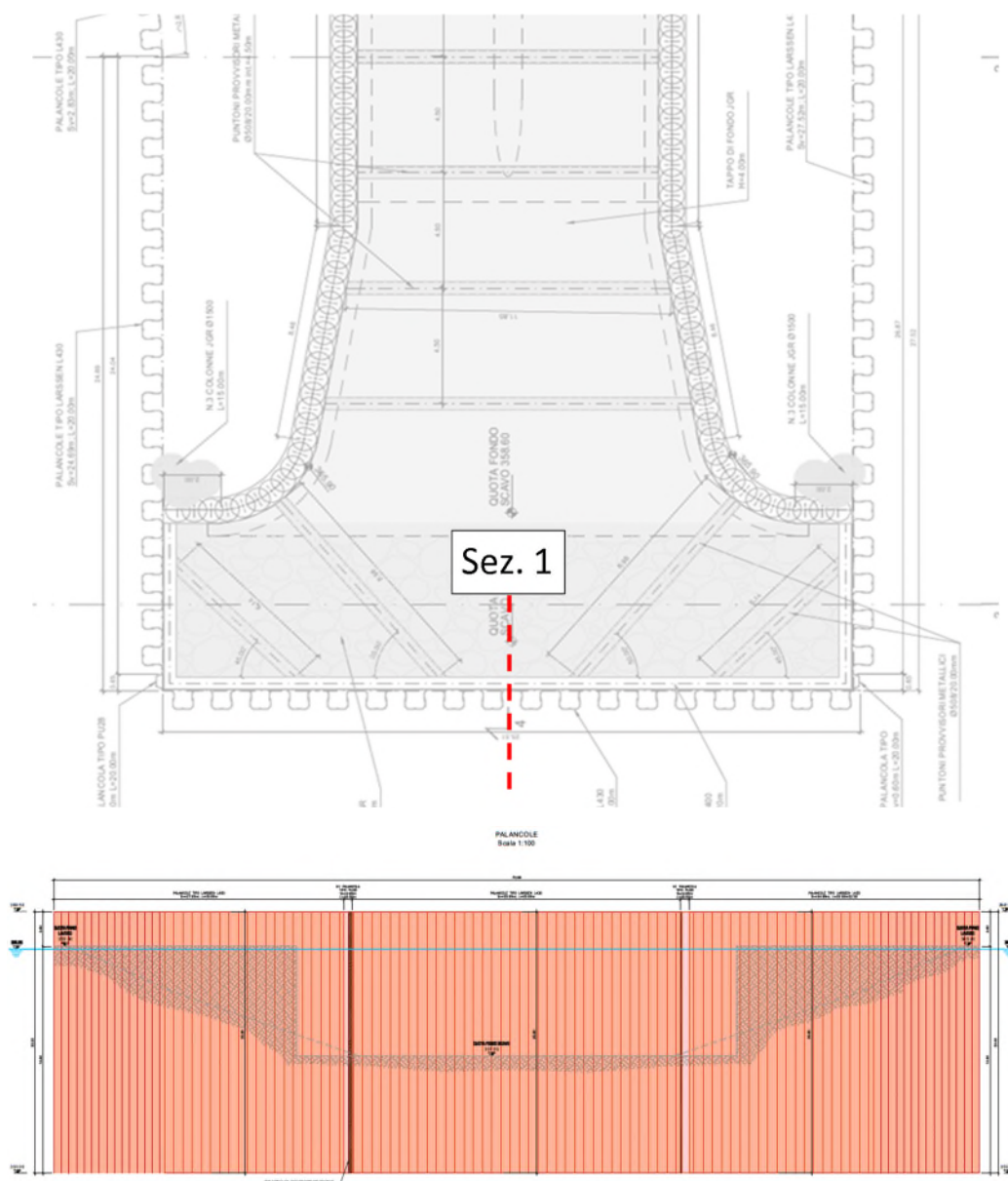


Figura 6-6 Palancole metalliche L430 – Pianta - viste e sezioni

- Tappo di fondo in jet grouting
 - o Alla fine di contrastare la sottospinta idraulica nelle fasi di scavo, è prevista la realizzazione di un trattamento con colonne in jet grouting a singolo strato. Il diametro delle colonne previsto è pari a 1.50m. Le colonne verranno disposte secondo una maglia triangolare equilatera di lato pari a 1.09m. In ogni caso si prescrive un campo prove preliminare. Per la verifica geotecnica a sollevamento di tale intervento si rimanda al paragrafo §17.

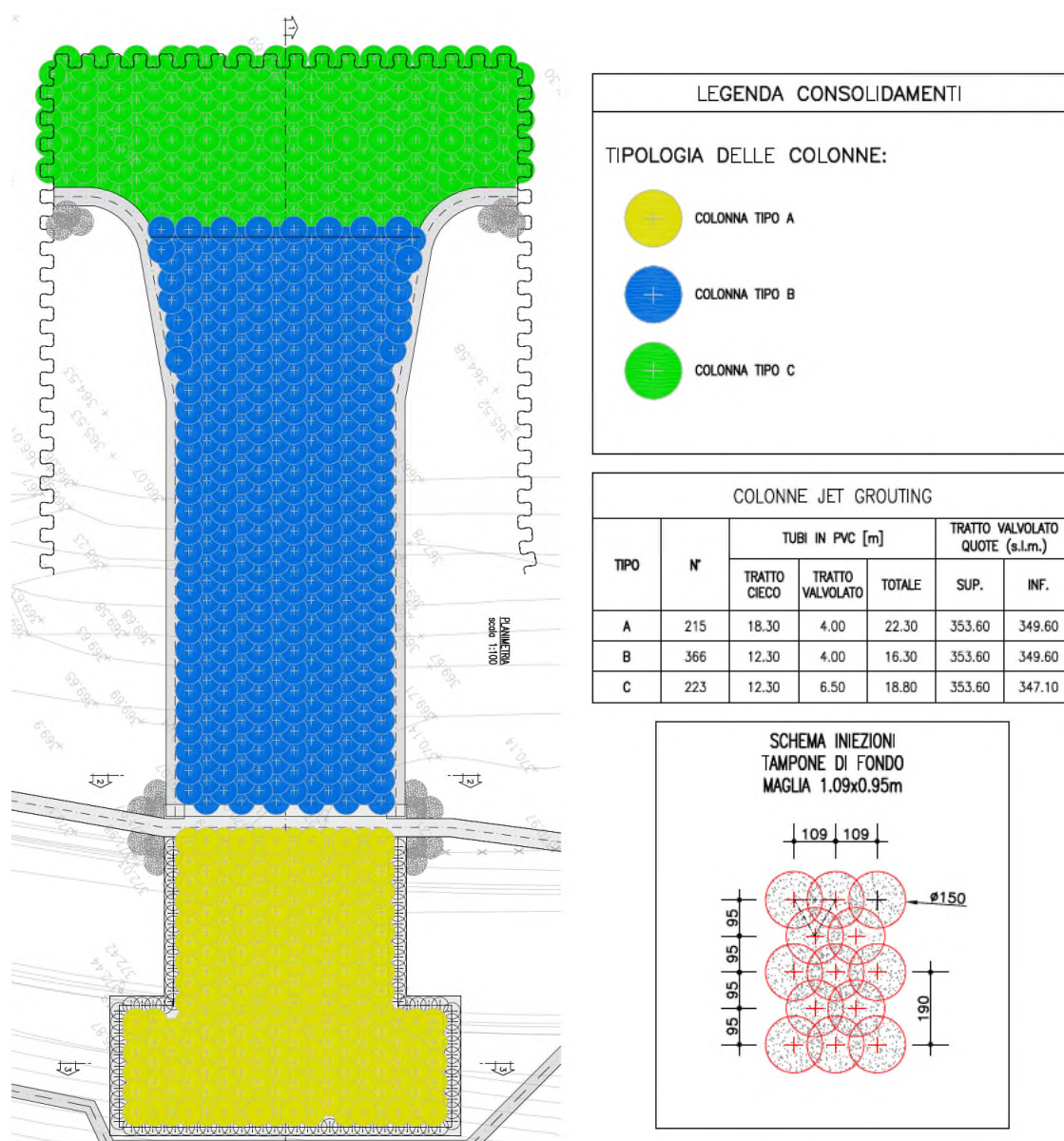


Figura 6-7 Caratteristiche intervento jet grouting

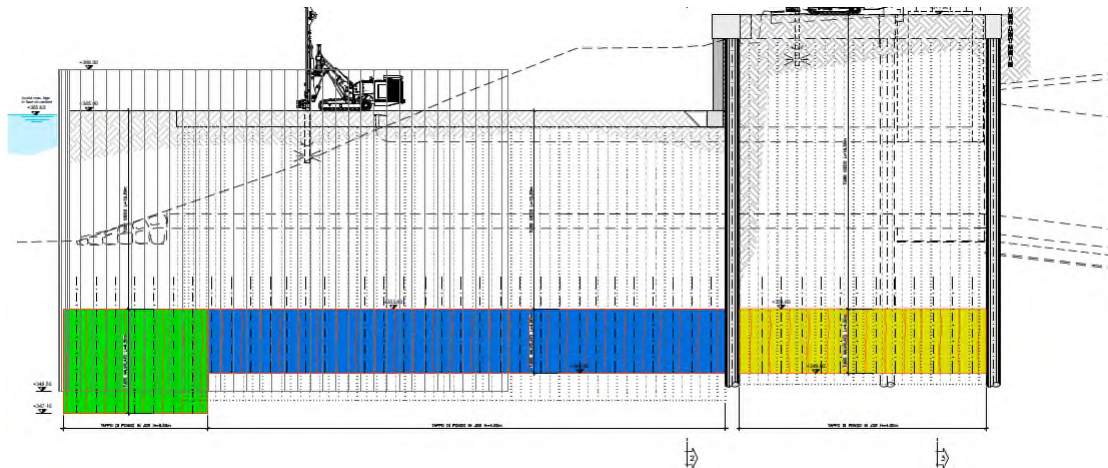


Figura 6-8 Sezione 1-1

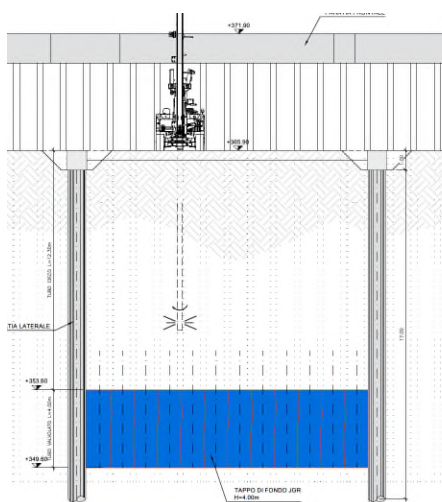


Figura 6-9 Sezione 2-2

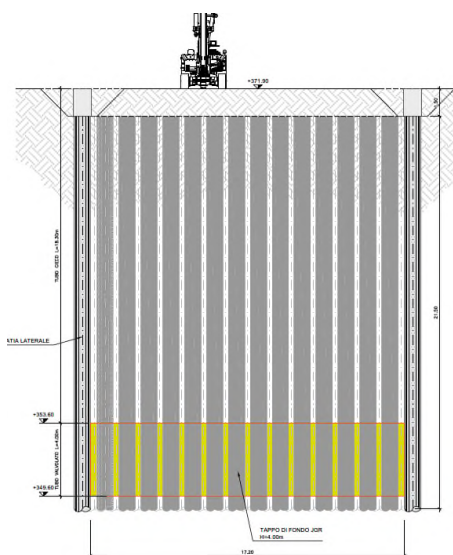


Figura 6-10 Sezione 3-3

7 CRITERI DI VERIFICA

Le analisi di calcolo applicate per il dimensionamento degli elementi costituenti il canale di sbocco si basano sui criteri sia di tipo statico che dinamico. Si riporta di seguito le caratteristiche dei metodi adottati per la determinazione delle sollecitazioni e le relative verifiche.

7.1 Criteri di dimensionamento e modellazione delle opere

7.1.1 Analisi Statica

La schematizzazione di calcolo delle strutture progettate, il calcolo dei parametri di sollecitazione e la valutazione delle tensioni e delle deformazioni, allo scopo di ottenere la garanzia di una sicurezza permanente e uniforme dell'opera, sono stati effettuati secondo i metodi della scienza delle costruzioni e della teoria dell'elasticità. Si sono analizzate le combinazioni più sfavorevoli delle condizioni elementari di carico al fine di individuare i valori massimi e minimi delle sollecitazioni cercate.

Il calcolo è stato eseguito in conformità alla vigente normativa tecnica e più precisamente alle già citate "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018 (G.U. n.29 del 04/02/2008), ricorrendo al metodo degli Stati Limite.

7.1.1.1 Combinazione statica SLU

Le combinazioni adottate per le verifiche statiche allo stato limite ultimo sono:

$$\text{Combinazione fondamentale} \quad F_d = \sum_{i=1}^{ng} \gamma_{gi} \cdot G_{ki} + \gamma_{q1} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

$$\text{Combinazione eccezionale} \quad F_d = A_d + \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

| | |
|-------------|--|
| G_{ki} | è il valore caratteristico delle azioni permanenti |
| A_d | è il valore caratteristico dell'azione eccezionale |
| Q_{1k} | è il valore caratteristico di una delle azioni variabili |
| Q_{ik} | è il valore caratteristico delle altre azioni variabili |
| γ_g | coefficiente parziale per la i-esima azione permanente |
| γ_q | coefficiente parziale per la i-esima azione variabile |
| ψ_{0i} | coefficiente di combinazione |
| ψ_{2i} | coefficiente di combinazione per azioni eccezionali |

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO), si adotta come criterio progettuale l'Approccio 2.

In questo principio si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali, definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 di Tabella 9.

Tab. 2.6.1 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

| | | Coefficiente | EQU | A1 | A2 |
|--|-------------|---------------|-----|-----|-----|
| | | γ_f | | | |
| Carichi permanenti G_i | Favorevoli | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | Sfavorevoli | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali $G_d^{(1)}$ | Favorevoli | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili Q | Favorevoli | γ_{Q2} | 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.

Tabella 9 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

7.1.1.2 Combinazione statica SLE

Le combinazioni per le verifiche statiche allo stato limite di esercizio sono:

Combinazione rara

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione frequente

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \psi_{1i} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione quasi permanente

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione per azioni rare
- ψ_{1i} coefficiente di combinazione per azioni frequenti
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione per azioni quasi permanenti

8 BERLINESE DI TESTATA $\Phi 193.7/12.5\text{MM}$ CON TIRANTI (5 TREFOLI)

Le immagini seguenti riportano lo stralcio planimetrico dell'opera con le relative viste e sezioni (Figura 8-1).

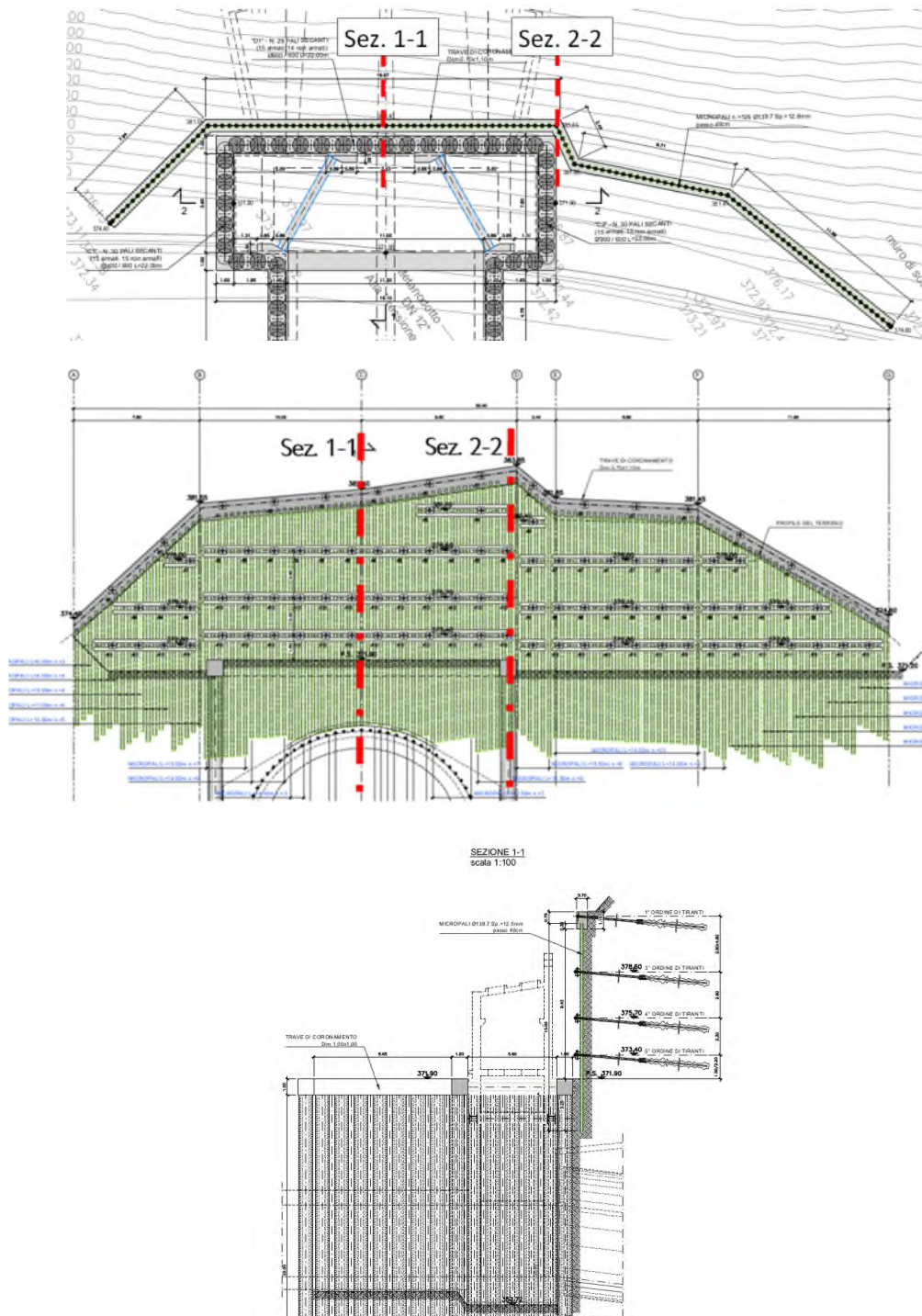


Figura 8-1 Berlinese di micropali con tiranti – Pianta, viste e schemi di calcolo

Il dimensionamento dell'opera è stato condotto analizzando No.2 sezioni rappresentative evidenziate in Figura 8-1. Le principali caratteristiche geometriche e progettuali sono elencate di seguito:

Sezione 1-1:

- Quota piano di lavoro = 382.40m slm Quota scavo = 371.90m slm
- H (altezza di scavo) = 10.50m L_{micropalo} (profondità micropali) = 13.8 m
- Trave di ripartizione = 2 HEB 200 Diametro perforazione = Ø180 mm
- α tensione di aderenza = 1.5 Diametro di calcolo = $\alpha\varnothing = 0.27m$
- Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento = 1.1 (tiranti temporanei)
- Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica = 1.7 (n° 3 verticali di indagini)

| Ordine tirante | Inclinazione i | Quota da testa paratia | n° trefoli | L _{libera progetto} | L _{fondazione progetto} | L _{totale} | Interasse tiranti | Precarico | T _{bulbo-terreno} |
|----------------|----------------|------------------------|------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| [-] | [°] | [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN/tirante] | [kPa] |
| I | 5 | 0.3 | 5 | 9.0 | 12 | 21 | 3.2 | 575 | 180 |
| III | 5 | 3.8 | 7 | 7.0 | 16 | 23 | 1.6 | 805 | 180 |
| IV | 5 | 6.7 | 7 | 6.0 | 16 | 22 | 1.6 | 805 | 200 |
| V | 5 | 9.0 | 7 | 5.0 | 16 | 21 | 1.6 | 805 | 200 |

Tabella 10 Sezione di verifica 1-1: caratteristiche tiranti e bulbi

Sezione 2-2:

- Quota piano di lavoro = 383.85m slm Quota scavo = 371.90m slm
- H (altezza di scavo) = 11.95 m L_{micropalo} (profondità micropali) = 17.7 m
- Trave di ripartizione = 2 HEB 200 Diametro perforazione = Ø180 mm
- α tensione di aderenza = 1.5 Diametro di calcolo = $\alpha\varnothing = 0.27m$
- Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento = 1.1 (tiranti temporanei)
- Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica = 1.7 (n° 3 verticali di indagini)

| Ordine tirante | Inclinazione i | Quota da testa paratia | n° trefoli | L _{libera progetto} | L _{fondazione progetto} | L _{totale} | Interasse tiranti | Precarico | T _{bulbo-terreno} |
|----------------|----------------|------------------------|------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| [-] | [°] | [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kN/tirante] | [kPa] |
| I | 5 | 0.3 | 5 | 9.0 | 12 | 21 | 3.2 | 575 | 180 |
| II | 5 | 3.8 | 5 | 8.0 | 12 | 20 | 3.2 | 575 | 180 |
| III | 5 | 5.1 | 5 | 7.0 | 16 | 23 | 1.6 | 805 | 200 |
| IV | 5 | 8.0 | 5 | 6.0 | 16 | 23 | 1.6 | 805 | 200 |
| V | 5 | 10.3 | 5 | 5.0 | 16 | 21 | 1.6 | 805 | 200 |

Tabella 11 Sezione di verifica 2-2: caratteristiche tiranti e bulbi

Su tutta l'estensione dell'opera, il collegamento tra tiranti e berlinese è realizzato con una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB200 posta in asse ai vari ordini di tiranti. Di conseguenza, la verifica riportata nei paragrafi successivi è rappresentativa delle condizioni più gravose tra tutti gli schemi di calcolo sviluppati.

Le condizioni orografiche caratterizzate dalla forte pendenza del terreno in situ a tergo della berlinese sono state considerate nel dimensionamento adottando gli opportuni valori di pendenza nel calcolo dei coefficienti di spinta delle terre.

La quota della falda di progetto oscilla da quota 365.65m (livello di esercizio dell'acqua del Lago) a quota 368.0m slm (massima regolazione dell'acqua del Lago). Tali livelli sono al di sotto al sotto della quota di scavo della berlinese in esame.

8.1 Schema di calcolo ‘Sez.1-1’

8.1.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

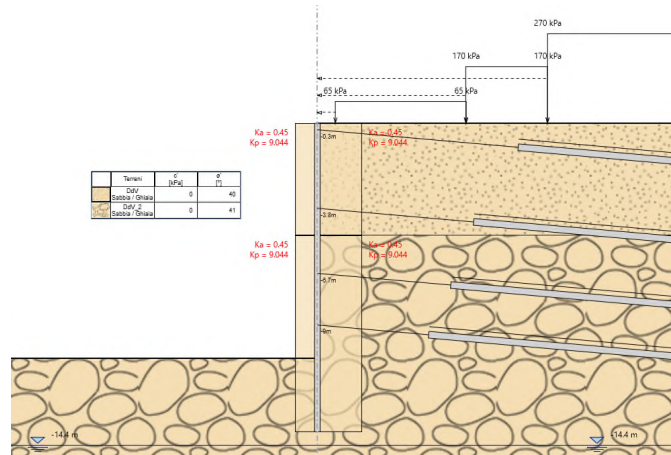


Figura 8-2 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | φ' | Ka | Kp | Evc | EUR |
|-------|------------------------|-------|----------|----------|----|------------|------|------|-----|---------|
| | | [m] | [m] | | | | | | | |
| 2 | DdV Sabbia/Ghiaia | 382.4 | 377.4 | 20 | - | 40 | 0.45 | 9.04 | 60 | 1.6*Evc |
| 2 | DdV_2 Sabbia/Ghiaia | 377.4 | - | 20 | - | 41 | 0.45 | 9.04 | 90 | 1.6*Evc |

Tabella 12 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4. In particolare, i coefficienti di spinta attiva e passiva (Ka, Kp) sono calcolati considerando la pendenza del terreno naturale a tergo della paratia.

8.1.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- Stages
 - Geostatico
 - Pendio+Micropali
 - Scavo1
 - Tirante1
 - Scavo2
 - Tirante2
 - Scavo3
 - Tirante3
 - Scavo4
 - Tirante4
 - Fondo_Scavo
 - Extra_NTC18

Figura 8-3 Fasi di calcolo considerate

La presenza del terreno esistente a tergo della paratia al di sopra del piano di lavoro è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente.

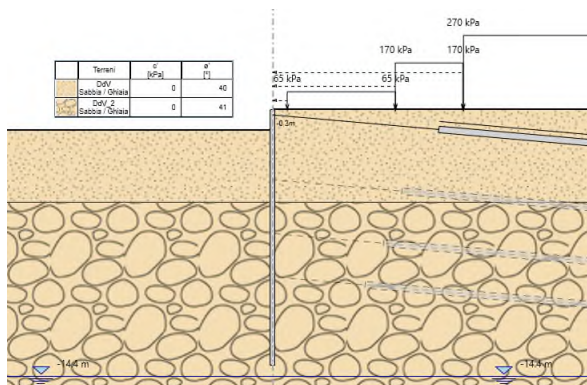


Figura 8-4 Installazione primo ordine tiranti (Stage 4)

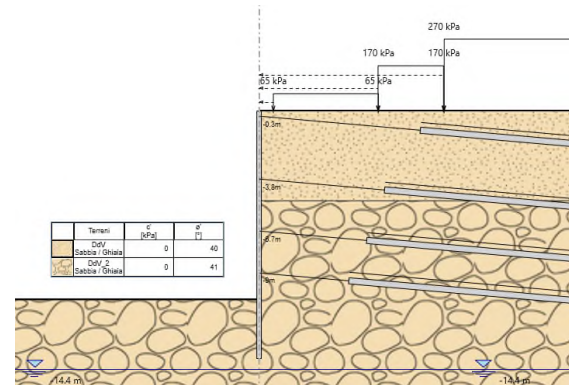


Figura 8-5 Raggiungimento fondo scavo (Stage 11)

8.1.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 12 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 15mm.

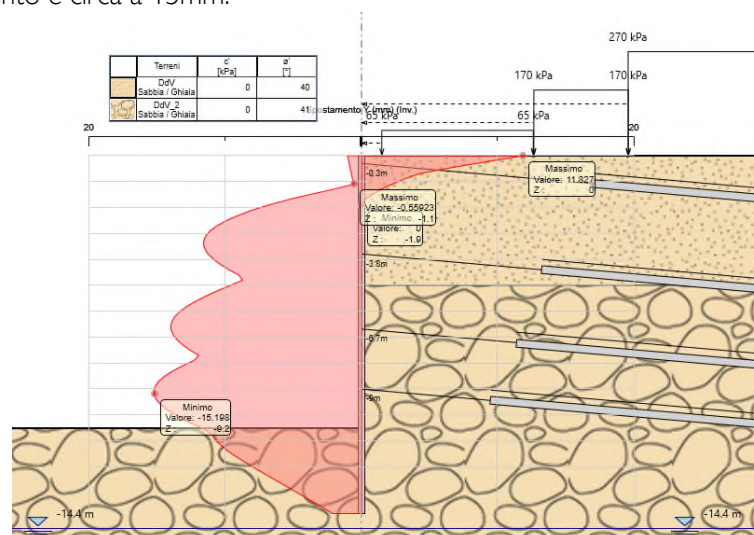


Figura 8-6 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 12)

8.1.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul micropalo e sui tiranti.

| Fase | M _{SLU} A1-M1 [kNm/m] | V _{SLU} A1-M1 [kN/m] | M _{SLU} A2-M2 [kNm/m] | V _{SLU} A2-M2 [kN/m] |
|------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 11 | 240 | 439 | 241 | 375 |

| No. Ordine tirante | Tiro tirante [kN/m] | Interasse [m] | Tiro Tirante [kN/tirante] |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| I | 234 | 3.2 | 748 |

| | | | |
|-----|-----|-----|------|
| III | 803 | 1.6 | 1285 |
| IV | 817 | 1.6 | 1307 |
| V | 731 | 1.6 | 1170 |

Tabella 13 Sollecitazioni di verifica

8.1.4.1 Verifica strutturale micropalo SLU

| | | | |
|--|--|--|--|
| <p>OPERA DI IMBOCCO</p> <p><u>MICROPALI DI SOSTEGNO - SEZIONE 1</u></p> <p><i>Calcolo della resistenza strutturale del tubolare</i></p> | | <p>CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE (Tab. 4.2.V - NTC 2018)</p> <p>tensione di snervamento no ϵ 0.81 [-]</p> <p>ϵ^2 0.66 [-]</p> <p>rapporto diametro/spessore d/t 15.5 [-]</p> <p>classe della sezione CLASSE 1</p> | |
| <p>DATI GEOMETRICI:</p> <p>diametro esterno del tubolare d 193.7 [mm]</p> <p>spessore del tubolare t 12.5 [mm]</p> <p>diametro interno del tubolare d_{int} 168.7 [mm]</p> <p>area della sezione del tubolare A 7115.7 [mm²]</p> <p>momento inerzia tubolare I 2934.3 [cm⁴]</p> <p>modulo resistenza plastico W_{pl} 411.1 [cm³]</p> <p>momento statico di metà sezione S_{A/2} 205.5 [cm³]</p> | | <p>SOLLECITAZIONI AGENTI:</p> <p>momento flettente di calcolo M_{Ed} 239.28 [kNm/ml]</p> <p>taglio di calcolo T_{Ed} 438.59 [kN/ml]</p> <p>sforzo normale di calcolo N_{Ed} 0.00 [kN/ml]</p> <p>interasse tubolari i 0.40 [m]</p> <p>momento flettente agente M_{Ed} 95.71 [kNm]</p> <p>taglio agente T_{Ed} 175.44 [kN]</p> <p>sforzo normale agente N_{Ed} 0 [kN]</p> | |
| <p>tipologia di acciaio S 355 [MPa]</p> <p>coefficiente di sicurezza γ_{MO} 1.05 [-]</p> <p>tensione di snervamento di progett f_{yd} 338.1 [MPa]</p> | | <p>VERIFICA DELLA SEZIONE IN CAMPO ELASTICO:</p> <p>tensione normale $\sigma_{x,Ed}$ 232.8 [MPa]</p> <p>tensione tangenziale τ_{Ed} 49.2 [MPa]</p> <p>sigma ideale σ_{id} 247.9 [MPa]</p> <p>fattore di sicurezza FS 1.4 VERIFICATO</p> | |

Figura 8-7 Verifica micropalo Sez. 1-1

8.1.4.2 Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei trefoli dei tiranti.

| Ordine tirante [-] | Quota da testa paratia [m] | Passo [m] | n° trefoli [-] | i [°] | Area tirante [mm ²] | Pretiro [kN] | Pretiro/ml di paratia [kN/ml] | Resistenza tirante [kN] | T _{max} di calcolo [kN/ml] | T _{max} [kN] | FS [-] | Verifica [-] |
|--------------------|----------------------------|-----------|----------------|-------|---------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------|--------------|
| I | 0.3 | 3.2 | 5 | 5 | 695 | 575 | 179.7 | 1009 | 233.61 | 747.55 | 1.35 | VERIFICATO |
| III | 3.8 | 1.6 | 7 | 5 | 973 | 805 | 503.1 | 1413 | 802.71 | 1284.34 | 1.10 | VERIFICATO |
| IV | 6.7 | 1.6 | 7 | 5 | 973 | 805 | 503.1 | 1413 | 816.83 | 1306.93 | 1.08 | VERIFICATO |
| V | 9.0 | 1.6 | 7 | 5 | 973 | 805 | 503.1 | 1413 | 730.85 | 1169.36 | 1.21 | VERIFICATO |

Tabella 14 Verifica strutturale tiranti Sez. 1-1

8.1.4.3 Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

La verifica seguente della trave di ripartizione posta in asse ai tiranti è rappresentativa delle condizioni più critiche tra tutti gli ordini di tiranti previsti.

VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE - NTC 2018

Dati del profilato:

| | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Tipo di profilato | HEB | 200 |
| Altezza del profilato | h | 200 mm |
| Base del profilato | b | 200 mm |
| Spessore dell'anima | a = t _w | 9 mm |
| Spessore delle ali | e = t _f | 15 mm |
| Raggio di curvatura | r | 18 mm |
| Area della sezione | A | 7808 mm ² |

Definizione dell'azione di calcolo:

| | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|
| Sforzo massimo agente | N _{Ed} | 250 [kN/ml] |
| Interasse degli elementi di contrasto | i | 3.2 [m] |
| Momento agente sul profilato | M _{Ed} | 256.00 [kNm] |
| Taglio agente sul profilato | V _{Ed} | 480.00 [kN] |

Calcolo della resistenza di progetto a taglio:

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Tipologia di acciaio | S | 355 [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza | γ _{M0} | 1.05 [-] |
| Piano di carico del profilato | Carico nel piano dell'anima | |
| n° di profilati considerati | n° | 2 [-] |
| Area a taglio del singolo profilato | A _V | 2483 mm ² |
| Resistenza di progetto a taglio | R _{c,Rd} | 969.36 [kN] |

Definizione della tipologia di verifica da condurre:

| | | |
|---|------------------------------------|-------------|
| Taglio agente sul profilato | V _{Ed} | 480.00 [kN] |
| Resistenza di progetto a taglio | V _{c,Rd} | 969.36 [kN] |
| Rapporto V _{Ed} /V _{c,Rd} | V _{Ed} /V _{c,Rd} | 0.50 [-] |
| Tipo di verifica | Flessione retta | |

Verifica strutturale del profilato per flessione retta:

| | | |
|---------------------------------------|--|------------------------|
| Momento plastico nel piano dell'anima | W _{pl,y} | 642000 mm ³ |
| Resistenza di progetto | M _{c,Rd} = M _{pl,Rd} | 434.11 [kNm] |
| Fattore di sicurezza della sezione | FS | 1.70 OK |

Verifica strutturale per profilato soggetto a flessione e taglio:

| | | |
|--|---------------------|------------------------|
| Momento plastico nel piano dell'anima | W _{pl,y} | 642000 mm ³ |
| Coefficiente di riduzione | ρ | 0.0001 [-] |
| Resistenza di progetto | M _{y,V,Rd} | 434.11 [kNm] |
| Condizione M _{y,V,Rd} ≤ M _{y,c,Rd} | OK | |
| Fattore di sicurezza della sezione | FS | 1.70 OK |

Tabella 15 Risultati verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

8.1.4.4 Verifica strutturale trave di coronamento in c.a.

Le sollecitazioni agenti sono:

| Comb. | Sezione trave di ripartizione [m] | Tiro tirante [kN/m] | Interasse tiranti [m] | M SLE [kNm/m] | M SLE [kNm/m] | V [kN/m] |
|-------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|---------------|----------|
| SLU | 70x110 | 234 | 3.6 | 303 | 303 | 505 |

Tabella 16 Sollecitazioni trave di coronamento

Armatura trave di coronamento in c.a.

Armatura verticale: 5+5Ø24

Staffe: 3Ø12/20cm

| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | | | | | verifica DM08 | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-------------|----------------------|--------------------|----------------------------|--------|-------|-------------------------------|--------|--------------------------------|--|------------------------------------|--|-------------------|----|------------------------------------|
| sezione trasversale | | | | | SLE | | | | | SLU | | | | | | |
| B | H | c | d | z | M _{Ed} | 232.89 | [kNm] | M _{Ed} | 302.76 | [kNm] | tipo di rottura 2 | | | | | |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | N _{Ed} | 0.00 | [kN] | N _{Ed} | 0.00 | [kN] | 1 lato acciaio | | | | | |
| 110 | 70 | 6.2 | 62.6 | 56.3 | tensioni e fessure | | | | | presso-flessione | | 2 lato cls - acciaio snervato | | | | |
| armatura longitudinale | | | | | M _{Ed,c} | 0.0 | [kNm] | V _{Ed} | 504.60 | [kN] | 3 lato cls - acciaio elastico | | | | | |
| n _{barre} | ϕ | d | A _{s1} | | M _{Ed,r} | 220.9 | [kNm] | taglio | | 4 sez. tot. compressa | | | | | | |
| [mm] | [cm] | [cm] | [cm ²] | | y _{1i} | -19.49 | [cm] | V _{Ed,c} | 260.6 | [kN] | contributo A _{s1} | | | | | |
| 5 | 24 | 7.4 | 22.62 | | σ _{c,min} | -4.0 | [MPa] | predisporre armatura a taglio | | scelta si | | | | | | |
| 5 | 24 | 62.6 | 22.62 | | σ _{s,min} | -31.1 | [MPa] | | | angolo θ | | | | | | |
| armatura a taglio | | | | | σ _{s,max} | 180.5 | [MPa] | | | scelta imposto | | | | | | |
| n _{bracci} | ϕ | s | α | A _{sw} | k ₂ | 0.5 | | V _{Ed,r} | 802.1 | [kN] | θ _{imposto} 25 [°] | | | | | |
| [mm] | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] | ε _{s,max} | 0.52 | [‰] | V _{Ed,max} | 1809.5 | [kN] | θ _{calcolato} 16.3 [°] | | | | | |
| 3 | 12 | 20 | 90 | 3.39 | S _{r,max} | 57.1 | [cm] | θ | 25.0 | [°] | θ _{inf} 21.8 [°] | | | | | |
| | | | | | w _k | 0.295 | [mm] | sezione duttile | | θ _{sup} 45 [°] | | | | | | |
| | | | | | | | | al | | 60.4 [cm] | | | | | | |
| materiali | | | | | legenda | | | | | | | | | | | |
| calcestruzzo | | | | | acciaio | | | | | | | | | | | |
| R _{ck} | 30 | [MPa] | f _{yk} | 450 | [MPa] | | | | | | α _{cc} | coeff. effetti a lungo termine | | | | |
| f _{ck} | 24.9 | [MPa] | γ _s | 1.15 | | | | | | | V | coeff. riduzione resistenza bielle | | | | |
| γ _c | 1.5 | | f _{yd} | 391.3 | [MPa] | | | | | | α _{cc} | =E _s /E _c | | | | |
| α _{cc} | 0.85 | | E _s | 210000 | [MPa] | | | | | | k _t | 0.6 azioni di breve durata | | | | |
| f _{ctd} | 14.1 | [MPa] | E _{uk} | 75 | [‰] | | | | | | k _t | 0.4 azioni di lunga durata | | | | |
| v | 0.540 | | valori limite | | | | | | | | k ₁ | 0.8 barre aderenza migliorata | | | | |
| ε _{cs} | 2.0 | [‰] | k ₁ | 0.8 | 0,45 f _{ck} | 11.2 | [MPa] | | | | | k ₁ | 1.6 barre lisce | | | |
| ε _{cu2} | 3.5 | [‰] | k ₃ | 3.4 | 0,8 f _{yk} | 360.0 | [MPa] | | | | | k ₂ | 0.5 flessione | | | |
| α _{oe} | 15.0 | | k ₄ | 0.425 | w _{k,lim} | 0.3 | [mm] | | | | | | (ε ₁₊₂)/2, trazione eccentrica | | | |
| k _c | 0.4 | | | | | | | | | | | | 1 trazione pura | | | |
| k ₁ | 0.8 | | | | | | | | | | | | k ₃ | 3.4 | | |
| k ₃ | 3.4 | | | | | | | | | | | | k ₄ | 0.425 | | |
| k ₄ | 0.425 | | | | | | | | | | | | σ _t | >0 se di trazione | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | al | traslazione armatura longitudinale |

Tabella 17 Verifica strutturale trave di coronamento

8.1.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

8.1.5.1 Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale dell'opera provvisoria deve essere condotta in accordo all'approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R3). Nella figura seguente è riportato il risultato delle verifiche in accordo con il metodo di Janbu. L'analisi di stabilità risulta essere soddisfatta con un coefficiente di sicurezza di 1.4.

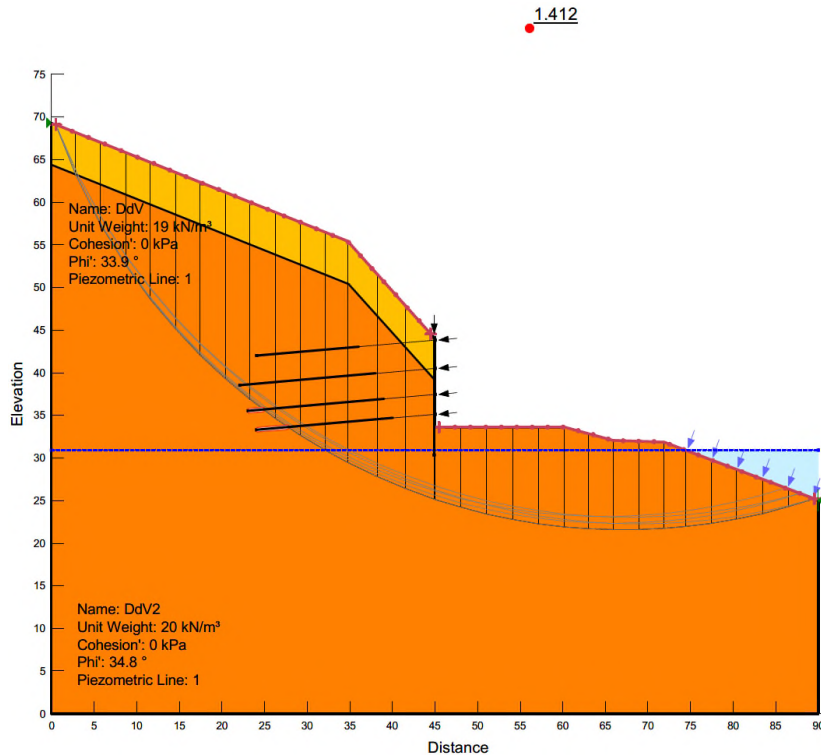


Figura 8-8 Risultati verifica stabilità globale

8.1.5.2 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 54%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 95%

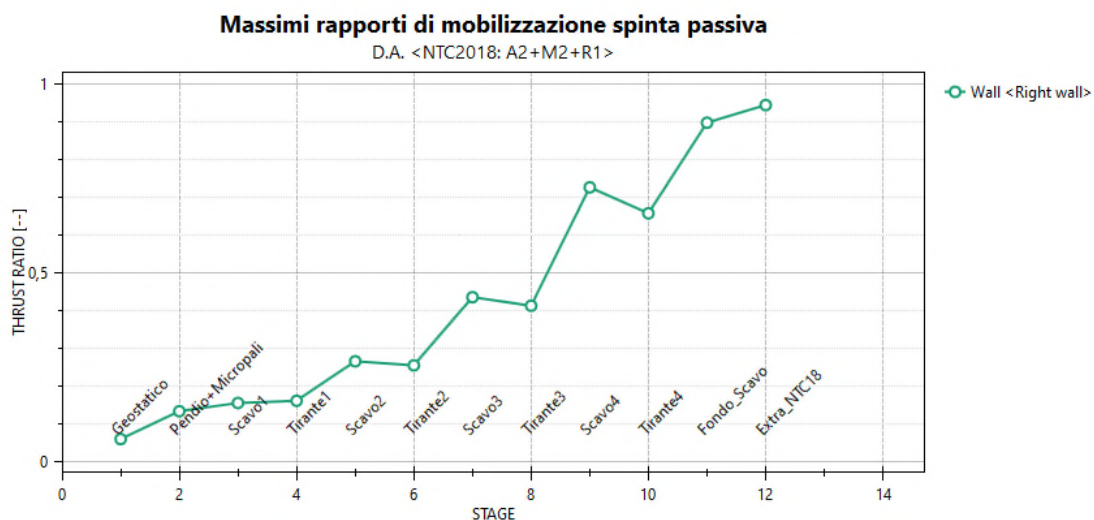


Figura 8-9 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

8.1.5.3 Verifica sfilamento tirante

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dei trefoli dei tiranti Comb. A1+M1+R3.

Caratteristiche del tirante e del bulbo:

| Ordine tirante [-] | i [°] | Quota da testa paratia [m] | Libera min statica [m] | Libera min sismica [m] | n° trefoli [-] | Libera di progetto [m] | L _{fondazione minima} [m] | L _{fondazione di} [m] | L _{totale} [m] | L _{utile} [m] | Area tirante [mm ²] | Φ _{perforazione} [mm] | α [-] | Φ _{calcolo} = α · Φ [m] | T _{bulbo- terreno} [kPa] |
|-----------------------|----------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------------------|--|
| I | 5 | 0.3 | 6.5 | 8.76 | 5 | 9.0 | 9.2 | 12 | 21 | 15 | 695 | 180 | 1.5 | 0.27 | 180 |
| III | 5 | 3.8 | 4.9 | 6.58 | 7 | 7.0 | 15.7 | 16 | 23 | 15 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 180 |
| IV | 5 | 6.7 | 3.6 | 4.78 | 7 | 6.0 | 14.4 | 16 | 22 | 14 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |
| V | 5 | 9.0 | 2.5 | 3.36 | 7 | 5.0 | 12.9 | 16 | 21 | 13 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |

Verifiche del tirante e dei meccanismi di rottura

| Ordine tirante [-] | Azione massima di progetto [kN] | Rd sfilamento bulbo- terreno [kN] | Rd sfilamento trefoli- bulbo [kN] | Verifica del bulbo di fondazione | Forza di rottura dei trefoli [kN] | Modalità di collasso | Rispetto gerarchia resistenze | FS sfilamento - rottura |
|-----------------------|---------------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| I | 747.6 | 979.77 | 1578.6 | VERIFICATO | 1160.65 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.2 |
| III | 1284.3 | 1306.36 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.2 |
| IV | 1306.9 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |
| V | 1169.4 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |

Tabella 18 Verifica sfilamento tiranti Sez. 1-1

8.2 Schema di calcolo ‘Sez.2-2’

8.2.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

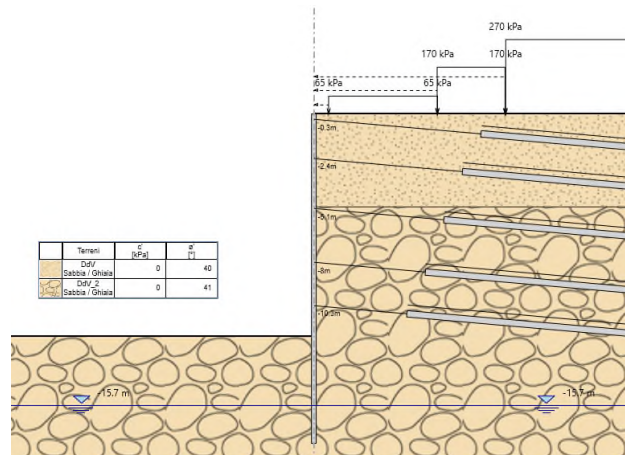


Figura 8-10 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | ϕ' | Ka | Kp | Evc | EUR |
|-------|------------------------|--------|----------|----------|----|---------|------|------|-----|---------|
| | | [m] | [m] | | | | | | | |
| 2 | DdV Sabbia/Ghiaia | 383.85 | 378.85 | 20 | - | 40 | 0.45 | 9.04 | 60 | 1.6*Evc |
| 2 | DdV_2 Sabbia/Ghiaia | 378.85 | - | 20 | - | 41 | 0.45 | 9.04 | 90 | 1.6*Evc |

Tabella 19 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4. In particolare, i coefficienti di spinta attiva e passiva (Ka, Kp) sono calcolati considerando la pendenza del terreno naturale a tergo della paratia.

8.2.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

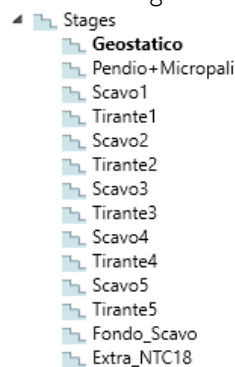


Figura 8-11 Fasi di calcolo considerate

La presenza del terreno esistente a tergo della paratia al di sopra del piano di lavoro è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente.

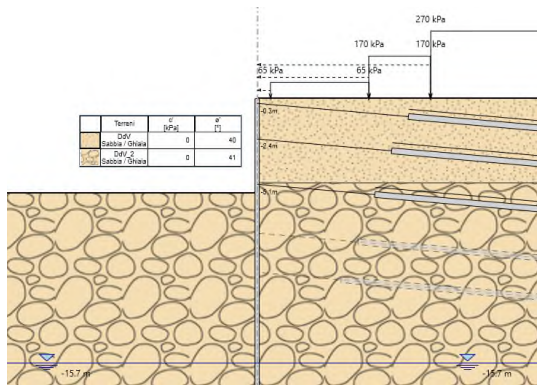


Figura 8-12 Installazione terzo ordine tiranti (Stage 8)

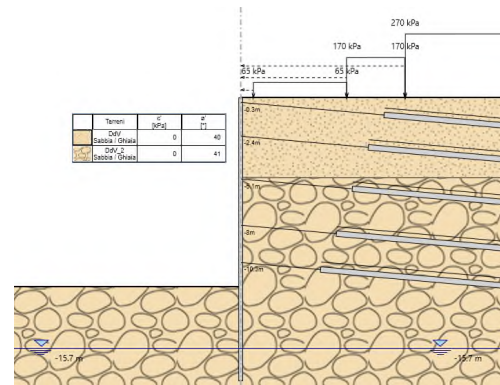


Figura 8-13 Raggiungimento fondo scavo (Stage 14)

8.2.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 14 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 17mm.

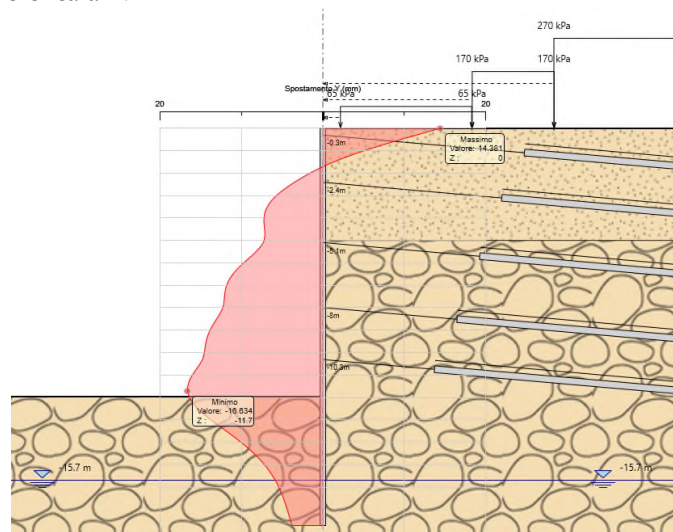


Figura 8-14 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 12)

8.2.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul micropalo e sui tiranti.

| Fase | M _{SLU} A1-M1 [kNm/m] | V _{SLU} A1-M1 [kN/m] | M _{SLU} A2-M2 [kNm/m] | V _{SLU} A2-M2 [kN/m] |
|------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 12 | 273 | 426 | 259 | 385 |

| No. Ordine tirante | Tiro tirante [kN/m] | Interasse [m] | Tiro Tirante [kN/tirante] |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| I | 234 | 3.2 | 748 |
| II | 250 | 3.2 | 800 |
| III | 841 | 1.6 | 1345 |
| IV | 876 | 1.6 | 1401 |
| V | 755 | 1.6 | 1208 |

Tabella 20 Sollecitazioni di verifica

8.2.4.1 Verifica strutturale micropalo SLU

| OPERA DI IMBOCCO | | CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE (Tab. 4.2.V - NTC 2018) | | | |
|--|------------------|--|--------------------|--------|-------------------|
| <u>MICROPALI DI SOSTEGNO - SEZIONE 2</u> | | <i>tensione di snervamento no</i> | ϵ | 0.81 | [-] |
| <u>Calcolo della resistenza strutturale del tubolare</u> | | | ϵ^2 | 0.66 | [-] |
| | | <i>rapporto diametro/spessore</i> | d/t | 15.5 | [-] |
| | | <i>classe della sezione</i> | CLASSE | 1 | |
| | | SOLLECITAZIONI AGENTI: | | | |
| DATI GEOMETRICI: | | <i>momento flettente di calcolo</i> | M _{Ed} | 272.45 | [kNm/ml] |
| <i>diametro esterno del tubolare</i> | d | 193.7 | [mm] | | |
| <i>spessore del tubolare</i> | t | 12.5 | [mm] | | |
| <i>diametro interno del tubolare</i> | d _{int} | 168.7 | [mm] | | |
| <i>area della sezione del tubolare</i> | A | 7115.7 | [mm ²] | | |
| <i>momento inerzia tubolare</i> | I | 2934.3 | [cm ⁴] | | |
| <i>modulo resistenza plastico</i> | W _{pl} | 411.1 | [cm ³] | | |
| <i>momento statico di metà sezione</i> | S _{A/2} | 205.5 | [cm ³] | | |
| <i>tipologia di acciaio</i> | S | 355 | [MPa] | | |
| <i>coefficiente di sicurezza</i> | γ_{M0} | 1.05 | [-] | | |
| <i>tensione di snervamento di progett</i> | f _{yd} | 338.1 | [MPa] | | |
| | | <i>momento flettente agente</i> | M _{Ed} | 108.98 | [kNm] |
| | | <i>taglio agente</i> | T _{Ed} | 170.23 | [kN] |
| | | <i>sforzo normale agente</i> | N _{Ed} | 0 | [kN] |
| | | <i>taglio di calcolo</i> | T _{Ed} | 425.58 | [kN/ml] |
| | | <i>sforzo normale di calcolo</i> | N _{Ed} | 0.00 | [kN/ml] |
| | | <i>interasse tubolari</i> | i | 0.40 | [m] |
| | | VERIFICA DELLA SEZIONE IN CAMPO ELASTICO: | | | |
| | | <i>tensione normale</i> | $\sigma_{x,Ed}$ | 265.1 | [MPa] |
| | | <i>tensione tangenziale</i> | τ_{Ed} | 47.7 | [MPa] |
| | | <i>sigma ideale</i> | σ_{id} | 277.7 | [MPa] |
| | | <i>fattore di sicurezza</i> | FS | 1.2 | VERIFICATO |

Figura 8-15 Verifica micropalo Sez. 2-2

8.2.4.2 Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei trefoli dei tiranti.

| Ordine tirante [-] | Quota da testa paratia [m] | Passo [m] | n° trefoli [-] | i [°] | Area tirante [mm ²] | Pretiro [kN] | Pretiro/ml di paratia [kN/ml] | Resistenza tirante [kN] | T _{max} di calcolo [kN/ml] | T _{max} [kN] | FS [-] | Verifica [-] |
|--------------------|----------------------------|-----------|----------------|-------|---------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------|-------------------|
| I | 0.3 | 3.2 | 5 | 5 | 695 | 575 | 179.7 | 1009 | 233.61 | 747.55 | 1.35 | VERIFICATO |
| II | 2.4 | 3.2 | 5 | 5 | 695 | 575 | 179.7 | 1009 | 250.00 | 800.00 | 1.26 | VERIFICATO |
| III | 5.1 | 1.6 | 7 | 5 | 973 | 805 | 503.1 | 1413 | 840.78 | 1345.25 | 1.05 | VERIFICATO |
| IV | 8.0 | 1.6 | 7 | 5 | 973 | 805 | 503.1 | 1413 | 875.55 | 1400.88 | 1.01 | VERIFICATO |
| V | 10.3 | 1.6 | 7 | 5 | 973 | 805 | 503.125 | 1413 | 754.95 | 1207.92 | 1.17 | VERIFICATO |

Tabella 21 Verifica strutturale tiranti Sez. 2-2

8.2.4.3 Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

Per la verifica della trave di ripartizione posta in asse ai tiranti si rimanda alla verifica riportata nel paragrafo §8.1.4.3 in quanto rappresentativa delle condizioni più gravose.

8.2.4.4 Verifica strutturale trave di coronamento in c.a.

Per tale verifica si rimanda alla verifica svolta al paragrafo §8.1.4.4 in quanto rappresentativa delle condizioni più gravose.

8.2.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

8.2.5.1 Verifica di stabilità globale

Per tale verifica si rimanda alla verifica svolta al paragrafo §8.1.5.1 in quanto rappresentativa delle condizioni più gravose.

8.2.5.2 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 68%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 37%

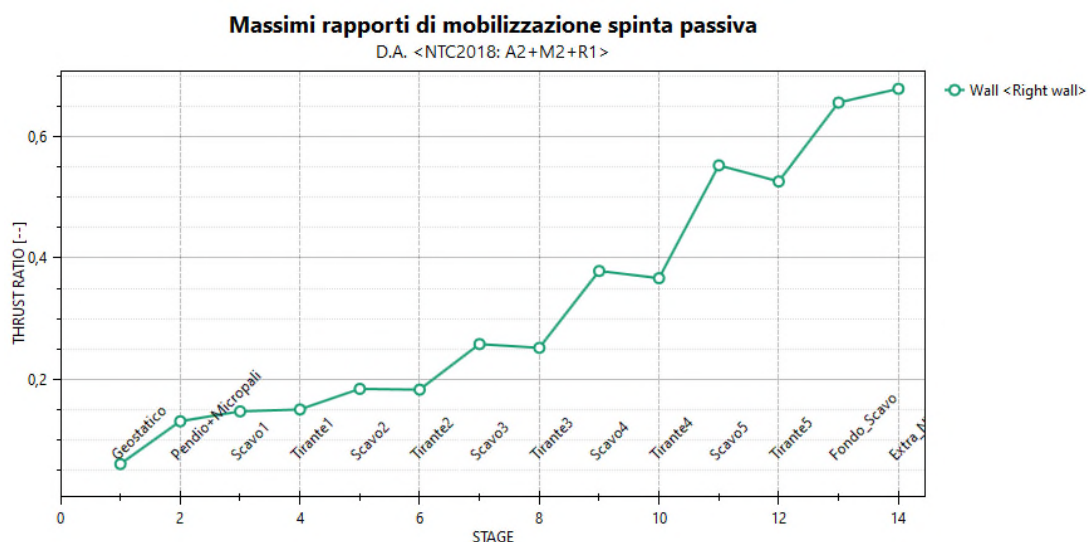


Figura 8-16 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

8.2.5.3 Verifica sfilamento tirante

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dei trefoli dei tiranti Comb. A1+M1+R3.

Caratteristiche del tirante e del bulbo:

| Ordine tirante | i | Quota da testa paratia | L _{libera} min statica | L _{libera} min sismica | n° trefoli | L _{libera} di progetto | L _{fondazione} minima | L _{fondazione} di | L _{totale} | L _{utile} | Area tirante | Φ _{perforazione} | α | Φ _{calcolo} = α · Φ | τ _{bulbo-terreno} |
|----------------|-----|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|-----|------------------------------|----------------------------|
| [-] | [°] | [m] | [m] | [m] | [-] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [mm ²] | [mm] | [-] | [m] | [kPa] |
| I | 5 | 0.3 | 6.5 | 8.76 | 5 | 9.0 | 9.2 | 12 | 21 | 15 | 695 | 180 | 1.5 | 0.27 | 180 |
| II | 5 | 2.4 | 5.5 | 7.45 | 5 | 8.0 | 9.8 | 12 | 20 | 14 | 695 | 180 | 1.5 | 0.27 | 180 |
| III | 5 | 5.1 | 4.3 | 5.78 | 7 | 7.0 | 14.8 | 16 | 23 | 15 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |
| IV | 5 | 8.0 | 3.0 | 3.98 | 7 | 6.0 | 15.4 | 16 | 22 | 14 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |
| V | 5 | 10.3 | 1.9 | 2.49 | 7 | 5.0 | 13.3 | 16 | 21 | 13 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |

Verifiche del tirante e dei meccanismi di rottura

| Ordine tirante | Azione massima di progetto | Rd sfilamento bulbo-terreno | Rd sfilamento trefoli-bulbo | Verifica del bulbo di fondazione | Forza di rottura dei trefoli | Modalità di collasso | Rispetto gerarchia resistenze | FS sfilamento - rottura |
|----------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| [-] | [kN] | [kN] | [kN] | | [kN] | | | |
| I | 747.6 | 979.77 | 1578.6 | VERIFICATO | 1160.65 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.2 |
| II | 800.0 | 979.77 | 1578.6 | VERIFICATO | 1160.65 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.2 |
| III | 1345.2 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |
| IV | 1400.9 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |
| V | 1207.9 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |

Tabella 22 Verifica sfilamento tiranti Sez. 2-2

9 MURO PREFABBRICATO TIPO 'TENSITER'

Per dettagli in merito al dimensionamento di tale opera si rimanda alla relazione PE-IMB-OPR-GE-002-RC.

10 PALI TIPO “A1-A2” $\Phi 900/600$ L=17m

Il dimensionamento delle paratie di pali tipo “A1”, “A2” è stato condotto analizzando una sezione rappresentativa delle condizioni di carico e vincolo. Il dimensionamento e verifica della trave di ripartizione in c.a. a quota testa pali avente sezione rettangolare 1.0x1.0m è riportata nel Par. §15.

Le operazioni di scavo generano un battente idraulico tra la quota di regolazione del lago (in fase di cantiere), 365.65m slm e la quota di fondo scavo, 358.6m. Allo scopo di contrastare tale sottospinta idraulica, è prevista l'esecuzione di un trattamento del terreno di fondazione incluso tra i due allineamenti di paratie, attraverso colonne in jet grouting.

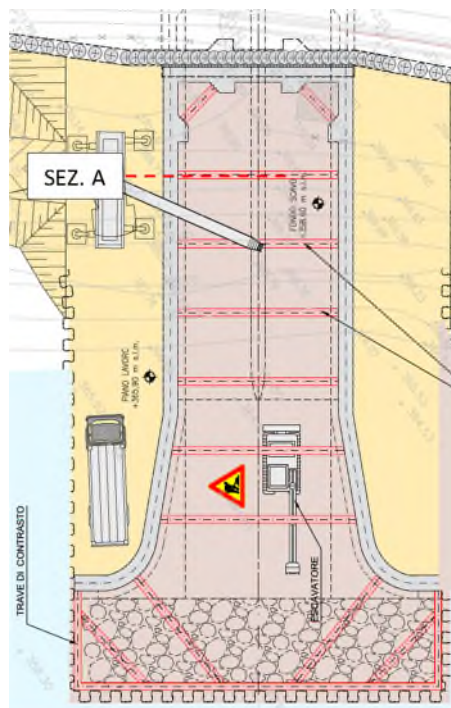


Figura 10-1 Sezione di calcolo A

Sezione A (Pali Tipo A1-A2):

- Quota piano di lavoro = 365.90m slm Quota fondo scavo = 358.60m slm
- Tipologia palo = $\Phi 900/600$ mm L_{palo} (profondità pali) = 17.0 m
- Trave di ripartizione C.A. 1.0x1.0m Puntone metallico provvisorio = $\Phi 508/20$ mm

Caratteristiche colonne jet-grouting:

- Quota testa jet = 365.90-12.3 = 353.6m
- Quota fondo jet = 349.6m
- Altezza terreno consolidato = 4m

| Altezza di scavo | Quota falda | Battente idraulico | Caratteristiche puntone metallici provvisori | | | | |
|------------------|-------------|--------------------|--|------------------|------------------------|--------------|-----------------------|
| | | | No. Ordini | Profilo puntone | Luce/interasse puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| [m] | [m slm] | [m] | | | | | |
| 7.3 | 365.65 | 7.05 | 1 | $\Phi 508/20$ mm | 12m/4.5m | 365.4m slm | 1.0x1.0m |

Tabella 23 Schema di calcolo A (Pali Tipo “A1”-“A2”)

10.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

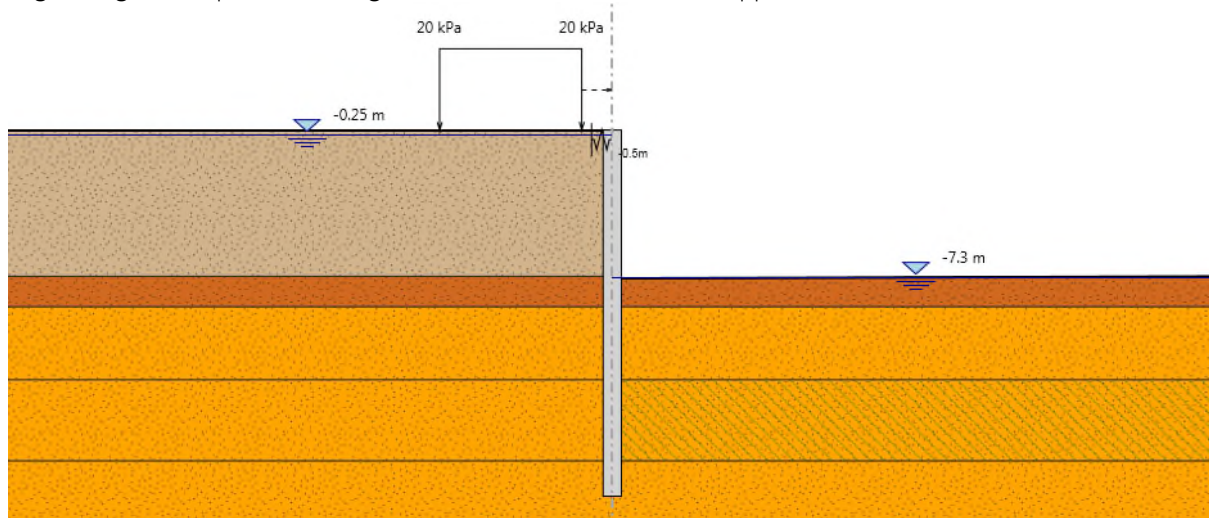


Figura 10-2 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | φ' | E_{vc} | E_{UR} |
|----------|-----------------------------------|-------|----------|----------------------|-------|------------|----------|---------------------|
| | | [m] | [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | [MPa] |
| G, S, AL | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa | 365.9 | 364.7 | 20 | - | 41 | 80 | 1.6*E _{vc} |
| | | 364.7 | 357.2 | 20 | - | 39 | 15 | 1.6*E _{vc} |
| | | 357.2 | > | 20 | - | 40 | 130 | 1.6*E _{vc} |

Tabella 24 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4.

10.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

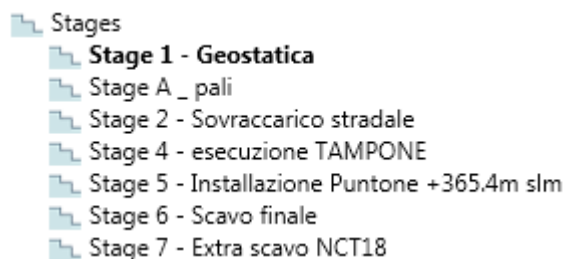


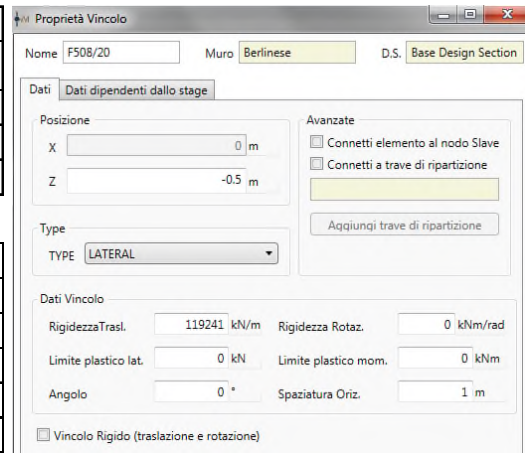
Figura 10-3 Fasi di calcolo considerate

La presenza del traffico di cantiere a tergo della paratia al di sopra del piano di lavoro è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente (20kPa).

La rigidità del puntone metallico (+365.4m slm) è stata calcolata come di seguito:

| | |
|----------------------|-------|
| diam [mm] | 508 |
| spessore [mm] | 20 |
| A [mm ²] | 30662 |
| L [m] | 12 |
| Interasse [m] | 4.5 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| Classe acciaio | S355 |
| E [kPa] | 210000000 |
| EA/(L) [kN/m] | 5.37E+05 |
| EA/(L)/Interasse [kN/m/m] | 119241 |
| inclinazione [°] | 90 |
| EA/(L)/Interasse [kN/m/m] | 119241 |



Proprietà Vincolo

Nome: F508/20 Muro: Berlinese D.S.: Base Design Section

Dati: Dati dipendenti dallo stage

Posizione
X: 0 m
Z: -0.5 m

Avanzate
 Connetti elemento al nodo Slave
 Connetti a trave di ripartizione
Aqquini trave di ripartizione

Type
TYPE: LATERAL

Dati Vincolo
RigidezzaTrasl.: 119241 kN/m Rigidezza Rotaz.: 0 kNm/rad
Limite plastico lat.: 0 kN Limite plastico mom.: 0 kNm
Angolo: 0 ° Spaziatura Oriz.: 1 m

Vincolo Rigido (traslazione e rotazione)

Figura 10-4 - Calcolo rigidezza puntone metallico (+365.4m slm)

10.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 7 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo + Δh (pari a 0.5m, extra scavo NTC18) con quota di falda pari al livello di regolazione del lago in fase di cantiere (+365.65m slm). Il massimo spostamento è circa a 6.3mm.

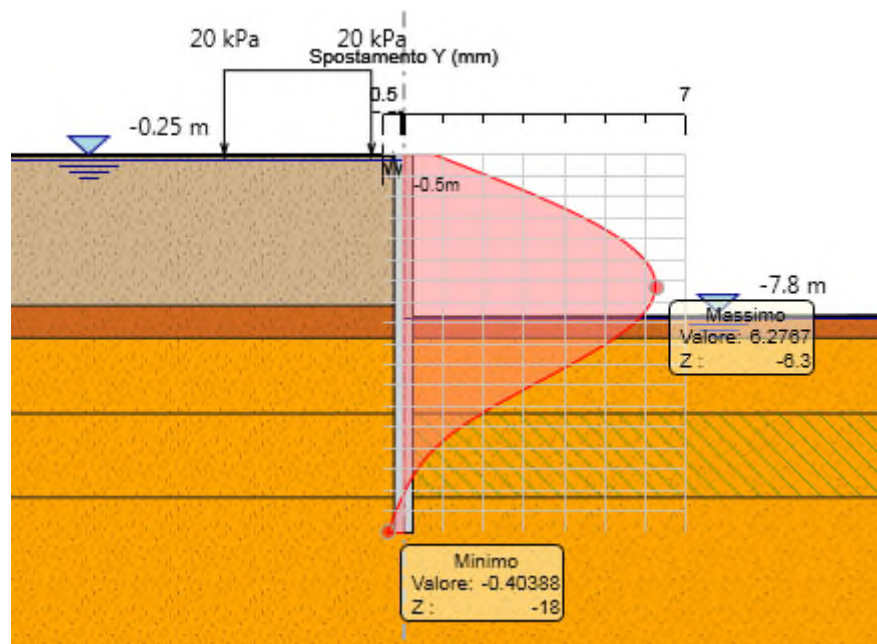


Figura 10-5 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 7)

10.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante [kN/m] e flettente [kNm/m] sul palo e sui puntone provvisori.

| M_{SLE} Palo [kNm/m] | M_{SLU} A1-M1 Palo [kNm/m] | V_{SLU} A1-M1 Palo [kN/m] | N_{SLU} A1-M1 Puntone 1° ordine [kN/m] |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 606 | 792 | 239 | 223 |

Tabella 25 Output sollecitazioni elementi strutturali

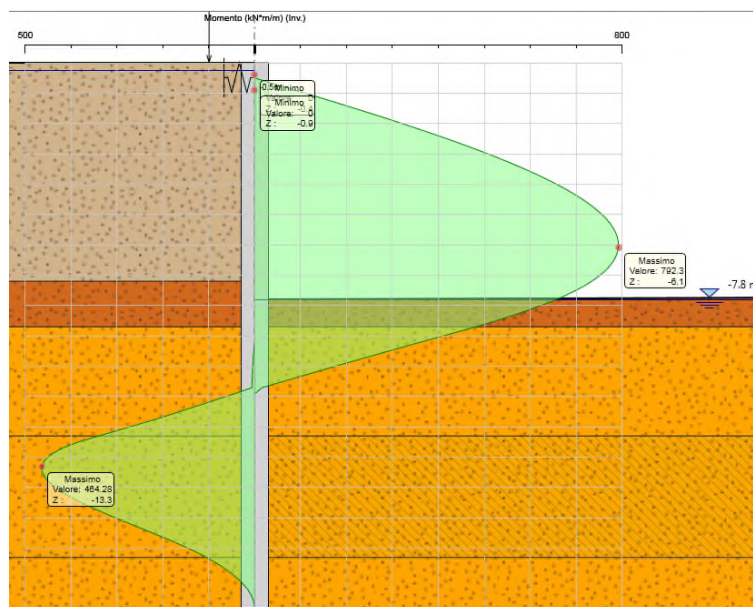


Figura 10-6 - Involucro M SLU

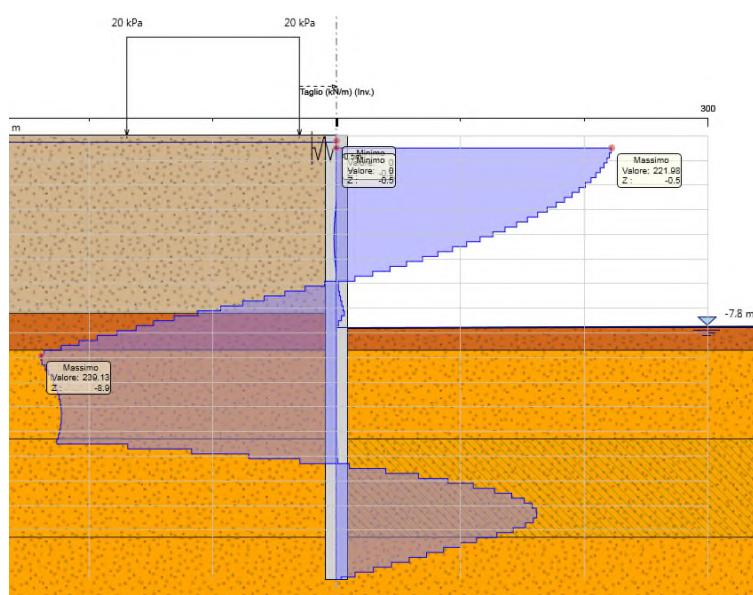


Figura 10-7 - Involucro V SLU

Per determinare le azioni agenti sui singoli elementi, si considerano i seguenti interessi:

- Pali armati = 1.2m;
- Puntoni metallici = 4.5m

| M _{SL} E [kNm] | M _{SLU} A1-M1 [kNm] | V _{SLU} A1-M1 [kN] | N _{SLU} A1-M1 Puntone 1° ordine [kN/puntone] |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| 727 | 950 | 287 | 1004 |

Tabella 26 Sollecitazioni di verifica pali

10.4.1 Verifica strutturale palo

| Profondità [m] (*) | L Gabbia [m] | MRd [kNm] | Tip. Gabbia |
|-----------------------|-----------------|--------------|-------------|
| 0.7 | 12 | 1744 | 22Φ30 |
| 12.7 | | 1744 | 22Φ30 |
| 10.7 | 6.9 | 870 | 22Φ20 |
| 17.6 | | 870 | 22Φ20 |

(*) da estradosso trave di coronamento

| Profondità [m] (*) | Estensione spirali [m] | VRd [kN] | Tip. Spirale |
|-----------------------|---------------------------|-------------|--------------|
| 1 | 16.6 | 441 | Φ12/20 |
| 17.6 | | 441 | Φ12/20 |

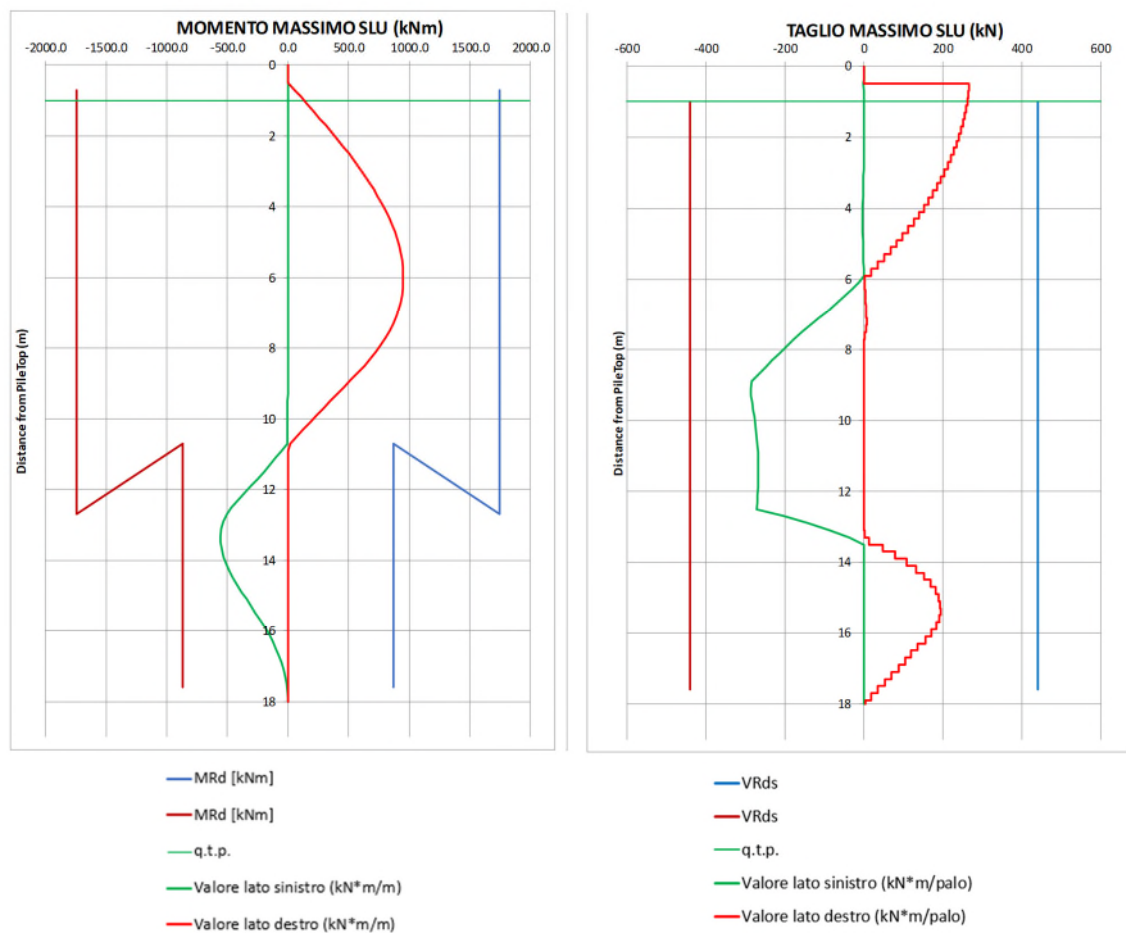


Tabella 27 Schemi gabbie di armatura

10.4.1.1 Gabbia 1 – 22 Φ 30

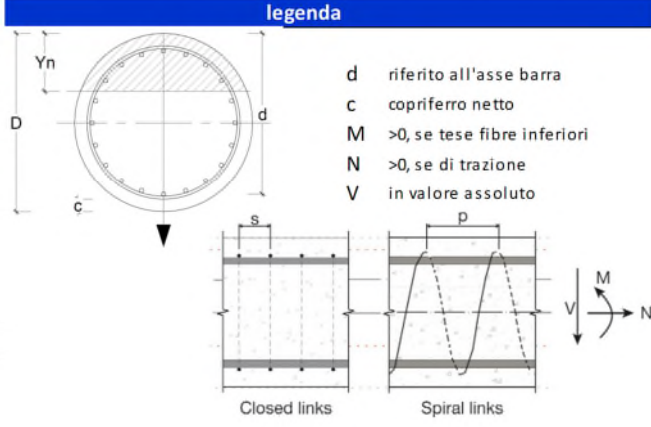
| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | |
|------------------------|------------|----------------------|--------------------|----------------|---|-----------------|
| sezione trasversale | | | | | SLE | SLU |
| D | c | d | passo | interferro | M _{Ek} | M _{Ed} |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | 727.0 [kNm] | 950.0 [kNm] |
| 90 | 6.0 | 81.3 | 10.4 | 7.4 | N _{Ek} | N _{Ed} |
| | | | | | 0.0 [kN] | 0.0 [kN] |
| armatura longitudinale | | | | | momento di cracking | |
| n _{barre} | ϕ | r _i | A _{sl} | c _i | M _{cr} | 225.4 [kNm] |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | [cm] | quota asse neutro | |
| 22 | 30 | 36.3 | 155.51 | 8.70 | y _n | 32.76 [cm] |
| | | 33.30 | | | tensioni e fessure | |
| armatura a taglio | | | | | $\sigma_{c,min}$ | 0.0 [MPa] |
| Tipo | ϕ | p | A _{sw} | | $\sigma_{s,min}$ | 0.0 [MPa] |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | | $\sigma_{s,max}$ | 0.0 [MPa] |
| spirale | 12 | 20 | 2.26 | | k ₂ | 0.5 |
| | | | | | $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$ | - [%] |
| | | | | | S _{r,max} | - [cm] |
| | | | | | w _k | - [mm] |
| materiali | | | | | legenda | |
| calcestruzzo | | | acciaio | |  | |
| R _{ck} | 30 [MPa] | f _{yk} | 450 [MPa] | | | |
| f _{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 | | | |
| γ_c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 [MPa] | | | |
| α_{cc} | 0.85 | E _s | 200000 [MPa] | | | |
| f _{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] | | | |
| v | 0.5 | valori limite | | | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | 0,45 f _{ck} | 11.2 [MPa] | | | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | 0,8 f _{yk} | 360.0 [MPa] | | | |
| α_e | 15.0 | w _{k,lim} | 0.3 [mm] | | | |
| k _t | 0.6 | | | | | |
| k ₁ | 0.8 | | | | | |
| k ₃ | 3.4 | | | | | |
| k ₄ | 0.425 | | | | | |

Figura 10-8 Verifica pali Tipo 'A1' – 'A2' – Gabbia 1

10.4.1.2 Gabbia 2 – 22 Φ 20

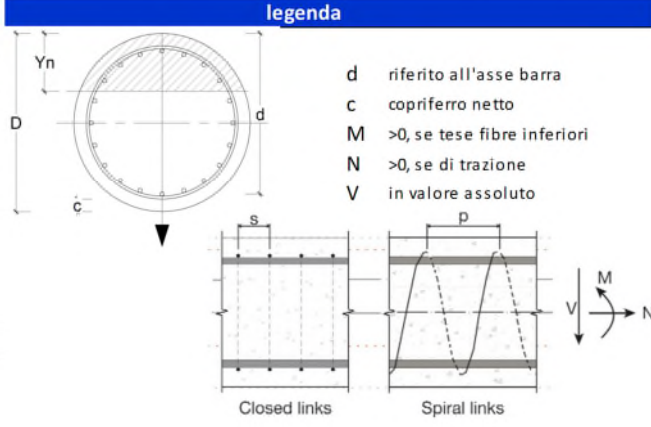
| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | |
|------------------------|------------|----------------------|--------------------|----------------|---|-----------------|
| sezione trasversale | | | | | SLE | SLU |
| D | c | d | passo | interferro | M _{Ek} | M _{Ed} |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | 28.0 [kNm] | 557.0 [kNm] |
| 90 | 6.0 | 81.8 | 10.5 | 8.5 | N _{Ek} | N _{Ed} |
| | | | | | 0.0 [kN] | 0.0 [kN] |
| armatura longitudinale | | | | | momento di cracking | |
| n _{barre} | ϕ | r _i | A _{sl} | c _i | M _{cr} | 185.8 [kNm] |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | [cm] | quota asse neutro | |
| 22 | 20 | 36.8 | 69.12 | 8.20 | y _n | 27.30 [cm] |
| | | 34.80 | | | tensioni e fessure | |
| armatura a taglio | | | | | $\sigma_{c,min}$ | -0.6 [MPa] |
| Tipo | ϕ | p | A _{sw} | | $\sigma_{s,min}$ | -6.0 [MPa] |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | | $\sigma_{s,max}$ | 17.2 [MPa] |
| spirale | 12 | 20 | 2.26 | | k ₂ | 0.5 |
| materiali | | | | | legenda | |
| calcestruzzo | | | acciaio | |  | |
| R _{ck} | 30 [MPa] | f _{yk} | 450 [MPa] | d | riferito all'asse barra | |
| f _{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 | c | copriferro netto | |
| γ_c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 [MPa] | M | >0, se tese fibre inferiori | |
| α_{cc} | 0.85 | E _s | 200000 [MPa] | N | >0, se di trazione | |
| f _{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] | V | in valore assoluto | |
| v | 0.5 | valori limite | | | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | 0,45 f _{ck} | 11.2 [MPa] | | | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | 0,8 f _{yk} | 360.0 [MPa] | | | |
| α_e | 15.0 | w _{k,lim} | 0.3 [mm] | | | |
| k _t | 0.6 | | | | | |
| k ₁ | 0.8 | | | | | |
| k ₃ | 3.4 | | | | | |
| k ₄ | 0.425 | | | | | |

Figura 10-9 Verifica pali Tipo 'A1' – 'A2' – Gabbia 2

10.4.2 Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Ø508/20mm L=12m

Sulla paratia di pali 'A1' 'A2' insistono puntone metallici costituiti da Ø508/20mm, di luce L=12m posti a quota asse 365.4m slm. Di seguito, si riporta la verifica strutturale del puntone con interasse di progetto di 4.50m.

| Alpina | | | | Alpina | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|----------|--------------------|--|-------------------|--------|--------|----------------------|---|--|--|------------------------------|---|------|-----|-------------------------------|-----------------|----------|-----|-------------------------|---|------|-----|----------------|---|------|-----|----------------|---|------|-----|----------------------------|---------------------|------|------|
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caratteristiche dei materiali | | | | Verifica a compressione | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tipologia acciaio | S355JR | | | sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 223.00 | [kN/m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sezione formata | a caldo | | | interasse puntone | i | 4.50 | [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tensione di snervamento dell'acciaio | f _y | 355 | [MPa] | sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1004 | [kN] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| modulo di elasticità dell'acciaio | E | 210000 | [MPa] | resistenza a compressione | N _{c,Rd} | 10367 | [kN m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente parziale sulle resistenze | γ _{M0} | 1.05 | [-] | <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Verifica OK</div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;"> $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ </div> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente parziale sulle resistenze all'instabilità | γ _{M1} | 1.10 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Geometria del puntone | | | | Verifica all'instabilità dell'asta compressa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| lunghezza | L | 12.00 | [m] | <table border="1"> <thead> <tr> <th>curva di instabilità</th> <th colspan="3">a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>coefficiente di imperfezione</td> <td>α</td> <td>0.21</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>carico critico di sbandamento</td> <td>N_{cr}</td> <td>13159359</td> <td>[N]</td> </tr> <tr> <td>snellezza adimensionale</td> <td>λ</td> <td>0.91</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>coefficiente φ</td> <td>φ</td> <td>0.99</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>coefficiente χ</td> <td>χ</td> <td>0.73</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>resistenza all'instabilità</td> <td>N_{b,Rd} =</td> <td>7201</td> <td>[kN]</td> </tr> </tbody> </table> | | | | curva di instabilità | a | | | coefficiente di imperfezione | α | 0.21 | [-] | carico critico di sbandamento | N _{cr} | 13159359 | [N] | snellezza adimensionale | λ | 0.91 | [-] | coefficiente φ | φ | 0.99 | [-] | coefficiente χ | χ | 0.73 | [-] | resistenza all'instabilità | N _{b,Rd} = | 7201 | [kN] |
| curva di instabilità | a | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente di imperfezione | α | 0.21 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| carico critico di sbandamento | N _{cr} | 13159359 | [N] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| snellezza adimensionale | λ | 0.91 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente φ | φ | 0.99 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente χ | χ | 0.73 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| resistenza all'instabilità | N _{b,Rd} = | 7201 | [kN] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| diametro esterno | d | 508.0 | [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| spessore | t | 20.0 | [mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| area della sezione | A | 306.6 | [cm ²] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| momento d'inerzia | I | 91428 | [cm ⁴] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| modulo elastico a flessione | W _{el} | 3600 | [cm ³] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| modulo plastico a flessione | W _{pl} | 4766 | [cm ³] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| peso tubo | G | 240.7 | [Kg/m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Determinazione della classe della sezione | | | | <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Verifica OK</div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;"> $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$ </div> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente ε | ε | 0.81 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente ε ² | ε ² | 0.66 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rapporto larghezza - spessore | d/t | 25.4 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| classe della sezione | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Verifica a pressoflessione | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 223.00 | [kN/m] | <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Verifica OK</div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; background-color: #e0e0e0;"> $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}(1-n)} \leq 1$ </div> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| interasse puntone | i | 4.50 | [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1004 | [kN] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| resistenza a compressione | N _{pl,Rd} | 10367 | [kN m] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| coefficiente riduttivo | 1-n | 0.90 | [-] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| momento flettente massimo | M _{Ed} | 43.33 | [kNm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| momento plastico resistente | M _{pl,Rd} | 1611.21 | [kNm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 28 Verifica puntone metallico STR

10.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

10.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia, in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 4%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 6%

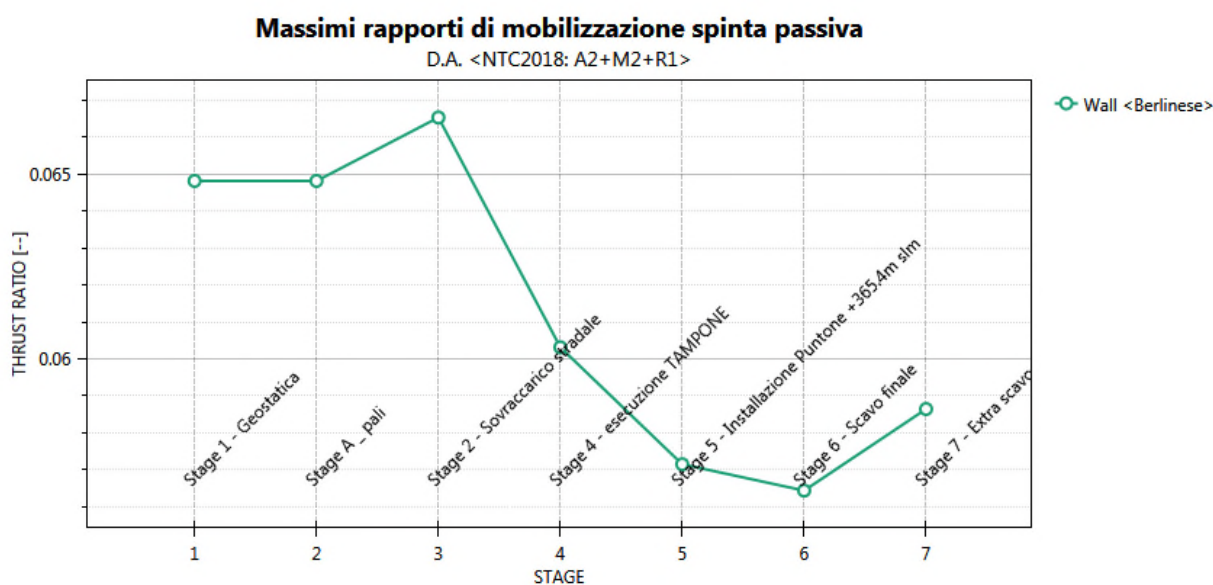


Figura 10-10 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

11 PALI TIPO “B2” $\Phi 900/600$ L=21.5m – FASE 1 (scavo lato Lago)

Il dimensionamento delle paratie di pali tipo “B2” è stato condotto analizzando una sezione rappresentativa delle condizioni di carico e vincolo. Il dimensionamento e verifica della trave di ripartizione in c.a. a quota testa pali avente sezione rettangolare 1.75x1.5m è riportata nel Par. §15.

Le operazioni di scavo generano un battente idraulico tra la quota di regolazione del lago (in fase di cantiere), 365.65m slm e la quota di fondo scavo, 358.6m. Allo scopo di contrastare tale sottospinta idraulica, è prevista l'esecuzione di un trattamento del terreno di fondazione incluso tra i due allineamenti di paratie, attraverso colonne in jet grouting.

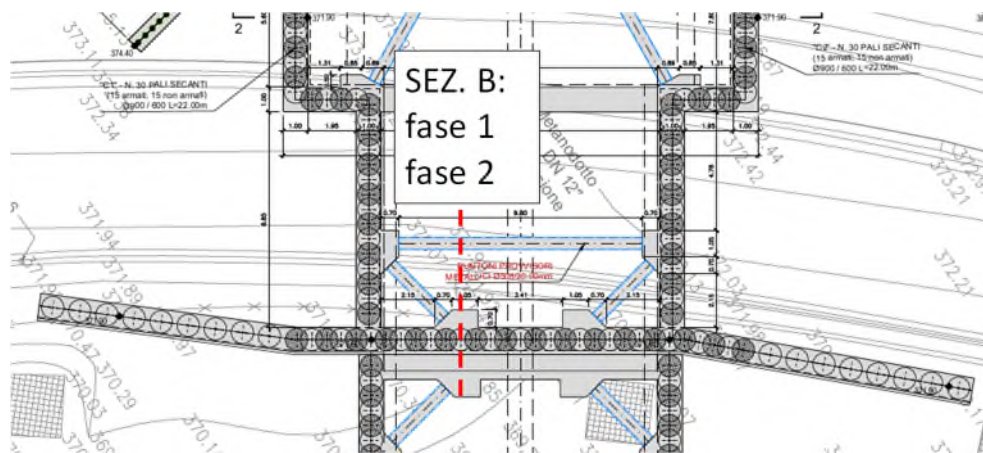


Figura 11-1 Sezione di calcolo B

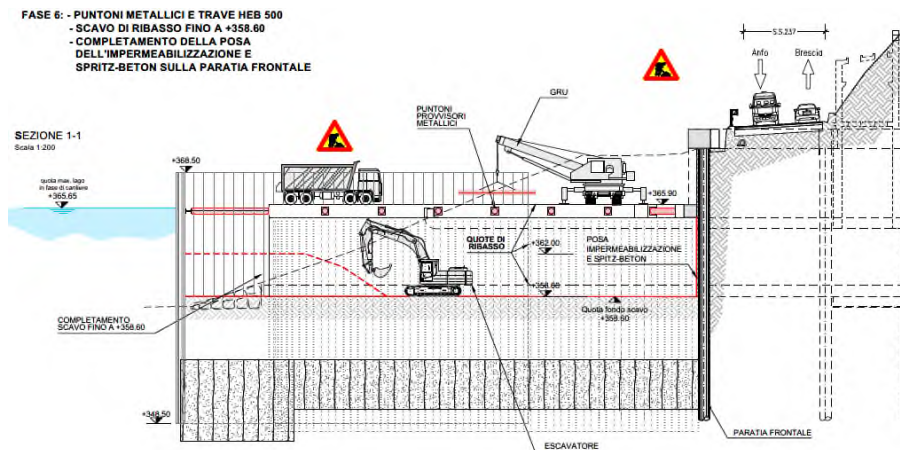


Figura 11-2 Pali tipo "B2" fase scavo lato Lago

Sezione B (Pali Tipo B2) – Fase scavo lato Valle:

| | | | |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|
| – Quota piano di lavoro | = 371.90m slm | Quota fondo scavo | = 358.60m slm |
| – Tipologia palo | = $\Phi 900/600$ mm | L_{palo} (profondità pali) | = 21.5 m |
| – Trave di ripartizione | C.A. 1.75x1.5m | Puntone metallico provvisorio | = $\Phi 508/20$ mm |

Caratteristiche colonne jet-grouting:

| | | |
|-------------------------------|---------------|----------|
| - Quota testa jet | = 365.90-12.3 | = 353.6m |
| - Quota fondo jet | = 349.6m | |
| - Altezza terreno consolidato | = 4m | |

| Altezza di scavo [m] | Quota falda [m slm] | Battente idraulico [m] | Caratteristiche puntoni metallici provvisori | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------------------------|--|-----------------|-------------------------------|--------------|-----------------------|
| | | | No. Ordini | Profilo puntone | Luce/interasse puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| 13.3 | 365.65 | 7.05 | 1 | Ø 508/20mm | 3.7m/5.75m (inclinazione 45°) | 365.4m slm | 1.0x1.0m |

Tabella 29 Schema di calcolo B (Pali Tipo "B2") – Fase scavo lato Lago

11.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

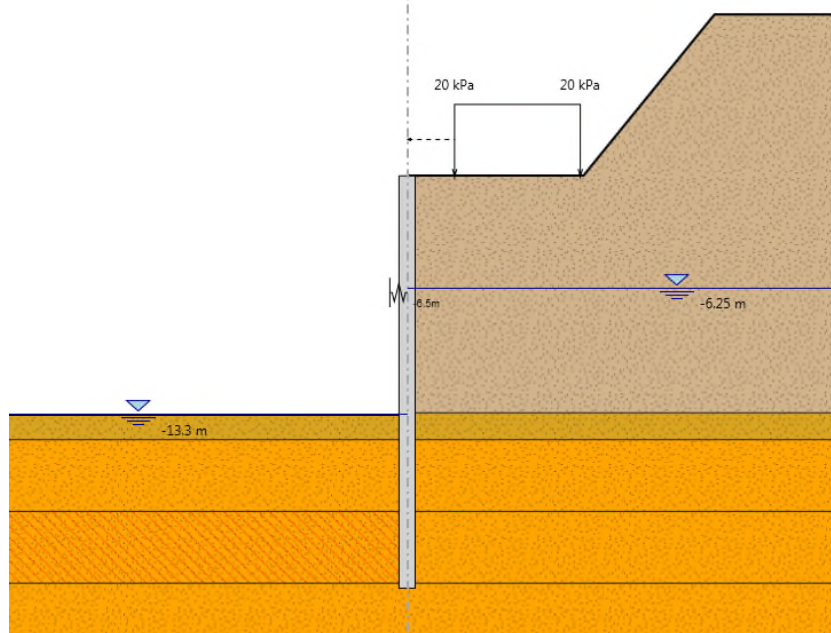


Figura 11-3 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | φ' | E_{vc} | E_{ur} |
|----------|-----------------------------------|-------|----------|----------------------|-------|------------|----------|---------------------|
| | | [m] | [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | [MPa] |
| G, S, AL | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa | 371.9 | 358.7 | 20 | - | 41 | 80 | 1.6*E _{vc} |
| | | 358.7 | 357.2 | 20 | - | 39 | 15 | 1.6*E _{vc} |
| | | 357.2 | > | 20 | - | 40 | 130 | 1.6*E _{vc} |

Tabella 30 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4.

11.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- Stages
 - Stage 1 - Geostatica
 - Stage 2 - Sovraccarico stradale
 - Stage 3 - Esecuzione Paratia
 - Stage 4 - esecuzione TAMPONE
 - Stage 5 - Scavo intermedio +364.9m slm
 - Stage 6 - Installazione Puntone +365.4m slm
 - Stage 7 - Scavo finale
 - Stage 8 - Extra scavo NCT18

Figura 11-4 Fasi di calcolo considerate

La presenza del traffico di cantiere a tergo della paratia al di sopra del piano di lavoro è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente (20kPa).

La rigidità del puntone metallico (+365.4m slm) è stata calcolata come di seguito:

| | |
|----------------------|-------|
| diam [mm] | 508 |
| spessore [mm] | 20 |
| A [mm ²] | 30662 |
| L [m] | 5.5 |
| Interasse [m] | 4.3 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| Classe acciaio | S355 |
| E [kPa] | 210000000 |
| EA/L [kN/m] | 1.17E+06 |
| EA/L/Interasse [kN/m/m] | 272263 |
| inclinazione [°] | 45 |
| EA/L/Interasse [kN/m/m] | 192519 |

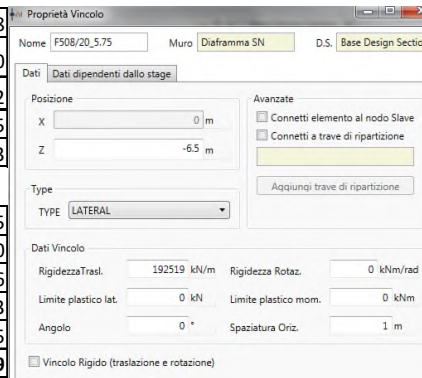


Figura 11-5 - Calcolo rigidità puntone metallico (+365.4m slm)

11.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 8 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo + Δh (pari a 0.5m, extra scavo NTC18) con quota di falda pari al livello di regolazione del lago in fase di cantiere (+365.65m slm). Il massimo spostamento è circa a 23mm.

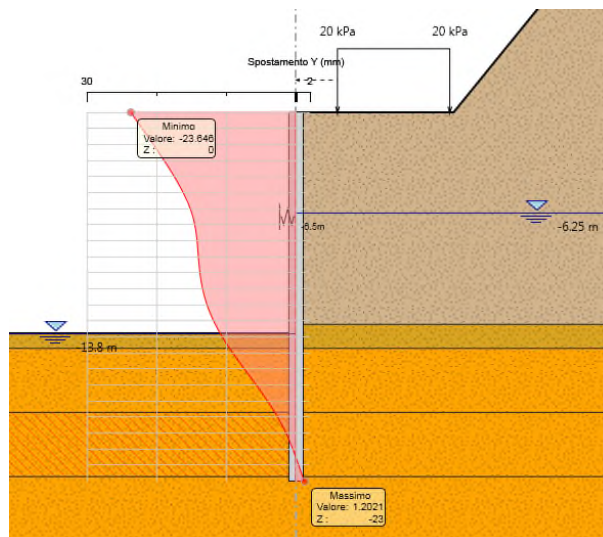


Figura 11-6 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 8)

11.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante [kN/m] e flettente [kNm/m] sul palo e sui puntone provvisori.

| M _{SLE} Palo [kNm/m] | M _{SLU} A1-M1 Palo [kNm/m] | V _{SLU} A1-M1 Palo [kN/m] | N _{SLU} A1-M1 Puntone 1° ordine [kN/m] |
|----------------------------------|---|--|---|
| 672 | 941 | 460 | 726 |

Tabella 31 Output sollecitazioni elementi strutturali

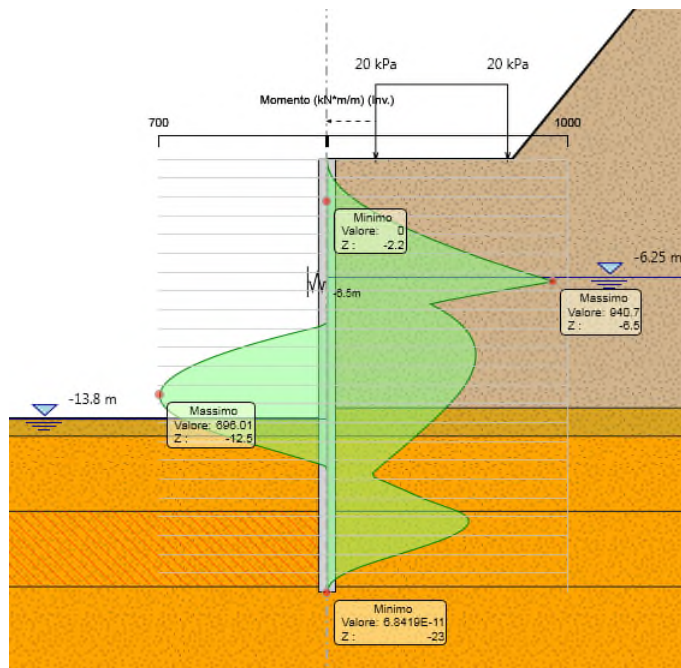


Figura 11-7 - Involucro M SLU

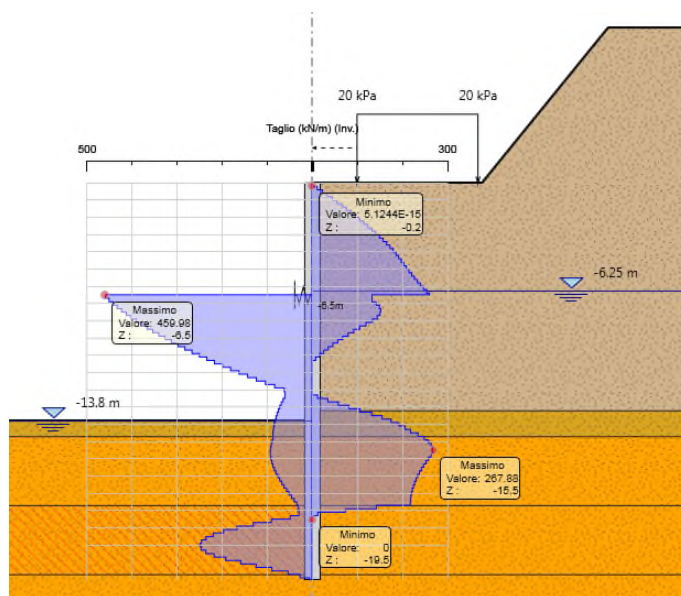


Figura 11-8 - Involucro V SLU

Per determinare le azioni agenti sui singoli elementi, si considerano i seguenti interessi:

- Pali armati = 1.2m;
- Puntoni metallici = 5.75m

| M_{SLE} [kNm] | $M_{SLU A1-M1}$ [kNm] | $V_{SLU A1-M1}$ [kN] | $N_{SLU A1-M1}$ Puntone 1° ordine [kN/puntone] |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| 806 | 1129 | 552 | 5904 |

Tabella 32 Sollecitazioni di verifica pali

11.4.1 Verifica strutturale palo

| Profondità [m] (*) | L Gabbia [m] | MRd [kNm] | Tip. Gabbia |
|--------------------|--------------|-----------|--------------|
| 1.2 | 12 | 1736 | 22 Φ 30 |
| 13.2 | | 1736 | 22 Φ 30 |
| 11.2 | 11.4 | 1736 | 22 Φ 30 |
| 22.6 | | 1736 | 22 Φ 30 |

(*) da estradosso trave di coronamento

| Profondità [m] (*) | Estensione spirali [m] | VRd [kN] | Tip. Spirale |
|--------------------|------------------------|----------|--------------|
| 1.5 | 14.5 | 800 | Φ 14/15 |
| 16 | | 800 | Φ 14/15 |
| 16 | 6.6 | 397 | Φ 14/30 |
| 22.6 | | 397 | Φ 14/30 |

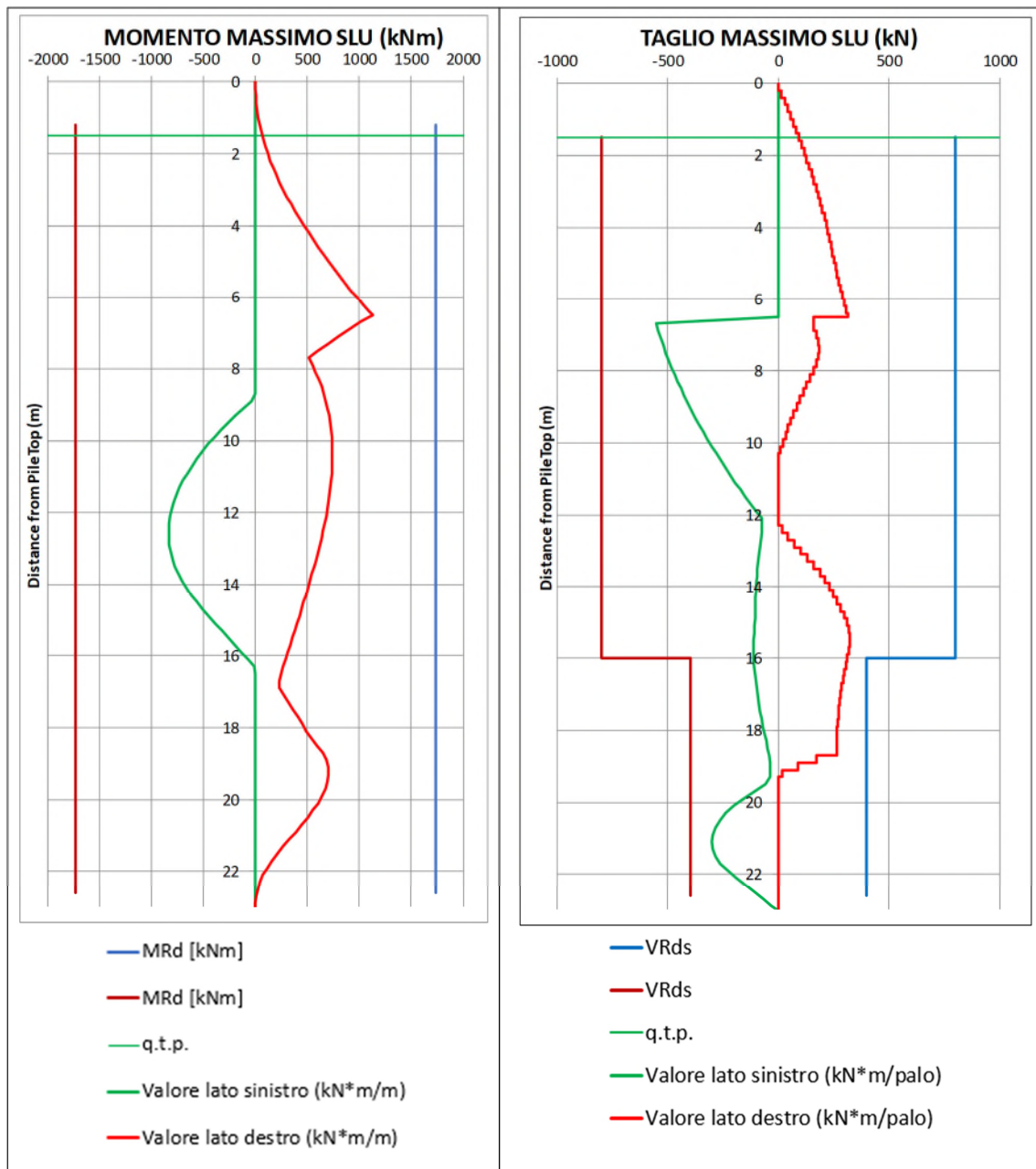


Tabella 33 Schemi gabbie di armatura

11.4.1.1 Gabbia 22 Φ 30

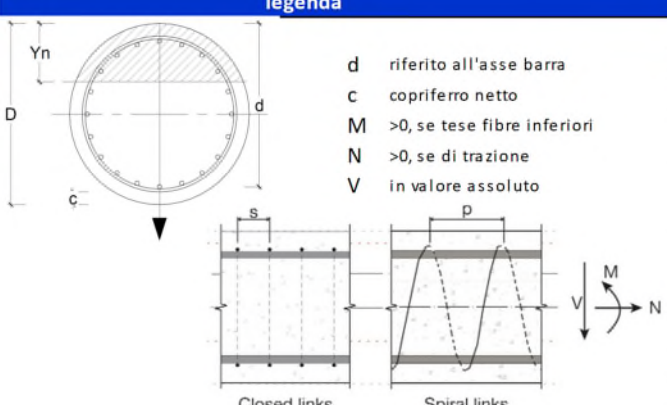
| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------|---|--------------------|-------------------------------|--|
| sezione trasversale | | | | | SLE | | | |
| D | c | d | passo | interferro | MEd | 806.0 [kNm] | SEU | |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | NEd | 0.0 [kN] | MEd | |
| 90 | 6.0 | 81.1 | 10.3 | 7.3 | momento di cracking | | | |
| armatura longitudinale | | | | | M _{cr} | 224.6 [kNm] | presso-flessione | |
| n _{barre} | ϕ | r _i | A _{sl} | C _i | quota asse neutro | | | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | [cm] | y _n | 32.77 [cm] | M _{Rd} | |
| 22 | 30 | 36.1 | 155.51 | 8.90 | FS 1.54 | | | |
| | | 36.1 | | | taglio | | | |
| armatura a taglio | | | | | $\sigma_{c,min}$ | -10.9 [MPa] | V _{Rdc} | |
| Tipo | ϕ | p | A _{sw} | | $\sigma_{s,min}$ | -117.6 [MPa] | 307.9 [kN] | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | | $\sigma_{s,max}$ | 240.1 [MPa] | predisporre armatura a taglio | |
| spirale | 14 | 15 | 3.08 | | V _{Rds} 800.2 [kN] | | | |
| materiali | | | | | k ₂ | 0.5 | V _{Rdmax} | |
| calcestruzzo | | | acciaio | | $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ | 0.81 [%] | 1479.2 [kN] | |
| R _{ck} | 30 [MPa] | f _{yk} | 450 [MPa] | | S _{r,max} | 37.0 [cm] | θ 28.0 [°] | |
| f _{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 | | w _k | 0.30 [mm] | sezione duttile | |
| γ_c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 [MPa] | | ai 55.7 [cm] | | | |
| α_{cc} | 0.85 | E _s | 200000 [MPa] | | legenda | | | |
| f _{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] | |  | | | |
| v | 0.5 | valori limite | | | | | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | 0,45 f _{ck} | 11.2 [MPa] | | | | | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | 0,8 f _{yk} | 360.0 [MPa] | | | | | |
| α_e | 15.0 | w _{k,lim} | 0.3 [mm] | | | | | |
| k _t | 0.6 | | | | | | | |
| k ₁ | 0.8 | | | | | | | |
| k ₃ | 3.4 | | | | | | | |
| k ₄ | 0.425 | | | | | | | |

Figura 11-9 Verifica pali Tipo 'B2' – Fase scavo Lato Valle

11.4.2 Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Ø508/20mm L=3.7m (inclinazione 45°)

Sulla paratia di pali 'B2' insistono puntone metallici costituiti da Ø508/20mm, di luce L=3.7m (inclinazione 45°) posti a quota asse 365.4m slm. Di seguito, si riporta la verifica strutturale del puntone con interasse di progetto di 5.75m.

| Alpina | | | | Alpina | | | |
|--|--------------------|---------|--------------------|---|--------------------|-----------|--------|
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Caratteristiche dei materiali | | | | Verifica a compressione | | | |
| tipologia acciaio | S355JR | | | sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 1027.00 | [kN/m] |
| sezione formata | a caldo | | | interasse puntone | i | 5.75 | [m] |
| tensione di snervamento dell'acciaio | f _y | 355 | [MPa] | sforzo normale massimo | N _{Ed} | 5905 | [kN] |
| modulo di elasticità dell'acciaio | E | 210000 | [MPa] | resistenza a compressione | N _{c,Rd} | 10367 | [kN m] |
| coefficiente parziale sulle resistenze | γ _{M0} | 1.05 | [-] | Verifica OK $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ | | | |
| coefficiente parziale sulle resistenze all'instabilità | γ _{M1} | 1.10 | [-] | | | | |
| Geometria del puntone | | | | Verifica all'instabilità dell'asta compressa | | | |
| lunghezza | L | 3.70 | [m] | curva di instabilità | a | | |
| diametro esterno | d | 508.0 | [mm] | coefficiente di imperfezione | α | 0.21 | [-] |
| spessore | t | 20.0 | [mm] | carico critico di sbandamento | N _{cr} | 138418390 | [N] |
| area della sezione | A | 306.6 | [cm ²] | snellezza adimensionale | λ | 0.28 | [-] |
| momento d'inerzia | I | 91428 | [cm ⁴] | coefficiente φ | φ | 0.55 | [-] |
| modulo elastico a flessione | W _{el} | 3600 | [cm ³] | coefficiente χ | χ | 0.98 | [-] |
| modulo plastico a flessione | W _{pl} | 4766 | [cm ³] | resistenza all'instabilità | N _{b,Rd} | 9718 | [kN] |
| peso tubo | G | 240.7 | [Kg/m] | Verifica OK $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$ | | | |
| Determinazione della classe della sezione | | | | | | | |
| coefficiente ε | ε | 0.81 | [-] | Verifica OK $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}(1-n)} \leq 1$ | | | |
| coefficiente ε ² | ε ² | 0.66 | [-] | | | | |
| rapporto larghezza - spessore | d/t | 25.4 | [-] | | | | |
| classe della sezione | 1 | | | | | | |
| Alpina | | | | Alpina | | | |
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Verifica a pressoflessione | | | | Verifica a pressoflessione | | | |
| sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 1027.00 | [kN/m] | sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 1027.00 | [kN/m] |
| interasse puntone | i | 5.75 | [m] | interasse puntone | i | 5.75 | [m] |
| sforzo normale massimo | N _{Ed} | 5905 | [kN] | sforzo normale massimo | N _{Ed} | 5905 | [kN] |
| resistenza a compressione | N _{p,Rd} | 10367 | [kN m] | resistenza a compressione | N _{p,Rd} | 10367 | [kN m] |
| coefficiente riduttivo | 1-n | 0.43 | [-] | coefficiente riduttivo | 1-n | 0.43 | [-] |
| momento flettente massimo | M _{Ed} | 4.12 | [kNm] | momento flettente massimo | M _{Ed} | 4.12 | [kNm] |
| momento plastico resistente | M _{pl,Rd} | 1611.21 | [kNm] | momento plastico resistente | M _{pl,Rd} | 1611.21 | [kNm] |
| Verifica OK | | | | Verifica OK | | | |

Tabella 34 Verifica puntone metallico STR

11.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

11.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia, in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma_F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma_R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 6%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 9%

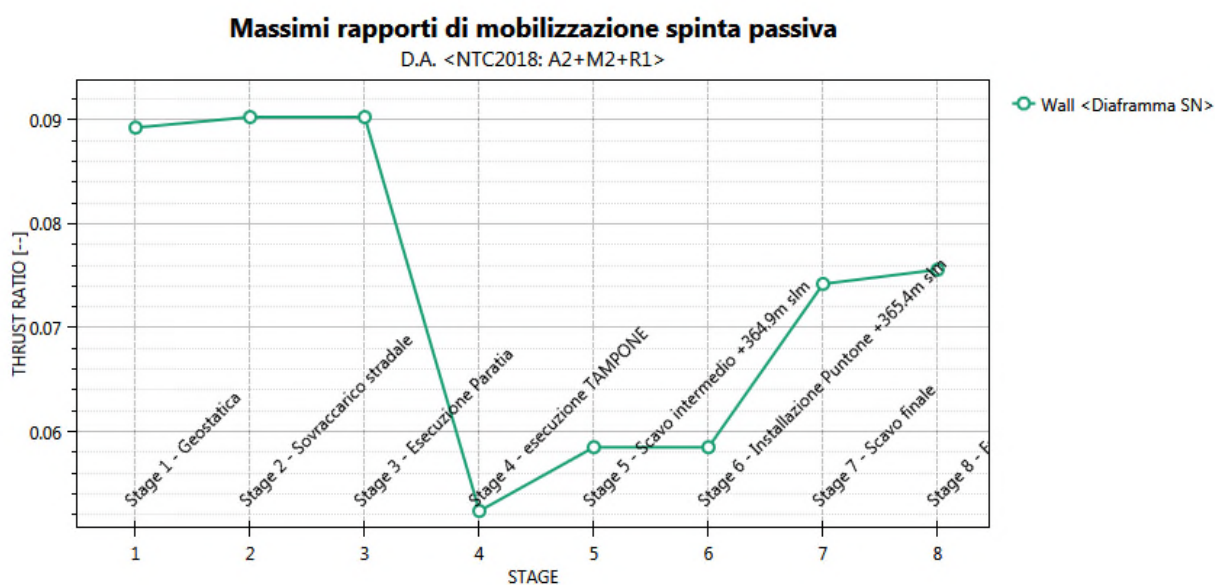
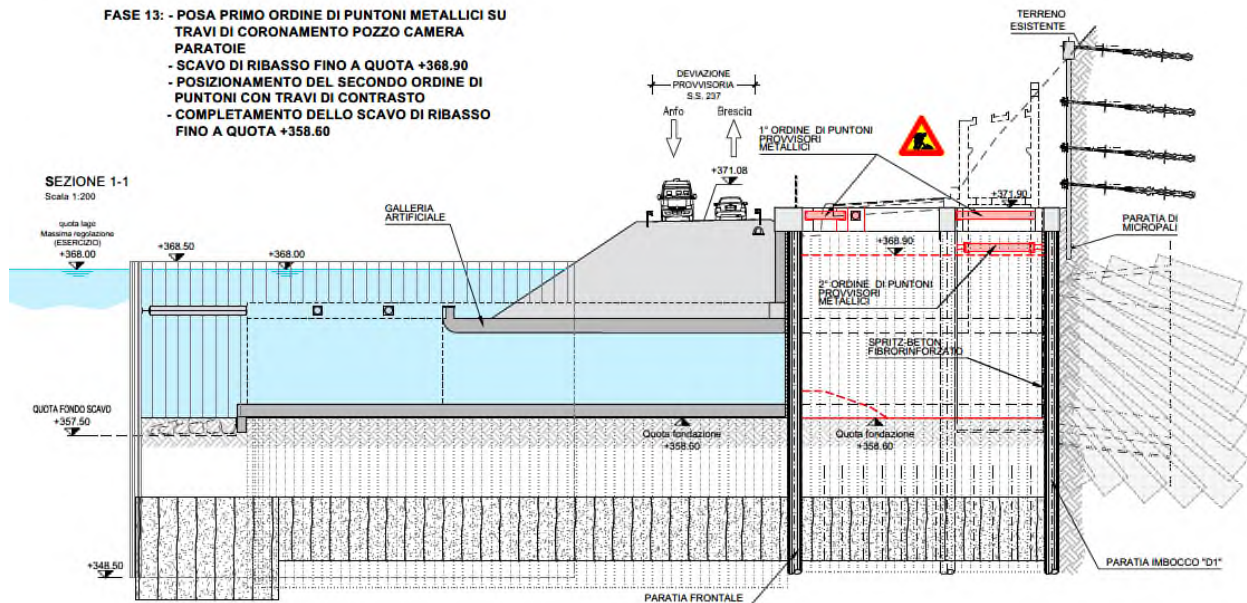


Figura 11-10 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

12 PALI TIPO “B2” $\Phi 900/600$ L=21.5m – FASE 2 (scavo lato Monte)

In accordo alle fasi esecutive delle opere di imbocco, si riportano le verifiche relative alla configurazione di scavo lato Monte.



Il dimensionamento e verifica della trave di ripartizione in c.a. a quota testa pali avente sezione rettangolare 1.5x1.75m è riportata nel Par. §15.

Le operazioni di scavo generano un battente idraulico tra la quota di massima piena, 368m slm e la quota di fondo scavo, 358.6m. Allo scopo di contrastare tale sottospinta idraulica, è prevista l'esecuzione di un trattamento del terreno di fondazione incluso tra i due allineamenti di paratie, attraverso colonne in jet grouting.

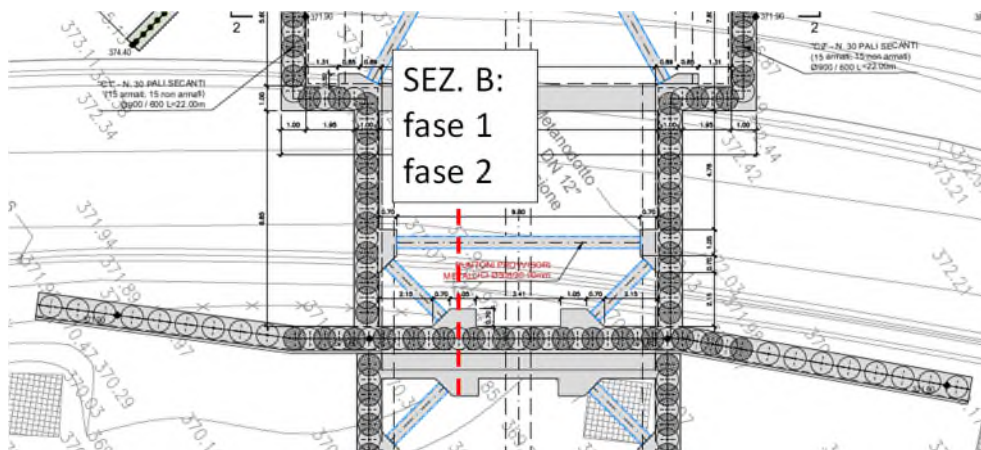


Figura 12-1 Sezione di calcolo B

Sezione B (Pali Tipo B2) – Fase scavo lato Monte:

| | | | |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|
| – Quota piano di lavoro | = 371.90m slm | Quota fondo scavo | = 358.60m slm |
| – Tipologia palo | = $\Phi 900/600$ mm | L _{palo} (profondità pali) | = 21.5 m |
| – Trave di ripartizione | C.A. 1.75x1.5m | Puntone metallico provvisorio | = $\Phi 508/20$ mm |

Caratteristiche colonne jet-grouting:

- Quota testa jet = 371.90-13.3 = 358.6m
- Quota fondo jet = 349.6m
- Altezza terreno consolidato = 9m

| Altezza di scavo | Quota falda | Battente idraulico | Caratteristiche puntoni metallici provvisori | | | | |
|------------------|-------------|--------------------|--|-----------------|------------------------------|--------------|-----------------------|
| | | | No. Ordini | Profilo puntone | Luce/interasse puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| [m] | [m slm] | [m] | | | | | |
| 13.3 | 368 | 9.4 | 1 | Ø 508/20mm | 5.5m/4.2m (inclinazione 45°) | 371.4m slm | 1.75x1.5m |

Tabella 35 Schema di calcolo B (Pali Tipo "B2") – Fase scavo lato Monte

12.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

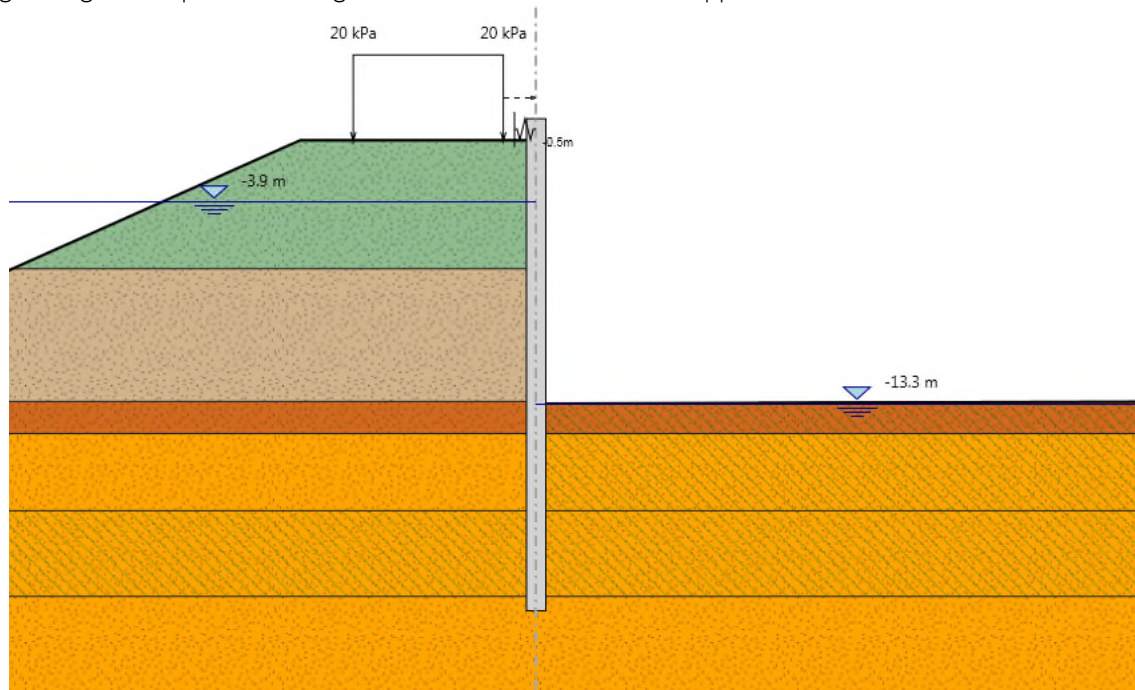


Figura 12-2 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | φ' | E_{vc} | E_{UR} |
|----------|-----------------------------------|-------|----------|----------------------|-------|------------|----------|---------------------|
| | | [m] | [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | [MPa] |
| | Rilevato stradale | 370.9 | 364.9 | 20 | - | 25 | 40 | 1.6*E _{vc} |
| G, S, AL | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa | 364.9 | 358.7 | 20 | - | 41 | 80 | 1.6*E _{vc} |
| | | 358.7 | 357.2 | 20 | - | 39 | 15 | 1.6*E _{vc} |
| | | 357.2 | > | 20 | - | 40 | 130 | 1.6*E _{vc} |

Tabella 36 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4.

12.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

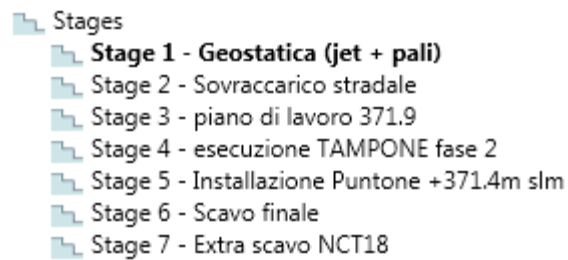


Figura 12-3 Fasi di calcolo considerate

La presenza del traffico di viabilità a tergo della paratia al di sopra del rilevato stradale è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente (20kPa).

La rigidità del puntone metallico (+371.4m slm) è stata calcolata come di seguito:

| | |
|----------------------|-------|
| diam [mm] | 508 |
| spessore [mm] | 20 |
| A [mm ²] | 30662 |
| L [m] | 5.5 |
| Interasse [m] | 4.2 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| Classe acciaio | S355 |
| E [kPa] | 210000000 |
| EA/L [kN/m] | 1.17E+06 |
| EA/L/Interasse [kN/m/m] | 278745 |
| inclinazione [°] | 45 |
| EA/L/Interasse [kN/m/m] | 197102 |

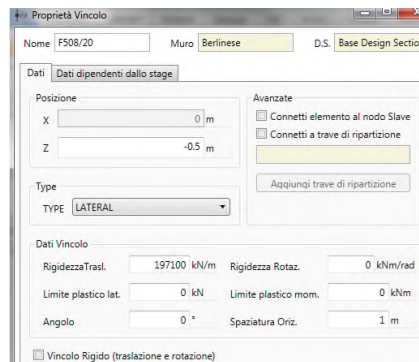


Figura 12-4 - Calcolo rigidità puntone metallico (+371.4m slm)

12.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 7 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo + Δh (pari a 0.5m, extra scavo NTC18) con quota di falda pari al livello di regolazione del lago in fase di cantiere (+368m slm). Il massimo spostamento è circa a 10mm.

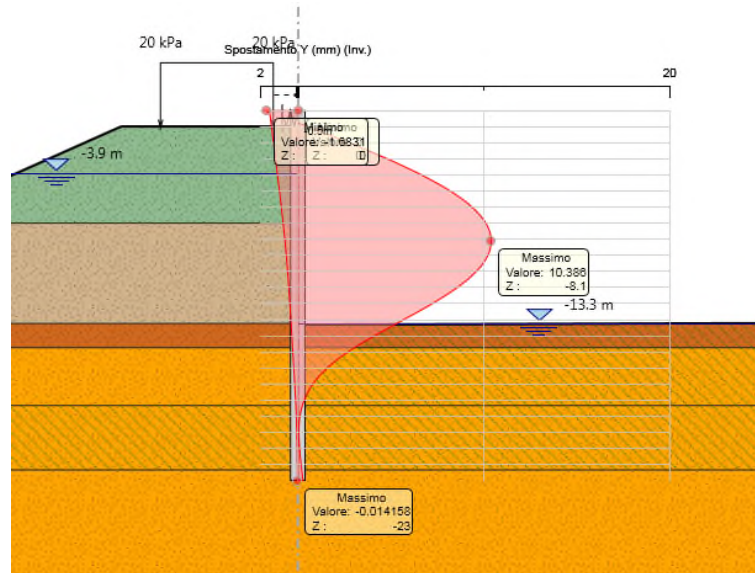


Figura 12-5 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 7)

12.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante [kN/m] e flettente [kNm/m] sul palo e sui puntoni provvisori.

| M_{SLE} Palo [kNm/m] | M_{SLU} A1-M1 Palo [kNm/m] | V_{SLU} A1-M1 Palo [kN/m] | N_{SLU} A1-M1 Puntone 1° ordine [kN/m] |
|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 752 | 1031 | 495 | 201 |

Tabella 37 Output sollecitazioni elementi strutturali

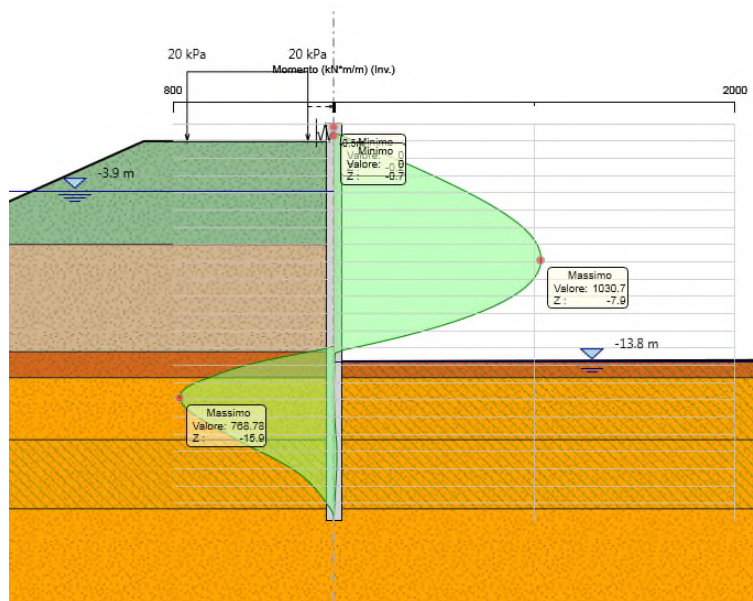


Figura 12-6 - Involuppo M SLU

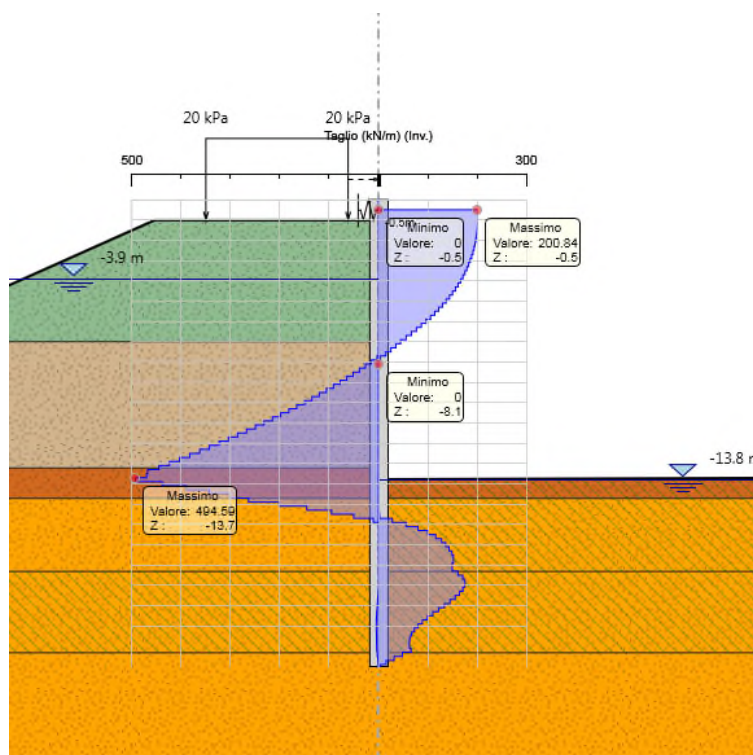


Figura 12-7 - Involuppo V SLU

Per determinare le azioni agenti sui singoli elementi, si considerano i seguenti interessi:

- Pali armati = 1.2m;
- Puntoni metallici = 4.2m

| M _{SLU} [kNm] | M _{SLU A1-M1} [kNm] | V _{SLU A1-M1} [kN] | N _{SLU A1-M1} Puntone 1° ordine [kN/puntone] |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| 902 | 1237 | 594 | 1194 |

Tabella 38 Sollecitazioni di verifica pali

12.4.1 Verifica strutturale palo

| Profondità [m] (*) | L Gabbia [m] | MRd [kNm] | Tip. Gabbia |
|--------------------|--------------|-----------|--------------|
| 1.2 | 12 | 1736 | 22 Φ 30 |
| 13.2 | | 1736 | 22 Φ 30 |
| 11.2 | 11.4 | 1736 | 22 Φ 30 |
| 22.6 | | 1736 | 22 Φ 30 |

(*) da estradosso trave di coronamento

| Profondità [m] (*) | Estensione spirali [m] | VRd [kN] | Tip. Spirale |
|--------------------|------------------------|----------|--------------|
| 1.5 | 14.5 | 800 | Φ 14/15 |
| 16 | | 800 | Φ 14/15 |
| 16 | 6.6 | 397 | Φ 14/30 |
| 22.6 | | 397 | Φ 14/30 |

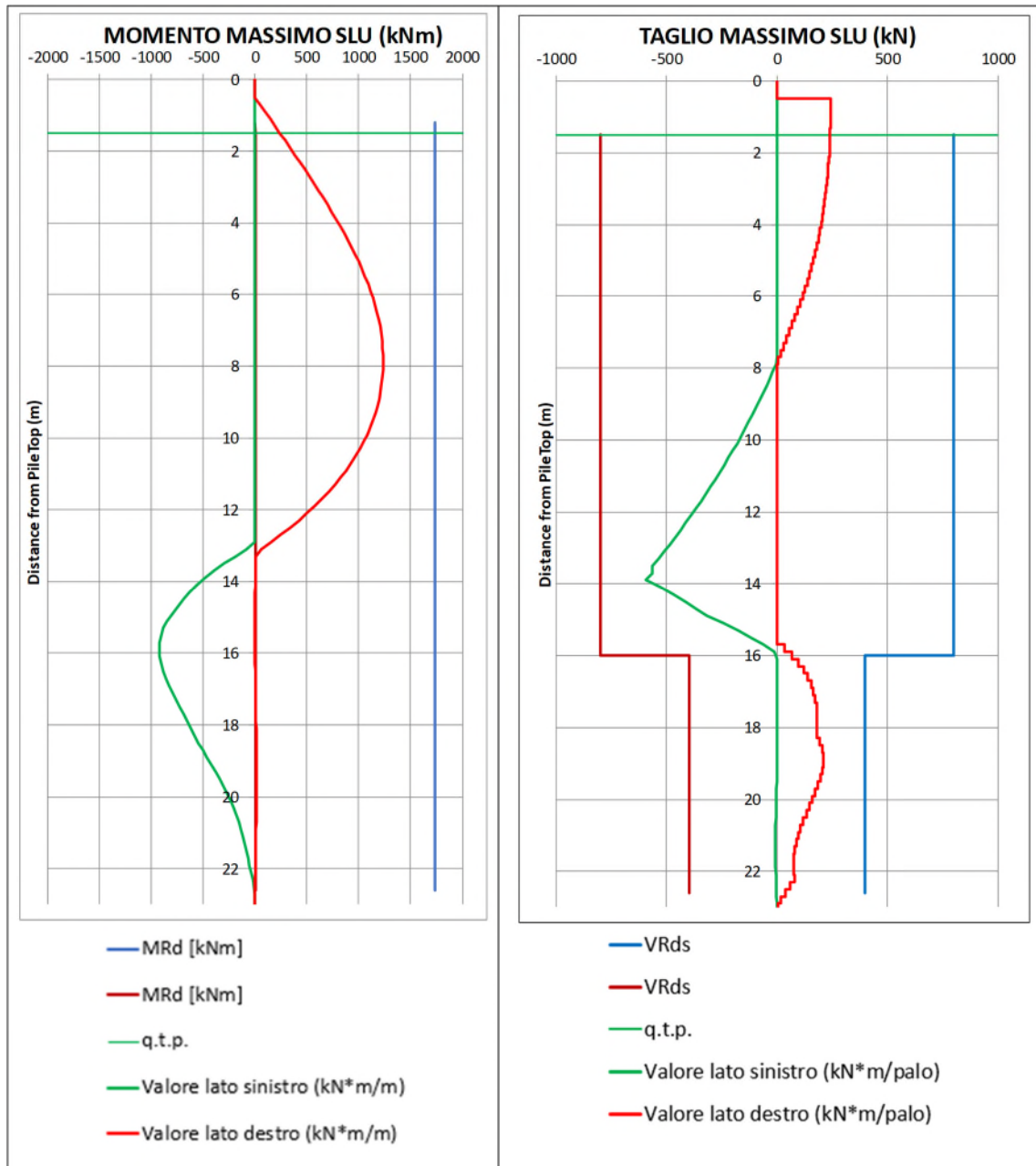


Tabella 39 Schemi gabbie di armatura

12.4.1.1 Gabbia 22Φ30

| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | | | |
|------------------------|------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|
| sezione trasversale | | | | | SLE | SLU | | |
| D | c | d | passo | interfero | MEd | MEd | | |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | NEk | NEd | | |
| 90 | 6.0 | 81.1 | 10.3 | 7.3 | 902.0 [kNm] | 1237.0 [kNm] | | |
| | | | | | 0.0 [kN] | 0.0 [kN] | | |
| armatura longitudinale | | | | | momento di cracking | | | |
| nbarre | φ | r _i | A _{sl} | c _i | M _{cr} | presso-flessione | | |
| [mm] | [cm] | [cm ²] | [cm ²] | [cm] | quota asse neutro | M _{Rd} | | |
| 22 | 30 | 36.1 | 155.51 | 8.90 | y _n | FS | | |
| | | | | | 32.77 [cm] | 1736.4 [kNm] | 1.40 | |
| | | | | | tensioni e fessure | | | |
| | | | | | σ _{c,min} | taglio | | |
| | | | | | 0.0 [MPa] | V _{Rdc} | 307.9 [kN] | |
| | | | | | σ _{s,min} | predisporre armatura a taglio | | |
| | | | | | -0.2 [MPa] | | | |
| | | | | | σ _{s,max} | | | |
| | | | | | 0.4 [MPa] | | | |
| armatura a taglio | | | | | | | | |
| Tipo | φ | p | A _{sw} | | k ₂ | 0.5 | V _{Rds} | 800.2 [kN] |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | | ε _{sm-ε_{cm}} | 0.00 [%o] | V _{Rdmax} | 1479.2 [kN] |
| spirale | 14 | 15 | 3.08 | | S _{r,max} | 37.0 [cm] | θ | 28.0 [°] |
| | | | | | w _k | 0.00 [mm] | sezione | duttile |
| | | | | | ai | | | |
| | | | | | 55.7 [cm] | | | |

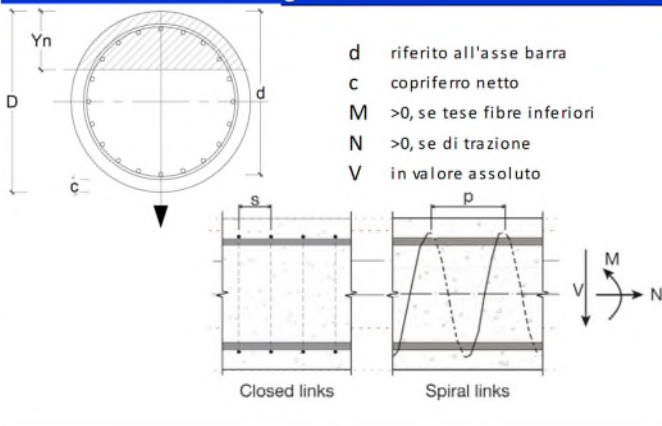
| materiali | | | | legenda | |
|----------------------|------------|----------------------|--------------|---|---|
| calcestruzzo | | acciaio | | | |
| R _{ck} | 30 [MPa] | f _{yk} | 450 [MPa] |  | <p>d riferito all'asse barra c copriferro netto M >0, se tese fibre inferiori N >0, se di trazione V in valore assoluto</p> |
| f _{ck} | 24.9 [MPa] | γ _s | 1.15 | | |
| γ _c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 [MPa] | | |
| α _{cc} | 0.85 | E _s | 200000 [MPa] | | |
| f _{cd} | 14.1 [MPa] | ε _{uk} | 75 [%o] | | |
| v | 0.5 | | | | |
| ε _{c2} | 2.0 [%o] | | | | |
| ε _{cu2} | 3.5 [%o] | | | | |
| α _e | 15.0 | | | | |
| k _t | 0.6 | | | | |
| valori limite | | | | | |
| k ₁ | 0.8 | 0,45 f _{ck} | 11.2 [MPa] | | |
| k ₃ | 3.4 | 0,8 f _{yk} | 360.0 [MPa] | | |
| k ₄ | 0.425 | w _{k,lim} | 0.3 [mm] | | |

Figura 12-8 Verifica pali Tipo 'B2'– Fase scavo Lato Monte

12.4.2 Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Ø508/20mm L=5.5m (inclinazione 45°)

Sulla paratia di pali 'B2' insistono puntone metallici costituiti da Ø508/20mm, di luce L=5.5m (inclinazione 45°) posti a quota asse 371.4m slm. Di seguito, si riporta la verifica strutturale del puntone con interasse di progetto di 4.2m.

| Alpina | | | | Alpina | | | |
|---|--------------------|---------|--------------------|---|--------------------|----------|--------|
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Caratteristiche dei materiali | | | | Verifica a compressione | | | |
| tipologia acciaio | | S355JR | | sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 284.30 | [kN/m] |
| sezione formata | | a caldo | | interasse puntone | i | 4.20 | [m] |
| tensione di snervamento dell'acciaio | f _y | 355 | [MPa] | sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1194 | [kN] |
| modulo di elasticità dell'acciaio | E | 210000 | [MPa] | resistenza a compressione | N _{c,Rd} | 10367 | [kN m] |
| coefficiente parziale sulle resistenze | γ _{M0} | 1.05 | [-] | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Verifica OK </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 20px;"> $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ </div> | | | |
| coefficiente parziale sulle resistenze all'instabilità | γ _{M1} | 1.10 | [-] | | | | |
| Geometria del puntone | | | | Verifica all'instabilità dell'asta compressa | | | |
| lunghezza | L | 5.50 | [m] | curva di instabilità | a | | |
| diametro esterno | d | 508.0 | [mm] | coefficiente di imperfezione | α | 0.21 | [-] |
| spessore | t | 20.0 | [mm] | carico critico di sbandamento | N _{cr} | 62642901 | [N] |
| area della sezione | A | 306.6 | [cm ²] | snellezza adimensionale | λ | 0.42 | [-] |
| momento d'inerzia | I | 91428 | [cm ⁴] | coefficiente φ | φ | 0.61 | [-] |
| modulo elastico a flessione | W _{el} | 3600 | [cm ³] | coefficiente χ | χ | 0.95 | [-] |
| modulo plastico a flessione | W _{pl} | 4766 | [cm ³] | resistenza all'instabilità | N _{b,Rd} | 9384 | [kN] |
| peso tubo | G | 240.7 | [Kg/m] | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Verifica OK </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 20px;"> $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$ </div> | | | |
| Determinazione della classe della sezione | | | | | | | |
| coefficiente ε | ε | 0.81 | [-] | | | | |
| coefficiente ε ² | ε ² | 0.66 | [-] | | | | |
| rapporto larghezza - spessore | d/t | 25.4 | [-] | | | | |
| classe della sezione | | 1 | | | | | |
| Alpina | | | | Alpina | | | |
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Verifica a pressoflessione | | | | Verifica a pressoflessione | | | |
| sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 284.30 | [kN/m] | sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 284.30 | [kN/m] |
| interasse puntone | i | 4.20 | [m] | interasse puntone | i | 4.20 | [m] |
| sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1194 | [kN] | sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1194 | [kN] |
| resistenza a compressione | N _{p,Rd} | 10367 | [kN m] | resistenza a compressione | N _{p,Rd} | 10367 | [kN m] |
| coefficiente riduttivo | 1-n | 0.88 | [-] | coefficiente riduttivo | 1-n | 0.88 | [-] |
| momento flettente massimo | M _{Ed} | 9.10 | [kNm] | momento flettente massimo | M _{Ed} | 9.10 | [kNm] |
| momento plastico resistente | M _{pl,Rd} | 1611.21 | [kNm] | momento plastico resistente | M _{pl,Rd} | 1611.21 | [kNm] |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Verifica OK </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; display: inline-block; margin-left: 20px;"> $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}(1-n)} \leq 1$ </div> | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabella 40 Verifica puntone metallico STR

12.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

12.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia, in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma_F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma_R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 4%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 6%

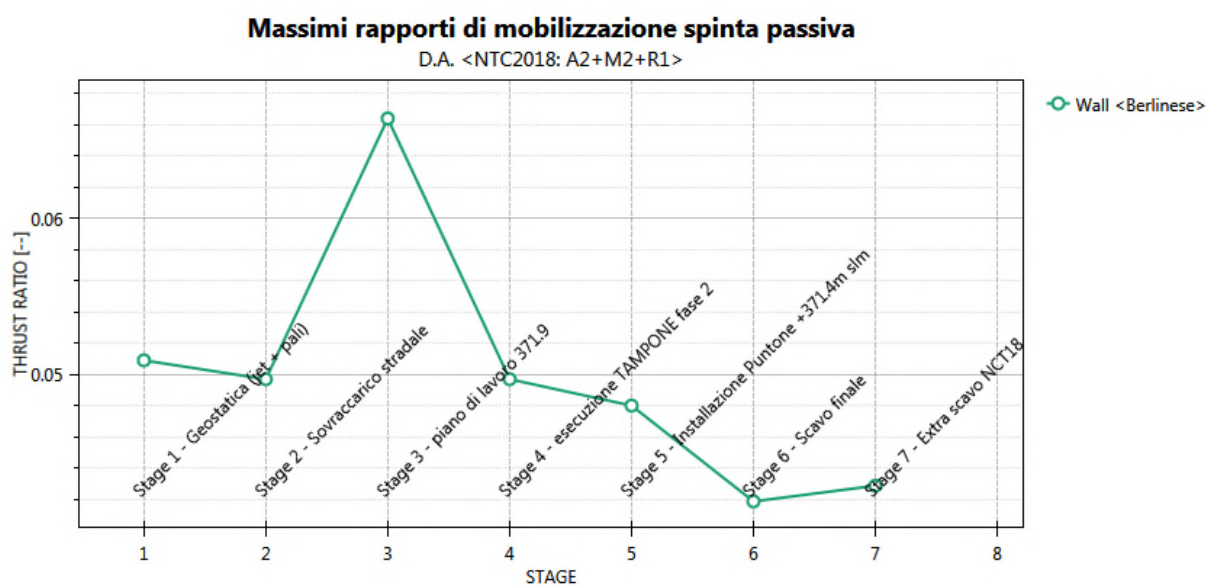


Figura 12-9 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

13 PALI TIPO “C1-C2” $\Phi 900/600$ L=21.5m

Il dimensionamento delle paratie di pali tipo “C1”-“C2” è stato condotto analizzando una sezione rappresentativa delle condizioni di carico e vincolo. Il dimensionamento e verifica della trave di ripartizione in c.a. a quota testa pali avente sezione rettangolare 1.0x1.5m è riportata nel Par. §15.

Le operazioni di scavo generano un battente idraulico tra la quota di massima piena, 368m slm e la quota di fondo scavo, 358.6m. Allo scopo di contrastare tale sottospinta idraulica, è prevista l'esecuzione di un trattamento del terreno di fondazione incluso tra i due allineamenti di paratie, attraverso colonne in jet grouting.

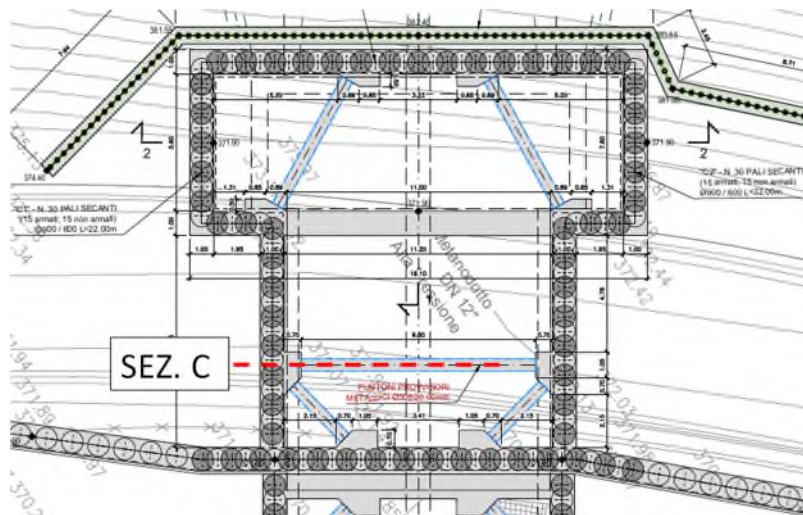


Figura 13-1 Sezione di calcolo B

Sezione C (Pali Tipo C1-C2)

- | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|
| - Quota piano di lavoro | = 371.90m slm | Quota fondo scavo | = 358.60m slm |
| - Tipologia palo | = $\Phi 900/600$ mm | L _{palo} (profondità pali) | = 21.5 m |
| - Trave di ripartizione | C.A. 1.0x1.5m | Puntone metallico provvisorio | = $\Phi 508/20$ mm |

Caratteristiche colonne jet-grouting:

- | | | |
|-------------------------------|--------------|----------|
| - Quota testa jet | = 371.9-13.3 | = 358.6m |
| - Quota fondo jet | = 349.6m | |
| - Altezza terreno consolidato | = 9m | |

| Altezza di scavo | Quota falda | Battente idraulico | Caratteristiche puntone metallici provvisori | | | | |
|------------------|-------------|--------------------|--|------------------|-------------------------------|--------------|-----------------------|
| | | | No. Ordini | Profilo puntone | Luce/interasse puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| [m] | [m slm] | [m] | No. Ordini | Profilo puntone | Luce/interasse puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| 13.3 | 368 | 9.4 | 1 | $\Phi 508/20$ mm | 5.5m/5.75m (inclinazione 45°) | 371.4m slm | 1.0x1.5m |

Tabella 41 Schema di calcolo B (Pali Tipo “C1”-“C2”)

13.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

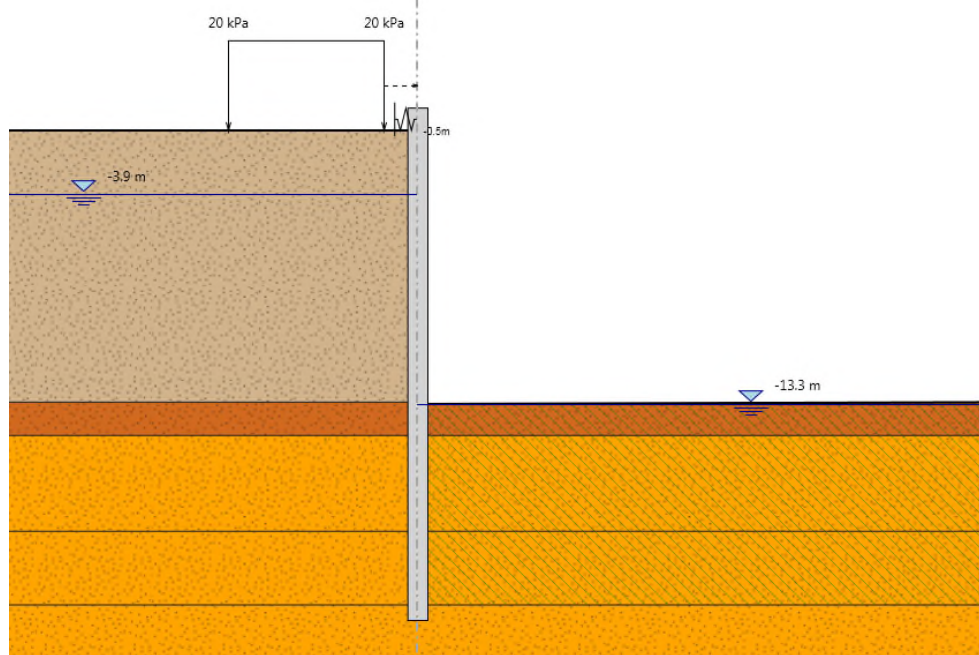


Figura 13-2 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | φ' | E_{vc} | E_{UR} |
|----------|-----------------------------------|-------|----------|----------------------|-------|------------|----------|---------------------|
| | | [m] | [m] | [kN/m ³] | [kPa] | [°] | [MPa] | [MPa] |
| G, S, AL | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa | 371.9 | 358.7 | 20 | - | 41 | 80 | 1.6*E _{vc} |
| | | 358.7 | 357.2 | 20 | - | 39 | 15 | 1.6*E _{vc} |
| | | 357.2 | > | 20 | - | 40 | 130 | 1.6*E _{vc} |

Tabella 42 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4.

13.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

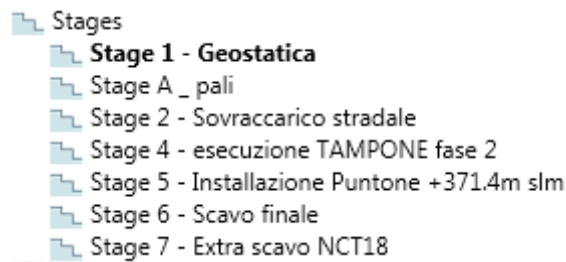


Figura 13-3 Fasi di calcolo considerate

La presenza del traffico di cantiere a tergo della paratia al di sopra del piano di lavoro è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente (20kPa).

La rigidezza del puntone metallico (+371.4m slm) è stata calcolata come di seguito:

| | |
|---------------------------|-------|
| diam [mm] | 508 |
| spessore [mm] | 20 |
| A [mm²] | 30662 |
| L [m] | 5.5 |
| Interasse [m] | 5.7 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Classe acciaio | S355 |
| E [kPa] | 210000000 |
| EA/(L) [kN/m] | 1.17E+06 |
| EA/L/Interasse [kN/m/m] | 205391 |
| inclinazione [°] | 45 |
| EA/L/Interasse [kN/m/m] | 145233 |

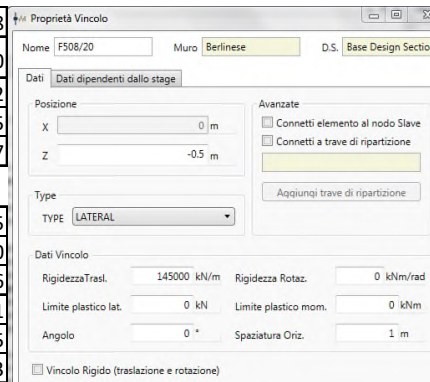


Figura 13-4 - Calcolo rigidezza puntone metallico (+371.4m slm)

13.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 7 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo + Δh (pari a 0.5m, extra scavo NTC18) con quota di falda pari al livello di regolazione del lago in fase di cantiere (+365.65m slm). Il massimo spostamento è circa a 10.5mm.

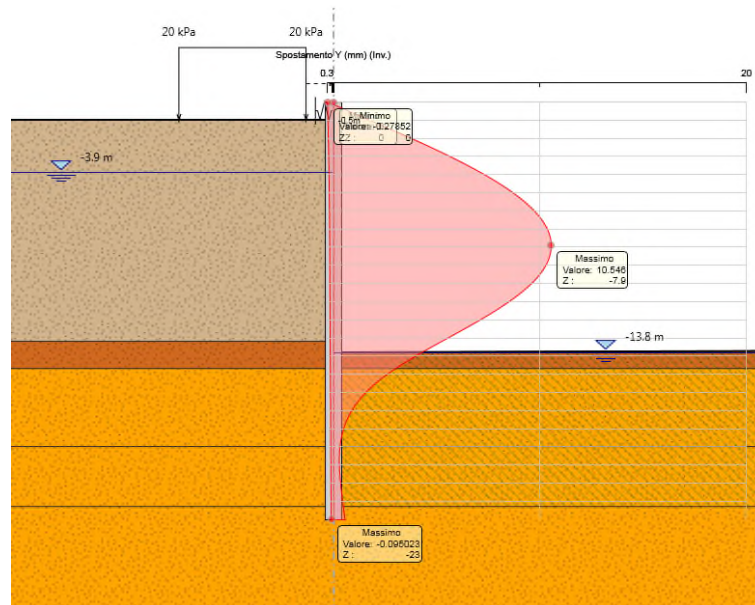


Figura 13-5 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 7)

13.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante [kN/m] e flettente [kNm/m] sul palo e sui puntone provvisori.

| M _{SLE} Palo [kNm/m] | M _{SLU A1-M1} Palo [kNm/m] | V _{SLU A1-M1} Palo [kN/m] | N _{SLU A1-M1} Puntone 1° ordine [kN/m] |
|----------------------------------|---|--|---|
| 770 | 1007 | 541 | 187 |

Tabella 43 Output sollecitazioni elementi strutturali

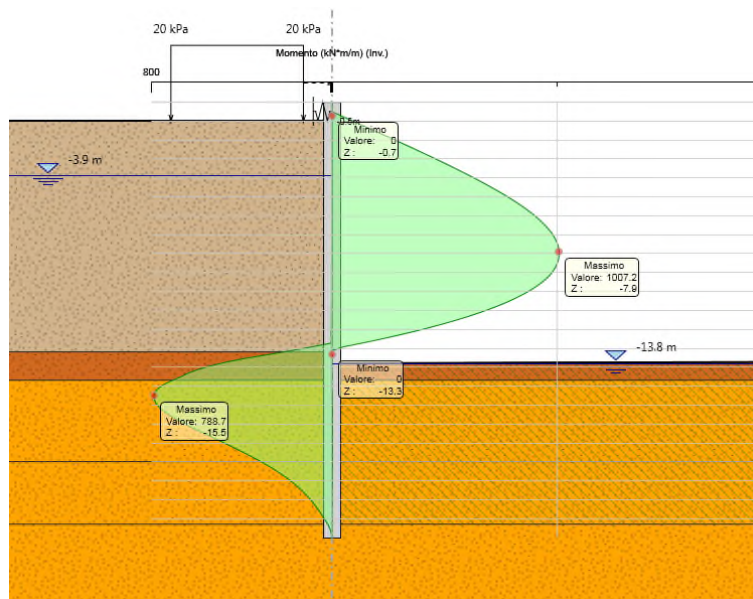


Figura 13-6 - Involupto M SLU

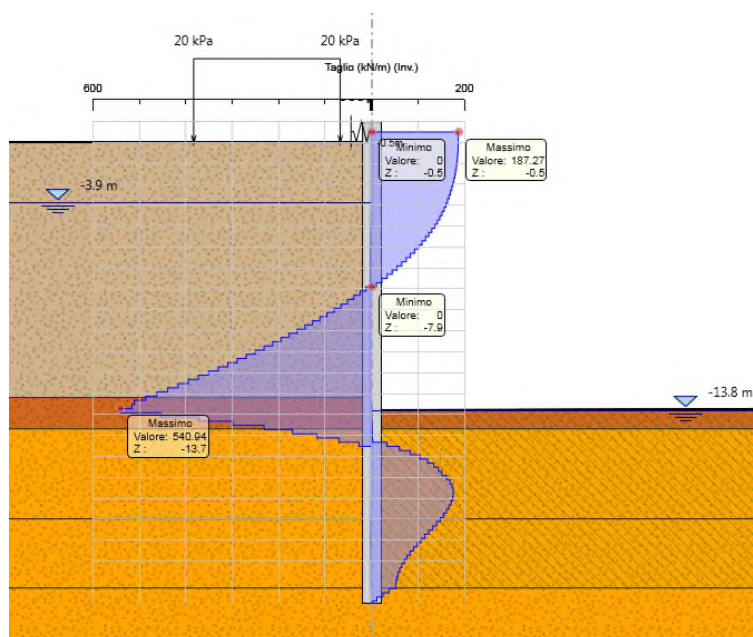


Figura 13-7 - Involupto V SLU

Per determinare le azioni agenti sui singoli elementi, si considerano i seguenti interessi:

- Pali armati = 1.2m;
- Puntoni metallici = 5.75m

| M _{SLE} [kNm] | M _{SLU A1-M1} [kNm] | V _{SLU A1-M1} [kN] | N _{SLU A1-M1} Puntone 1° ordine [kN/puntone] |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| 924 | 1208 | 649 | 1521 |

Tabella 44 Sollecitazioni di verifica pali

13.4.1 Verifica strutturale palo

| Profondità [m] (*) | L Gabbia [m] | MRd [kNm] | Tip. Gabbia |
|--------------------|--------------|-----------|-------------|
| 1.2 | 12 | 1736 | 22Φ30 |
| 13.2 | | 1736 | 22Φ30 |
| 11.2 | 11.4 | 1736 | 22Φ30 |
| 22.6 | | 1736 | 22Φ30 |

(*) da estradosso trave di coronamento

| Profondità [m] (*) | Estensione spirali [m] | VRd [kN] | Tip. Spirale |
|--------------------|------------------------|----------|--------------|
| 1.5 | 14.5 | 800 | Φ14/15 |
| 16 | | 800 | Φ14/15 |
| 16 | 6.6 | 397 | Φ14/30 |
| 22.6 | | 397 | Φ14/30 |

Tabella 45 Schemi gabbie di armatura

13.4.1.1 Gabbia 22Φ30

| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | | | |
|------------------------|------|----------------|--------------------|----------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| sezione trasversale | | | | | SLE | SLU | | |
| D | c | d | passo | interfero | MEk | 1208.0 | MEd | 1208.0 |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | NEk | 0.0 | NEd | 0.0 |
| 90 | 6.0 | 81.1 | 10.3 | 7.3 | momento di cracking | | VEd | 649.0 |
| armatura longitudinale | | | | | M _{cr} | 224.6 | presso-flessione | |
| nbarre | φ | r _i | A _{sl} | c _i | quota asse neutro | | MRd | 1736.4 |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | [cm] | y _n | 32.76 | FS | 1.44 |
| 22 | 30 | 36.1 | 155.51 | 8.90 | tensioni e fessure | | taglio | |
| | | | | | σ _{c,min} | 0.0 | VR _d | 307.9 |
| | | | | | σ _{s,min} | 0.0 | predisporre armatura a taglio | |
| | | | | | σ _{s,max} | 0.0 | | |
| armatura a taglio | | | | | k ₂ | 0.5 | VR _d s | 800.2 |
| Tipo | φ | p | A _{sw} | | ε _{sm-ε_{cm}} | - | VR _d max | 1479.2 |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | | S _{r,max} | - | θ | 28.0 |
| spirale | 14 | 15 | 3.08 | | W _k | - | sezione duttile | |
| | | | | | | | a _i | 55.7 |

| materiali | | | |
|------------------|----------------------|-----------------|--------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R _{ck} | 30 | f _{yk} | 450 |
| f _{ck} | 24.9 | γ _s | 1.15 |
| γ _c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 |
| α _{cc} | 0.85 | E _s | 200000 |
| f _{cd} | 14.1 | ε _{uk} | 75 |
| v | 0.5 | | |
| ε _{c2} | 2.0 | | |
| ε _{cu2} | 3.5 | | |
| α _e | 15.0 | | |
| k _t | 0.6 | | |
| k ₁ | 0.8 | | |
| k ₃ | 3.4 | | |
| k ₄ | 0.425 | | |
| valori limite | | | |
| | 0,45 f _{ck} | | 11.2 |
| | 0,8 f _{yk} | | 360.0 |
| | W _{k,lim} | | 0.3 |

| legenda | |
|---------|-------------------------------|
| | d riferito all'asse barra |
| | c copriferro netto |
| | M >0, se tese fibre inferiori |
| | N >0, se di trazione |
| | V in valore assoluto |
| | |
| | Closed links |
| | Spiral links |

Figura 13-8 Verifica pali Tipo 'C1'-'C2' – Fase scavo Lato Valle

13.4.2 Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Ø508/20mm L=5.5m (inclinazione 45°)

Sulla paratia di pali 'C1'-'C2' insistono puntone metallici costituiti da Ø508/20mm, di luce L=5.5m (inclinazione 45°) posti a quota asse 371.4m slm. Di seguito, si riporta la verifica strutturale del puntone con interasse di progetto di 5.75m.

| Alpina | | | | Alpina | | | |
|--|--------------------|---------|--------------------|---|-------------------|--------|--------|
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Caratteristiche dei materiali | | | | Verifica a compressione | | | |
| tipologia acciaio | S355JR | | | sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 265.00 | [kN/m] |
| sezione formata | a caldo | | | interasse puntone | i | 5.75 | [m] |
| tensione di snervamento dell'acciaio | f _y | 355 | [MPa] | sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1524 | [kN] |
| modulo di elasticità dell'acciaio | E | 210000 | [MPa] | resistenza a compressione | N _{c,Rd} | 10367 | [kN m] |
| coefficiente parziale sulle resistenze | γ _{M0} | 1.05 | [-] | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Verifica OK </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 5px;"> $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ </div> | | | |
| coefficiente parziale sulle resistenze all'instabilità | γ _{M1} | 1.10 | [-] | | | | |
| Geometria del puntone | | | | Verifica all'instabilità dell'asta compressa | | | |
| lunghezza | L | 5.50 | [m] | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Verifica OK </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 5px;"> $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$ </div> | | | |
| diametro esterno | d | 508.0 | [mm] | | | | |
| spessore | t | 20.0 | [mm] | | | | |
| area della sezione | A | 306.6 | [cm ²] | | | | |
| momento d'inerzia | I | 91428 | [cm ⁴] | | | | |
| modulo elastico a flessione | W _{el} | 3600 | [cm ³] | | | | |
| modulo plastico a flessione | W _{pl} | 4766 | [cm ³] | | | | |
| peso tubo | G | 240.7 | [Kg/m] | | | | |
| Determinazione della classe della sezione | | | | | | | |
| coefficiente ε | ε | 0.81 | [-] | | | | |
| coefficiente ε ² | ε ² | 0.66 | [-] | | | | |
| rapporto larghezza - spessore | d/t | 25.4 | [-] | | | | |
| classe della sezione | 1 | | | | | | |
| Alpina | | | | Alpina | | | |
| Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | | Progetto Esecutivo - Lago d'Idro | | | |
| OPERE DI IMBOCCO | | | | OPERE DI IMBOCCO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | | VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Verifica a pressoflessione | | | | Verifica a pressoflessione | | | |
| sforzo normale massimo dal modello | N _{Ed} | 265.00 | [kN/m] | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Verifica OK </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 5px;"> $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}(1-n)} \leq 1$ </div> | | | |
| interasse puntone | i | 5.75 | [m] | | | | |
| sforzo normale massimo | N _{Ed} | 1524 | [kN] | | | | |
| resistenza a compressione | N _{pl,Rd} | 10367 | [kN m] | | | | |
| coefficiente riduttivo | 1-n | 0.85 | [-] | | | | |
| momento flettente massimo | M _{Ed} | 9.10 | [kNm] | | | | |
| momento plastico resistente | M _{pl,Rd} | 1611.21 | [kNm] | | | | |

Tabella 46 Verifica puntone metallico STR

13.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

13.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia, in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma_F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma_R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 5%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 7%

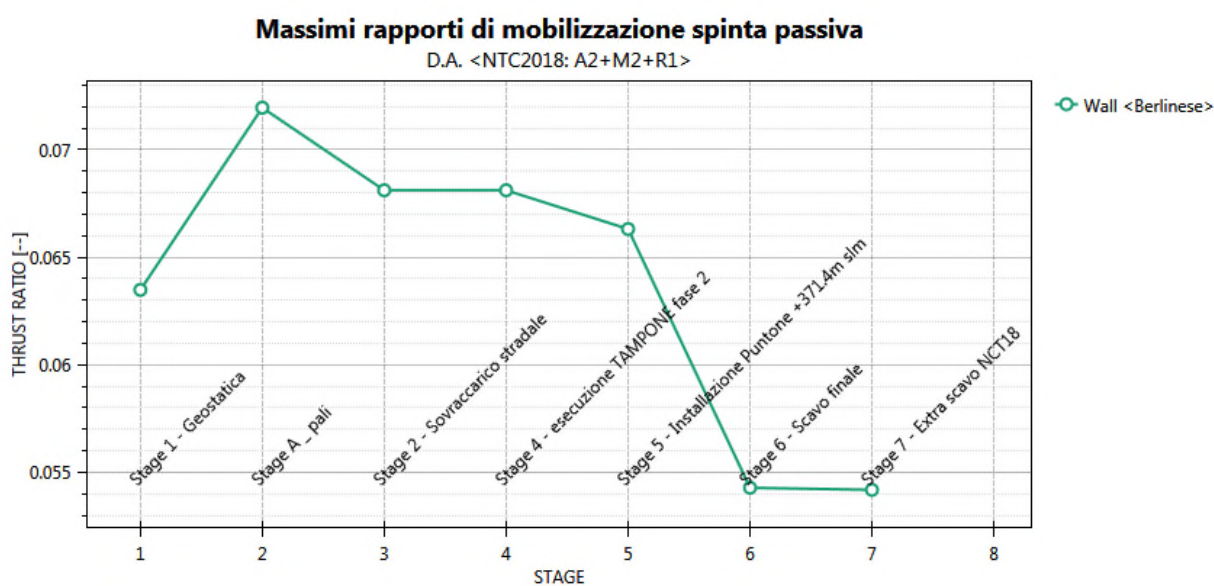


Figura 13-9 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

14 PALI TIPO “D1” $\Phi 900/600$ L=21.5m

Le immagini seguenti riportano lo stralcio planimetrico dell'opera con le relative viste (Figura 14-1).

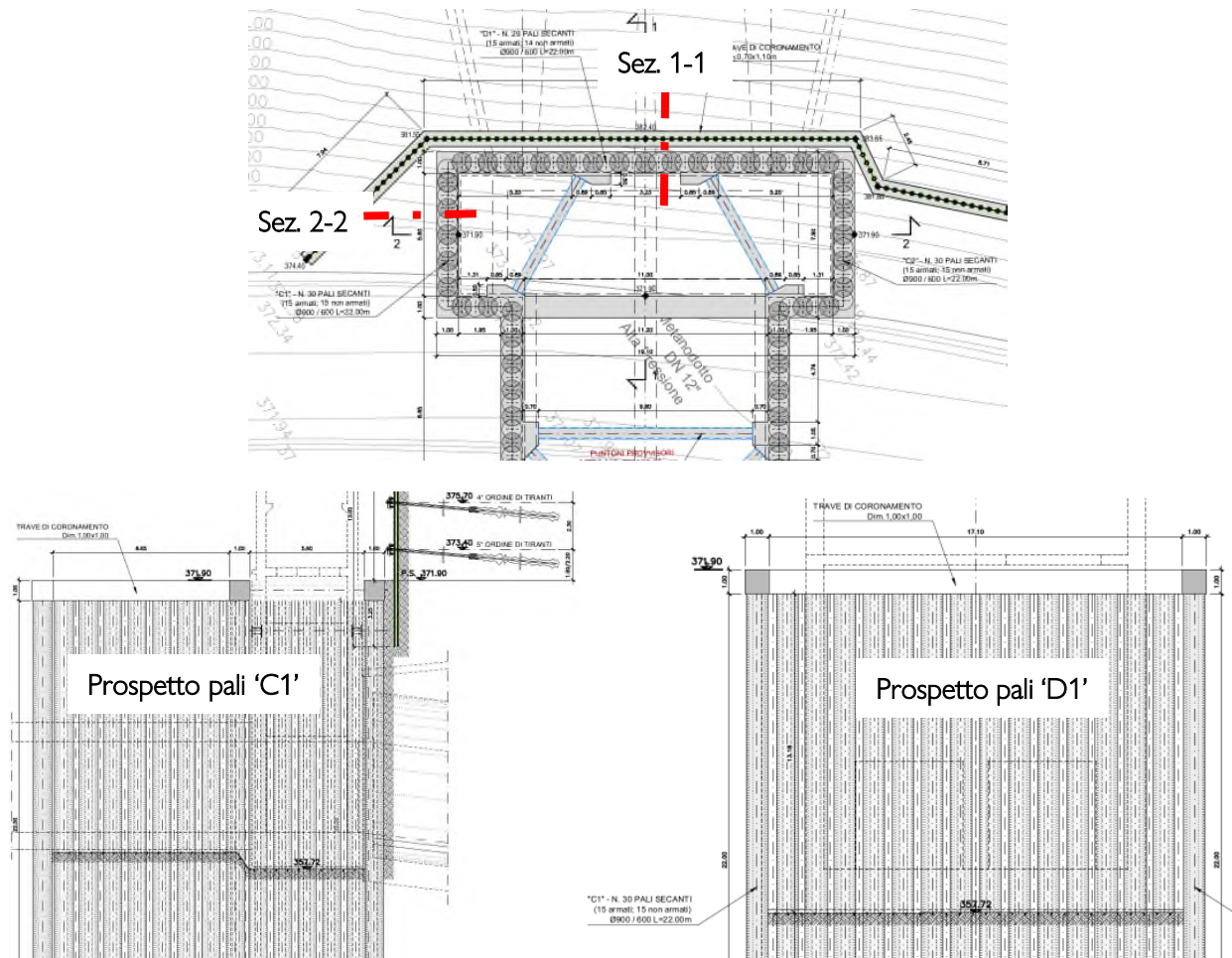


Figura 14-1 Pali secanti pozzo ('Pali tipo D1, C1, C2') – Pianta, viste e schemi di calcolo

Il dimensionamento delle paratie di pali tipo 'D1', 'C1' e 'C2' è stato condotto analizzando No.2 sezioni rappresentative delle condizioni di carico e vincolo evidenziate in Figura 14-1. Le principali caratteristiche geometriche e progettuali sono elencate di seguito. Il dimensionamento e verifica della trave di ripartizione in c.a. a quota testa pali avente sezione rettangolare 1.0x1.5m è riportata nel Par. §15.

Nella fase di cantiere precedente alla realizzazione della paratia di pali tipo 'D1' sono previste delle iniezioni di consolidamento in avanzamento che stabilizzano il terreno a monte dei pali 'D1' che sarà interessato dallo scavo del primo concio di galleria naturale. Tale intervento è stato incluso nella modellazione modificando opportunamente le proprietà caratteristiche del terreno.

Le operazioni di scavo all'interno del pozzo della galleria naturale genera un battente idraulico tra quota di falda del lago a 368.0m slm e la quota di fondo scavo, 357.72m. Allo scopo di contrastare tale sottospinta idraulica, è prevista la realizzazione di un consolidamento con colonne in jet grouting che interessa il terreno di fondazione a valle della paratia di pali 'Tipo D1', 'C1' e 'C2'.

Sezione 1-1 (Pali Tipo D1):

- Quota piano di lavoro = 371.90m slm
- Tipologia palo = $\Phi 900/600$ mm
- Quota fondo scavo = 357.72m slm
- L_{palo} (profondità pali) = 22.0 m

- Trave di ripartizione = 2 HEB 400
- Puntone metallico provvisorio = Ø 508/20mm

Caratteristiche consolidamenti avanzamento galleria:

- Quota testa consolidamenti = 371.9-4.5= 367.4m
- Quota fondo consolidamenti = 358.6m
- Altezza terreno consolidato = 8.8m

Caratteristiche colonne jet-grouting a quota fondo scavo pozzo:

- Quota testa jet = 371.9-13.3 = 358.6m
- Quota fondo jet = 349.6m
- Altezza terreno consolidato = 9.0m

| Altezza di scavo [m] | Quota falda [m slm] | Battente idraulico [m] | Caratteristiche puntoni metallici provvisori | | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|--|-----------------|--------------|--------------|-----------------------|
| | | | No. Ordini | Profilo puntone | Luce puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| 14.2 | 368.0 | 10.3 | 1 | Ø 508/20mm | 5.9m | 371.4m slm | 1.0x1.0m |
| | | | 2 | Ø 508/20mm | 5.7m | 369.4m slm | 2 HEB400 |

Tabella 47 Schema di calcolo 'Sez. 1-1 (Pali Tipo D1)

Sezione 2-2 (Pali Tipo C1-C2):

- Quota piano di lavoro = 371.90m slm
- Tipologia palo = Ø900/600mm
- Trave di ripartizione = 2 HEB 400
- Quota fondo scavo = 357.72m slm
- L_{palo} (profondità pali) = 22.0 m
- Puntone metallico provvisorio = Ø 508/20mm

| Altezza di scavo [m] | Quota falda [m slm] | Battente idraulico [m] | Caratteristiche puntoni metallici provvisori | | | | |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|--|-----------------|--------------|--------------|-----------------------|
| | | | No. Ordini | Profilo puntone | Luce puntone | Asse puntone | Trave di ripartizione |
| 14.2 | 368.0 | 10.3 | 1 | Ø 508/20mm | 5.9m | 371.4m slm | 1.0x1.0m |
| | | | 2 | Ø 508/20mm | 5.9m | 369.4m slm | 2 HEB400 |

Tabella 48 Schema di calcolo 'Sez. 1-1 (Pali Tipo C1/C2)

14.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

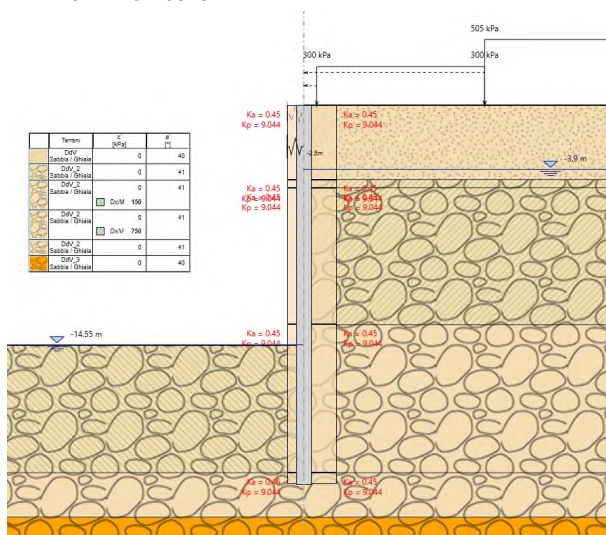


Figura 14-2 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | ϕ' | K_a | K_p | E_{vc} | E_{ur} |
|-------|------------------------|-------|----------|----------|------|---------|-------|-------|----------|----------|
| | | [m] | [m] | | | | | | | |
| 2 | DdV Sabbia/Ghiaia | 371.9 | 367.4 | 20 | - | 40 | 0.45 | 9.04 | 60 | 1.6*Evc |
| 2 | DdV_2 Sabbia/Ghiaia | 367.4 | 349.6 | 20 | - | 41 | 0.45 | 9.04 | 90 | 1.6*Evc |
| 3 | DdV_3 Sabbia/Ghiaia | 349.6 | - | 20 | - | 40 | 0.45 | 9.04 | 130 | 1.6*Evc |

Tabella 49 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4. In particolare, i coefficienti di spinta attiva e passiva (K_a , K_p) sono calcolati considerando la pendenza del terreno naturale a tergo della paratia.

14.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

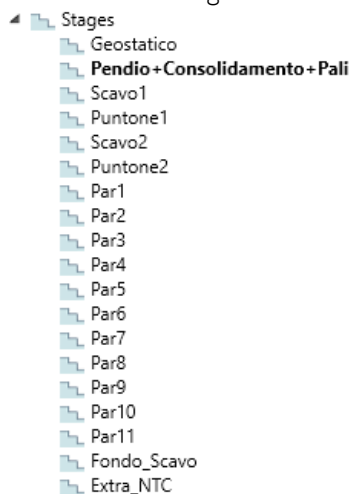


Figura 14-3 Fasi di calcolo considerate

La presenza del terreno esistente a tergo della paratia al di sopra del piano di lavoro è stata inclusa assegnando i valori di sovraccarico permanente corrispondente.

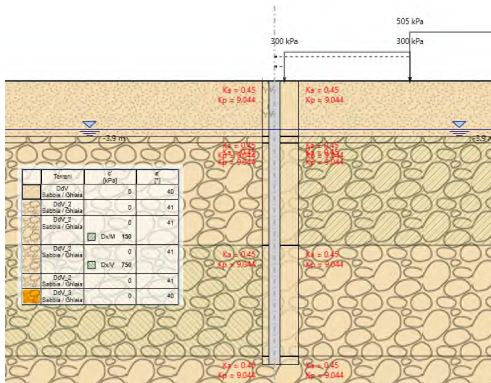


Figura 14-4 Realizzazione pali e consolidamenti (Stage 2)
19)

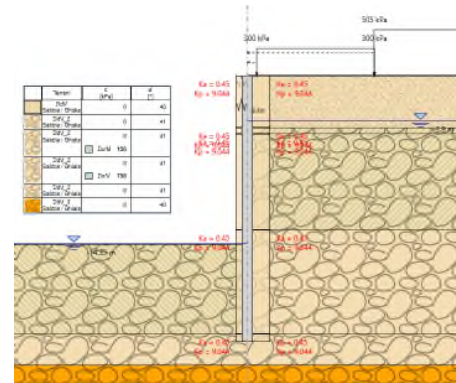


Figura 14-5 Raggiungimento fondo scavo (Stage 2)

14.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 19 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 11mm.

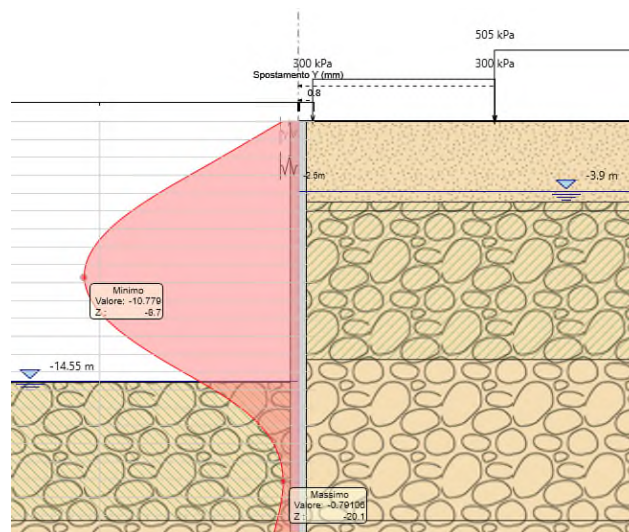


Figura 14-6 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 12)

14.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul palo e sui puntone provvisori.

| Fase | M _{SLE} Palo [kNm/m] | M _{SLU} A1-M1 Palo [kNm/m] | V _{SLU} A1-M1 Palo [kN/m] | N _{SLU} A1-M1 Puntone 1° ordine [kN/puntone] | N _{SLU} A1-M1 Puntone 2° ordine [kN/puntone] |
|------|----------------------------------|---|--|---|---|
| 12 | 750 | 980 | 790 | 156 | 634 |

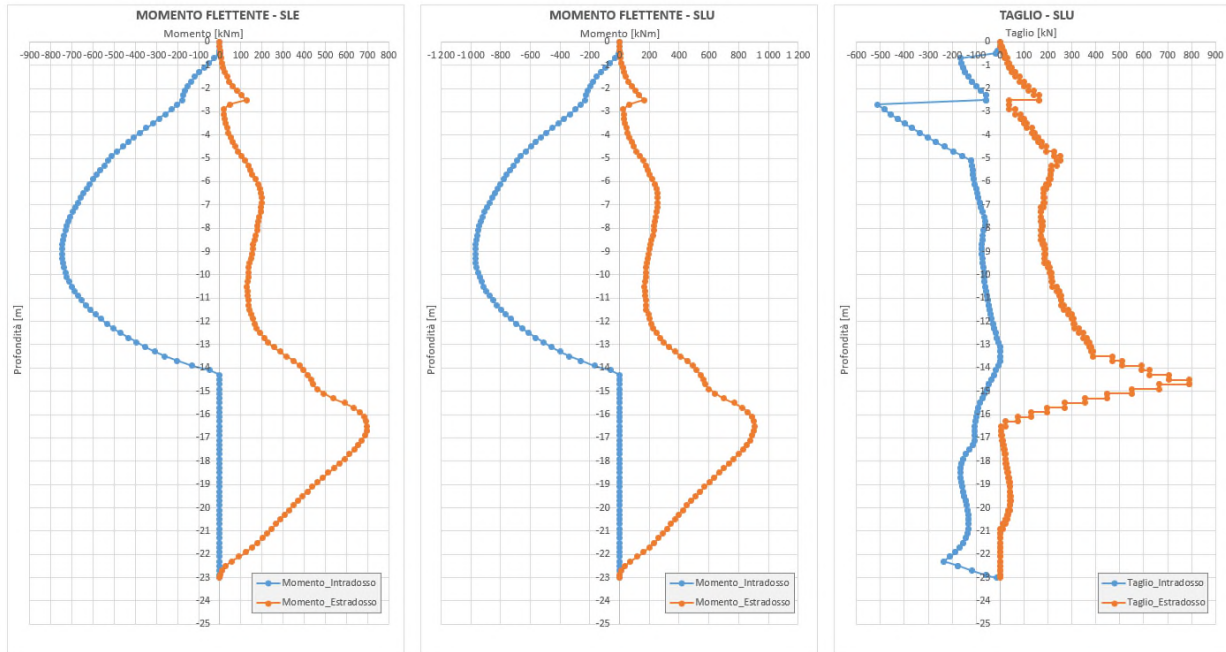
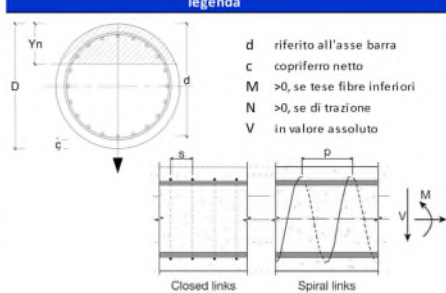


Tabella 50 Sollecitazioni di verifica pali

14.4.1 Verifica strutturale palo

Gabbia 1

| geometria | | | | | sollecitazioni e risultati | | verifica DM08 | |
|-------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------------------|--|---|--|---|--|
| sezione trasversale | | | | | SLE | SLU | Verifica a taglio | |
| D [cm] | c [cm] | d [cm] | passo [cm] | interferro [cm] | M _{Ed} 746.6 [kNm] | M _{Ed} 970.6 [kNm] | contributo A _{sl} | |
| 90 | 6.0 | 81.1 | 10.3 | 7.3 | N _{Ed} -0.1 [kN] | N _{Ed} 0.0 [kN] | scelta si | |
| armatura longitudinale | | | | | M _{cr} 224.6 [kNm] | V _{Ed} 510.6 [kN] | angolo θ | |
| n _{barre} | ϕ [mm] | r _i [cm] | A _{sl} [cm ²] | c _i | quota asse neutro | M _{Int} 1736.4 [kNm] | scelta imposto | |
| 22 | 30 | 36.10 | 155.51 | 8.90 | Y _n 32.77 [cm] | FS 1.79 | θ_{imposto} 28 [°] | |
| armatura a taglio | | | | | tensioni e fessure | taglio | $\theta_{\text{calcolato}}$ 18.9 [°] | |
| Tipo | ϕ [mm] | p [cm] | A _{tw} [cm ²] | | $\sigma_{c,\text{min}}$ -10.1 [MPa] | V _{rdc} 307.9 [kN] | θ_{inf} 21.8 [°] | |
| spirale | 14 | 20 | 3.08 | | $\sigma_{s,\text{min}}$ -109.0 [MPa] | predisporre armatura a taglio | θ_{sup} 45 [°] | |
| | | | | | $\sigma_{s,\text{max}}$ 222.4 [MPa] | | Incidenza | |
| | | | | | k ₂ 0.5 | V _{rd,s} 599.3 [kN] | Armatura min CD 'A' | |
| | | | | | ϵ_{sm-6cm} 0.73 [%] | V _{rd,max} 1479.2 [kN] | | |
| | | | | | s _{r,max} 37.0 [cm] | θ 28.0 [°] | | |
| | | | | | W _k 0.27 [mm] | sezione ductile | | |
| | | | | | | a _l 54.6 [cm] | | |
| materiali | | legenda | | | | | | |
| calcestruzzo | | acciaio | |  | d riferito all'asse barra | α_{cc} coeff. effetti a lungo termine | | |
| R _{ck} | 30 [MPa] | f _{yk} | 450 [MPa] | c copriferro netto | M > 0, se tese fibre inferiori | v coeff. riduzione resistenza bielle | | |
| f _{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 | M > 0, se di trazione | N > 0, se di trazione | $\alpha_{e} = E_s/E_c$ | | |
| γ_c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 [MPa] | V in valore assoluto | | k _t 0.6 azioni di breve durata | | |
| α_{cc} | 0.85 | E _s | 200000 [MPa] | | | k ₁ 0.4 azioni di lunga durata | | |
| f _{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] | | | k ₁ 0.8 barre aderenza migliorata | | |
| v | 0.5 | | | | | 1.6 barre lisce | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | | | | | k ₂ 0.5 flessione | | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | | | | | $(\alpha + \alpha_0)/2$ 0.8 trazione eccentrica | | |
| α_e | 15.0 | | | | | 1 trazione pura | | |
| k ₁ | 0.6 | rara | | | | k ₃ 3.4 | | |
| k ₂ | 0.8 | 0,45 f _{ck} | 11.2 [MPa] | | | k ₄ 0.425 | | |
| k ₃ | 3.4 | 0,8 f _{yk} | 360.0 [MPa] | | | σ > 0 se di trazione | | |
| k ₄ | 0.425 | W _{k,lim} | 0.3 [mm] | | | | | |

Gabbia 2

| geometria | | | | sollecitazioni e risultati | | | | verifica DM08 | | | |
|------------------------------------|--------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|--|
| sezione trasversale | | | | SLE | | | | SLU | | | |
| D [cm] | c [cm] | d [cm] | interfero [cm] | M _{Ed} [kNm] | N _{Ed} [kN] | M _{Ed} [kNm] | N _{Ed} [kN] | Verifica a taglio | | | |
| 90 | 6.0 | 81.1 | 10.3 | M _{Ed} | -0.1 | 907.3 | 0.0 | contributo Asl | | | |
| armatura longitudinale | | | | momento di cracking | | | | scelta si | | | |
| nbarre | φ [mm] | r _s [cm] | A _s [cm ²] | M _{cr} [kNm] | γ _m [cm] | presso-flessione | | angolo θ | | | |
| 22 | 30 | 36.10 | 155.51 | 224.6 | 32.77 | M _{Ed} 1736.4 [kNm] | | scelta imposto | | | |
| armatura a taglio | | | | tensioni e fessure | | | | σ _{l, min} -9.5 [MPa] | | σ _{l, max} 207.9 [MPa] | |
| Tipo | φ [mm] | p [cm] | A _{ctw} [cm ²] | legenda | | | | σ _{l, min} -101.8 [MPa] | | σ _{l, max} 207.9 [MPa] | |
| spirale | 14 | 15 | 3.08 | | | | | σ _{l, max} 207.9 [MPa] | | σ _{l, max} 207.9 [MPa] | |
| materiali | | | | calcestruzzo | | | | acciaio | | | |
| calcestruzzo | | | | R _{ck} 30 [MPa] | | | | f _{yk} 450 [MPa] | | | |
| f _{ck} 24.9 [MPa] | | | | γ _s 1.15 | | | | E _s 200000 [MPa] | | | |
| γ _c 1.5 | | | | f _{yd} 391.3 [MPa] | | | | E _s 200000 [MPa] | | | |
| α _z 0.85 | | | | E _{uk} 75 [%] | | | | E _s 200000 [MPa] | | | |
| f _{td} 14.1 [MPa] | | | | v 0.5 | | | | E _{uk} 75 [%] | | | |
| ε _{cu2} 2.0 [%] | | | | ε _{cu2} 3.5 [%] | | | | α _e 15.0 | | | |
| ε _{cu2} 3.5 [%] | | | | α _e 15.0 | | | | k ₁ 0.6 | | | |
| α _e 15.0 | | | | k ₁ 0.8 | | | | k ₂ 3.4 | | | |
| k ₁ 0.6 | | | | k ₂ 3.4 | | | | k ₃ 0.425 | | | |
| k ₁ 0.8 | | | | k ₃ 0.425 | | | | σ _r >= 0 se di trazione | | | |
| k ₂ 3.4 | | | | σ _r >= 0 se di trazione | | | | | | | |
| k ₃ 0.425 | | | | | | | | | | | |
| σ _r >= 0 se di trazione | | | | | | | | | | | |

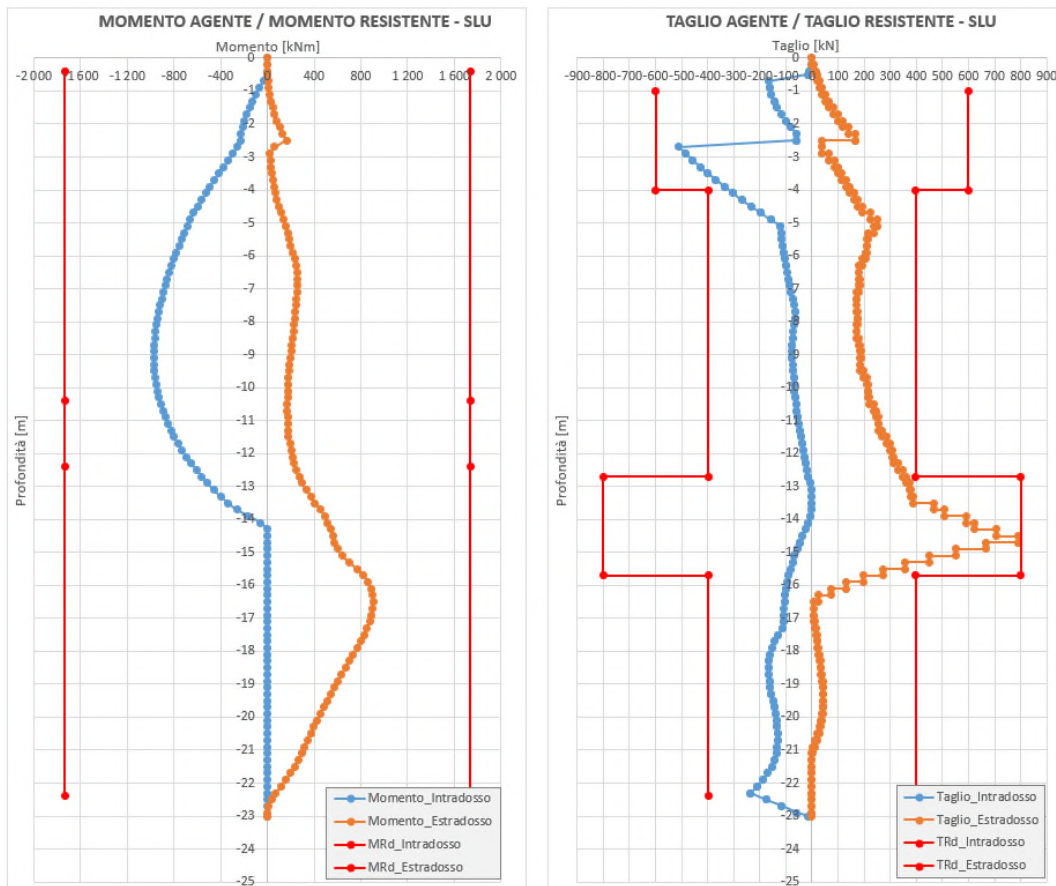


Figura 14-7 Verifica pali Tipo 'D1'

14.4.2 Verifica strutturale trave di ripartizione SLU Comb. A1+M1+R3

Si riporta di seguito la verifica strutturale della trave metallica di ripartizione del secondo ordine di puntone metallico.

Dati del profilato:

| | | |
|-----------------------|-----------|-------------------------|
| Tipo di profilato | HEB | 400 |
| Altezza del profilato | h | 400 mm |
| Base del profilato | b | 300 mm |
| Spessore dell'anima | $a = t_w$ | 13.5 mm |
| Spessore delle ali | $e = t_f$ | 24 mm |
| Raggio di curvatura | r | 27 mm |
| Area della sezione | A | 19777.8 mm ² |

Definizione dell'azione di calcolo:

| | | |
|---------------------------------------|----------|----------------|
| Sforzo massimo agente | N_{Ed} | 633.17 [kN/ml] |
| Interasse degli elementi di contrasto | i | 5.7 [m] |
| Momento agente sul profilato | M_{Ed} | 2057.17 [kNm] |
| Taglio agente sul profilato | V_{Ed} | 2165.44 [kN] |

Calcolo della resistenza di progetto a taglio:

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Tipologia di acciaio | S | 355 [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza | γ_{M0} | 1.05 [-] |
| Piano di carico del profilato | Carico nel piano dell'anima | |
| n° di profilati considerati | n° | 2 [-] |
| Area a taglio del singolo profilato | A_v | 6997.8 mm ² |
| Resistenza di progetto a taglio | $R_{c,Rd}$ | 2731.93 [kN] |

Definizione della tipologia di verifica da condurre:

| | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------|
| Taglio agente sul profilato | V_{Ed} | 2165.44 [kN] |
| Resistenza di progetto a taglio | $V_{c,Rd}$ | 2731.93 [kN] |
| Rapporto $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ | $V_{Ed}/V_{c,Rd}$ | 0.79 [-] |
| Tipo di verifica | Flessione e taglio | |

Verifica strutturale del profilato per flessione retta:

| | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Momento plastico nel piano dell'anima | $W_{pl,y}$ | 3231739 mm ³ |
| Resistenza di progetto | $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd}$ | 2185.27 [kNm] |
| Fattore di sicurezza della sezione | FS | 1.06 OK |

Verifica strutturale per profilato soggetto a flessione e taglio:

| | | |
|---|--------------|-------------------------|
| Momento plastico nel piano dell'anima | $W_{pl,y}$ | 3231739 mm ³ |
| Coefficiente di riduzione | ρ | 0.3426 [-] |
| Resistenza di progetto | $M_{y,V,Rd}$ | 2080.24 [kNm] |
| Condizione $M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$ | OK | |
| Fattore di sicurezza della sezione | FS | 1.01 OK |

Tabella 51 Verifica strutturale trave di ripartizione 2° ordine

14.4.3 Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Ø508/20mm L=5.9m

Sulla paratia di pali 'D1' insistono No.2 puntone metallici costituiti da Ø508/20mm, di luce L=5.9m posti a quota asse 369.4m slm. Di seguito, si riporta la verifica strutturale del puntone con interasse di progetto di 5.70m.

| OPERA DI IMBOCCO | | | |
|--|---------------|---------|--------------------|
| LAGO IDRO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Caratteristiche dei materiali | | | |
| tipologia acciaio | | S355 | |
| sezione formata | | a caldo | |
| tensione di snervamento dell'acciaio | f_y | 355 | [MPa] |
| modulo di elasticità dell'acciaio | E | 210000 | [MPa] |
| coefficiente parziale sulle resistenze | γ_{M0} | 1.10 | [-] |
| coefficiente parziale sulle resistenze all'instabilità | γ_{M1} | 1.10 | [-] |
| Geometria del puntone | | | |
| lunghezza | L | 5.9 | [m] |
| diametro esterno | d | 508.0 | [mm] |
| spessore | t | 20.0 | [mm] |
| area della sezione | A | 306.6 | [cm ²] |
| momento d'inerzia | I | 91428 | [cm ⁴] |
| modulo elastico a flessione | W_{el} | 3600 | [cm ³] |
| modulo plastico a flessione | W_{pl} | 4766 | [cm ³] |
| peso tubo | G | 240.7 | [Kg/m] |
| Determinazione della classe della sezione | | | |
| coefficiente ϵ | ϵ | 0.81 | [-] |
| coefficiente ϵ^2 | ϵ^2 | 0.66 | [-] |
| rapporto larghezza - spessore | d/t | 25.4 | [-] |
| classe della sezione | | 1 | |

| OPERA DI IMBOCCO | | | |
|--|------------|----------------------------------|--------|
| LAGO IDRO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Verifica a compressione | | | |
| sforzo normale massimo dal modello | N_{Ed} | 633.17 | [kN/m] |
| interasse puntoni | i | 5.70 | [m] |
| sforzo normale massimo | N_{Ed} | 3609 | [kN] |
| resistenza a compressione | $N_{c,Rd}$ | 9895 | [kN m] |
| Verifica OK | | $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$ | |
| Verifica all'instabilità dell'asta compressa | | | |
| curva di instabilità | a | | |
| coefficiente di imperfezione | α | 0.21 | [-] |
| carico critico di sbandamento | N_{cr} | 54436879 | [N] |
| snellezza adimensionale | λ | 0.45 | [-] |
| coefficiente ϕ | ϕ | 0.63 | [-] |
| coefficiente χ | χ | 0.94 | [-] |
| resistenza all'instabilità | $N_{b,Rd}$ | 9301 | [kN] |
| Verifica OK | | $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$ | |

| OPERA DI IMBOCCO | | | |
|------------------------------------|-------------|--|--------|
| LAGO IDRO | | | |
| VERIFICA ASTA COMPRESSA | | | |
| Verifica a pressoflessione | | | |
| sforzo normale massimo dal modello | N_{Ed} | 633.17 | [kN/m] |
| interasse puntoni | i | 5.70 | [m] |
| sforzo normale massimo | N_{Ed} | 3609 | [kN] |
| resistenza a compressione | $N_{pl,Rd}$ | 9895 | [kN m] |
| coefficiente riduttivo | 1-n | 0.64 | [-] |
| momento flettente massimo | M_{Ed} | 10.47 | [kNm] |
| momento plastico resistente | $M_{pl,Rd}$ | 1537.97 | [kNm] |
| Verifica OK | | $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}(1-n)} \leq 1$ | |

Tabella 52 Verifica puntone metallico STR

14.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

14.5.1 Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale dell'opera provvisoria deve essere condotta in accordo all'approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R3). Nella figura seguente è riportato il risultato delle verifiche in accordo con il metodo di Janbu. L'analisi di stabilità risulta essere soddisfatta con un coefficiente di sicurezza di 2.3.

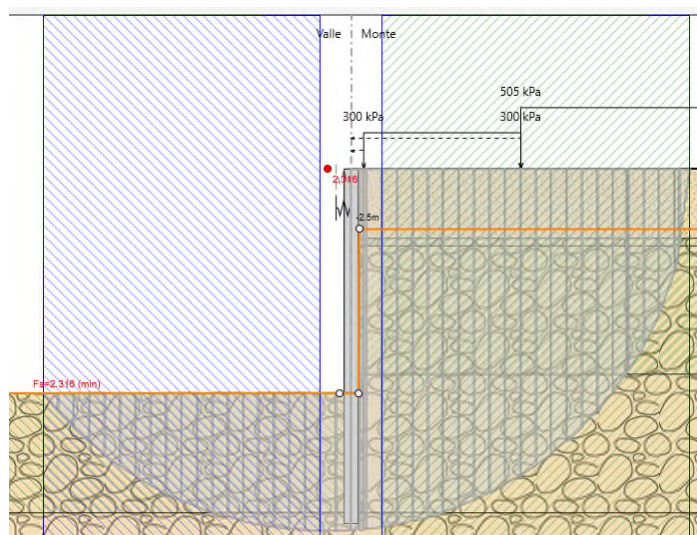


Figura 14-8 Risultati verifica stabilità globale

14.5.2 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 10%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 11%

Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <NTC2018: A2+M2+R1>

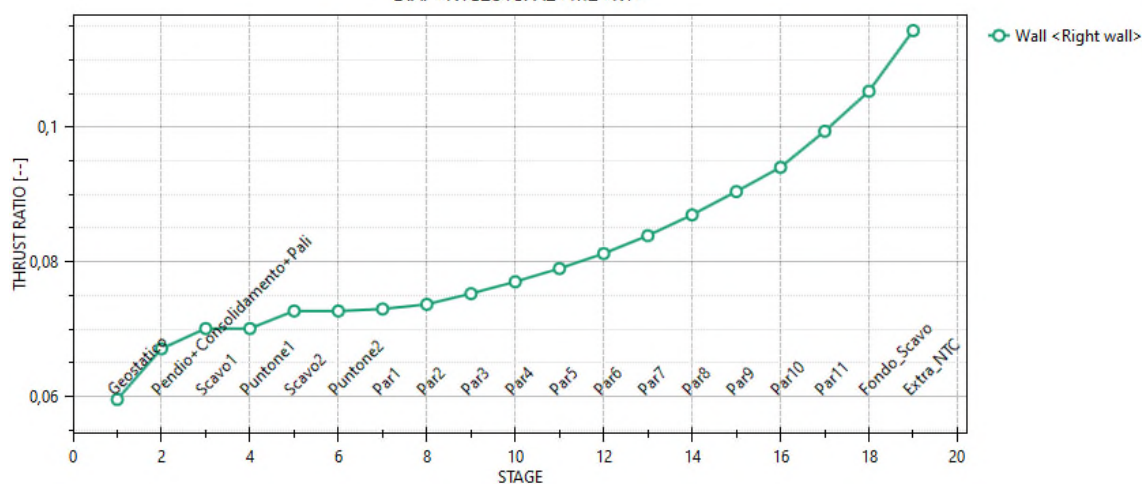


Figura 14-9 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

14.5.3 Verifica sfilamento tirante

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dei trefoli dei tiranti Comb. A1+M1+R3.

Caratteristiche del tirante e del bulbo:

| Ordine tirante [-] | i [°] | Quota da testa paratia [m] | libera min statica [m] | libera min sismica [m] | n° trefoli [-] | libera di progetto [m] | L _{fondazione minima} [m] | L _{fondazione di} [m] | L _{totale} [m] | L _{utile} [m] | Area tirante [mm ²] | Φ _{perforazioni} [mm] | α [-] | Φ _{calcolo} = α · Φ [m] | τ _{bulbo- terreno} [kPa] |
|-----------------------|----------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|---|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------------------|--|
| I | 5 | 0.3 | 6.5 | 8.76 | 5 | 9.0 | 9.2 | 12 | 21 | 15 | 695 | 180 | 1.5 | 0.27 | 180 |
| III | 5 | 3.8 | 4.9 | 6.58 | 7 | 7.0 | 15.7 | 16 | 23 | 15 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 180 |
| IV | 5 | 6.7 | 3.6 | 4.78 | 7 | 6.0 | 14.4 | 16 | 22 | 14 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |
| V | 5 | 9.0 | 2.5 | 3.36 | 7 | 5.0 | 12.9 | 16 | 21 | 13 | 973 | 180 | 1.5 | 0.27 | 200 |

Verifiche del tirante e dei meccanismi di rottura

| Ordine tirante [-] | Azione massima di progetto [kN] | Rd sfilamento bulbo- terreno [kN] | Rd sfilamento trefoli- bulbo [kN] | Verifica del bulbo di fondazione | Forza di rottura dei trefoli [kN] | Modalità di collasso | Rispetto gerarchia resistenze | FS sfilamento- rottura |
|-----------------------|---------------------------------------|---|---|-------------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| I | 747.6 | 979.77 | 1578.6 | VERIFICATO | 1160.65 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.2 |
| III | 1284.3 | 1306.36 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.2 |
| IV | 1306.9 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |
| V | 1169.4 | 1451.52 | 2104.8 | VERIFICATO | 1624.91 | Sfilamento bulbo dal terreno | OK | 1.1 |

Tabella 53 Verifica sfilamento tiranti Sez. 1-1

15 TRAVE DI CORONAMENTO SU PALI SECANTI

Nel capitolo seguente, si espongono le verifiche strutturali relative alle sezioni in C.A. delle travi di coronamento.

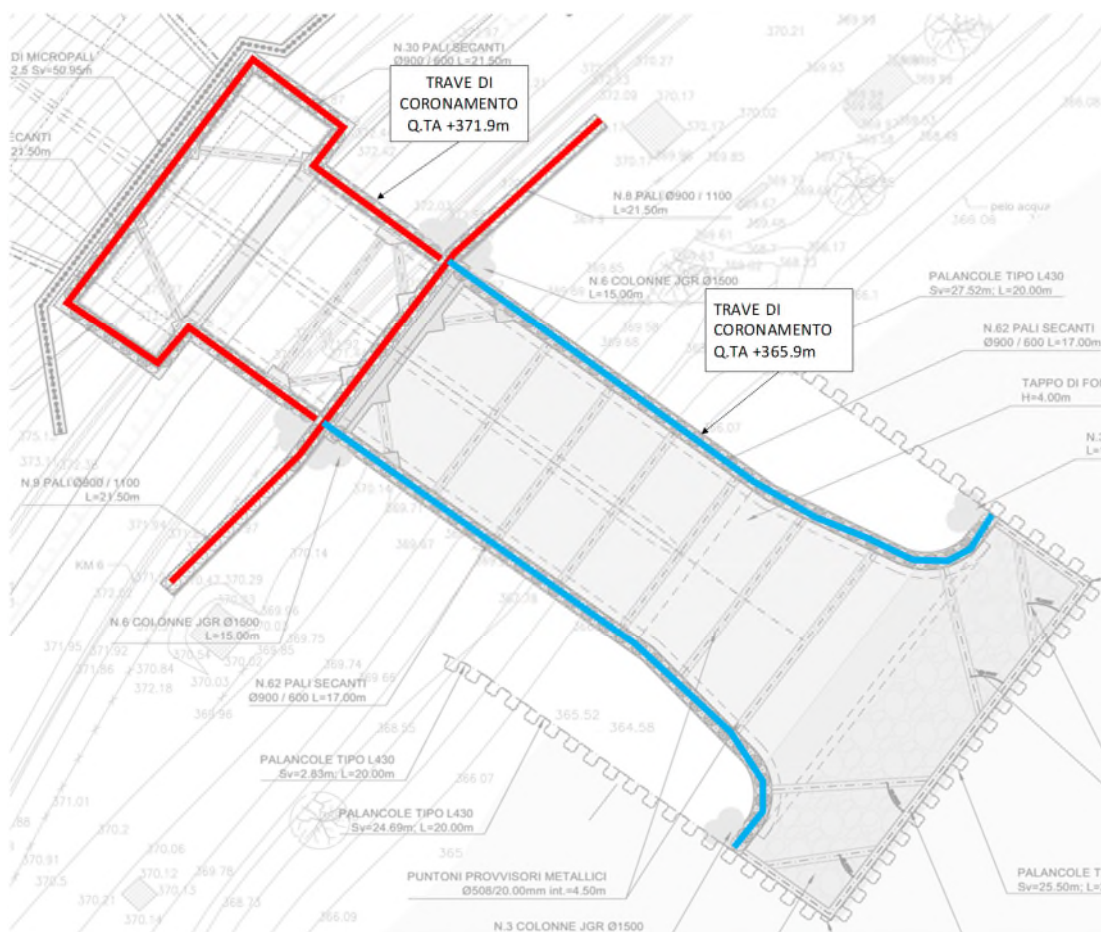


Figura 15-1 - Planimetria di inquadramento Travi di coronamento

15.1 Trave di coronamento a q.ta +365.9m

Si analizza il sistema di travi previsto alla quota +365.90m.

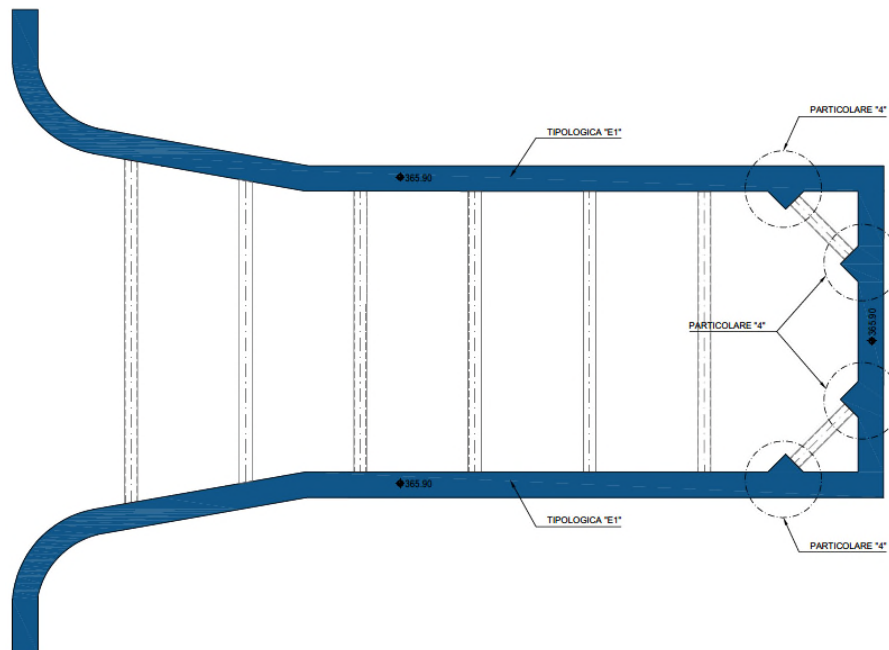
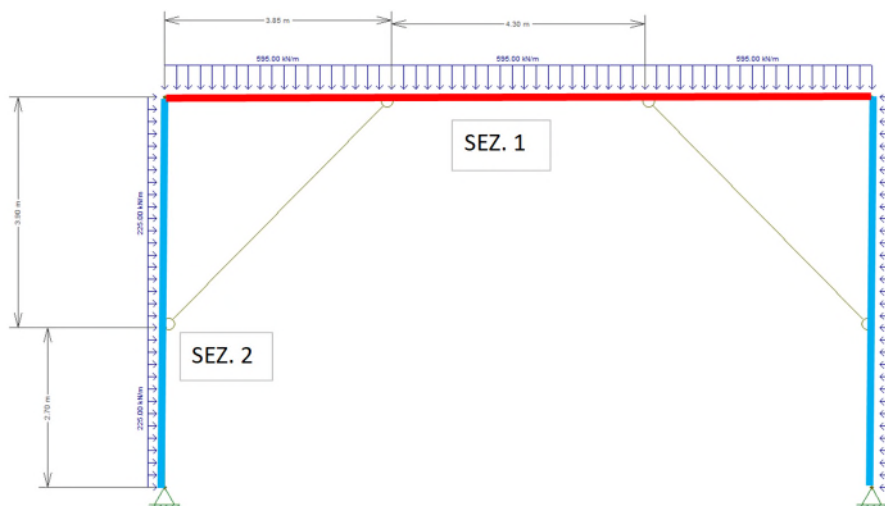


Figura 15-2 - Pianta Trave di coronamento a q.ta +365.90m

15.1.1 Modellazione comportamento nel piano orizzontale

Attraverso una semplice modellazione FEM 2D si determinano le massime sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali:



| BxH [cm] | ID Sez. | q_SLU [kN/m] |
|----------|---------|--------------|
| 100x100 | 1 | 595 |
| 100x100 | 2 | 225 |

Figura 15-3 - Schema di calcolo trave q.ta +365.9m

Le azioni agenti sulla struttura derivano dalle sezioni di calcolo, adottate per il dimensionamento delle paratie di Pali (mediante Paratie Plus).

Nello specifico la sezione 1 è caratterizzata da un carico agente pari a 595 kN/m (azione di taglio Paratia tipo "B2" Fase scavo lato Lago), mentre la sezione 2 presenta un carico trasversale pari a 225 kN/m (azione di taglio Paratia tipo "A").

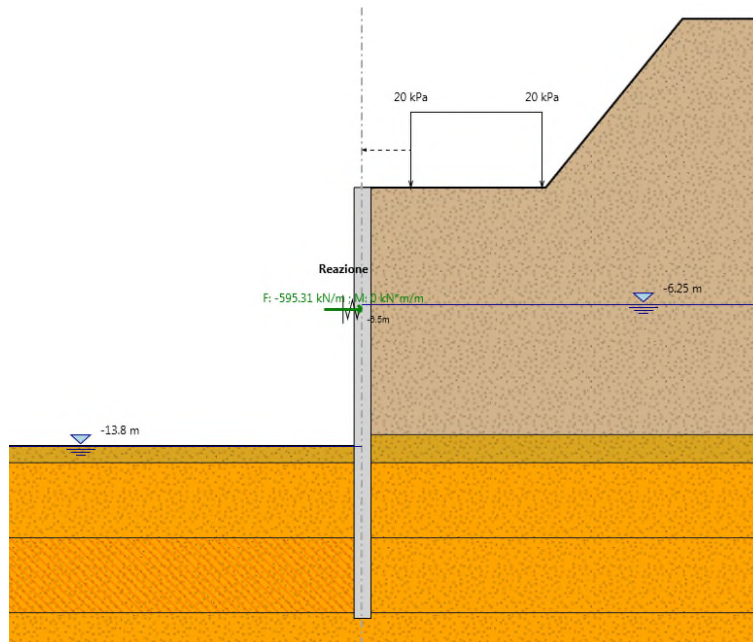


Figura 15-4 - Azione di taglio puntone +365.4m (Paratia Pali tipo "B" – Fase scavo lato Lago)

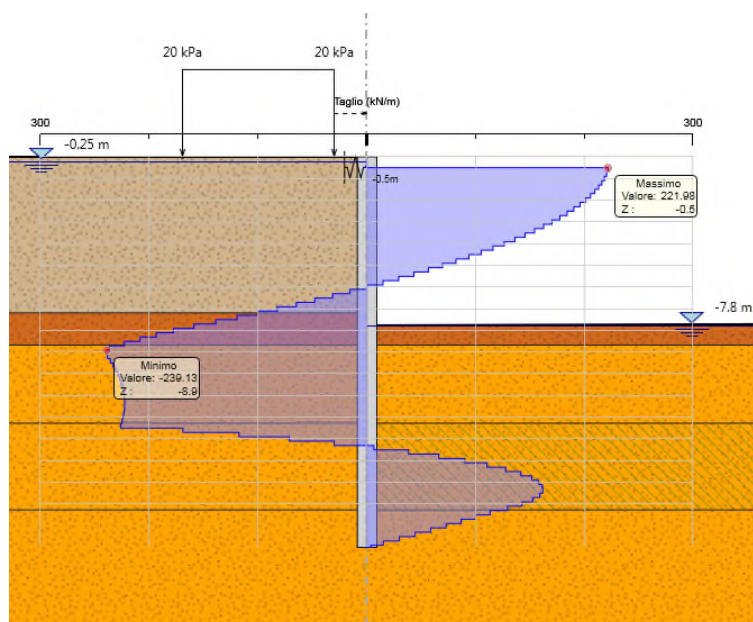


Figura 15-5 - Azione di taglio puntone +365.4m (Paratia Pali tipo "A")

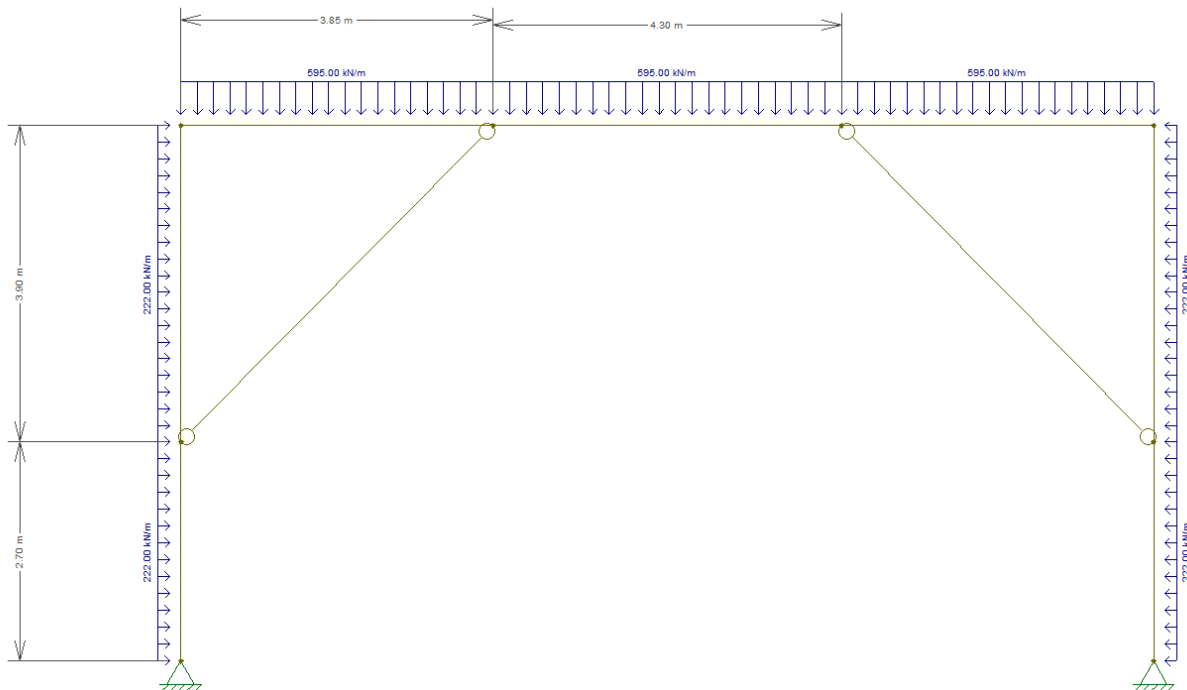


Figura 15-6 - Applicazione spinte travi di coronamento

15.1.1.1 Sollecitazioni

| BxH [cm] | ID Sez. | SLU | | |
|----------|---------|--------|--------|---------|
| | | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
| 100x100 | 1 | 0 | 1573 | 1896 |
| 100x100 | 2 | -1573 | 1202 | 2437 |

Tabella 54 - Max sollecitazioni Trave di coronamento +365.9m

In riferimento ai risultati delle sezioni di calcolo "Pali tipo B2 – scavo lato Lago", si riportano le massime sollecitazioni agenti sui puntoni metallici:

| quota [m slm] | Tipologia Paratia | Puntoni N MAX_SLU [kN] |
|---------------|---|------------------------|
| 365,9 | PARATIA FRONTALE (fase scavo lato Lago) - Tipo "B2" | 5904 |

Tabella 55 - Max sollecitazioni Puntoni +365.9m

Si riportano i diagrammi di sollecitazione, dove $N > 0$ rappresenta azioni di trazione.

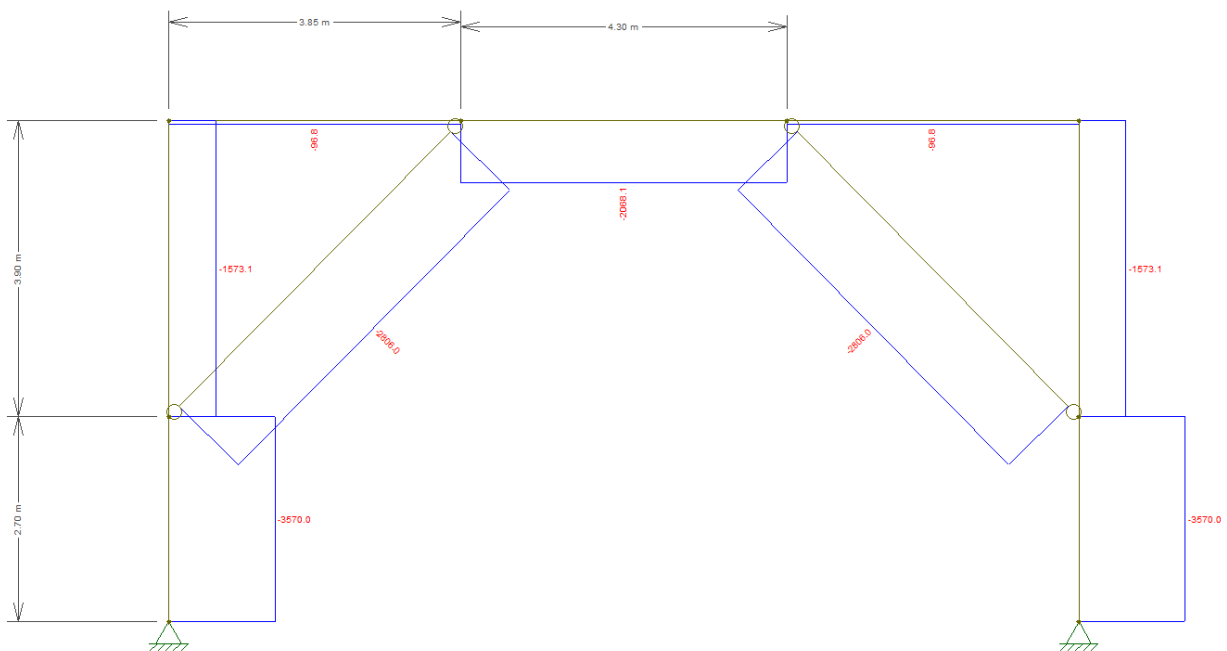


Figura 15-7 - Azione assiale (SLU)

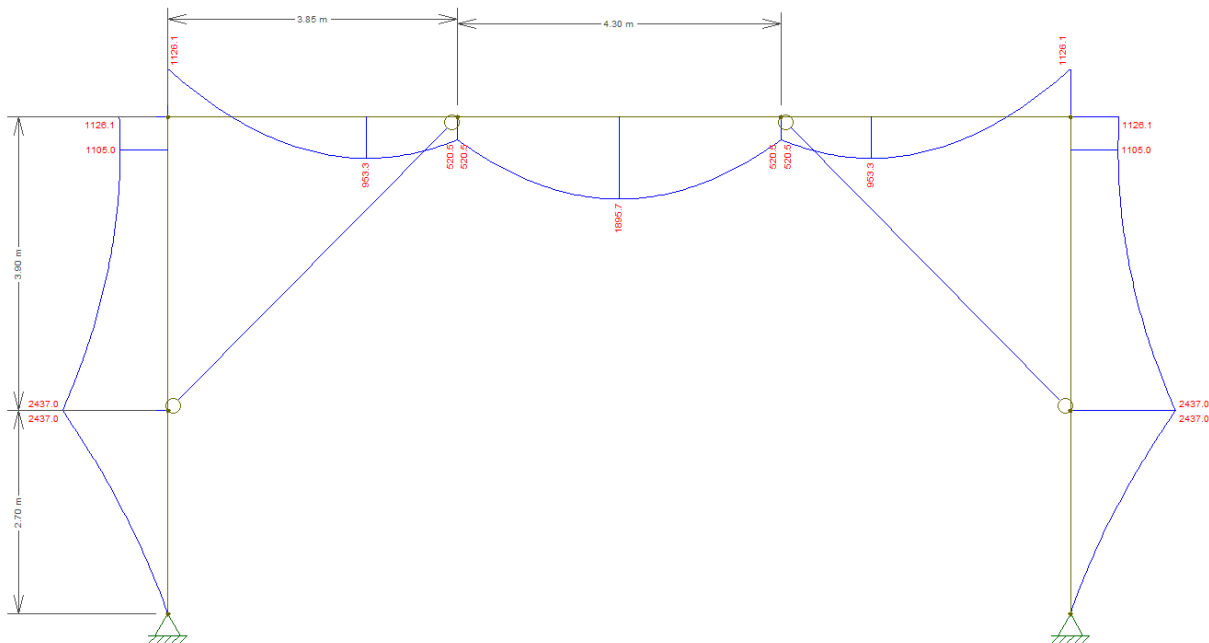


Figura 15-8 – Momento flettente (SLU)

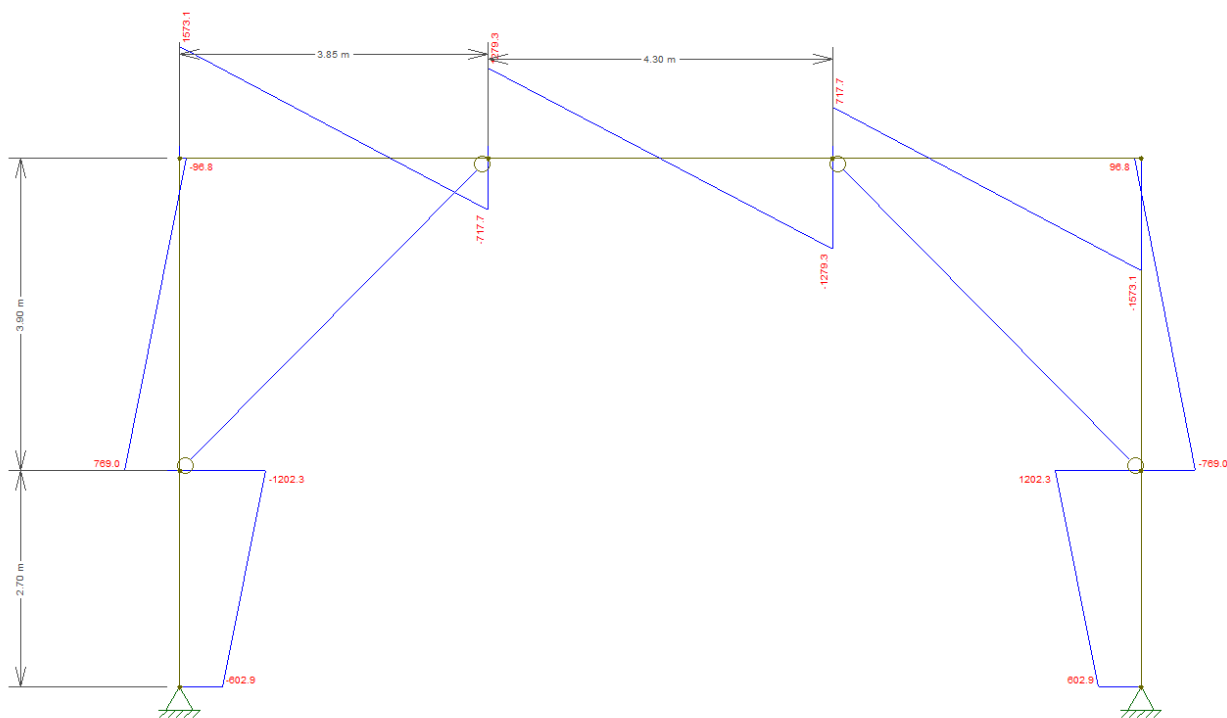


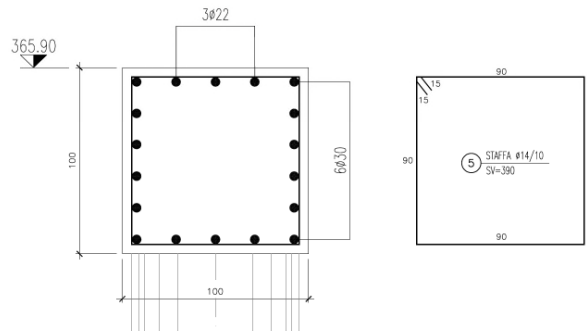
Figura 15-9 – Azione di taglio (SLU)

15.1.1.2 Schemi armatura

| BxH [cm] | ID Sez. | Arm. Long. PARETE | Arm. Long. BASE | Staffe |
|----------|---------|-------------------|-----------------|--------------|
| 100x100 | 1 | 6+6 Φ 30 | 3+3 Φ 22 | Φ 14/10 |
| 100x100 | 2 | 6+6 Φ 30 | 3+3 Φ 22 | Φ 14/10 |

15.1.1.3 Verifica strutturale trave SLU

TIPOLOGIA "E1"
Scala 1:20



| geometria | | | | |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 100 | 100 | -56.6 | 155.1 | 139.6 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | ϕ | d | A_{sl} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 6 | 30 | 6.9 | 42.41 | |
| 6 | 30 | 155.1 | 42.41 | 148.2 |
| | | 163.1 | | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | ϕ | s | α | A_{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 14 | 10 | 90 | 3.08 |

| sollecitazioni e risultati | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| SLE | SLU |
| M_{Ek} 0.00 [kNm] | M_{Ed} 1896 [kNm] |
| N_{Ek} 0 [kN] | N_{Ed} -0.0001 [kN] |
| tensioni e fessure | presso-flessione |
| M_{dec} 0.0 [kNm] | M_{Rd} 2490.6 [kNm] |
| M_{cr} -635.0 [kNm] | FS 1.31 |
| y_n 37.32 [cm] | taglio |
| $\sigma_{c,min}$ 0.0 [MPa] | V_{Rdc} 429.2 [kN] |
| $\sigma_{s,min}$ 0.0 [MPa] | predisporre armatura a taglio |
| $\sigma_{s,max}$ 0.0 [MPa] | V_{Rds} 2912.8 [kN] |
| k_2 0.5 | V_{Rdmax} 4607.5 [kN] |
| $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%] | θ 30.0 [°] |
| $s_{r,max}$ - [cm] | sezione duttile |
| w_k - [mm] | ai 120.9 [cm] |

| materiali | | | |
|------------------|------------|-----------------|--------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R_{ck} | 30 [MPa] | f_{yk} | 450 [MPa] |
| f_{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 |
| γ_c | 1.5 | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| α_{cc} | 0.85 | E_s | 200000 [MPa] |
| f_{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] |
| ν | 0.540 | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | | |
| α_e | 15.0 | | |
| k_t | 0.4 | valori limite | |
| k_1 | 0.8 | $0,45 f_{ck}$ | 11.2 [MPa] |
| k_3 | 3.4 | $0,8 f_{yk}$ | 360.0 [MPa] |
| k_4 | 0.425 | $w_{k,lim}$ | 0.302 [mm] |

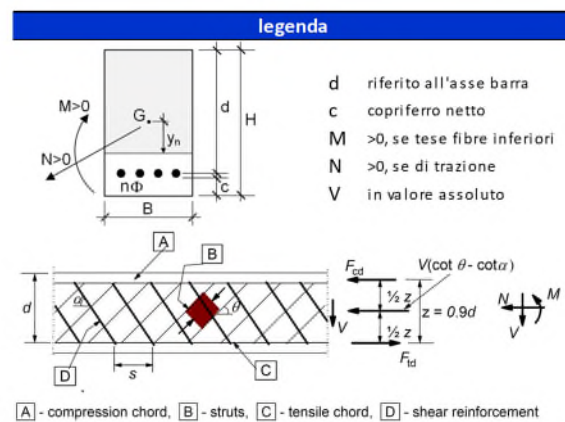


Figura 15-10 - Verifica strutturale SLU - Sezione 1

| geometria | | | | |
|------------------------|--------|-------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 100 | 100 | -56.6 | 155.1 | 139.6 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | ϕ | d | A_{s1} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 6 | 30 | 6.9 | 42.41 | |
| 6 | 30 | 155.1 | 42.41 | 148.2 |
| | | 163.1 | | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | ϕ | s | α | A_{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 14 | 10 | 90 | 3.08 |

| sollecitazioni e risultati | |
|---|---------------------|
| SLE | SLU |
| M_{Ek} 0.00 [kNm] | M_{Ed} 2437 [kNm] |
| N_{Ek} 0 [kN] | N_{Ed} -1573 [kN] |
| | V_{Ed} 1202 [kN] |
| tensioni e fessure | |
| M_{dec} 0.0 [kNm] | |
| M_{cr} -635.0 [kNm] | |
| y_n 37.32 [cm] | |
| $\sigma_{c,min}$ 0.0 [MPa] | |
| $\sigma_{s,min}$ 0.0 [MPa] | |
| $\sigma_{s,max}$ 0.0 [MPa] | |
| k_2 0.5 | |
| $\varepsilon_{sm-\varepsilon_{cm}}$ - [%] | |
| $S_{r,max}$ - [cm] | |
| W_k - [mm] | |
| presso-flessione | |
| M_{Rd} 3133.4 [kNm] | |
| FS 1.29 | |
| taglio | |
| V_{Rdc} 795.2 [kN] | |
| predisporre armatura a taglio | |
| V_{Rds} 2912.8 [kN] | |
| V_{Rdmax} 4607.5 [kN] | |
| θ 30.0 [°] | |
| sezione duttile | |
| ai 120.9 [cm] | |

| materiali | | | |
|---------------------|------------|--------------------|--------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R_{ck} | 30 [MPa] | f_{yk} | 450 [MPa] |
| f_{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 |
| γ_c | 1.5 | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| α_{cc} | 0.85 | E_s | 200000 [MPa] |
| f_{cd} | 14.1 [MPa] | ε_{uk} | 75 [‰] |
| ν | 0.540 | | |
| ε_{c2} | 2.0 [‰] | | |
| ε_{cu2} | 3.5 [‰] | | |
| α_e | 15.0 | | |
| k_t | 0.4 | | |
| | | valori limite | |
| k_1 | 0.8 | $0,45 f_{ck}$ | 11.2 [MPa] |
| k_3 | 3.4 | $0,8 f_{yk}$ | 360.0 [MPa] |
| k_4 | 0.425 | $w_{k,lim}$ | 0.302 [mm] |

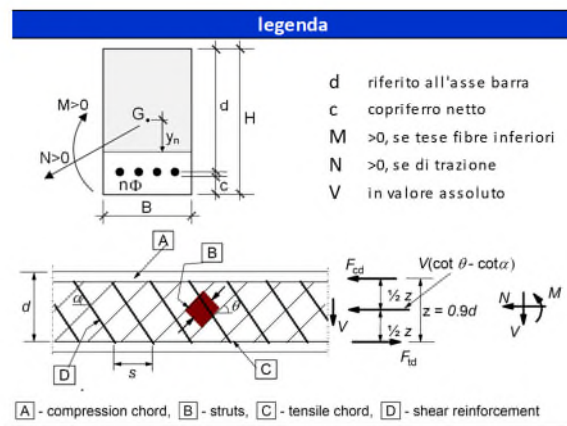


Figura 15-11 - Verifica strutturale SLU - Sezione 2

15.1.1.4 Verifica strutturale trave SLU (Mensola tozza)

15.1.1.4.1 Verifica tirante e puntone compresso

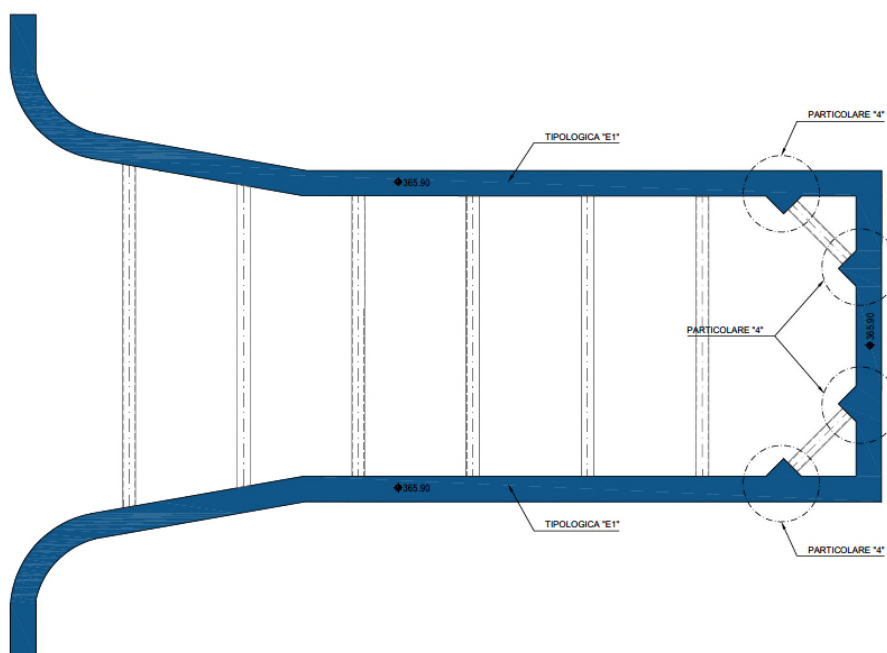


Figura 15-12 - Pianta Trave di coronamento a q.ta +365.90m

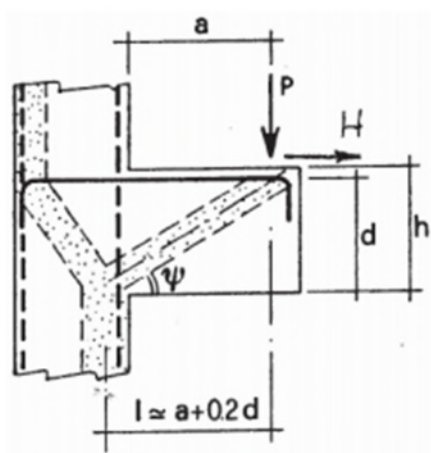


Figura 15-13 Modello a puntoni e tiranti con tirante orizzontale per mensole tozze

C4.1.2.3.7 Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi

| | | |
|-----------------|----------------------|--|
| c | [-] | 1,50 (=1.00 sbalzi senza staffe, 1.5 sbalzi con staffe) |
| R _{ck} | [N/mm ²] | 30,0 Resistenza a compressione (cubica) |
| f _{ck} | [N/mm ²] | 24,9 Resistenza a compressione (cilindrica) |
| f _{cd} | [N/mm ²] | 16,6 Resistenza a compressione di progetto |
| f _y | [N/mm ²] | 450,0 Snervamento acciaio |
| f _{yd} | [N/mm ²] | 391,3 Resistenza a trazione di progetto |
| φ ₁ | [mm] | 30 Diametro armature - 1 |
| n ₁ | [-] | 6,0 Numero armature -1 |
| φ ₂ | [mm] | 16 Diametro armature - 2 |
| n ₂ | [-] | 21,0 Numero armature -2 |
| A _s | [mm ²] | 8463,5 Sezione totale armatura tirante |
| b | [mm] | 1000 Spessore puntone |
| d | [mm] | 1700 Altezza utile |
| a | [mm] | 500 Distanza applicazione del carico verticale |
| L | [mm] | 840 Cautelativamente si considera L pari alla distanza asse fodera-asse trave di coronamento |
| λ | [-] | 0,55 = cotgψ = L / (0.9xd) |
| H _{Ed} | [kN] | 0,0 Azione orizzontale di progetto |
| P _{ed} | [kN] | 5904,0 Azione verticale di progetto |
| P _{Rc} | [kN] | 13010 Azione resistente di progetto del puntone inclinato |
| P _{Rs} | [kN] | 6032 Azione resistente di progetto armature |
| check | [-] | OK P _{Rc} ≥ P _{Rs} |
| F _s | [-] | 1,02 Coefficiente di sicurezza |

Figura 15-14 - Verifica resistenza elementi tozzi – Particolare 4

15.1.1.4.2 Verifica locale appoggio

In accordo a EC2 *Progettazione delle strutture di calcestruzzo, Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi* (§J.104.2), l'armatura di frettaggio necessaria per evitare la rottura del cordolo di appoggio viene calcolata secondo l'espressione seguente:

$$A_r \cdot f_{yd} \geq F_{Rdu} / 2.$$

Con:

- A_r , armatura di frettaggio
- f_{yd} , resistenza di snervamento di progetto
- F_{Rdu} carico applicato

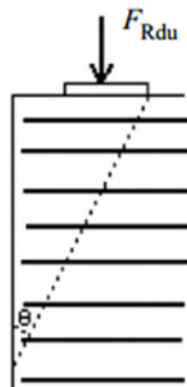


Figura 15-15 - Meccanismo di rottura del cordolo di appoggio

Inoltre, secondo il punto §J.104.2 di EC2-2, per evitare l'esplosione del calcestruzzo della zona di appoggio, si garantisce il rispetto della condizione seguente:

$$\frac{P_{max}}{c \cdot c'} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

Con:

- P_{max} , massima forza
- c, c' dimensioni rettangolo di appoggio
- f_{ck} resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo

Si riportano in tabella le verifiche e le relative armature di frettaggio:

| quota [m slm] | PUNTONI | N SLU_F TOOL [kN] | N SLU_PARATIE [kN] | N MAX [kN] |
|------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|------------|
| 365,9 | PARATIA FRONTALE (max fase 1) | 2806 | 5904 | 5904 |

| STAFFE ORTOGONALI ALLA DIREZIONE DEL PUNTO | | | | | |
|--|---------|-------------------------|-------------------|----|---|
| Ar [mm ²] | n barre | n barre/allineamento | n allineamenti | ϕ | n x ϕ x staffa "C" [mm ²] |
| 7544 | 42 | 6 | 7 | 16 | 8445 |

| STAFFE PARALLELE ALLA DIREZIONE DEL PUNTO | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------------------------|----------------|----|---|------|
| As [mm ²] | n barre | TIPO | n barre/allineamento | n allineamenti | ϕ | n x ϕ x staffa "C" [mm ²] | F.S. |
| 2716 | 14 | 1 "C" | 2 | 7 | 16 | 2815 | 0.96 |

| VERIFICA SCHIACCIAMENTO CLS | | | | |
|-------------------------------------|-----------|---------|---|------|
| A_tasca appoggio [mm ²] | Pmax/c*c' | 0.6 fck | $\frac{P_{max}}{c \cdot c'} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$ | F.S. |
| 1000000 | 5.904 | 15 | ok | 0.39 |

Figura 15-16 - Riepilogo verifiche locali appoggio

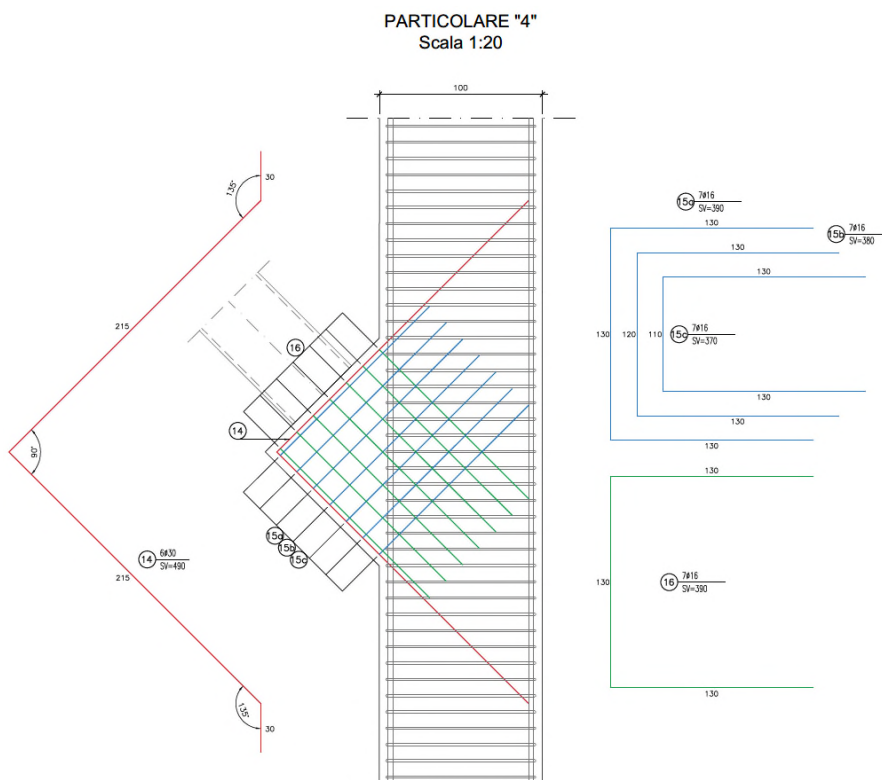


Figura 15-17 - Schema armatura nodo Puntone tipo 4

15.2 Trave di coronamento a q.ta +371.9m

Si analizza il sistema di travi previsto alla quota +371.90m.

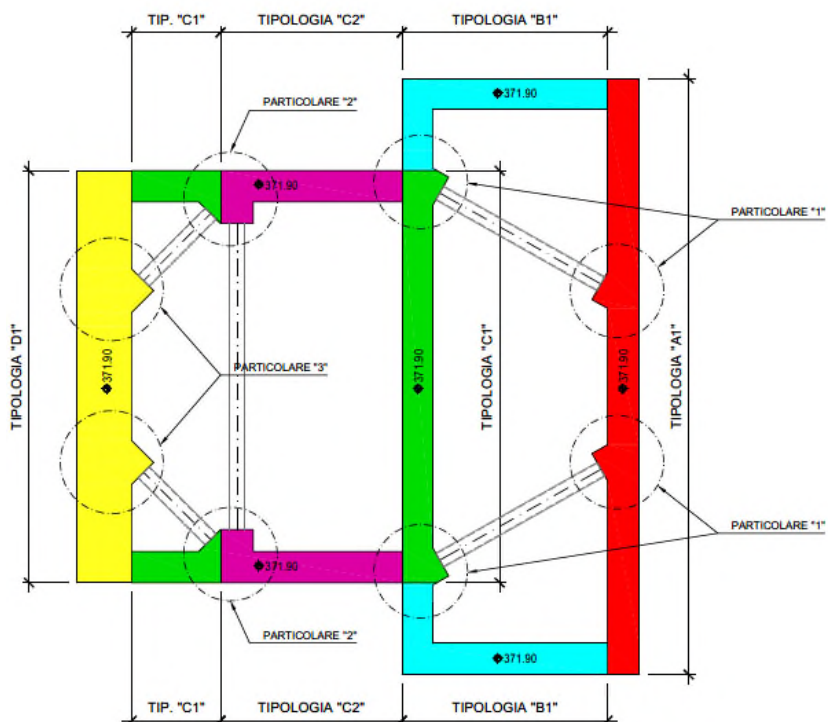
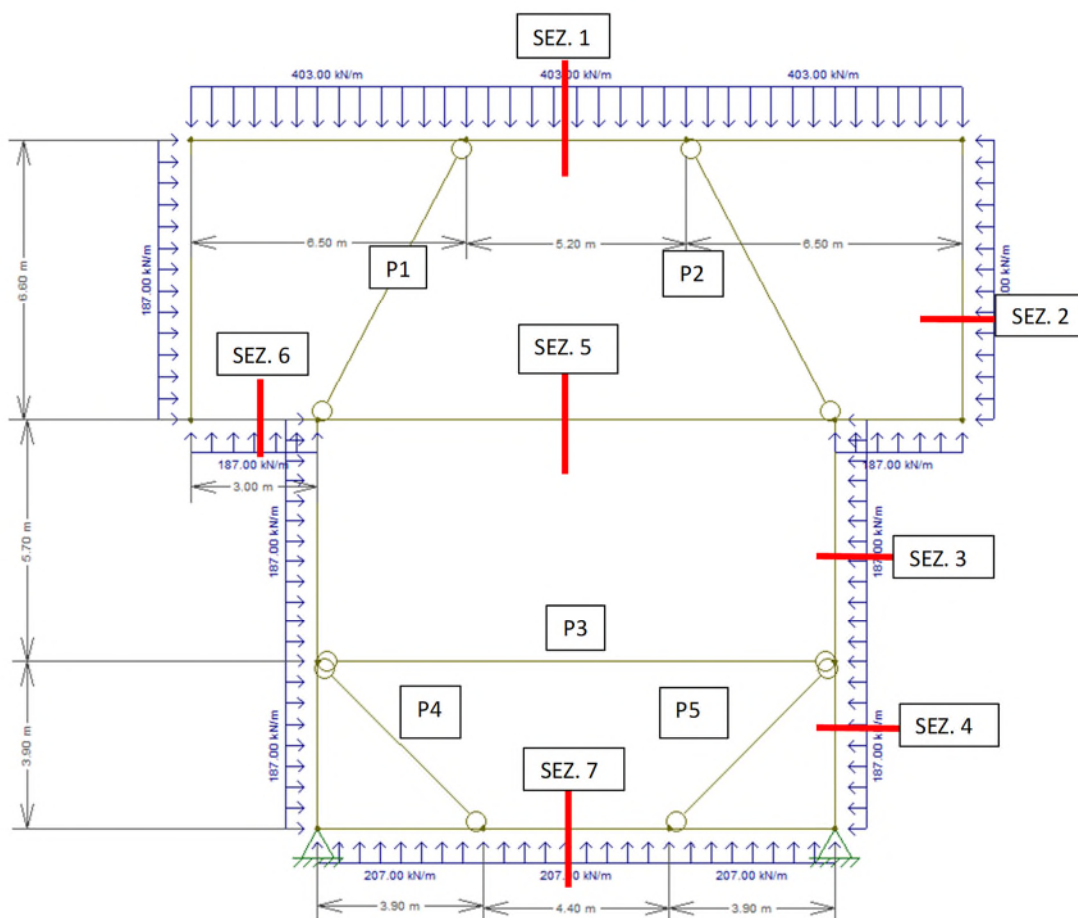


Figura 15-18 - Pianta Trave di coronamento a q.ta +371.9m

INSERIRE ESTENSIONI PARATIA FRONTALE +371.9M

15.2.1 Modellazione comportamento nel piano orizzontale



| BxH [cm] | ID Sez. | q_SLU [kN/m] |
|----------|---------|--------------|
| 100x150 | 1 | 403 |
| 100x150 | 2 | 187 |
| 100x150 | 3 | 187 |
| 100x150 | 4 | 187 |
| 100x150 | 5 | 0 |
| 100x150 | 6 | 187 |
| 175x150 | 7 | 201 |

Figura 15-19 - Schema di calcolo trave q.ta +371.9m

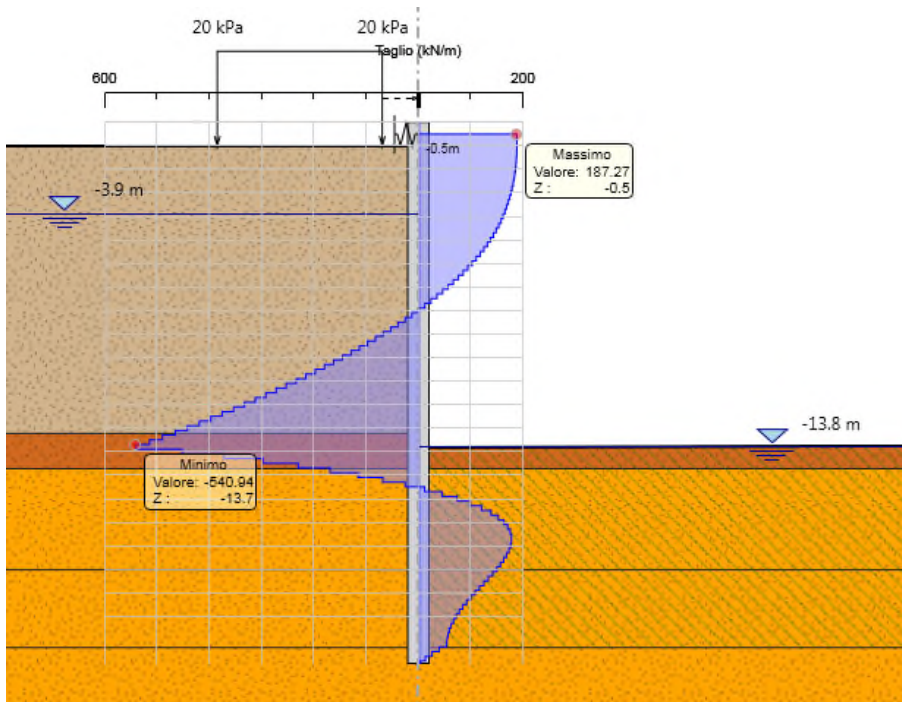


Figura 15-20 - Azione di taglio puntone +371.9m (Paratia Pali tipo "C1"-"C2")

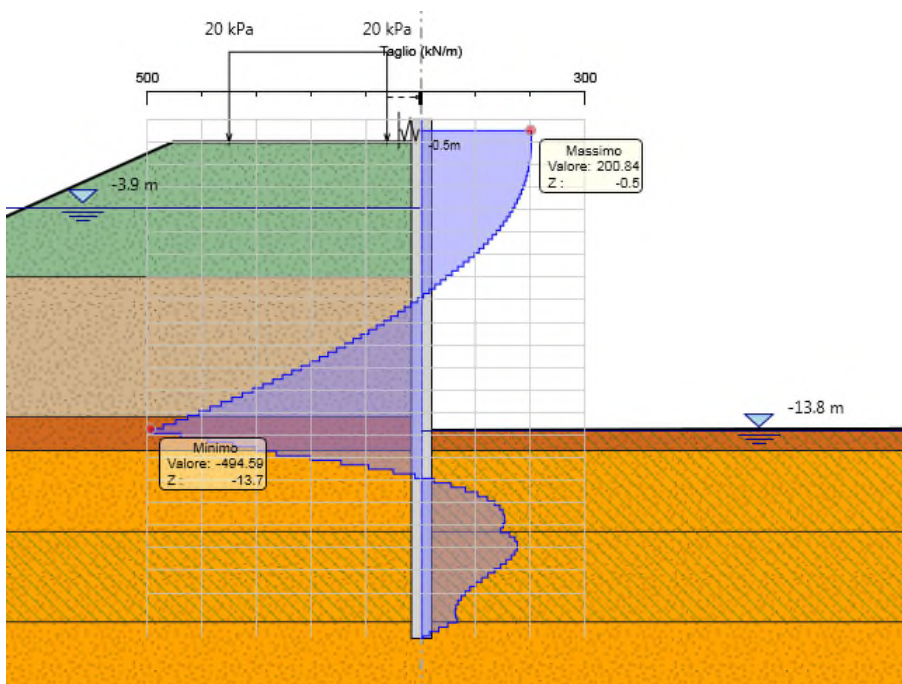


Figura 15-21 - Azione di taglio puntone +371.9m (Paratia Pali tipo "B" – Fase scavo lato Lago)

Per determinare le sollecitazioni agenti sui puntoni nella fase di taglio della paratia di pali (interferenti con la galleria), vengono studiate in dettaglio le condizioni di vincolo e carico riferite alle singole lavorazioni. Tale valore viene applicato come carico distribuito alla trave di coronamento lato monte.

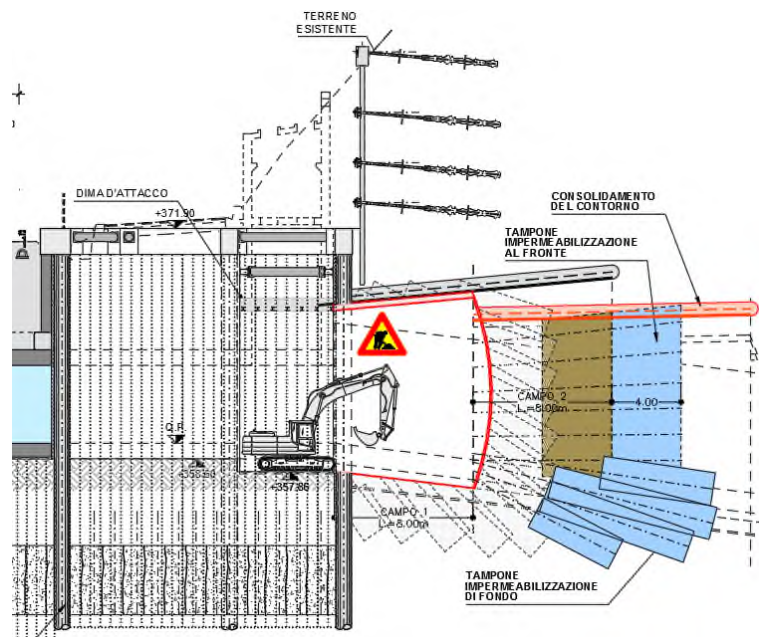
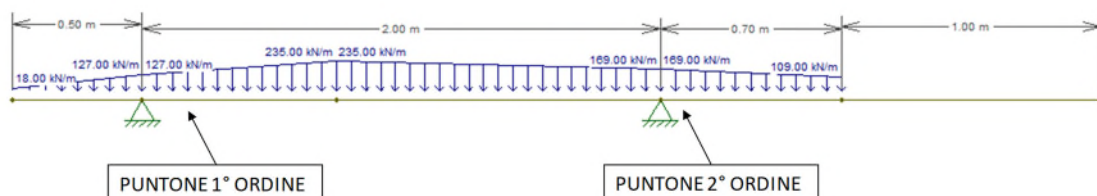


Figura 15-22 – Fase esecutiva Imbocco n°15

Nello specifico si analizzano le seguenti condizioni:

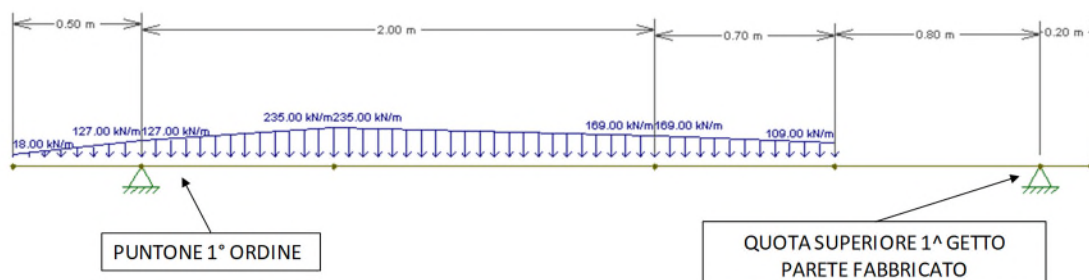
- Schema 1: Palo tagliato, carico agente pari alla spinta passiva della berlinese a tergo, schematizzazione puntone con vincoli a cerniera.

SCHEMA 1



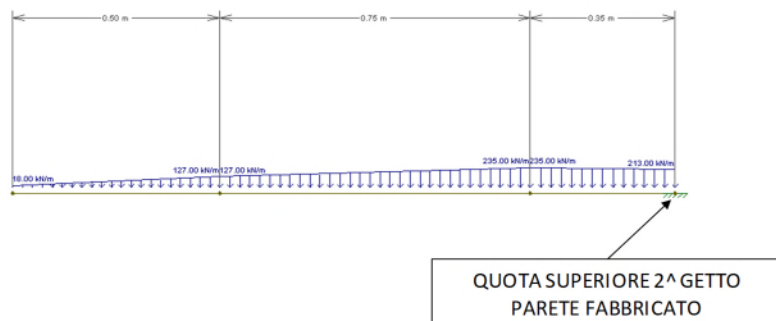
- Schema 2: Palo tagliato, rimozione puntone (2° ordine) e inserimento vincolo a cerniera offerto dal getto della parete del fabbricato (1° getto);

SCHEMA 2



- Schema 3: Palo tagliato, inserimento vincolo di incastro in corrispondenza del getto della parete del fabbricato (2° getto).

SCHEMA 3



A favore di sicurezza si analizza la condizione limite in corrispondenza della sezione di chiave della galleria. La massima azione assiale agente in corrispondenza del primo ordine di puntone è pari a 403 kN (SLU).

| | SLE | SLU | Schema |
|------------------------------|-----|-----|--------|
| Nmax puntone SUP [kN] | 310 | 403 | 1 |

Tabella 56- Nmax puntone 1° ordine

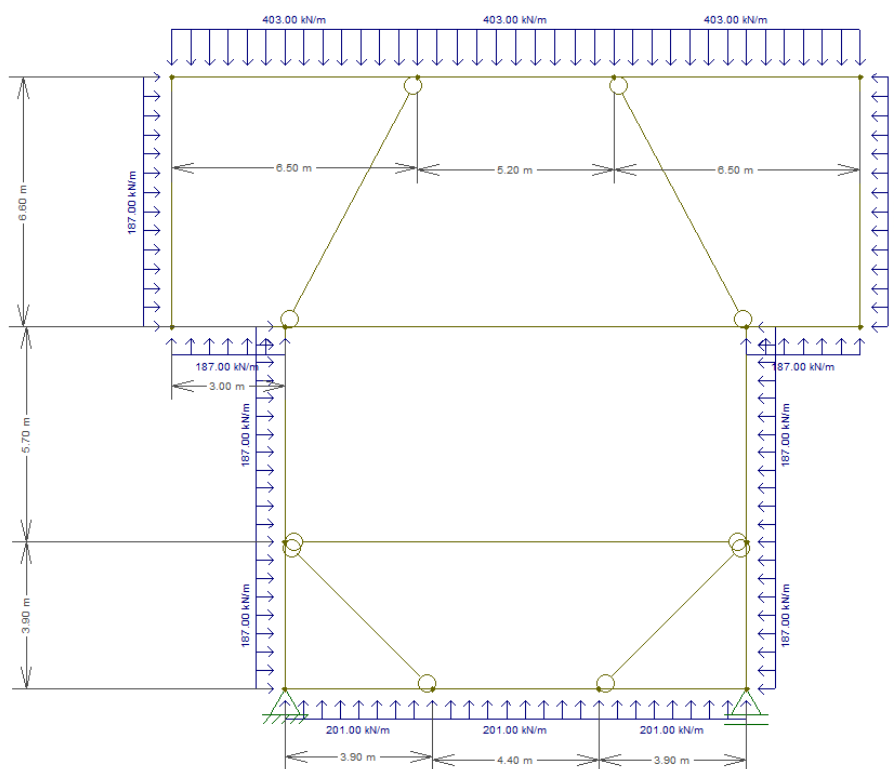


Figura 15-23 - Applicazione spinte travi di coronamento

15.2.1.1 Sollecitazioni

N>0 compressione

| BxH [cm] | ID Sez. | SLU | | |
|----------|---------|--------|--------|---------|
| | | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
| 100x150 | 1 | 485 | 1383 | 1282 |
| 100x150 | 2 | 1237 | 749 | 1676 |
| 100x150 | 3 | 3106 | 775 | 1000 |
| 100x150 | 4 | 2352 | 407 | 606 |
| 100x150 | 5 | -249 | 0 | 418 |
| 100x150 | 6 | 749 | 1237 | 1676 |
| 175x150 | 7 | 322 | 471 | 441 |

Tabella 57 - Max sollecitazioni Trave di coronamento +371.9m

In riferimento ai risultati delle sezioni di calcolo esposte in precedenza, si riportano le massime sollecitazioni agenti sui puntoni metallici:

| quota [m slm] | Tipologia Paratia | Puntoni N MAX_SLU [kN] |
|---------------|--|------------------------|
| 371,9 | PARATIA FRONTALE (fase scavo lato Monte) - Tipo "B2" | 1194 |
| 371,9 | PARATIA POZZO - Tipo "D1" | 2751 |
| 371,9 | PARATIA COLLEGAMENTO POZZO - Tipo "C1-C2" | 1521 |

Tabella 58 - Max sollecitazioni Puntoni +371.9m

Si riportano i diagrammi di sollecitazione, dove $N > 0$ rappresenta azioni di trazione.

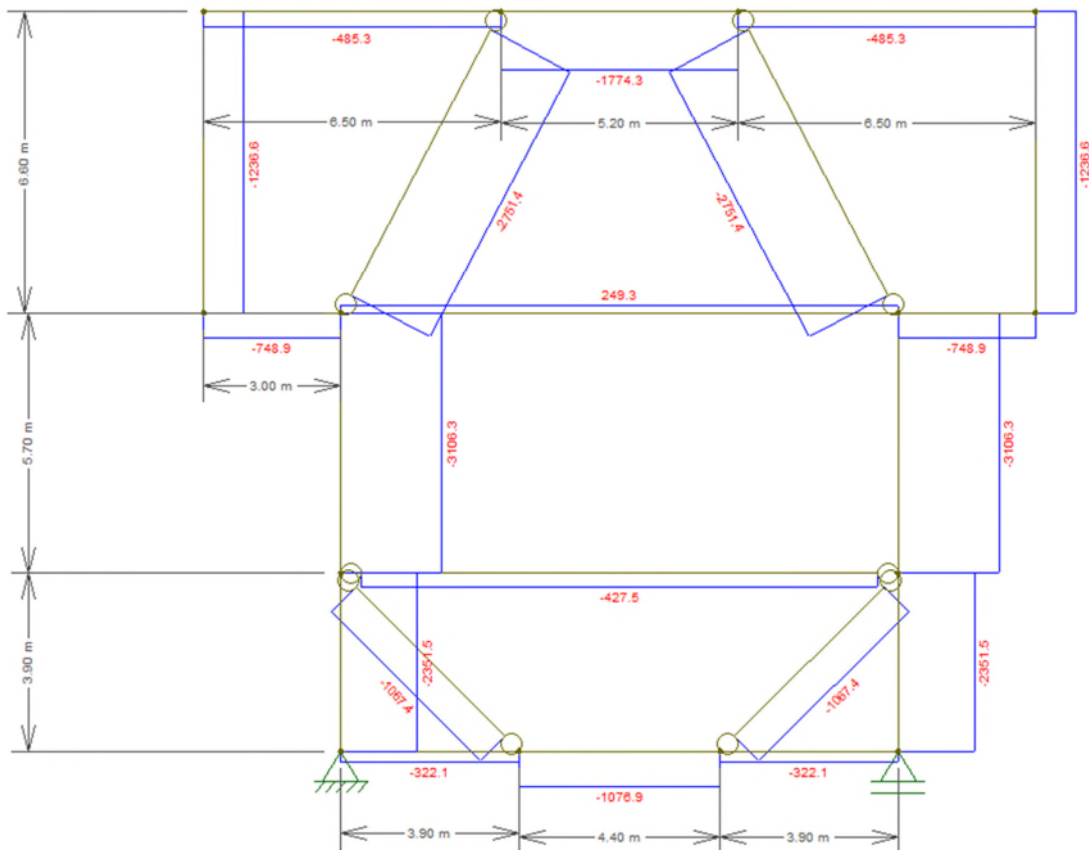


Figura 15-24 - Azione assiale (SLU)

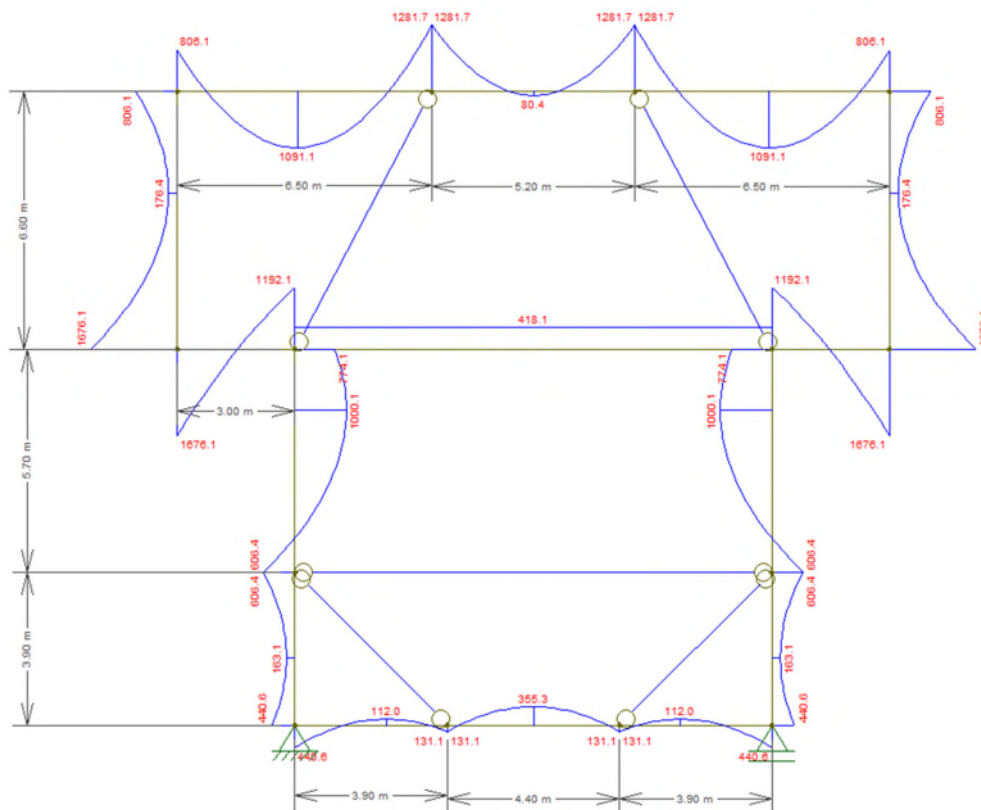


Figura 15-25 – Momento flettente (SLU)

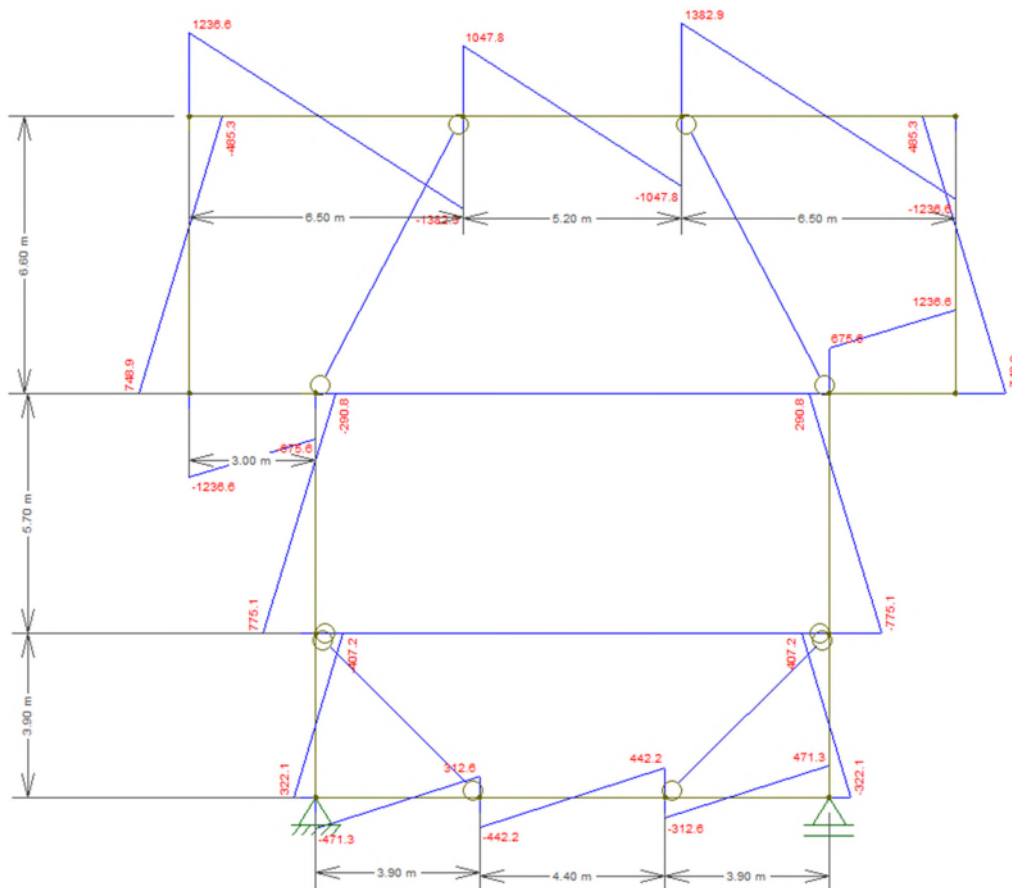


Figura 15-26 – Azione di taglio (SLU)

15.2.1.2 Schemi armatura

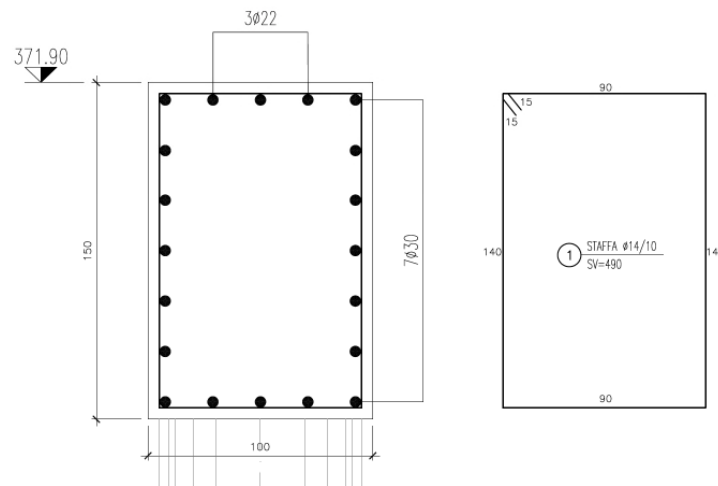
| BxH [cm] | ID Sez. | Arm. Long. PARETE | Arm. Long. BASE (As+As') (*) | Staffe |
|-----------------|----------------|--------------------------|---|---------------|
| 100x150 | 1 | 7+7 Φ 30 | 5+5 Φ 30 | Φ 14/10 |
| 100x150 | 2 | 7+7 Φ 30 | 3+3 Φ 22 | Φ 14/10 |
| 100x150 | 3 | 7+7 Φ 22 | 3+3 Φ 22 | Φ 12/10 |
| 100x150 | 4 | 7+7 Φ 22 | 3+3 Φ 22 | Φ 12/20 |
| 100x150 | 5 | 7+7 Φ 22 | 3+3 Φ 22 | Φ 12/20 |
| 100x150 | 6 | 7+7 Φ 30 | 3+3 Φ 22 | Φ 14/10 |
| 175x150 | 7 | 6+6 Φ 22 | 12 Φ 30+5 Φ 22 | Φ 14/10 |

(*) As, armatura tesa; As*, armatura compressa

15.2.1.3 Verifica strutturale trave SLU

Si rimanda al cap. §15.2.2 per la verifica strutturale della sezione trasversale della trave di coronamento delle paratie tipo "D1" e "B2", per le quali è necessario soddisfare la verifica a flessione deviata, essendo presenti sollecitazioni agenti sia sul piano verticale (carico pali appesi) che orizzontale (taglio agente per spinta terreno fase scavo).

TIPOLOGIA "B1"
Scala 1:20



| geometria | | | | |
|------------------------|--------|------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 150 | 100 | 5.4 | 93.1 | 83.8 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | ϕ | d | A_{s1} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 7 | 30 | 6.9 | 49.48 | |
| 7 | 30 | 93.1 | 49.48 | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | ϕ | s | α | A_{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 14 | 10 | 90 | 3.08 |

| sollecitazioni e risultati | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|
| SLE | SLU | |
| M_{Ek} 0.00 [kNm] | M_{Ed} 1676.00 [kNm] | |
| N_{Ek} 0 [kN] | N_{Ed} -1237 [kN] | |
| tensioni e fessure | | |
| M_{dec} 0.0 [kNm] | V_{Ed} 749.00 [kN] | |
| M_{cr} -642.7 [kNm] | presso-flessione | |
| y_n 26.92 [cm] | M_{Rd} 2242.7 [kNm] | |
| $\sigma_{c,min}$ 0.0 [MPa] | FS 1.34 | |
| $\sigma_{s,min}$ 0.0 [MPa] | taglio | |
| $\sigma_{s,max}$ 0.0 [MPa] | V_{Rdc} 604.6 [kN] | |
| k_2 0.5 | predisporre armatura a taglio | |
| $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ - [%] | V_{Rds} 1748.4 [kN] | |
| $S_{r,max}$ - [cm] | V_{Rdmax} 4148.6 [kN] | |
| W_k - [mm] | θ 30.0 [°] | |
| | sezione duttile | |
| | ai 72.6 [cm] | |

| materiali | | | |
|------------------|------------|----------------------|--------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R_{ck} | 30 [MPa] | f_{yk} | 450 [MPa] |
| f_{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 |
| γ_c | 1.5 | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| α_{cc} | 0.85 | E_s | 200000 [MPa] |
| f_{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] |
| ν | 0.540 | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | valori limite | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | k_1 | 0.8 |
| α_e | 15.0 | k_3 | 3.4 |
| k_t | 0.4 | k_4 | 0.425 |
| | | $0,45 f_{ck}$ | 11.2 [MPa] |
| | | $0,8 f_{yk}$ | 360.0 [MPa] |
| | | $w_{k,lim}$ | 0.302 [mm] |

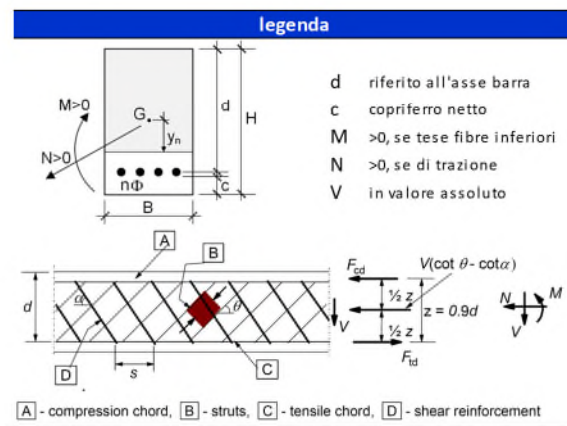
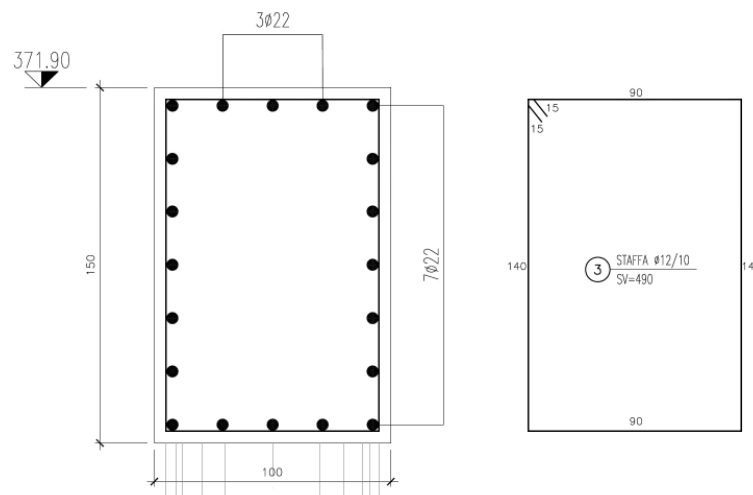


Figura 15-27 - Verifica strutturale SLU - Sezione 2

TIPOLOGIA "C2"
Scala 1:20



| geometria | | | | |
|------------------------|--------|------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 150 | 100 | 5.2 | 93.7 | 84.3 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | ϕ | d | A_{sl} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 7 | 22 | 6.3 | 26.61 | |
| 7 | 22 | 93.7 | 26.61 | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | ϕ | s | α | A_{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 12 | 10 | 90 | 2.26 |

| sollecitazioni e risultati | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------|
| SLE | SLU | | |
| M_{Ek} | 0.00 [kNm] | M_{Ed} | 1000.00 [kNm] |
| N_{Ek} | 0 [kN] | N_{Ed} | -3106 [kN] |
| tensioni e fessure | | | |
| M_{dec} | 0.0 [kNm] | V_{Ed} | 775.00 [kN] |
| M_{cr} | -593.6 [kNm] | presso-flessione | |
| y_n | 31.65 [cm] | M_{Rd} | 2218.3 [kNm] |
| $\sigma_{c,min}$ | 0.0 [MPa] | FS | 2.22 |
| $\sigma_{s,min}$ | 0.0 [MPa] | taglio | |
| $\sigma_{s,max}$ | 0.0 [MPa] | V_{Rdc} | 870.5 [kN] |
| k_2 | 0.5 | non serve armatura a taglio | |
| $\epsilon_{sm-\epsilon_{cm}}$ | - [%] | V_{Rds} | 1292.8 [kN] |
| $S_{r,max}$ | - [cm] | V_{Rdmax} | 4175.3 [kN] |
| w_k | - [mm] | θ | 30.0 [°] |
| | | sezione duttile | |
| | | al | 93.7 [cm] |

| materiali | | | |
|------------------|------------|-----------------|------------------------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R_{ck} | 30 [MPa] | f_{yk} | 450 [MPa] |
| f_{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 |
| γ_c | 1.5 | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| α_{cc} | 0.85 | E_s | 200000 [MPa] |
| f_{cd} | 14.1 [MPa] | ϵ_{uk} | 75 [%] |
| ν | 0.540 | | |
| ϵ_{c2} | 2.0 [%] | valori limite | |
| ϵ_{cu2} | 3.5 [%] | k_1 | 0,45 f_{ck} 11.2 [MPa] |
| α_e | 15.0 | k_3 | 0,8 f_{yk} 360.0 [MPa] |
| k_t | 0.4 | k_4 | 0.425 $w_{k,lim}$ 0.302 [mm] |

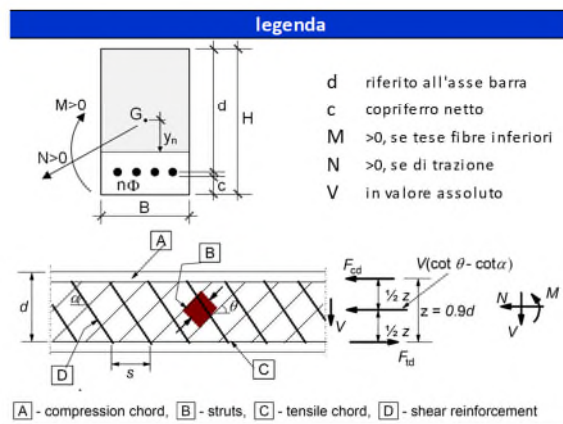
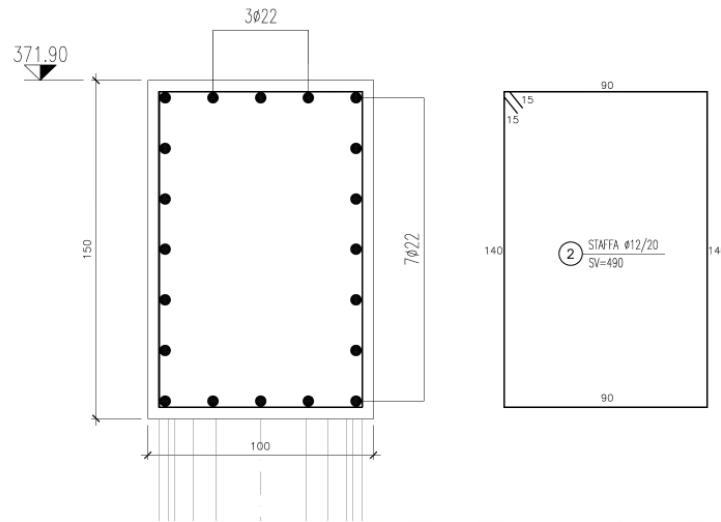


Figura 15-28 - Verifica strutturale SLU - Sezione 3

TIPOLOGIA "C1"
Scala 1:20



| geometria | | | | |
|------------------------|------|------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 150 | 100 | 5.2 | 93.7 | 84.3 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | φ | d | A _{sl} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 7 | 22 | 6.3 | 26.61 | |
| 7 | 22 | 93.7 | 26.61 | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | φ | s | α | A _{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 12 | 20 | 90 | 2.26 |

| sollecitazioni e risultati | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| SLE | SLU | | |
| M _{Ek} 0.00 [kNm] | M _{Ed} 606.00 [kNm] | | |
| N _{Ek} 0 [kN] | N _{Ed} -2352 [kN] | | |
| tensioni e fessure | | | |
| M _{dec} 0.0 [kNm] | V _{Ed} 407.00 [kN] | | |
| M _{cr} -593.6 [kNm] | presso-flessione | | |
| y _n 31.65 [cm] | M _{Rd} 1936.3 [kNm] | FS 3.20 | |
| σ _{c,min} 0.0 [MPa] | taglio | | |
| σ _{s,min} 0.0 [MPa] | V _{Rdc} 764.5 [kN] | non serve armatura a taglio | |
| σ _{s,max} 0.0 [MPa] | V _{Rds} 646.4 [kN] | V _{Rdmax} 4175.3 [kN] | |
| k ₂ 0.5 | θ 30.0 [°] | sezione duttile | |
| ε _{sm-ε_{cm}} - [%] | al 93.7 [cm] | | |
| S _{r,max} - [cm] | | | |
| W _k - [mm] | | | |

| materiali | | | |
|------------------|------------|----------------------|---------------------------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R _{ck} | 30 [MPa] | f _{yk} | 450 [MPa] |
| f _{ck} | 24.9 [MPa] | γ _s | 1.15 |
| γ _c | 1.5 | f _{yd} | 391.3 [MPa] |
| α _{cc} | 0.85 | E _s | 200000 [MPa] |
| f _{cd} | 14.1 [MPa] | ε _{uk} | 75 [%] |
| v | 0.540 | valori limite | |
| ε _{c2} | 2.0 [%] | k ₁ | 0,45 f _{ck} 11.2 [MPa] |
| ε _{cu2} | 3.5 [%] | k ₃ | 0,8 f _{yk} 360.0 [MPa] |
| α _e | 15.0 | k ₄ | W _{k,lim} 0.302 [mm] |
| k _t | 0.4 | | |

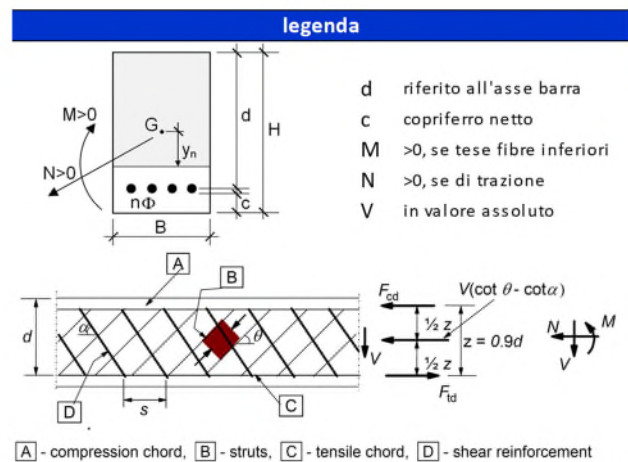


Figura 15-29 - Verifica strutturale SLU - Sezione 4

| geometria | | | | |
|------------------------|--------|------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 150 | 100 | 5.2 | 93.7 | 84.3 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | ϕ | d | A_{sl} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 7 | 22 | 6.3 | 26.61 | |
| 7 | 22 | 93.7 | 26.61 | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | ϕ | s | α | A_{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 12 | 20 | 90 | 2.26 |

| sollecitazioni e risultati | |
|---|-----------------------------|
| SLE | SLU |
| M_{Ek} 0.00 [kNm] | M_{Ed} 418.00 [kNm] |
| N_{Ek} 0 [kN] | N_{Ed} 249 [kN] |
| tensioni e fessure | |
| M_{dec} 0.0 [kNm] | |
| M_{cr} -593.6 [kNm] | |
| y_n 31.65 [cm] | |
| $\sigma_{c,min}$ 0.0 [MPa] | |
| $\sigma_{s,min}$ 0.0 [MPa] | |
| $\sigma_{s,max}$ 0.0 [MPa] | |
| k_2 0.5 | |
| $\varepsilon_{sm-\varepsilon_{cm}}$ - [%] | |
| $S_{r,max}$ - [cm] | |
| w_k - [mm] | |
| | presso-flessione |
| | M_{Rd} 839.3 [kNm] |
| | FS 2.01 |
| | taglio |
| | V_{Rdc} 398.9 [kN] |
| | non serve armatura a taglio |
| | V_{Rds} 646.4 [kN] |
| | V_{Rdmax} 4175.3 [kN] |
| | θ 30.0 [°] |
| | sezione duttile |
| | al 93.7 [cm] |

| materiali | | | |
|---------------------|------------|--------------------|--------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R_{ck} | 30 [MPa] | f_{yk} | 450 [MPa] |
| f_{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 |
| γ_c | 1.5 | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| α_{cc} | 0.85 | E_s | 200000 [MPa] |
| f_{cd} | 14.1 [MPa] | ε_{uk} | 75 [‰] |
| ν | 0.540 | | |
| ε_{c2} | 2.0 [‰] | | |
| ε_{cu2} | 3.5 [‰] | | |
| α_e | 15.0 | | |
| k_t | 0.4 | | |
| | | valori limite | |
| k_1 | 0.8 | $0,45 f_{ck}$ | 11.2 [MPa] |
| k_3 | 3.4 | $0,8 f_{yk}$ | 360.0 [MPa] |
| k_4 | 0.425 | $w_{k,lim}$ | 0.302 [mm] |

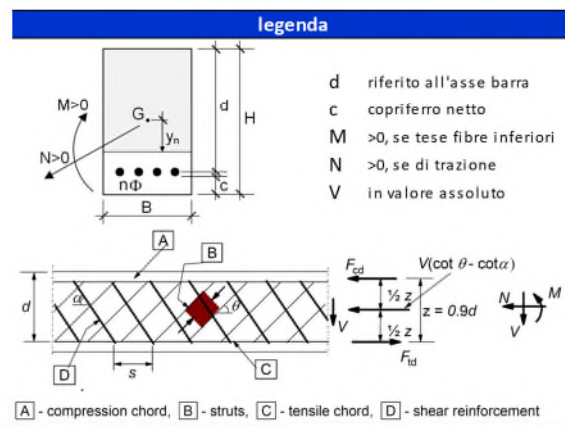


Figura 15-30 - Verifica strutturale SLU - Sezione 5

| geometria | | | | |
|------------------------|--------|------|--------------------|--------------------|
| sezione trasversale | | | | |
| B | H | c | d | z |
| [cm] | [cm] | [cm] | [cm] | [cm] |
| 150 | 100 | 5.6 | 92.9 | 83.6 |
| armatura longitudinale | | | | |
| nbarre | ϕ | d | A_{sl} | |
| | [mm] | [cm] | [cm ²] | |
| 7 | 30 | 5.5 | 49.48 | |
| 7 | 30 | 92.9 | 49.48 | |
| armatura a taglio | | | | |
| nbracci | ϕ | s | α | A_{sw} |
| | [mm] | [cm] | [°] | [cm ²] |
| 2 | 14 | 10 | 90 | 3.08 |

| sollecitazioni e risultati | |
|---|-------------------------------|
| SLE | SLU |
| M_{Ek} 0.00 [kNm] | M_{Ed} 1676.00 [kNm] |
| N_{Ek} 0 [kN] | N_{Ed} -749 [kN] |
| tensioni e fessure | |
| M_{dec} 0.0 [kNm] | |
| M_{cr} -646.7 [kNm] | |
| y_n 26.68 [cm] | |
| $\sigma_{c,min}$ 0.0 [MPa] | |
| $\sigma_{s,min}$ 0.0 [MPa] | |
| $\sigma_{s,max}$ 0.0 [MPa] | |
| k_2 0.5 | |
| $\varepsilon_{sm-\varepsilon_{cm}}$ - [%] | |
| $S_{r,max}$ - [cm] | |
| w_k - [mm] | |
| | presso-flessione |
| | M_{Rd} 2047.8 [kNm] |
| | FS 1.22 |
| | taglio |
| | V_{Rdc} 535.5 [kN] |
| | predisporre armatura a taglio |
| | V_{Rds} 1744.7 [kN] |
| | V_{Rdmax} 4139.7 [kN] |
| | θ 30.0 [°] |
| | sezione duttile |
| | ai 72.4 [cm] |

| materiali | | | |
|---------------------|------------|--------------------|--------------|
| calcestruzzo | | acciaio | |
| R_{ck} | 30 [MPa] | f_{yk} | 450 [MPa] |
| f_{ck} | 24.9 [MPa] | γ_s | 1.15 |
| γ_c | 1.5 | f_{yd} | 391.3 [MPa] |
| α_{cc} | 0.85 | E_s | 200000 [MPa] |
| f_{cd} | 14.1 [MPa] | ε_{uk} | 75 [‰] |
| ν | 0.540 | | |
| ε_{c2} | 2.0 [‰] | | |
| ε_{cu2} | 3.5 [‰] | | |
| α_e | 15.0 | | |
| k_t | 0.4 | | |
| | | valori limite | |
| k_1 | 0.8 | $0,45 f_{ck}$ | 11.2 [MPa] |
| k_3 | 3.4 | $0,8 f_{yk}$ | 360.0 [MPa] |
| k_4 | 0.425 | $w_{k,lim}$ | 0.30 [mm] |

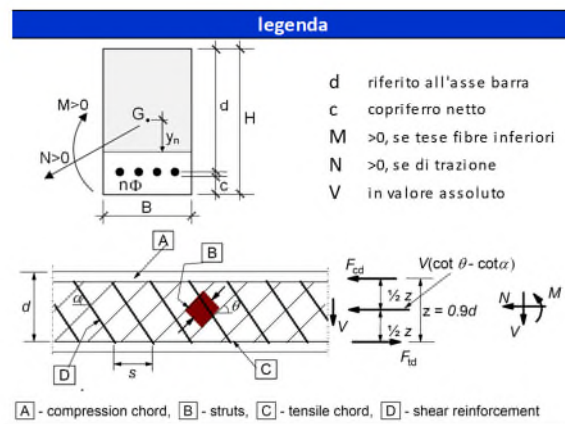


Figura 15-31 - Verifica strutturale SLU - Sezione 6

15.2.1.4 Verifica strutturale trave SLU (Mensola tozza)

15.2.1.4.1 Verifica tirante e puntone compresso

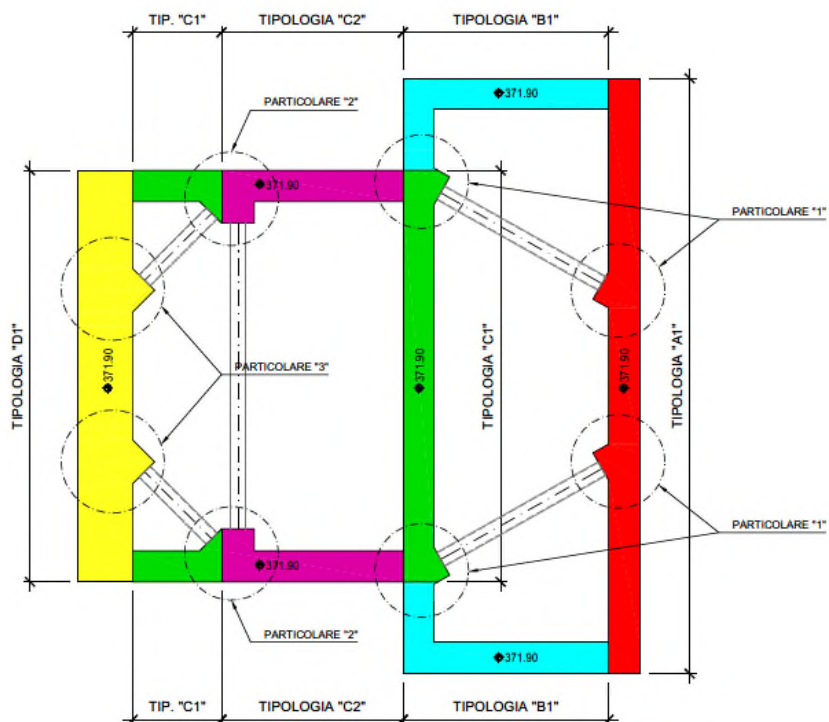


Figura 15-32 - Pianta Trave di coronamento a q.ta +371.9m

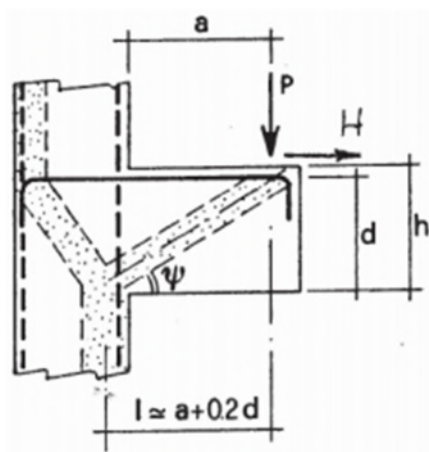


Figura 15-33 Modello a puntoni e tiranti con tirante orizzontale per mensole tozze

C4.1.2.1.5 Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi

| | | |
|-----------|----------------------|--|
| c | [-] | 1,00 (=1.00 sbalzi senza staffe, 1.5 sbalzi con staffe) |
| R_{ck} | [N/mm ²] | 30,0 Resistenza a compressione (cubica) |
| f_{ck} | [N/mm ²] | 24,9 Resistenza a compressione (cilindrica) |
| f_{cd} | [N/mm ²] | 16,6 Resistenza a compressione di progetto |
| f_y | [N/mm ²] | 450,0 Snervamento acciaio |
| f_{yd} | [N/mm ²] | 391,3 Resistenza a trazione di progetto |
| ϕ_1 | [mm] | 30 Diametro armature - 1 |
| n_1 | [-] | 10,0 Numero armature -1 |
| ϕ_2 | [mm] | 0 Diametro armature - 2 |
| n_2 | [-] | 0,0 Numero armature -2 |
| A_s | [mm ²] | 7068,6 Sezione totale armatura tirante |
| b | [mm] | 1000 Spessore puntone |
| d | [mm] | 1150 Altezza utile |
| a | [mm] | 440 Distanza applicazione del carico verticale |
| L | [mm] | 670 Cautelativamente si considera L pari alla distanza asse fodera-asse trave di coronamento |
| λ | [-] | 0,65 = $\cotg\psi = L / (0.9xd)$ |
| H_{Ed} | [kN] | 0,0 Azione orizzontale di progetto |
| P_{ed} | [kN] | 2751,0 Azione verticale di progetto |
| P_{Rc} | [kN] | 5381 Azione resistente di progetto del puntone inclinato |
| P_{Rs} | [kN] | 4273 Azione resistente di progetto armature |
| check | [-] | OK $P_{Rc} \geq P_{Rs}$ |
| F_s | [-] | 1,55 Coefficiente di sicurezza |

Figura 15-34 - Verifica resistenza elementi tozzi (cordolo) – Particolare 1

C4.1.2.1.5 Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi

| | | |
|-----------|----------------------|--|
| c | [-] | 1,00 (=1.00 sbalzi senza staffe, 1.5 sbalzi con staffe) |
| R_{ck} | [N/mm ²] | 30,0 Resistenza a compressione (cubica) |
| f_{ck} | [N/mm ²] | 24,9 Resistenza a compressione (cilindrica) |
| f_{cd} | [N/mm ²] | 16,6 Resistenza a compressione di progetto |
| f_y | [N/mm ²] | 450,0 Snervamento acciaio |
| f_{yd} | [N/mm ²] | 391,3 Resistenza a trazione di progetto |
| ϕ_1 | [mm] | 30 Diametro armature - 1 |
| n_1 | [-] | 10,0 Numero armature -1 |
| ϕ_2 | [mm] | 0 Diametro armature - 2 |
| n_2 | [-] | 0,0 Numero armature -2 |
| A_s | [mm ²] | 7068,6 Sezione totale armatura tirante |
| b | [mm] | 1000 Spessore puntone |
| d | [mm] | 1250 Altezza utile |
| a | [mm] | 540 Distanza applicazione del carico verticale |
| L | [mm] | 790 Cautelativamente si considera L pari alla distanza asse fodera-asse trave di coronamento |
| λ | [-] | 0,70 = $\cotg\psi = L / (0.9xd)$ |
| H_{Ed} | [kN] | 0,0 Azione orizzontale di progetto |
| P_{ed} | [kN] | 1521,0 Azione verticale di progetto |
| P_{Rc} | [kN] | 5559 Azione resistente di progetto del puntone inclinato |
| P_{Rs} | [kN] | 3939 Azione resistente di progetto armature |
| check | [-] | OK $P_{Rc} \geq P_{Rs}$ |
| F_s | [-] | 2,59 Coefficiente di sicurezza |

Figura 15-35 - Verifica resistenza elementi tozzi (cordolo) – Particolare 2

C4.1.2.1.5 Resistenza di elementi tozzi, nelle zone diffusive e nei nodi

| | | |
|-----------------|----------------------|--|
| c | [-] | 1,00 (=1.00 sbalzi senza staffe, 1.5 sbalzi con staffe) |
| R _{ck} | [N/mm ²] | 30,0 Resistenza a compressione (cubica) |
| f _{ck} | [N/mm ²] | 24,9 Resistenza a compressione (cilindrica) |
| f _{cd} | [N/mm ²] | 16,6 Resistenza a compressione di progetto |
| f _y | [N/mm ²] | 450,0 Snervamento acciaio |
| f _{yd} | [N/mm ²] | 391,3 Resistenza a trazione di progetto |
| φ ₁ | [mm] | 30 Diametro armature - 1 |
| n ₁ | [-] | 10,0 Numero armature -1 |
| φ ₂ | [mm] | 0 Diametro armature - 2 |
| n ₂ | [-] | 0,0 Numero armature -2 |
| A _s | [mm ²] | 7068,6 Sezione totale armatura tirante |
| b | [mm] | 1000 Spessore puntone |
| d | [mm] | 2240 Altezza utile |
| a | [mm] | 440 Distanza applicazione del carico verticale |
| L | [mm] | 888 Cautelativamente si considera L pari alla distanza asse fodera-asse trave di coronamento |
| λ | [-] | 0,44 = cotgψ = L / (0.9xd) |
| H _{Ed} | [kN] | 0,0 Azione orizzontale di progetto |
| P _{ed} | [kN] | 1194,0 Azione verticale di progetto |
| P _{Rc} | [kN] | 12457 Azione resistente di progetto del puntone inclinato |
| P _{Rs} | [kN] | 6279 Azione resistente di progetto armature |
| check | [-] | OK P _{Rc} ≥ P _{Rs} |
| F _s | [-] | 5,26 Coefficiente di sicurezza |

Figura 15-36 - Verifica resistenza elementi tozzi (cordolo) – Particolare 3

15.2.1.4.2 Verifica locale appoggio

In accordo a EC2 *Progettazione delle strutture di calcestruzzo, Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi* (§J.104.2), l'armatura di frettaggio necessaria per evitare la rottura del cordolo di appoggio viene calcolata secondo l'espressione seguente:

$$A_r \cdot f_{yd} \geq F_{Rdu} / 2.$$

Con:

- A_r , armatura di frettaggio
- f_{yd} , resistenza di snervamento di progetto
- F_{Rdu} carico applicato

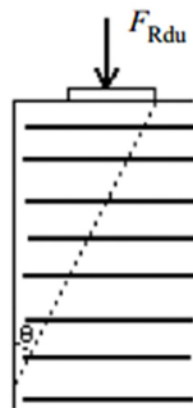


Figura 15-37 - Meccanismo di rottura del cordolo di appoggio

Inoltre, secondo il punto §J.104.2 di EC2-2, per evitare l'esplosione del calcestruzzo della zona di appoggio, si garantisce il rispetto della condizione seguente:

$$\frac{P_{max}}{c \cdot c'} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

Con:

- P_{max} , massima forza
- c, c' dimensioni rettangolo di appoggio
- f_{ck} resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo

Si riportano in tabella le verifiche e le relative armature di frettaggio:

| TIPO COLLEGAMENTO | quota [m slm] | Tipologia Paratia | N SLU_F TOOL [kN] | N SLU_PARATIE [kN] | Puntone N MAX_SLU [kN] |
|-------------------|---------------|--|-------------------|--------------------|------------------------|
| 3 | 371,9 | PARATIA FRONTALE (fase scavo lato Monte) - Tipo "B2" | 1067 | 1194 | 1194 |
| 1 | 371,9 | PARATIA POZZO - Tipo "D1" | 2751 | 859 | 2751 |
| 2 | 371,9 | PARATIA COLLEGAMENTO POZZO - Tipo "C1-C2" | 1067 | 1521 | 1521 |

| STAFFE ORTOGONALI ALLA DIREZIONE DEL PUNTONE | | | | | | |
|--|---------|----------------------|----------------|----|---------------------------------------|------|
| Ar [mm ²] | n barre | n barre/allineamento | n allineamenti | Φ | n x Φ x staffa "C" [mm ²] | F.S. |
| 1526 | 12 | 2 | 6 | 16 | 2413 | 0.63 |
| 3515 | 24 | 4 | 6 | 16 | 4825 | 0.73 |
| 1944 | 12 | 2 | 6 | 16 | 2413 | 0.81 |

| STAFFE PARALLELE ALLA DIREZIONE DEL PUNTONE | | | | | | |
|---|---------|----------------------|----------------|----|---------------------------------------|------|
| As [mm ²] | n barre | n barre/allineamento | n allineamenti | Φ | n x Φ x staffa "C" [mm ²] | F.S. |
| 549 | 4 | 2 | 2 | 16 | 804 | 0.68 |
| 1265 | 10 | 2 | 5 | 16 | 2011 | 0.63 |
| 700 | 4 | 2 | 2 | 16 | 804 | 0.87 |

| VERIFICA SCHIACCIAMENTO CLS | | | | |
|-------------------------------------|-----------|---------|---|------|
| A_tasca appoggio [mm ²] | Pmax/c*c' | 0.6 fck | $\frac{P_{max}}{c \cdot c'} \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$ | F.S. |
| 1000000 | 1.194 | 15 | ok | 0.08 |
| 1000000 | 2.751 | 15 | ok | 0.18 |
| 1000000 | 1.521 | 15 | ok | 0.10 |

Figura 15-38 - Riepilogo verifiche locali appoggio

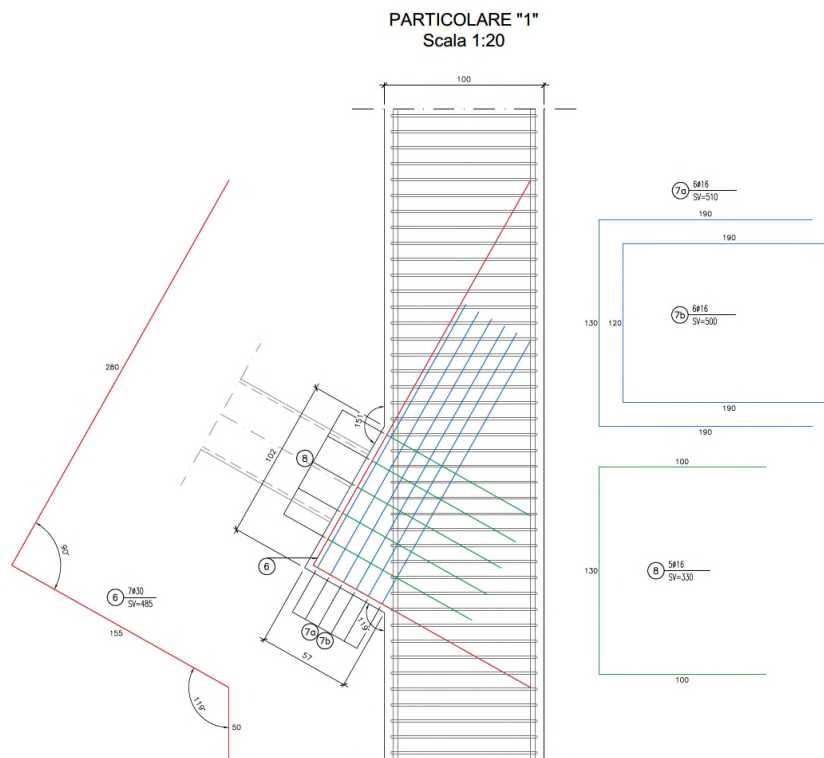


Figura 15-39 - Schema armatura nodo Puntone tipo 1

PARTICOLARE "2"
 Scala 1:20

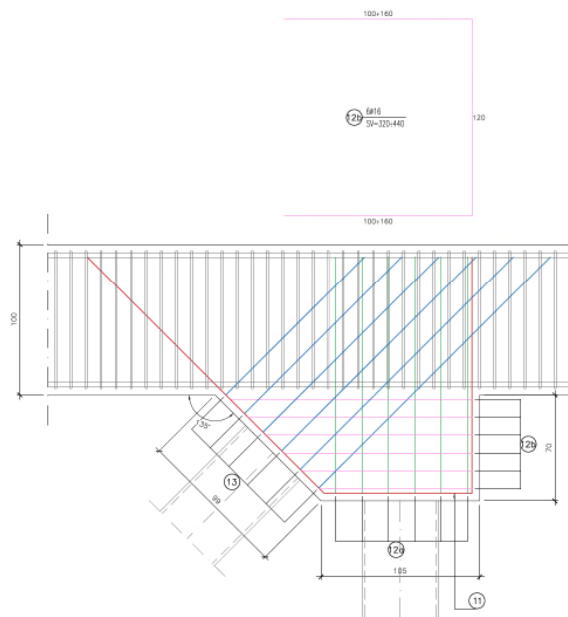


Figura 15-40 - Schema armatura nodo Puntone tipo 2

PARTICOLARE "3"
 Scala 1:20

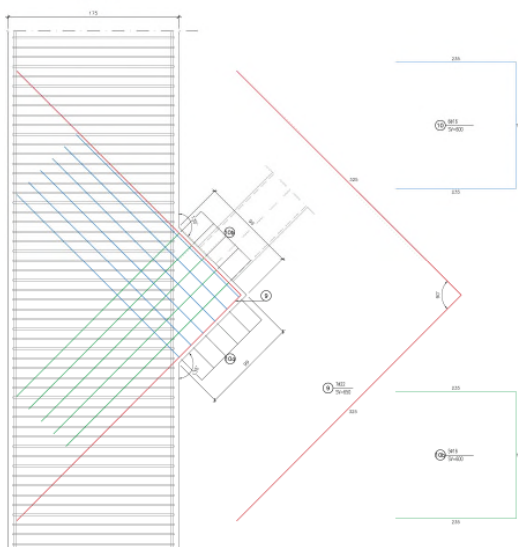


Figura 15-41 - Schema armatura nodo Puntone tipo 3

15.2.2 Modellazione comportamento nel piano verticale

Si riportano gli schemi di carico considerati per valutare le sollecitazioni nel piano verticale delle paratie tipo “B2” e tipo “D1”.

Come esposto in precedenza, per permettere lo scavo della galleria naturale, è necessaria la demolizione parziale della paratia di pali tipo “D1”, per la lunghezza di palo interferente con l’ingombro della galleria (Fase 15).

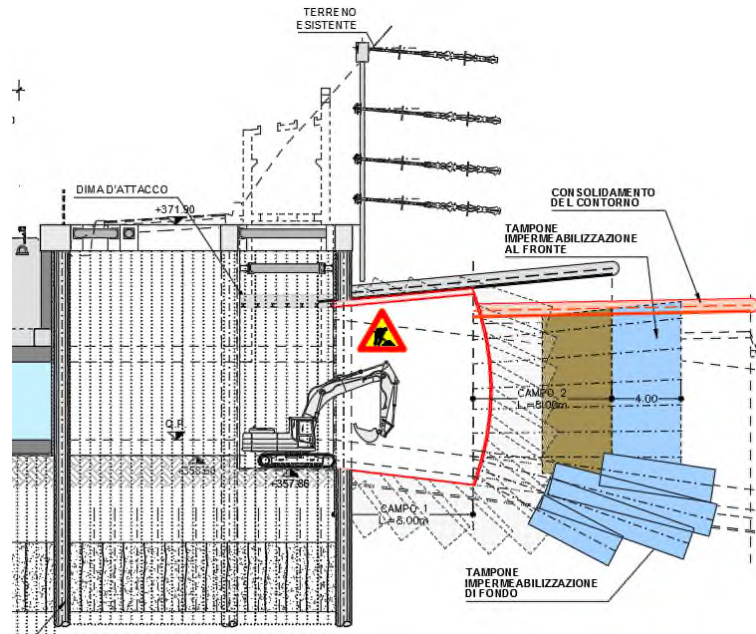


Figura 15-42 – Fase esecutiva Imbocco n°15

Allo stesso modo, la paratia di pali tipo “B2” verrà parzialmente demolita, in corrispondenza della sagoma della struttura scatolare (Fase 19).

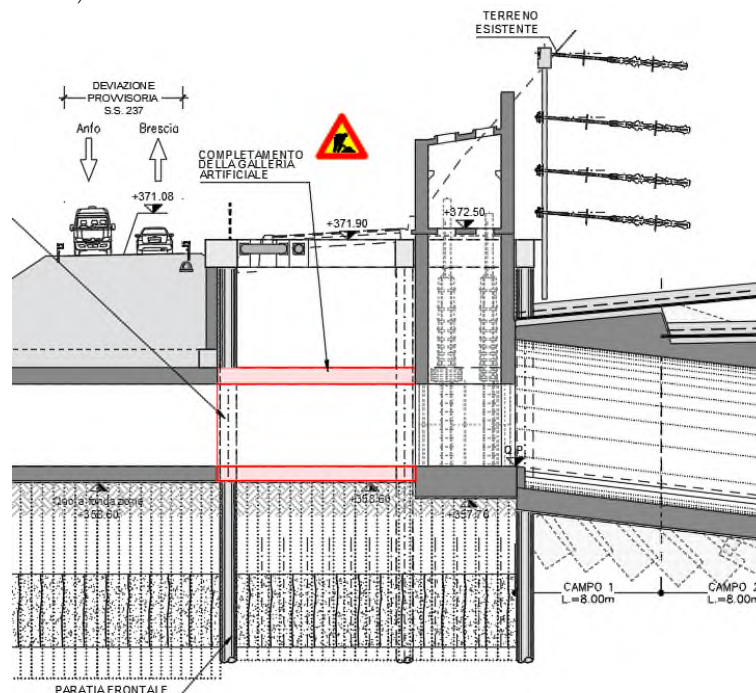
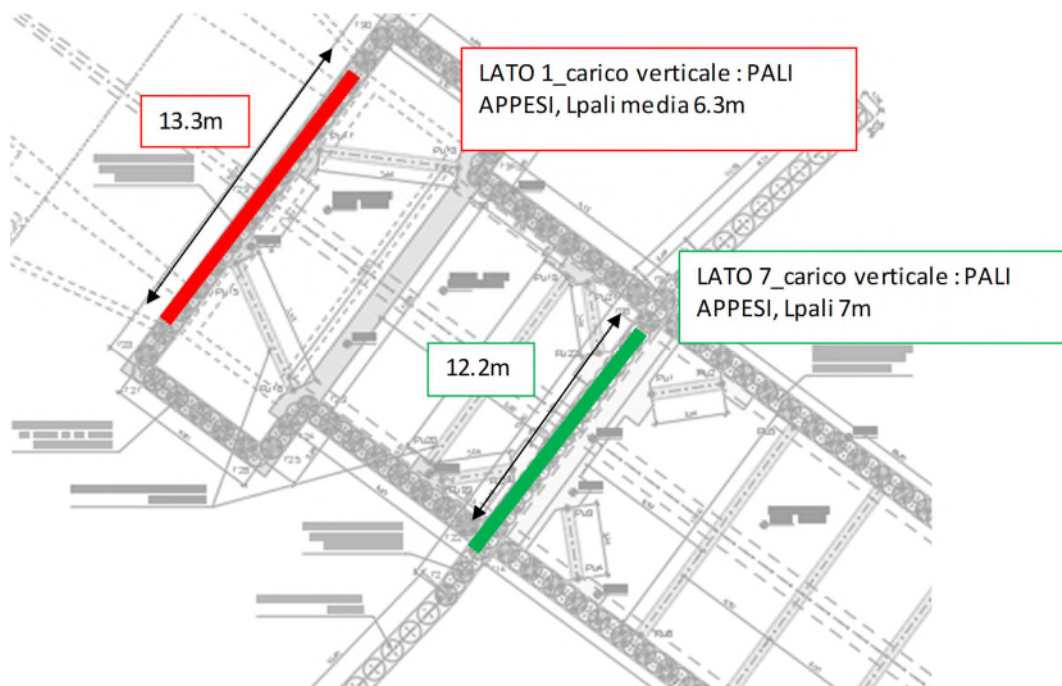


Tabella 59 - Fase esecutiva Imbocco n°19

In questa fase la trave di coronamento dovrà sostenere il peso dei pali appesi, calcolato come segue:



| LATO 1 | |
|--------------|----------------------|
| L palo | 6.3 m |
| γ cls | 25 kN/m ³ |
| f palo | 0.9 m |
| interasse | 1 m |
| A palo | 0.9 m ² |
| Volume/m | 6 m ³ /m |
| P.P./m | 142 kN/m |
| P.P./m_SLU | 184 kN/m |
| LATO 7 | |
| L palo | 7 m |
| γ cls | 25 kN/m ³ |
| f palo | 0.9 m |
| interasse | 1 m |
| A palo | 0.9 m ² |
| Volume/m | 6 m ³ /m |
| P.P./m | 158 kN/m |
| P.P./m_SLU | 205 kN/m |
| braccio | 0.9 m |
| Momento/m | 184 kNm/m |

Figura 15-43 - Schema carico pali appesi

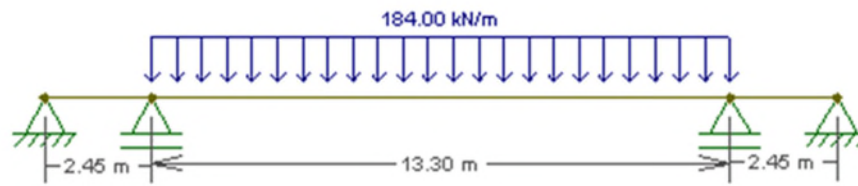


Figura 15-44 – Schema di calcolo – Lato 1

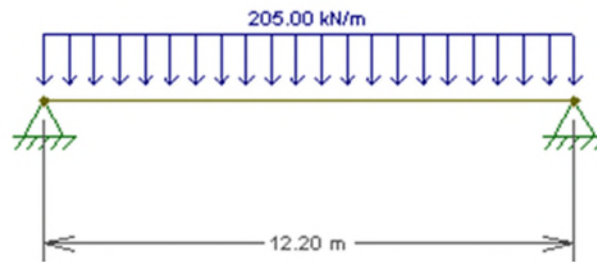


Figura 15-45 – Schema di calcolo – Lato 7

Si definisce il momento torcente agente (considerando un comportamento di trave doppiamente incastrata):

$$M \text{ torcente distribuito} = 184 \text{ kNm/m}$$

$$M \text{ torcente tot} = 184 \text{ kNm/m} \times 12.2\text{m} / 2 = 1122 \text{ kNm}$$

$$M \text{ torcente incastro} = 1122 \text{ kNm} / 2 = \underline{561 \text{ kNm}}$$

15.2.2.1 Sollecitazioni

| | | SLU | |
|----------|---------|--------|---------|
| BxH [cm] | ID Sez. | V [kN] | M [kNm] |
| 100x150 | 1 | 1224 | 1653 |
| 175x150 | 7 | 1251 | 3814 |

Si riportano i diagrammi di sollecitazione:

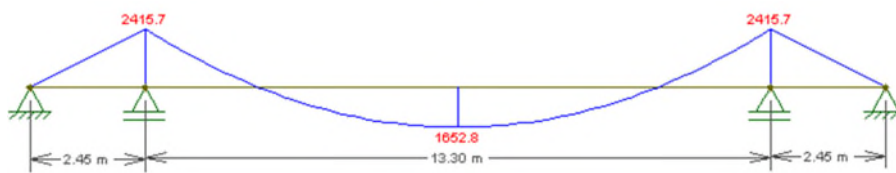


Figura 15-46 – Momento flettente (SLU) – Lato 1

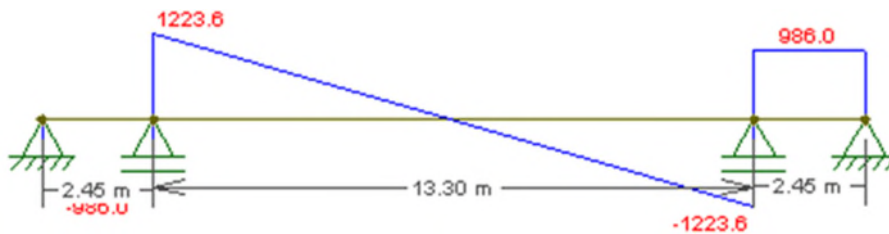


Figura 15-47 – Azione di taglio (SLU) – Lato 1

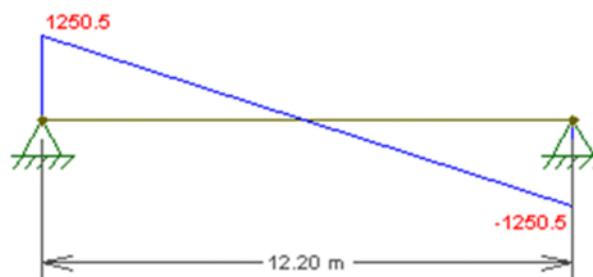


Figura 15-48 – Momento flettente (SLU) – Lato 7

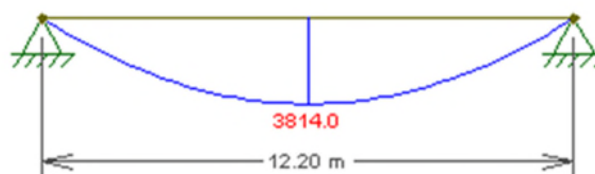


Figura 15-49 – Azione di taglio (SLU) – Lato 7

15.2.2.2 Schemi armatura

15.2.2.3 Verifica strutturale trave SLU

N>0 compressione

| BxH [cm] | ID Sez. | SLU | | |
|----------|---------|--------|--------|---------|
| | | N [kN] | V [kN] | M [kNm] |
| 100x150 | 1 | 485 | 1383 | 1282 |
| 175x150 | 7 | 322 | 471 | 441 |

Tabella 60 - Riepilogo sollecitazioni piano orizzontale

| BxH [cm] | ID Sez. | SLU | | |
|----------|---------|--------|---------|------------------|
| | | V [kN] | M [kNm] | M torcente [kNm] |
| 100x150 | 1 | 1224 | 1653 | - |
| 175x150 | 7 | 1251 | 3814 | 561 |

Tabella 61 - Riepilogo sollecitazioni piano verticale

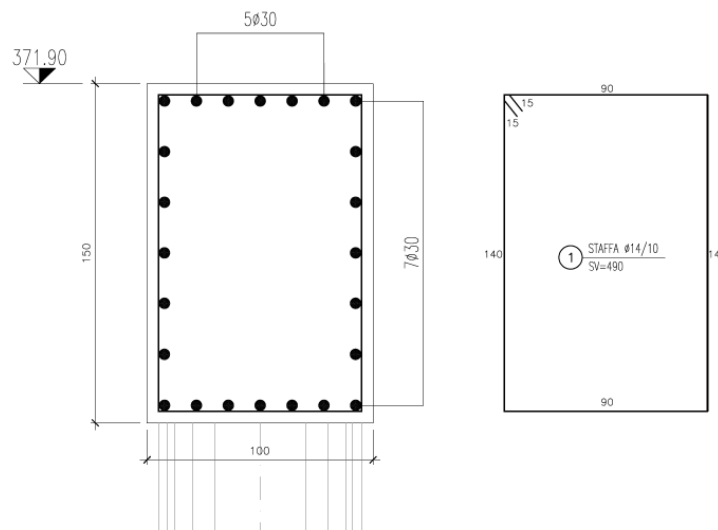


Figura 15-50 - Verifica strutturale SLU – Trave di coronamento paratia tipo “D1”

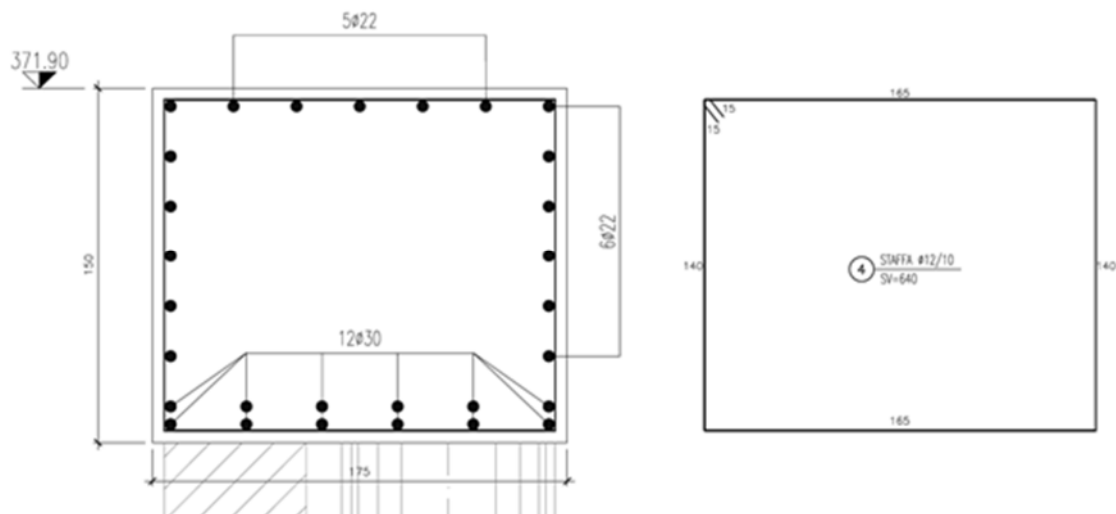
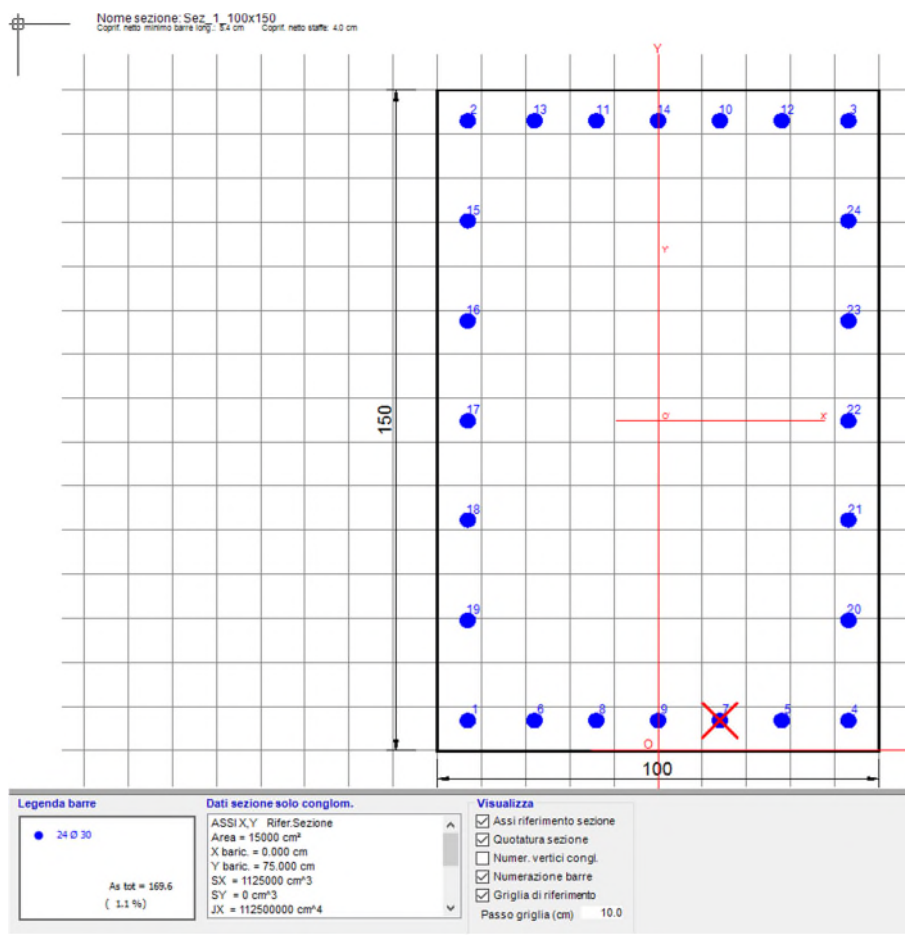


Figura 15-51 - Verifica strutturale SLU –Trave di coronamento paratia tipo “B2”

Sezione 1 - 100x150cm



DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez_1_100x150

| | |
|-------------------------------|---|
| Descrizione Sezione: | Trave di coronamento 100x150 |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze agli Stati Limite Ultimi |
| Tipologia sezione: | Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi baric. X',Y' // assi coordinate. |
| Riferimento alla sismicità: | Comb. non sismiche |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resis. compr. di progetto fcd: | 14.2 MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 7.1 MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 31475.0 MPa |
| Resis. media a trazione fctm: | 2.56 MPa | |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 | |

Modulo Elastico Ef
Diagramma tensione-deformaz.:

2000000 daN/cm²
Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Calcestruzzo: C25/30

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -50.0 | 0.0 |
| 2 | -50.0 | 150.0 |
| 3 | 50.0 | 150.0 |
| 4 | 50.0 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -43.1 | 6.9 | 30 |
| 2 | -43.1 | 143.1 | 30 |
| 3 | 43.1 | 143.1 | 30 |
| 4 | 43.1 | 6.9 | 30 |
| 5 | 28.0 | 6.9 | 30 |
| 6 | -28.0 | 6.9 | 30 |
| 7 | 14.0 | 6.9 | 30 |
| 8 | -14.0 | 6.9 | 30 |
| 9 | 0.0 | 6.9 | 30 |
| 10 | 14.0 | 143.1 | 30 |
| 11 | -14.0 | 143.1 | 30 |
| 12 | 28.0 | 143.1 | 30 |
| 13 | -28.0 | 143.1 | 30 |
| 14 | 0.0 | 143.1 | 30 |
| 15 | -43.1 | 120.4 | 30 |
| 16 | -43.1 | 97.7 | 30 |
| 17 | -43.1 | 75.0 | 30 |
| 18 | -43.1 | 52.3 | 30 |
| 19 | -43.1 | 29.6 | 30 |
| 20 | 43.1 | 29.6 | 30 |
| 21 | 43.1 | 52.3 | 30 |
| 22 | 43.1 | 75.0 | 30 |
| 23 | 43.1 | 97.7 | 30 |
| 24 | 43.1 | 120.4 | 30 |

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 14 mm
Passo staffe: 10.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X // asse X coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse Y // asse Y coord. con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y delle coord.
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse X delle coord.

| N°Comb. | N | MX | MY | VY | VX |
|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 485.00 | 1653.00 | 1282.00 | 1224.00 | 1383.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | |
|--|---------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.4 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 11.0 cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 4.0 cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione) |
| MX | Componente X del momento assegnato [kNm] rifer. assi X,Y con origine nel baric. B del cls. |
| MY | Componente Y del momento assegnato [kNm] rifer. assi X,Y con origine nel baric. B del cls. |
| N Res | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione) |
| MX Res | Momento flettente resistente [kNm] rif. X,Y,B (tra parentesi rif. assi princ. inerzia) |
| MY Res | Momento flettente resistente [kNm] rif. X,Y,B (tra parentesi rif. assi princ. inerzia) |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa | Area armature trave [cm ²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC] |

| N°Comb | Ver | N | MX | MY | N Res | MX Res | MY Res | Mis.Sic. | As Tesa |
|-------------|-----|--------|---------|---------|--------|------------------|------------------|----------|---------|
| 1 | S | 485.00 | 1653.00 | 1282.00 | 484.73 | 2937.91(2937.91) | 2273.15(2273.15) | 1.78 | |
| 113.1(30.0) | | | | | | | | | |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione |
| x/d | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45 |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.) |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | x/d | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | 0.345 | 50.0 | 150.0 | 0.00286 | 43.1 | 143.1 | -0.00664 | -43.1 | 6.9 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1 | 0.000060564 | 0.000031466 | -0.004248074 | 0.345 | 0.871 |

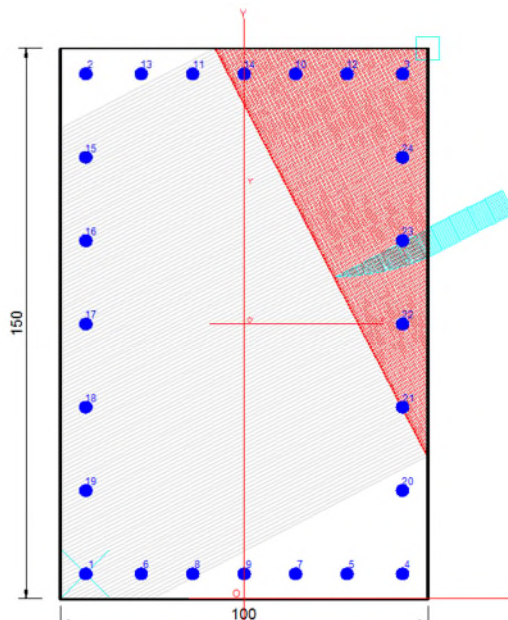
VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|---------------|--|
| Diam. Staffe: | 14 mm |
| Passo staffe: | 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm] |

| | |
|-------|--|
| Ver | S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio di progetto [kN] = proiezione di VX e VY sulla normale all'asse neutro |
| Vcd | Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC] |
| Vwd | Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC] |
| Dmed | Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna. I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse). |
| bw | Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed. |
| Ctg | Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m] |
| A.Eff | Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. |

L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza proiezione sulla direzione del taglio e d_{max} =massima altezza utile nella direzione del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Ctg | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|---------|---------|---------|------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 1 | S | 1791.56 | 2762.58 | 2706.67 | 99.9 | 123.1 | 2.500 | 1.023 | 20.4 | 30.8(0.0) |

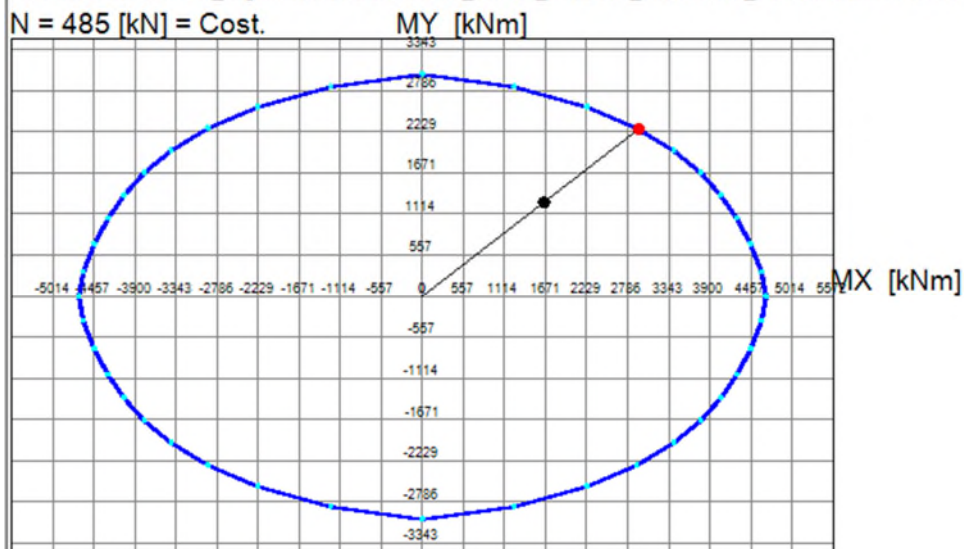


DOMINIO INTERAZIONE MX-MY (STATO LIMITE ULTIMO)

Nome Sezione: Sez_1_100x150

Percorso File: T:\22-11_Lago Idro-Revisione PE\05_WIP\01_STUDIO\01_Imbocco\08_Pozzo Paratia PALI secanti\1. Tela

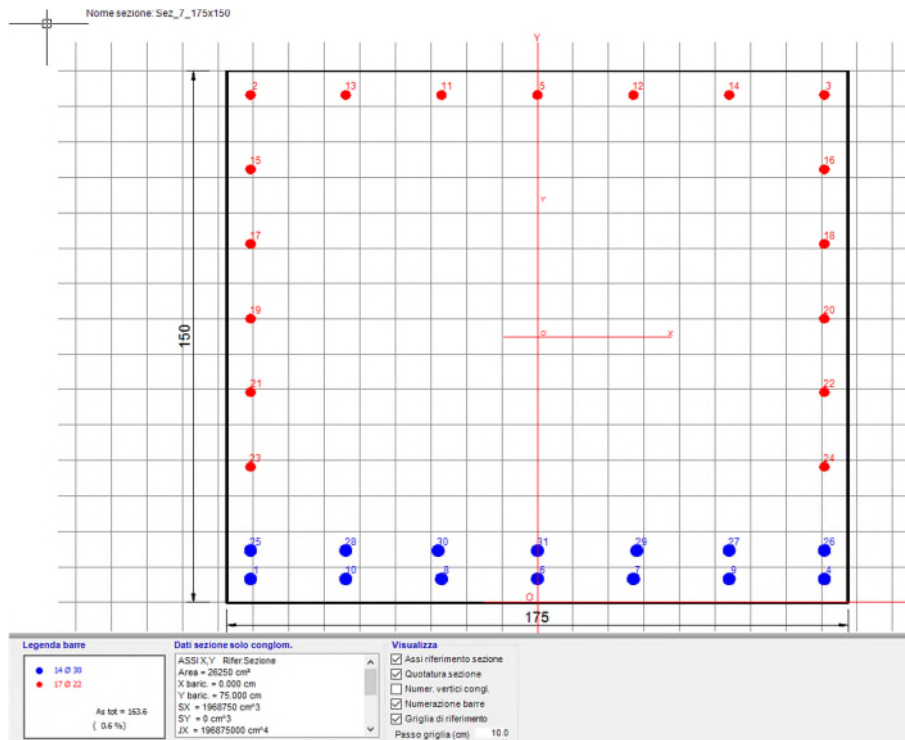
$N = 485 \text{ [kN]} = \text{Cost.}$



Passo Momenti M_x, M_y griglia = 557 kNm

Figura 52 - Verifica a Flessione deviata - sez.1

Sezione 7 - 175x150cm



DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez_7_175x150

(Percorso File: T:\22-11_Lago Idro-Revisone PE\05_WIP\01_STUDIO1_Imbocco\08_Pozzo Paratia PALI secantil\1. Telaio piano trave di coronamento\1. Verifiche sezioni CA\3. Flessione deviat\Sez_7_175x150.sez)

| | |
|-------------------------------|---|
| Descrizione Sezione: | Trave di coronamento 175x150 |
| Metodo di calcolo resistenza: | Resistenze agli Stati Limite Ultimi |
| Tipologia sezione: | Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi baric. X',Y' // assi coordinate. |
| Riferimento alla sismicità: | Comb. non sismiche |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resis. compr. di progetto fcd: | 14.2 MPa |
| | Resis. compr. ridotta fcd': | 7.1 MPa |
| | Def.unit. max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Def.unit. ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensione-deformaz.: | Parabola-Rettangolo |
| | Modulo Elastico Normale Ec: | 31475.0 MPa |
| | Resis. media a trazione fctm: | 2.56 MPa |
| ACCIAIO - | Tipo: | B450C |
| | Resist. caratt. snervam. fyk: | 450.0 MPa |
| | Resist. caratt. rottura ftk: | 450.0 MPa |
| | Resist. snerv. di progetto fyd: | 391.3 MPa |
| | Resist. ultima di progetto ftd: | 391.3 MPa |
| | Deform. ultima di progetto Epu: | 0.068 |
| | Modulo Elastico Ef | 2000000 daN/cm ² |
| Diagramma tensione-deformaz.: | Bilineare finito | |

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio:

Poligonale



Classe Calcestruzzo: C25/30

| N°vertice: | X [cm] | Y [cm] |
|------------|--------|--------|
| 1 | -87.5 | 0.0 |
| 2 | -87.5 | 150.0 |
| 3 | 87.5 | 150.0 |
| 4 | 87.5 | 0.0 |

DATI BARRE ISOLATE

| N°Barra | X [cm] | Y [cm] | DiamØ[mm] |
|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | -80.8 | 6.7 | 30 |
| 2 | -80.8 | 143.3 | 22 |
| 3 | 80.8 | 143.3 | 22 |
| 4 | 80.8 | 6.7 | 30 |
| 5 | 0.0 | 143.3 | 22 |
| 6 | 0.0 | 6.7 | 30 |
| 7 | 27.0 | 6.7 | 30 |
| 8 | -27.0 | 6.7 | 30 |
| 9 | 54.0 | 6.7 | 30 |
| 10 | -54.0 | 6.7 | 30 |
| 11 | -27.0 | 143.3 | 22 |
| 12 | 27.0 | 143.3 | 22 |
| 13 | -54.0 | 143.3 | 22 |
| 14 | 54.0 | 143.3 | 22 |
| 15 | -80.8 | 122.3 | 22 |
| 16 | 80.8 | 122.3 | 22 |
| 17 | -80.8 | 101.3 | 22 |
| 18 | 80.8 | 101.3 | 22 |
| 19 | -80.8 | 80.3 | 22 |
| 20 | 80.8 | 80.3 | 22 |
| 21 | -80.8 | 59.3 | 22 |
| 22 | 80.8 | 59.3 | 22 |
| 23 | -80.8 | 38.3 | 22 |
| 24 | 80.8 | 38.3 | 22 |
| 25 | -80.8 | 14.7 | 30 |
| 26 | 80.8 | 14.7 | 30 |
| 27 | 54.0 | 14.7 | 30 |
| 28 | -54.0 | 14.7 | 30 |
| 29 | 28.0 | 14.7 | 30 |
| 30 | -28.0 | 14.7 | 30 |
| 31 | 0.0 | 14.7 | 30 |

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 14 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X' // asse X coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse Y' // asse Y coord. con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y delle coord.
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse X delle coord.

| N°Comb. | N | MX | MY | VY | VX |
|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 1 | 322.00 | 3814.00 | 441.00 | 1251.00 | 471.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | |
|--|--------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.2 cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 5.0 cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 3.8 cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione) |
| MX | Componente X del momento assegnato [kNm] rifer. assi X,Y con origine nel baric. B del cls. |
| MY | Componente Y del momento assegnato [kNm] rifer. assi X,Y con origine nel baric. B del cls. |
| N Res | Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione) |
| MX Res | Momento flettente resistente [kNm] rif. X,Y,B (tra parentesi rif. assi princ. inerzia) |
| MY Res | Momento flettente resistente [kNm] rif. X,Y,B (tra parentesi rif. assi princ. inerzia) |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| As Tesa | Area armature trave [cm ²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC] |

| N°Comb | Ver | N | MX | MY | N Res | MX Res | MY Res | Mis.Sic. | As Tesa |
|-------------|-----|--------|---------|--------|--------|------------------|----------------|----------|---------|
| 1 | S | 322.00 | 3814.00 | 441.00 | 322.12 | 6085.27(6085.27) | 711.26(711.26) | 1.59 | |
| 133.2(52.5) | | | | | | | | | |

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione |
| x/d | Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45 |
| Xc max | Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Xs min | Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.) |
| Xs max | Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | x/d | Xc max | Yc max | es min | Xs min | Ys min | es max | Xs max | Ys max |
|--------|---------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
| 1 | 0.00350 | 0.201 | 87.5 | 150.0 | 0.00270 | 80.8 | 143.3 | -0.01387 | -80.8 | 6.7 |

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

| | |
|---------|---|
| a, b, c | Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue |

| N°Comb | a | b | c | x/d | C.Rid. |
|--------|-------------|-------------|--------------|-------|--------|
| 1 | 0.000009419 | 0.000110165 | -0.013848941 | 0.201 | 0.700 |

VERIFICHE A TAGLIO

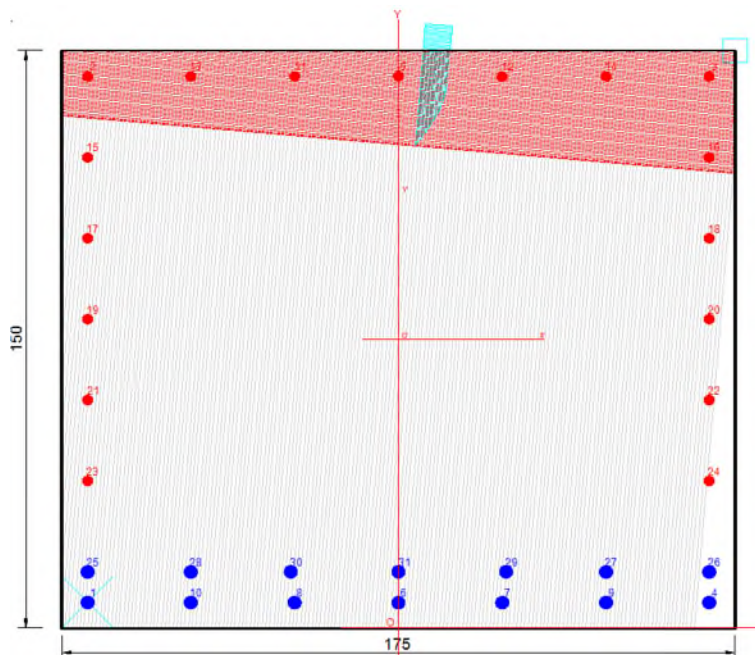
| | |
|---------------|--|
| Diam. Staffe: | 14 mm |
| Passo staffe: | 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm] |

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio di progetto [kN] = proiezz. di VX e VY sulla normale all'asse neutro |
| Vcd | Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC] |
| Vwd | Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC] |
| Dmed | Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. La resistenza delle travi è calcolata assumendo il valore di 0.9 Dmed come coppia interna. I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse). |
| bw | Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed. |
| Ctg | Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m] |

A.Eff

Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

| N°Comb | Ver | Ved | Vcd | Vwd | Dmed | bw | Ctg | Acw | Ast | A.Eff |
|--------|-----|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 1 | S | 1286.57 | 5429.21 | 3842.81 | 141.8 | 172.8 | 2.500 | 1.009 | 10.3 | 30.8(0.0) |

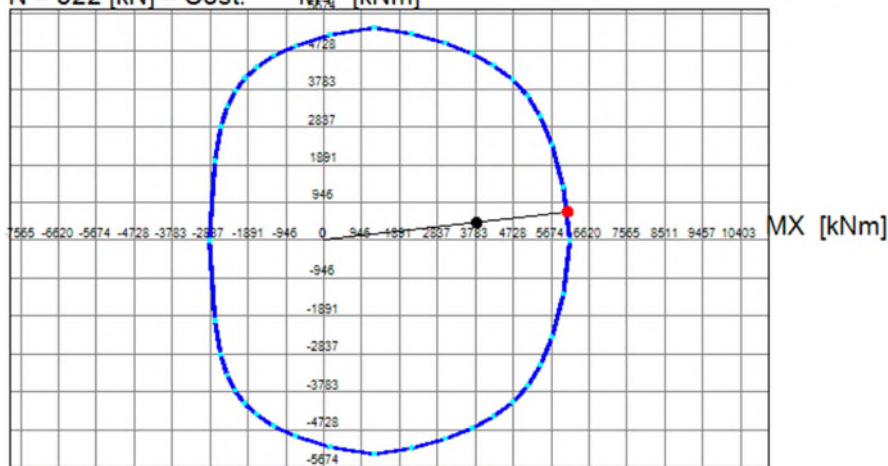


DOMINIO INTERAZIONE MX-MY (STATO LIMITE ULTIMO)

Nome Sezione: Sez_7_175x150

Percorso File: T:\22-11_Lago Idro-Revisione PE\05_WIP\01_STUDI\01_Imbocco\08_Pozzo Paratia PALI secar

N = 322 [kN] = Cost. M_X [kNm]



Passo Momenti M_x, M_y griglia = 946 kNm

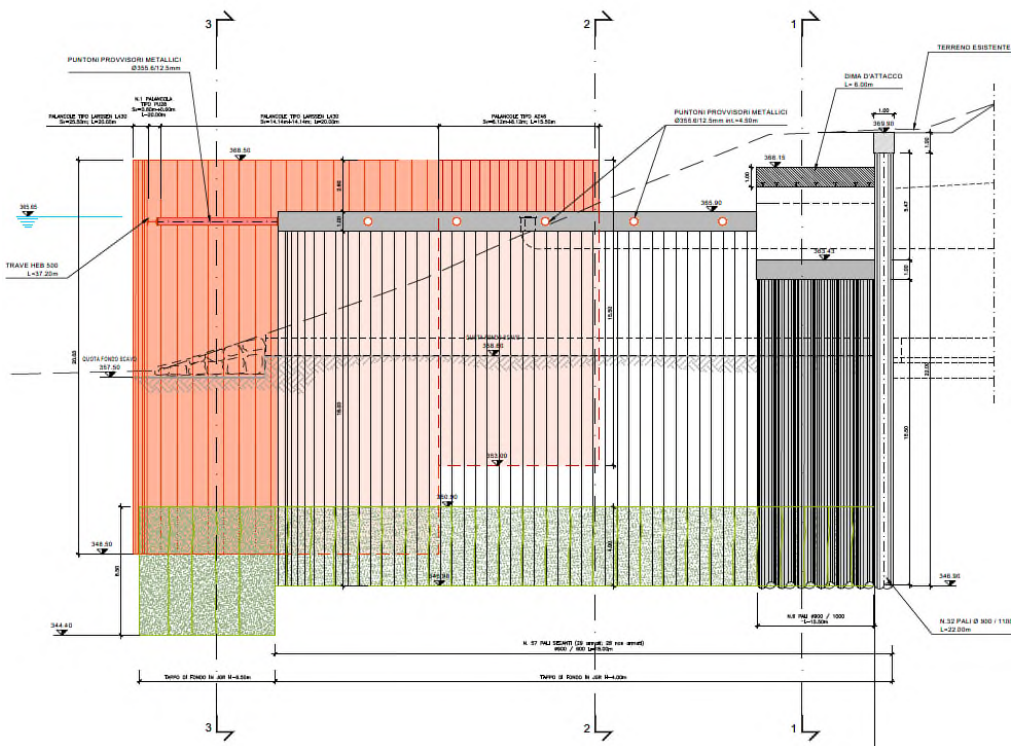
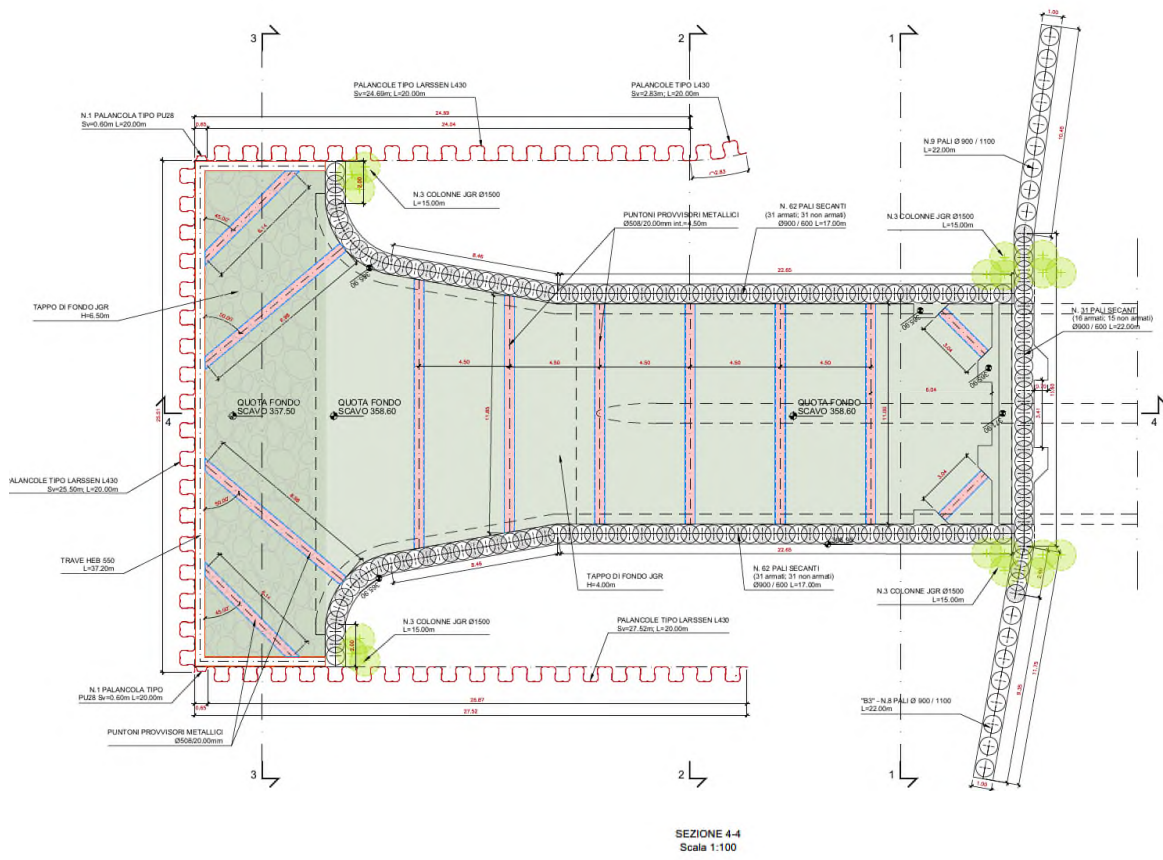
Figura 53 - Verifica a Flessione deviata - sez.7

| geometria | | | verifiche | | |
|------------------------|---------|-----------------|-------------------------------------|--------|--------------------------|
| h | 150,0 | cm | θ | 33 ° | 0,58 rad |
| b | 175,0 | cm | | | |
| c | 6,7 | cm | | | |
| z | 129,4 | cm | puntone compresso | | |
| A | 26250,0 | cm ² | V_{Rdmax} | 7885,9 | kN 6.9 EC2 |
| u | 650,0 | cm | $T_{Rd,max}$ | 4149,8 | kN 6.30 EC2 |
| t | 40,4 | cm | $V_{Ed}/V_{Rdmax}+T_{Ed}/T_{Rdmax}$ | 0,29 | 6.29 EC2 |
| A _k | 14755,9 | cm ² | staffe interne | | |
| u _k | 488,5 | cm | V_{ed}^* | 0,0 | kN |
| z _i | 134,6 | cm | V_{rds} | 0,0 | kN 6.8 EC2 |
| staffe | interne | esterne | staffe esterne | | |
| bracci | 0 | 2 | V_{ed}^* | 881,4 | kN 6.27 EC2 |
| ϕ_w | 12 | 14 mm | V_{rds} | 1248,6 | kN 6.8 EC2 |
| s | 15 | 10 cm | armatura longitudinale | | |
| armatura longitudinale | | | $A_{sl,req}$ | 36,5 | cm ² 6.28 EC2 |
| n° | 10 | | A_{sl} | 38,0 | cm ² |
| ϕ_L | 22 | mm | | | |
| materiali | | | | | |
| f_{ck} | 24,9 | MPa | | | |
| γ_c | 1,5 | | | | |
| α_{cc} | 0,85 | | | | |
| f_{cd} | 14,1 | MPa | | | |
| ν | 0,54 | | EC2 6.10N | | |
| $\nu \times f_{cd}$ | 7,6 | MPa | | | |
| f_{yk} | 450 | MPa | | | |
| γ_s | 1,15 | | | | |
| f_{yd} | 391,3 | MPa | | | |
| sollecitazioni | | | | | |
| V_{ed} | 1251 | kN | | | |
| T_{ed} | 561 | kNm | | | |

Figura 54 - Verifica a Torsione - sez.7

16 PALANCOLE METALLICHE PUNTONATE L430

Le immagini seguenti riportano lo stralcio planimetrico dell'opera e la relativa sezione (Figura 16-1).



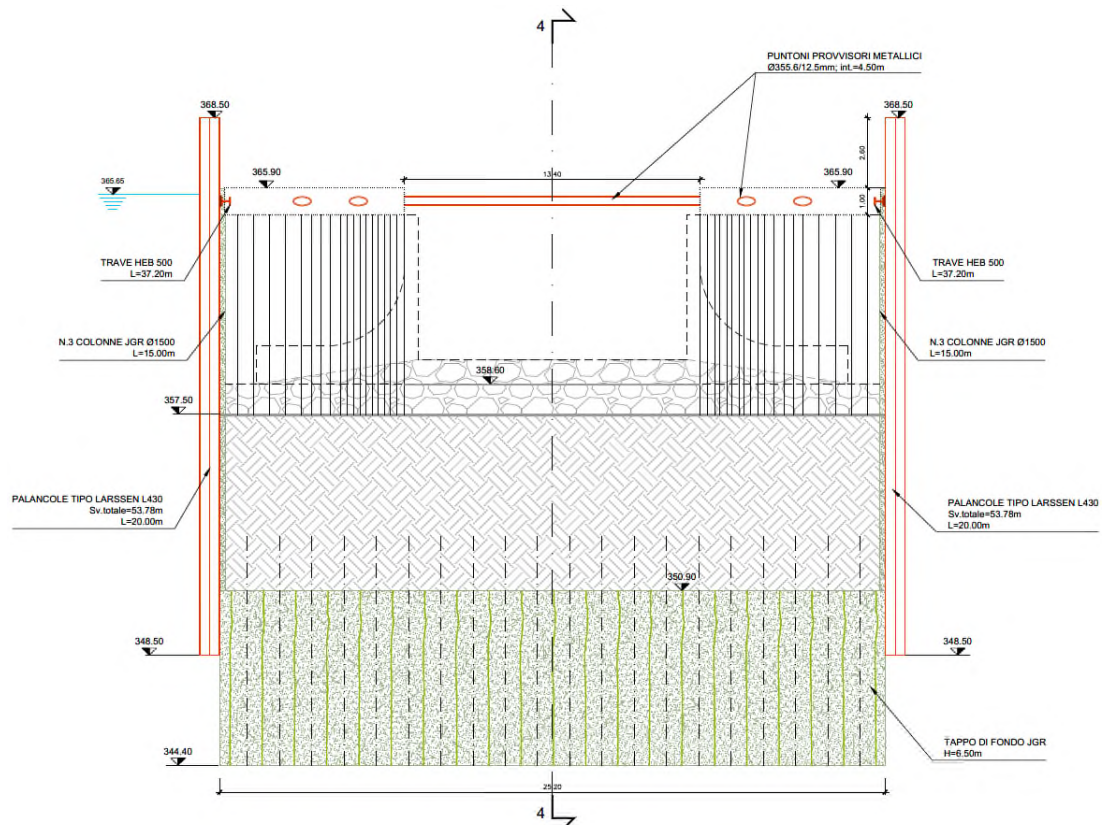


Figura 16-1 Sezioni caratteristiche 'Tipologia 6'

Dimensioni geometriche:

- H (altezza di scavo) = 8.40 m
- Paratia = Palancole Larssen L430
- L_{pal} (profondità palanca) = 20.0 m
- Tubolari puntone = $\varnothing 508/20\text{mm}/5.2\text{m}$, Lunghezza di progetto 9m
- $\alpha_{orizzontale}$ (inclinazione micropalo) = 50° sulla verticale
- Trave di ripartizione = 2 HEB 400 in asse ai puntone metallici

La quota della falda di progetto è assunta a quota 365.65m (livello di esercizio dell'acqua del Lago) durante le fasi di approfondimento del fondo scavo. Per sole verifiche strutturali geotecniche è stata considerata anche una condizione 'eccezionale' nella quale la falda è a quota di massima regolazione di +368.0mslm.

16.1 Schema di calcolo 'Sez.5-1'

16.1.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

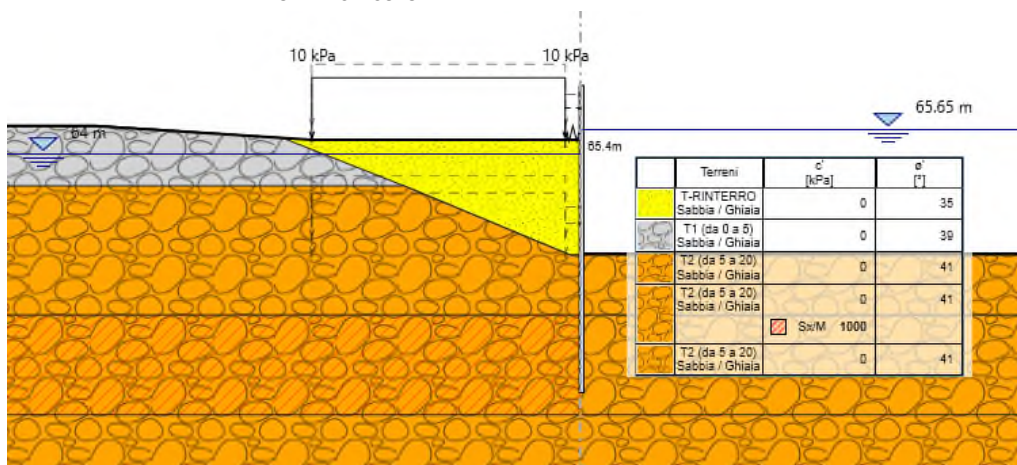


Figura 16-2 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §0.

| Unità | Descrizione | Z top | Z bottom | γ | c' | φ' | Evc | E _{UR} |
|-------|-----------------------------------|-------|------------------|----|----|----|-----|-----------------|
| | | [m] | [m] | | | | | |
| T | Rinterro | 365.0 | Var. (357.5) | 20 | - | 35 | 15 | 1.6*Evc |
| 2 | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa | 365.0 | Var. (365-357.5) | 19 | - | 39 | 130 | 1.6*Evc |
| 2 | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa | 5.5 | Var. (357.5) | 19 | - | 41 | 130 | 1.6*Evc |

Tabella 62 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §0. In particolare, i coefficienti di spinta attiva (k_a) sono calcolati secondo la formulazione di Coulomb, considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo (δ) pari a $0.50\phi'$; i coefficienti di spinta passiva (k_p) sono calcolati secondo la formulazione di Lancellotta (2007), considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo (δ) pari a $0.5\phi'$.

16.1.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- Stages
 - Stage 1-Geostatica
 - Stage 2-Realizzazione palancole
 - Stage 3-Riempimento interno palancole
 - Stage 4-Q acc cantiere 10kPa
 - Stage 5-Scavo 65.9
 - Stage 6-Realizzazione tampone
 - Stage 7-Scavo installazione puntone
 - Stage 7-Installazione puntone
 - Stage 8-Scavo 58.6
 - Stage 9-Scavo 57.5
 - Stage 10-Extra NTC
 - Stage 11-Risalita acqua @68m

Figura 16-3 Fasi di calcolo considerate

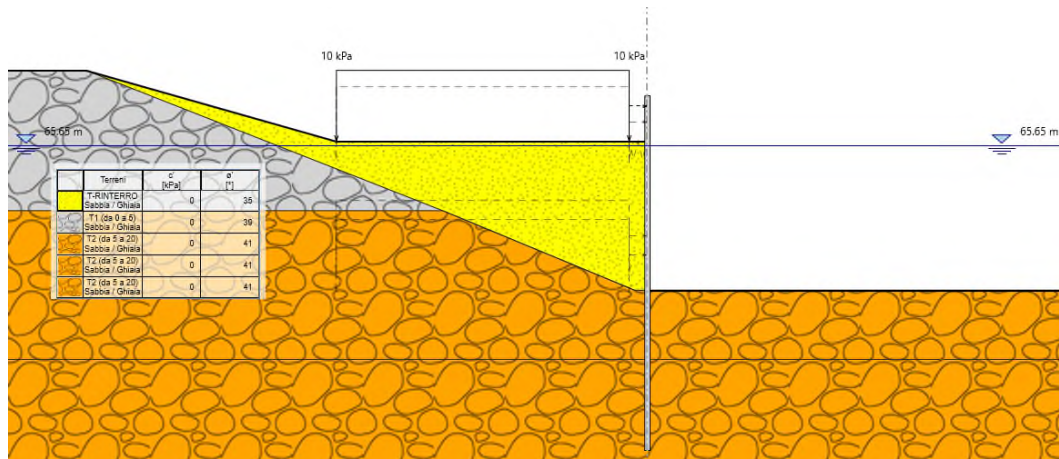


Figura 16-4 Carico accidentale cantiere 10kPa (Stage 4)

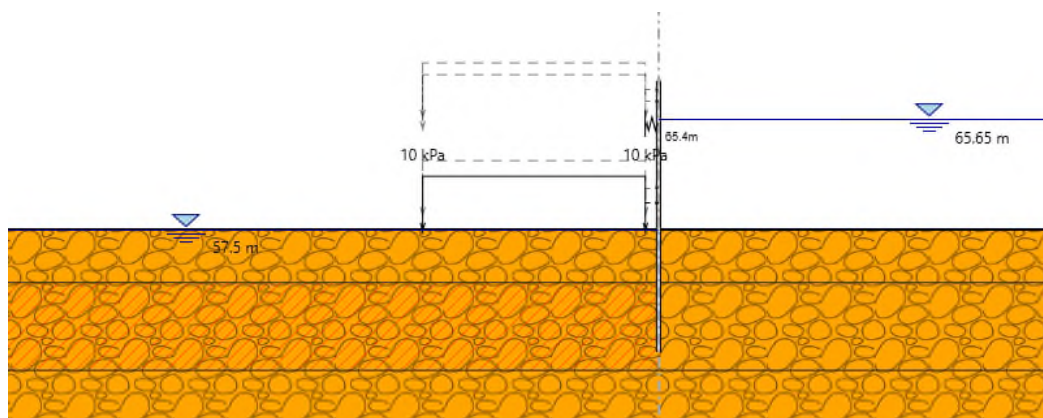


Figura 16-5 Scavo quota fondo +357.5m slm con falda a quota di esercizio (Stage 9)

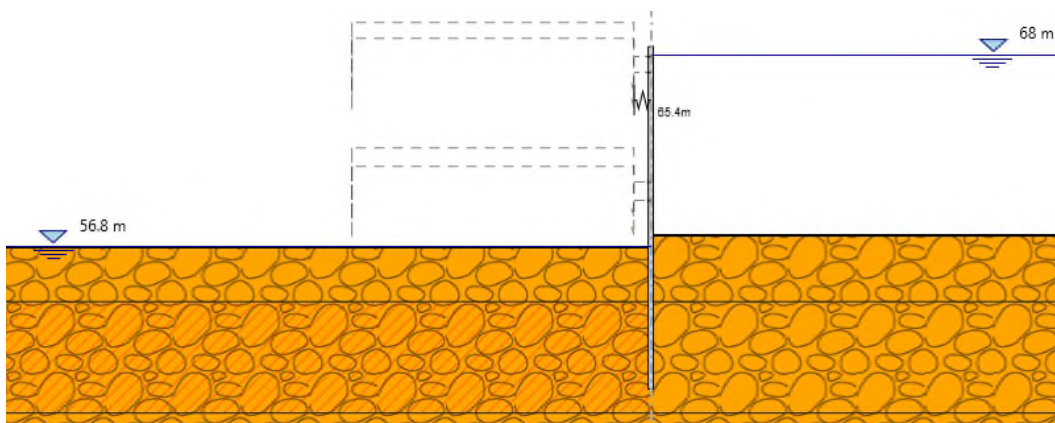


Figura 16-6 Scavo quota fondo scavo con falda a quota di massima regolazione (Stage 11)

16.1.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 10 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 20mm.

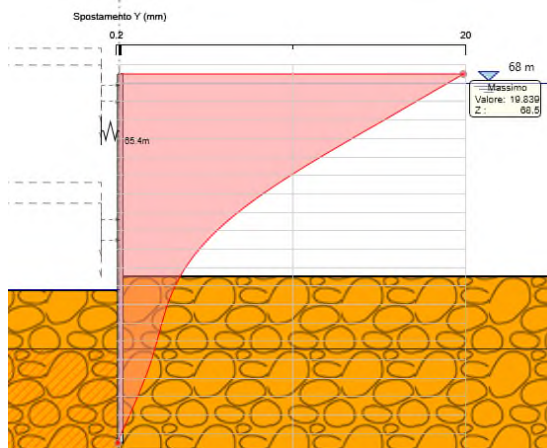


Figura 16-7 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 11)

16.1.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente allo stato limite ultimo (SLU in approccio 1 – Combinazione 1) e di esercizio.

| Fase | M SLE [kNm/m] | M SLU [kNm/m] | V SLU [kN/m] | Reazione puntoni SLE [kN/m] | Reazione puntoni SLU [kN/m] |
|------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 11 | 880 | 1150 | 390 | $325/\cos(50^\circ)=505\text{kN/m}$ | $420/\cos(50^\circ) = 653\text{kN/m}$ |

Tabella 63 Sollecitazioni agenti

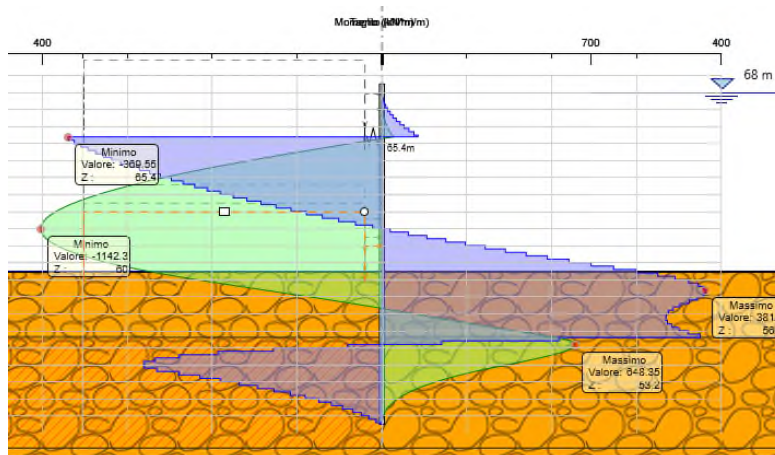


Figura 16-8 Sollecitazioni flettenti e taglianti SLU A1+M1+R1 – (Stage 11, quota fondo scavo)

16.1.4.1 Verifiche allo SLU di tipo STR

Di seguito si riportano le verifiche strutturali.

16.1.4.1.1 Verifica strutturale palanca SLU di tipo STR

Dati Palanca

| | | | | |
|---|---------------------------|----------|----------------------|-------------------------------|
| tipologia | Lerssen | L430 | | |
| Area | A= | 2987 | [cm ² /m] | |
| Momento di inerzia attorno all'asse neutro y-y | I _y = | 241800 | [cm ⁴ /m] | 0.002418 |
| Modulo di resistenza elastico I _y /(h/2) | W _{el,y} = | 6450 | [cm ³ /m] | |
| Momento di inerzia ridotto | I _y = | 96720 | [cm ⁴ /m] | 0.0009672 [m ⁴ /m] |
| Modulo di resistenza elastico ridotto | W _{el,y} = | 3870 | [cm ³ /m] | 0.00387 [m ³ /m] |
| spessore equivalente | s _{eq} = | 22.64 | [cm] | |
| spessore anima | s= | 1.2 | [cm] | 0.012 |
| altezza anima | h= | 75 | [cm] | |
| spessore tratto superiore | t= | 1.2 | [cm] | |
| lunghezza del tratto superiore | b= | 70.8 | [cm] | |
| Area resistente a taglio | A _v = s·(h-t)= | 88.6 | [cm ² /m] | 0.00886 [m ² /m] |
| | S= | | [cm ³ /m] | 0.00000 [m ³ /m] |
| | W _{pl,y} = | 7490 | [cm ³ /m] | |
| | W _{pl,y} = | 4494 | [cm ³ /m] | 0.004494 [m ³ /m] |
| | | 7.49E+03 | | |

Dati materiale

| | | | |
|-------------------------|-------------------|--------|----------------------|
| acciaio | S | 355 | GP |
| tensione di snervamento | f _{yk} = | 355 | [N/mm ²] |
| modulo di elasticità | E= | 206000 | [N/mm ²] |

Risultati dell'analisi

| | | | | z [m] |
|-------|-----------------|---------------------|--------|---------|
| Sez 1 | Momento massimo | M _{MAX} = | 1150.0 | [kNm/m] |
| Sez 2 | Taglio massimo | V _{MAX} = | 390.0 | [kN/m] |
| max | Momento | M _{SEZ3} = | 1150.0 | [kNm/m] |
| | Taglio | V _{SEZ3} = | 390.0 | [kN/m] |

Verifica di resistenza

| | | | |
|---|---|-------|-------|
| Tens. normale ortogonale all'asse | σ _{x,Ed} | 297 | [MPa] |
| Tens. normale parallela all'asse della membratura | σ _{z,Ed} | 0 | |
| Tens. Tangenziale nel piano della membratura | τ _{Ed} | 0 | [MPa] |
| (§5.2.2 - prEN 1993-5:2006) | β _W | 0.6 | |
| | β _I | 0.4 | |
| | σ _{x,Ed} ² + 3 τ _{Ed} ² = | 88303 | [MPa] |
| | σ _{id} = | 297 | |
| | γ _{M0} | 1.05 | |
| | f _{yk} /γ _{M0} | 338 | [MPa] |

Verifica di resistenza ok 297.2 < 338

Resistenze di calcolo

| | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------|----|
| M _{Ed} ≤ M _{pl,Rd} | M _{pl,Rd} = 1519.4 | [kNm/m] | ok |
| M _{Ed} ≤ M _{c,Rd} | M _{c,Rd} = 1308.4 | [kNm/m] | ok |
| V _{Ed} ≤ V _{p,Rd} | V _{c,Rd} = 1729 | [kNm/m] | ok |

Figura 16-9 Verifica strutturale palanca

16.1.4.1.2 Verifiche allo SLU di tipo STR – Puntone Ø508/20m L=9m

Sulle palancole metalliche fronte lago insistono No.4 puntone metallici costituiti da Ø508/20m, di luce L=9m e 6.20m. Di seguito, si riporta la verifica strutturale del puntone avente luce maggiore. L'interasse considerato nella verifica è di 5.25m. La verifica è comprensiva degli effetti indotti dalla variazione termica. Il puntone è soggetto alle seguenti sollecitazioni assiali e flettenti:

- N paratie: 410/cos(50°) = 640kN/m (Comb. A1+M1+R1)

| | | | | | |
|-----------------------|-------------|------------|-----|-----------------|------------|
| Contributo termico | N (+DT 25°) | γ_F | 1.5 | 1610*1.5=2415 | kN/puntone |
| Contributo di Paratie | N paratie | γ_F | 1.0 | 653*5.25*1=3430 | kN/puntone |

Tabella 64 Contributi assiali agenti sul puntone allo SLU-STR

| | | | | | |
|------|----|----|-----|-----|-----|
| P | V2 | V3 | T | M2 | M3 |
| kN | kN | kN | kNm | kNm | kNm |
| 5845 | 0 | 15 | 0 | 0 | 35 |

Tabella 65 Sollecitazioni puntonamento metallico

Di seguito le verifiche del puntone nei confronti della resistenza delle membrature e della stabilità. Le verifiche risultano soddisfatte (classe acciaio S355).

Tipo di acciaio utilizzato: S 355

Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza: γ_{M0} 1.05 [-]

Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità: γ_{M1} 1.05 [-]

Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura: γ_{M2} 1.25 [-]

Caratteristiche del profilo: Ø508/20

Sezione trasversale del tubolare

Diametro esterno del profilo tubolare (UTENTE): d_{ext} 508.00 [mm]

Spessore del profilo tubolare (UTENTE): t 20.00 [mm]

Diametro esterno del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche: 508 [mm]

Spessore del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche: 20 [mm]

Geometria della membratura

Lunghezza geometrica della membratura: L 9.50 [m]

Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y: β_y 1.00 [-]

Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z: β_z 1.00 [-]

Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y: $L_{cr,y}$ 9500.00 [mm]

Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z: $L_{cr,z}$ 9500.00 [mm]

Coefficienti di momento equivalente

Nota: l'utente deve inserire i valori C_{my} , C_{mz} con riferimento al prospetto B.3 - EN 1993 - 1 - 1: 2010, tenendo presente che utilizzando $C_{my} = C_{mz} = 1.00$ la verifica sarà sempre "cautelativa".

Coefficienti di momento equivalente

Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse y - y C_{my} : 1.000 [-]

Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse z - z C_{mz} : 1.000 [-]

Caratteristiche di sollecitazione

Nota: la forza assiale è POSITIVA se di compressione

Calcola Svuota

| Comb. | N_{Ed} [kN] | $V_{z,Ed}$ [kN] | $V_{y,Ed}$ [kN] | $M_{y,Ed}$ [kNm] | $M_{z,Ed}$ [kNm] | T_{Ed} [kNm] | Verifica [-] |
|-------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | 5845.00 | 15.00 | | 40.00 | | | 0.71 |

16.1.4.1.3 Verifica strutturale della trave di ripartizione metallica di testa

Le sollecitazioni agenti sono:

| Comb. | q agente [kN/m] | Luce [m] | M [kNm/m] | V [kN/m] |
|-------|------------------|----------|-----------|----------|
| SLE | 325/cos(50°)=505 | 5.25 | 1395 | 1330 |
| SLU | 420/cos(50°)=653 | 5.25 | 1805 | 1720 |

Tabella 66 Sollecitazioni trave di ripartizione

VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE - NTC 2018

Dati del profilato:

| | | |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| Tipo di profilato | HEB | 400 |
| Altezza del profilato | h | 400 mm |
| Base del profilato | b | 300 mm |
| Spessore dell'anima | a = t _w | 13.5 mm |
| Spessore delle ali | e = t _f | 24 mm |
| Raggio di curvatura | r | 27 mm |
| Area della sezione | A | 19778 mm ² |

Definizione dell'azione di calcolo:

| | | |
|---------------------------------------|-----------------|---------------|
| Sforzo massimo agente | N _{Ed} | 548.3 [kN/ml] |
| Interasse degli elementi di contrasto | i | 5.25 [m] |
| Momento agente sul profilato | M _{Ed} | 1805.00 [kNm] |
| Taglio agente sul profilato | V _{Ed} | 1720.00 [kN] |

Calcolo della resistenza di progetto a taglio:

| | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Tipologia di acciaio | S | 355 [MPa] |
| Coefficiente di sicurezza | γ _{M0} | 1.05 [-] |
| Piano di carico del profilato | Carico nel piano dell'anima | |
| n° di profilati considerati | n° | 2 [-] |
| Area a taglio del singolo profilato | A _V | 6998 mm ² |
| Resistenza di progetto a taglio | R _{c,Rd} | 2732.01 [kN] |

Definizione della tipologia di verifica da condurre:

| | | |
|---|------------------------------------|--------------|
| Taglio agente sul profilato | V _{Ed} | 1720.00 [kN] |
| Resistenza di progetto a taglio | V _{c,Rd} | 2732.01 [kN] |
| Rapporto V _{Ed} /V _{c,Rd} | V _{Ed} /V _{c,Rd} | 0.63 [-] |
| Tipo di verifica | Flessione e taglio | |

Verifica strutturale del profilato per flessione retta:

| | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------|
| Momento plastico nel piano dell'anima | W _{pl,y} | 3231000 mm ³ |
| Resistenza di progetto | M _{c,Rd} = M _{pl,Rd} | 2184.77 [kNm] |
| Fattore di sicurezza della sezione | FS | 1.21 OK |

Verifica strutturale per profilato soggetto a flessione e taglio:

| | | |
|--|---------------------|-------------------------|
| Momento plastico nel piano dell'anima | W _{pl,y} | 3231000 mm ³ |
| Coefficiente di riduzione | ρ | 0.0672 [-] |
| Resistenza di progetto | M _{y,V,Rd} | 2164.18 [kNm] |
| Condizione M _{y,V,Rd} ≤ M _{y,c,Rd} | OK | |
| Fattore di sicurezza della sezione | FS | 1.20 OK |

16.1.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

16.1.5.1 Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale dell'opera provvisoria deve essere condotta in accordo all'approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R3). Nella figura seguente è riportato il risultato delle verifiche in accordo con il metodo di Janbu. L'analisi di stabilità risulta essere soddisfatta con un coefficiente di sicurezza di 11.

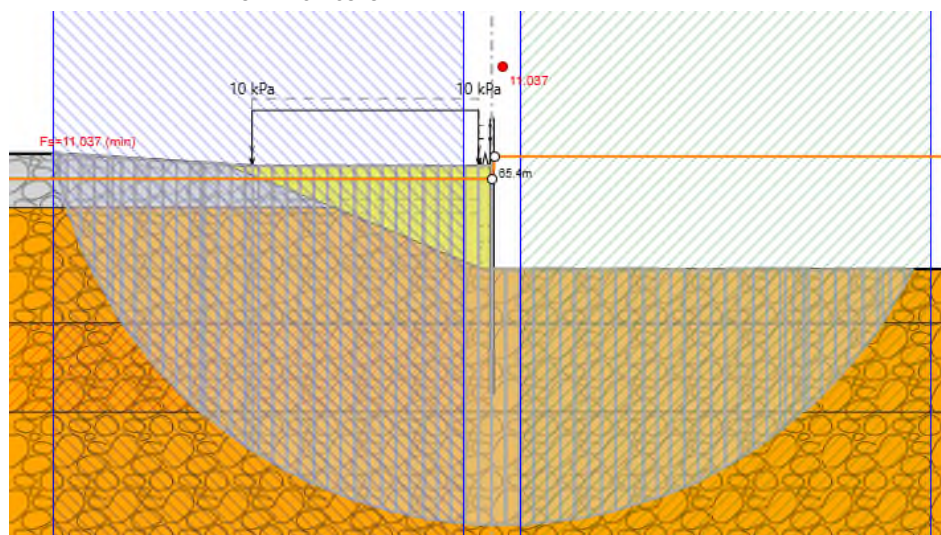
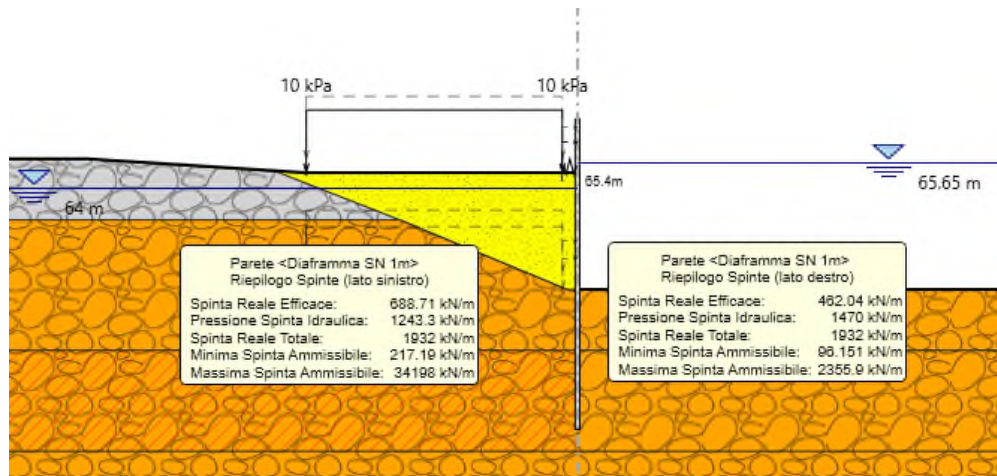


Figura 16-10 Risultati verifica stabilità globale

16.1.5.2 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma_F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma_R = 1.0$. La verifica risulta soddisfatta.



17 TAPPO DI FONDO IN JET GROUTING – VERIFICA AL SOLLEVAMENTO

17.1 Pali Secanti Tipo 'A1-A2'

| VERIFICA CON ATTRITO CON SCAVO REALE - TAMPONE IMPERMEABILE | | |
|---|-------------------------|---|
| VERIFICA TAMPONE DI FONDO | | |
| Zfalda | 365.65 m s.l.m | Quota falda (FASE CANTIERE LATO LAGO) |
| Zfs | 358.6 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | 7.05 m | Altezza falda a piano scavo |
| Lmin | 12 m | Dimensione minima in pianta del tampone |
| Lmax | 100 m | Dimensione massima in pianta del tampone |
| Htf | 0 | Altezza terreno trattato sotto il fondo scavo |
| Hte | 5 m | Altezza intermedia terreno non trattato |
| Hta | 4 m | Altezza tampone di fondo inferiore |
| Hinfissione | 9.0 m | Altezza infissione paratia |
| γ_{tn} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| γ_{ta} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico tampone |
| ϕ_{ta} | 33.9 ° | Angolo di attrito terreno tampone Comb. A1+M1+R2 |
| δ_{ta} | 0.50 - | Rapporto δ/ϕ tampone |
| $f_a = \tan(\phi_{ta} \times \delta_{ta})$ | 0.30 (-) | Aderenza massima tampone paratia |
| Hw | 16.1 m | = Zfalda - Zfs + Hte + Hta altezza battente idraulico |
| u_Hw | 157.5 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| Sw | 157.5 kPa | pressione interstiziale agente alla base del tampone |
| Np | 858.0 kN/m | da calcolo Paratie |
| σ_{p1} | 95.33 kN/m ² | $N_p/H_{infissione}$ Valore medio pressione passiva mobilitata su jet |
| σ_{p2} | 95.33 kN/m ² | valore medio sull'altezza del tampone letto in paratie |
| σ_{p3} | 22.50 kN/m ² | valore geostatico a fondo scavo alla profondità media del tampone |
| $\sigma_{p,calc}$ | 95.33 kN/m ² | valore adottato nei calcoli |
| fa | 29.03 kN/m ² | = $\sigma_p \cdot \tan \phi$ Aderenza massima tampone paratia |
| Wt | 2.7 m ³ | = $H_{ta}^2/6$ W resistente flessione tampone per 1 m di larghezza |
| α | 0.99 (-) | = $1/(1+L_{min}/L_{max})^2$ coeff riduttivo momento per effetto piastra |
| qtf | 14.33 kN/m | = $8 \cdot \sigma_p \cdot W_t / (\alpha \times L_{min}^2)$ |
| qta | 43.55 kN/m | = $2 \cdot f_a \cdot H_{infissione} / L_{min}$ |
| qt utile | 14.33 kN/m | |
| Pte | 1200.0 kN | = $\gamma_{te} \cdot (H_{te} + H_{tf}) \cdot L_{min}$ Peso terreno per 1 metro di sezione |
| Pta | 960.0 kN | = $\gamma_{ta} \cdot H_{ta} \cdot L_{min}$ = Peso tampone per 1 m di sezione |
| Sta | 171.9 kN | = qt utile $\cdot L_{min}$ = risultante pressione assorbita dall'infissione per 1 m |
| Sw | 1889.4 kN | = Hw $\cdot 10 \cdot L_{min}$ = sottospinta falda per 1 metro di sezione |
| Ribasso locale in corrispondenza vasca di aggettamento | | |
| Wrib | 0 kN | |
| Verifica secondo NTC 18 | | |
| 0.9 * St | 2098.7 kN | |
| 1.1 * SW | 2078.3 kN | |
| St > Sw | Verificato | |
| St/Sw | 1.01 | |

17.2 Pali Secanti Tipo 'B2' – Fase 1

| VERIFICA CON ATTRITO CON SCAVO REALE - TAMPONE IMPERMEABILE | | |
|---|--------------------------|---|
| VERIFICA TAMPONE DI FONDO | | |
| Zfalda | 365.65 m s.l.m | Quota falda (FASE CANTIERE LATO LAGO) |
| Zfs | 358.6 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | 7.05 m | Altezza falda a piano scavo |
| Lmin | 12 m | Dimensione minima in pianta del tampone |
| Lmax | 100 m | Dimensione massima in pianta del tampone |
| Htf | 0 | Altezza terreno trattato sotto il fondo scavo |
| Hte | 5 m | Altezza intermedia terreno non trattato |
| Hta | 4 m | Altezza tampone di fondo inferiore |
| Hinfissione | 9.0 m | Altezza infissione paratia |
| γ_{tn} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| γ_{ta} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico tampone |
| ϕ_{ta} | 33.9 ° | Angolo di attrito terreno tampone Comb. A2+M2+R2 |
| δ_{ta} | 0.50 - | Rapporto δ/ϕ tampone |
| $f_a = \tan(\phi_{ta} \times \delta_t)$ | 0.30 (-) | Aderenza massima tampone paratia |
| Hw | 16.1 m | = Zfalda - Zfs + Hte + Hta altezza battente idraulico |
| u_Hw | 157.5 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| Sw | 157.5 kPa | pressione interstiziale agente alla base del tampone |
| Np | 1035.0 kN/m | da calcolo Paratie |
| σ_{p1} | 115.00 kN/m ² | $N_p/H_{infissione}$ Valore medio pressione passiva mobilitata su jet |
| σ_{p2} | 115.00 kN/m ² | valore medio sull'altezza del tampone letto in paratie |
| σ_{p3} | 22.50 kN/m ² | valore geostatico a fondo scavo alla profondità media del tampone |
| $\sigma_{p,calc}$ | 115.00 kN/m ² | valore adottato nei calcoli |
| f_a | 35.02 kN/m ² | = $\sigma_p \cdot \tan \phi$ Aderenza massima tampone paratia |
| Wt | 2.7 m ³ | = $H_{ta}^2/6$ W resistente flessione tampone per 1 m di larghezza |
| α | 0.99 (-) | = $1/(1+L_{min}/L_{max})^2$ coeff riduttivo momento per effetto piastra |
| qtf | 17.28 kN/m | = $8 \cdot \sigma_p \cdot W_t / (\alpha \times L_{min}^2)$ |
| qta | 52.53 kN/m | = $2 \cdot f_a \cdot H_{inf}/L_{min}$ |
| qt utile | 17.28 kN/m | |
| Pte | 1200.0 kN | = $\gamma_{te} \cdot (H_{te} + H_{tf}) \cdot L_{min}$ Peso terreno per 1 metro di sezione |
| Pta | 960.0 kN | = $\gamma_{ta} \cdot H_{ta} \cdot L_{min}$ = Peso tampone per 1 m di sezione |
| Sta | 207.4 kN | = qt utile * Lmin = risultante pressione assorbita dall infissione per 1 m |
| Sw | 1889.4 kN | = Hw * 10 * Lmin = sottospinta falda per 1 metro di sezione |
| Ribasso locale in corrispondenza vasca di aggotamento | | |
| Wrib | 0 kN | |
| Verifica secondo NTC 18 | | |
| 0.9*St | 2130.6 kN | |
| 1.1*Sw | 2078.3 kN | |
| St>Sw | Verificato | |
| St/Sw | 1.03 | |

17.3 Pali Secanti Tipo 'B2' – Fase 2

| VERIFICA CON ATTRITO CON SCAVO REALE - TAMPONE IMPERMEABILE | | |
|---|--------------------------|---|
| VERIFICA TAMPONE DI FONDO | | |
| Zfalda | 368 m s.l.m | Quota falda ESERCIZIO LAGO |
| Zfs | 358.6 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | 9.4 m | Altezza falda a piano scavo |
| Lmin | 12 m | Dimensione minima in pianta del tampone |
| Lmax | 100 m | Dimensione massima in pianta del tampone |
| Htf | 9 | Altezza terreno trattato sotto il fondo scavo |
| Hte | 0 m | Altezza intermedia terreno non trattato |
| Hta | 0 m | Altezza tampone di fondo inferiore |
| Hinfissione | 9.0 m | Altezza infissione paratia |
| γ_{tn} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| γ_{ta} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico tampone |
| ϕ_{ta} | 33.9 ° | Angolo di attrito terreno tampone Comb. A2+M2+R2 |
| δ_{ta} | 0.50 - | Rapporto δ/ϕ tampone |
| $f_a = \tan(\phi_{ta} \times \delta_{ta})$ | 0.30 (-) | Aderenza massima tampone paratia |
| Hw | 18.4 m | = Zfalda - Zfs + Hte + Hta altezza battente idraulico |
| u_{Hw} | 180.5 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| Sw | 180.5 kPa | pressione interstiziale agente alla base del tampone |
| Np | 1187.0 kN/m | da calcolo Paratie |
| σ_{p1} | 131.89 kN/m ² | $N_p/H_{infissione}$ Valore medio pressione passiva mobilitata su jet |
| σ_{p2} | 131.89 kN/m ² | valore medio sull'altezza del tampone letto in paratie |
| σ_{p3} | 22.50 kN/m ² | valore geostatico a fondo scavo alla profondità media del tampone |
| $\sigma_{p,calc}$ | 131.89 kN/m ² | valore adottato nei calcoli |
| f_a | 40.16 kN/m ² | = $\sigma_p \cdot \tan \phi$ Aderenza massima tampone paratia |
| Wt | 13.5 m ³ | = $H_{ta}^2/6$ W resistente flessione tampone per 1 m di larghezza |
| α | 0.99 (-) | = $1/(1+L_{min}/L_{max})^2$ coeff riduttivo momento per effetto piastra |
| qtf | 100.34 kN/m | = $8 \cdot \sigma_p \cdot W_t / (\alpha \times L_{min}^2)$ |
| qta | 60.24 kN/m | = $2 \cdot f_a \cdot H_{inf}/L_{min}$ |
| qt utile | 60.24 kN/m | |
| Pte | 0.0 kN | = $\gamma_{te} \cdot (H_{te} + H_{tf}) \cdot L_{min}$ Peso terreno per 1 metro di sezione |
| Pta | 2160.0 kN | = $\gamma_{ta} \cdot H_{ta} \cdot L_{min}$ = Peso tampone per 1 m di sezione |
| Sta | 722.9 kN | = qt utile * L_{min} = risultante pressione assorbita dall'infissione per 1 m |
| Sw | 2166.0 kN | = $H_w \cdot 10 \cdot L_{min}$ = sottospinta falda per 1 metro di sezione |
| Ribasso locale in corrispondenza vasca di aggotamento | | |
| Wrib | 0 kN | |
| Verifica secondo NTC 18 | | |
| 0.9*St | 2594.6 kN | |
| 1.1*SW | 2382.7 kN | |
| St>Sw | Verificato | |
| St/Sw | 1.09 | |

17.4 Pali Secanti Tipo 'C1-C2'

| VERIFICA CON ATTRITO CON SCAVO REALE - TAMPONE IMPERMEABILE | | |
|---|--------------------------|---|
| VERIFICA TAMPONE DI FONDO | | |
| Zfalda | 368 m s.l.m | Quota falda ESERCIZIO LAGO |
| Zfs | 358.6 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | 9.4 m | Altezza falda a piano scavo |
| Lmin | 12 m | Dimensione minima in pianta del tampone |
| Lmax | 100 m | Dimensione massima in pianta del tampone |
| Htf | 9 | Altezza terreno trattato sotto il fondo scavo |
| Hte | 0 m | Altezza intermedia terreno non trattato |
| Hta | 0 m | Altezza tampone di fondo inferiore |
| Hinfissione | 9.0 m | Altezza infissione paratia |
| γ_{tn} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| γ_{ta} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico tampone |
| ϕ_{ta} | 33.9 ° | Angolo di attrito terreno tampone Comb. A1+M1+R2 |
| δ_{ta} | 0.50 - | Rapporto δ/ϕ tampone |
| $f_a = \tan(\phi_{ta} \times \delta_{ta})$ | 0.30 (-) | Aderenza massima tampone paratia |
| Hw | 18.4 m | = Zfalda - Zfs + Hte + Hta altezza battente idraulico |
| u_{Hw} | 180.5 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| Sw | 180.5 kPa | pressione interstiziale agente alla base del tampone |
| Np | 1411.0 kN/m | da calcolo Paratie |
| σ_{p1} | 156.78 kN/m ² | $N_p/H_{infissione}$ Valore medio pressione passiva mobilitata su jet |
| σ_{p2} | 156.78 kN/m ² | valore medio sull'altezza del tampone letto in paratie |
| σ_{p3} | 22.50 kN/m ² | valore geostatico a fondo scavo alla profondità media del tampone |
| $\sigma_{p,calc}$ | 156.78 kN/m ² | valore adottato nei calcoli |
| f_a | 47.74 kN/m ² | = $\sigma_p \cdot \tan \phi$ Aderenza massima tampone paratia |
| Wt | 13.5 m ³ | = $H_{ta}^2/6$ W resistente flessione tampone per 1 m di larghezza |
| α | 0.99 (-) | = $1/(1+(L_{min}/L_{max})^2)$ coeff riduttivo momento per effetto piastra |
| qtf | 119.28 kN/m | = $8 \cdot \sigma_p \cdot W_t / (\alpha \times L_{min}^2)$ |
| qta | 71.61 kN/m | = $2 \cdot f_a \cdot H_{inf}/L_{min}$ |
| qt utile | 71.61 kN/m | |
| Pte | 0.0 kN | = $\gamma_{te} \cdot (H_{te} + H_{tf}) \cdot L_{min}$ Peso terreno per 1 metro di sezione |
| Pta | 2160.0 kN | = $\gamma_{ta} \cdot H_{ta} \cdot L_{min}$ = Peso tampone per 1 m di sezione |
| Sta | 859.3 kN | = qt utile $\cdot L_{min}$ = risultante pressione assorbita dall'infissione per 1 m |
| Sw | 2166.0 kN | = Hw $\cdot 10 \cdot L_{min}$ = sottospinta falda per 1 metro di sezione |
| Ribasso locale in corrispondenza vasca di aggotamento | | |
| Wrib | 0 kN | |
| Verifica secondo NTC 18 | | |
| 0.9* St | 2717.4 kN | |
| 1.1*SW | 2382.7 kN | |
| St>Sw | Verificato | |
| St/Sw | 1.14 | |

17.5 Pali Secanti Tipo 'D1'

| VERIFICA CON ATTRITO CON SCAVO REALE - TAMPONE IMPERMEABILE | | |
|---|--------------------------|--|
| PALI TIPO 'D1' - VERIFICA TAMPONE DI FONDO | | |
| Zfalda | 368 m s.l.m | Quota falda ESERCIZIO LAGO |
| Zfs | 358.6 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | 9.4 m | Altezza falda a piano scavo |
| Lmin | 17.2 m | Dimensione minima in pianta del tampone |
| Lmax | 100 m | Dimensione massima in pianta del tampone |
| Htf | 9 | Altezza terreno trattato sotto il fondo scavo |
| Hte | 0 m | Altezza intermedia terreno non trattato |
| Hta | 0 m | Altezza tampone di fondo inferiore |
| Hinfissione | 9.0 m | Altezza infissione paratia |
| γ_{tn} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| γ_{ta} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico tampone |
| ϕ_{ta} | 33.9 ° | Angolo di attrito terreno tampone Comb. A2+M2 |
| δ_{ta} | 0.50 - | Rapporto δ/ϕ tampone |
| $fa = \tan(\phi_{ta} \times \delta_{ta})$ | 0.30 (-) | Aderenza massima tampone paratia |
| Hw | 18.4 m | = Zfalda - Zfs + Hte + Hta altezza battente idraulico |
| u_{Hw} | 180.5 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| Sw | 180.5 kPa | pressione interstiziale agente alla base del tampone |
| Np | 2500.0 kN/m | da calcolo Paratie |
| σ_{p1} | 277.78 kN/m ² | $Np/Hinfissione$ Valore medio pressione passiva mobilitata su jet |
| σ_{p2} | 277.78 kN/m ² | valore medio sull'altezza del tampone letto in paratie |
| σ_{p3} | 22.50 kN/m ² | valore geostatico a fondo scavo alla profondità media del tampone |
| $\sigma_{p,calc}$ | 277.78 kN/m ² | valore adottato nei calcoli |
| fa | 84.59 kN/m ² | = $\sigma_p \cdot \tan \phi$ Aderenza massima tampone paratia |
| Wt | 13.5 m ³ | = $Hta^2/6$ W resistente flessione tampone per 1 m di larghezza |
| α | 0.97 (-) | = $1/(1+Lmin/Lmax)^2$ coeff riduttivo momento per effetto piastra |
| qtf | 104.41 kN/m | = $8 \cdot \sigma_p \cdot Wt / (\alpha \times Lmin^2)$ |
| qta | 88.52 kN/m | = $2 \cdot fa \cdot Hinf/Lmin$ |
| qt utile | 88.52 kN/m | |
| Pte | 0.0 kN | = $\gamma_{te} \cdot (Hte + Htf) \cdot Lmin$ Peso terreno per 1 metro di sezione |
| Pta | 3096.0 kN | = $\gamma_{ta} \cdot Hta \cdot Lmin$ = Peso tampone per 1 m di sezione |
| Sta | 1522.6 kN | = qt utile $\cdot Lmin$ = risultante pressione assorbita dall infissione per 1 m |
| Sw | 3104.7 kN | = Hw $\cdot 10 \cdot Lmin$ = sottospinta falda per 1 metro di sezione |
| Ribasso locale in corrispondenza vasca di aggotamento | | |
| Wrib | 0 kN | |
| Verifica secondo NTC 08 | | |
| 0.9* St | 4156.7 kN | |
| 1.1*SW | 3415.1 kN | |
| St>Sw | Verificato | |
| St/Sw | 1.22 | |

17.6 Palancole Metalliche Puntonate

| VERIFICA CON ATTRITO CON SCAVO REALE - TAMPONE IMPERMEABILE - PALANCOLATO PRIMARIO | | |
|--|-------------------------|--|
| SEZ. 1-1 (PALANCOLE Larssen L430 20m) | | |
| Zfalda | 65.65 m s.l.m | Quota falda in fase di costruzione |
| Zfs | 57.5 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | 8.15 m | Altezza falda a piano scavo |
| Lmin | 25.5 m | Dimensione minima in pianta del tampone |
| Lmax | 100 m | Dimensione massima in pianta del tampone |
| Zsup-Jet | 53.6 | Quota testa tampone di fondo |
| Htf | 0 | Altezza terreno trattato sotto il fondo scavo |
| Hte | 6.5 m | Altezza intermedia terreno non trattato |
| Hta | 6.5 m | Altezza tampone di fondo inferiore |
| Htot | 13.0 m | Distanza fondo scavo - intradosso tampone |
| γ_{tn} | 0.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale con colonne singole |
| γ_{tn} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| γ_{ta} | 20.0 kN/m ³ | Peso specifico tampone |
| fa | 0.28 (-) | Aderenza massima tampone paratia |
| kp -paratie | (-) | Coefficiente spinta passiva medio Paratie |
| Hw | 21.2 m | = Zfalda - Zfs +Hte+Hta altezza battente idraulico |
| u_Hw | 207.5 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| u_par | kPa | pressione interstiziale letta in paratie alla base della paratie |
| Sw | 207.5 kPa | pressione interstiziale agente alla base del tampone |
| Np | 0.0 kN/m | da calcolo Paratie |
| σ_{p1} | 0.00 kN/m ² | Np/Hinfissione Valore medio pressione passiva mobilitata su jet |
| σ_{p2} | 0.00 kN/m ² | valore medio sull'altezza del tampone letto in paratie |
| σ_{p3} | 32.50 kN/m ² | valore geostatico a fondo scavo alla profondità media del tampone |
| $\sigma_{p,calc}$ | 0.00 kN/m ² | valore adottato nei calcoli |
| fa | 0.00 kN/m ² | = $\sigma_p \cdot \tan \phi$ Aderenza massima tampone paratia |
| Wt | 28.2 m ³ | = $Hta^2/6$ W resistente flessione tampone per 1 m di larghezza |
| α | 0.94 (-) | = $1/(1+Lmin/Lmax)^2$ coeff riduttivo momento per effetto piastra |
| qtf | 0.00 kN/m | = $8 \cdot \sigma_p \cdot Wt / (\alpha \cdot Lmin^2)$ |
| qta | 0.00 kN/m | = $2 \cdot fa \cdot Hinf / Lmin$ |
| qt utile | 0.00 kN/m | |
| Pte | 3315.0 kN | = $\gamma_{te} \cdot (Hte+Htf) \cdot Lmin$ Peso terreno per 1 metro di sezione |
| Pta | 3315.0 kN | = $\gamma_{ta} \cdot Hta \cdot Lmin$ = Peso tampone per 1 m di sezione |
| Sta | 0.0 kN | = qt utile * Lmin = risultante pressione assorbita dall infissione per 1 m |
| Sw | 5290.8 kN | = Hw * 10 * Lmin = sottospinta falda per 1 metro di sezione |
| Ribasso locale in corrispondenza vasca di aggotamento | | |
| Wrib | 0 kN | |
| Verifica secondo NTC 08 | | |
| 0.9* St | 5967.0 kN | |
| 1.1*SW | 5819.9 kN | |
| St>Sw | Verificato | |
| St/Sw | 1.03 | |

VERIFICA SOLLEVAMENTO E SIFONAMENTO PALANCOLATO SECONDARIO
SEZ. 2-2 (PALANCOLE Larssen L430 20m)

| | | |
|---------------|------------------------|------------------------------------|
| Zw_costr | 65.65 m s.l.m | Quota falda in fase di costruzione |
| Zw_piena | 68 m.s.l. | Quota falda in condizioni di piena |
| Zfs | 65.9 m s.l.m | Quota fondo scavo |
| Hw | -0.25 m | Altezza falda a piano scavo |
| Zpiede_wa | 48.5 m | Quota piede palanca |
| Hnfiss | 17.4 m | Lunghezza infissione paratia |
| L | 6.5 m | Distanza palanca-pali |
| γ_{tn} | 19.0 kN/m ³ | Peso specifico terreno naturale |
| φ | 37 deg | Angolo attrito terreno in situ |

Battente idraulico

| | | |
|----------|--------------|--|
| Hw_COSTR | 17.15 m | = Zw_costr+Hnfiss altezza battente idraulico |
| sw | 168.2415 kPa | pressione interstiziale in funzione del battente idraulico |
| Sw | 1093.6 kN/m | Risultante pressione interstiziale agente al piede paratia |

Coefficienti parziali

| | |
|----------------------|---------|
| $\gamma_{G1_{fav}}$ | 0.9 (-) |
| $\gamma_{G1_{sfav}}$ | 1.1 (-) |

Minimo Peso stabilizzante terreno

| | |
|------|--|
| 10.8 | Lunghezza infissione minima per soddisfare verifica a sollevamento |
|------|--|

Ok Sollevamento verificato SU FALDA COSTRUZIONE

Gradiente critico

| | |
|--------------------|---------|
| γ'/γ_w | 0.94 |
| Zw_piena | 68.00 m |
| Zfondo_lag | 58.3 m |

Coeff. Globali da NTC

| | | |
|------------------------|----------|--|
| γ_{R_medio} | 3.00 (-) | =coeff. Sicurezza globale su gradiente idraulico medio |
| $\gamma_{R_efflusso}$ | 2.00 (-) | =coeff. Sicurezza globale su gradiente idraulico di efflusso |

Valori permeabilità terreni in situ

| | | |
|------|--------------|---------------------------------------|
| K_T1 | 2.00E-03 m/s | = Coefficiente permeabilità Terreno 1 |
| K_T2 | 2.00E-04 m/s | = Coefficiente permeabilità Terreno 2 |

Gradiente di efflusso

| | | |
|---------------------|------------|---|
| ΔHw | 2.35 m | = Battente idrico tra falda in condizione di piena e falda di costruzione |
| L | 27.0 m | = Lunghezza percorso di filtrazione lungo la palanca |
| $i_E = \Delta Hw/L$ | 0.087199 - | = Gradiente di efflusso (ipotesi di perdita di carico lineare) |

Verifiche NTC 2018

| | |
|---------|--|
| 0.468 > | 0.087199 = verifica sifonamento su gradiente idraulico efflusso ($\gamma_R=2$) |
| 0.312 > | 0.063591 = verifica sifonamento su gradiente idraulico medio ($\gamma_R=3$) |

18 MONITORAGGIO

Nel seguente capitolo verrà trattata la parte inerente al monitoraggio delle seguenti opere:

- berlinese di testata di micropali con tiranti
- pali tipo “D1”

Il piano di monitoraggio è stato realizzato in modo da poter verificare sistematicamente – in corso d’opera – le previsioni di progetto e modificare, qualora necessario, le modalità di scavo/sostegni da porre in opera, per rispettare i limiti individuati in fase di progettazione, relativamente a:

- spostamenti delle opere di sostegno provvisionali;
- controllo dello stato di sforzo agente nei tiranti di ancoraggio;
- controllo del livello di falda durante l’esecuzione delle opere.

Nel seguito saranno descritti i sistemi di monitoraggio che dovranno essere predisposti per seguire l’evoluzione del quadro tensio-deformativo nelle opere di sostegno provvisionali durante l’avanzamento delle attività di costruzione delle opere in oggetto; in particolare le operazioni di controllo saranno attive fino alla conclusione dei lavori e/o all’osservata stabilizzazione delle grandezze monitorate. per il controllo della strumentazione ed il rilievo dei dati, saranno fornite le indicazioni in merito alla frequenza di lettura; tutte le informazioni raccolte verranno elaborate e confrontate con le soglie di allarme ed attenzione indicate per intervenire, in caso di superamento delle stesse, con azioni correttive.

18.1 Schema di monitoraggio

In sintesi, il sistema di monitoraggio delle opere di sostegno prevede l’utilizzo della seguente strumentazione la cui posizione e quantità è visualizzata nell’elaborato “PE-IMB-OSD-GE-010-MO”:

- Mire ottiche: sulla berlinese di micropali tirantata e sulla paratia di pali “D1” saranno posizionate le mire ottiche di precisione per la misura degli spostamenti orizzontali, poste a differenti altezze dalla sommità delle opere, come illustrato nelle sezioni tipo di monitoraggio. Le letture degli spostamenti saranno eseguite periodicamente con le frequenze specificate nel seguito, con apposita stazione totale;
- Strain gauges e celle di carico toroidali: i puntoni di contrasto della paratia di pali “D1” saranno dotati di un sistema di controllo delle deformazioni mediante “strain gauges”, mentre i tiranti attivi di ancoraggio della berlinese di sostegno provvisionale saranno dotati di celle di carico toroidali per il controllo tensionale e deformativo degli stessi. Tutta la strumentazione sarà leggibile periodicamente attraverso data logger portatile; in alternativa potrà essere prevista la connessione ad apposita centralina di acquisizione dei dati dotata di una connessione wireless 4G così da poter trasmettere i dati acquisiti in remoto su apposita piattaforma Web;
- Tubi inclinometrici fissi: a tergo della berlinese di sostegno tirantata si prevede l’installazione di n°2 tubi inclinometrici fissi per la misura degli spostamenti dell’opera di sostegno e del versante a profondità elevate;
- Piezometro a tubo aperto: per la misura del livello della falda in fase di realizzazione delle opere, attrezzato con trasduttore di pressione piezo-resistivo per la misura in continuo dei livelli di falda. Pertanto, sarà dotato di una centralina di acquisizione dei dati campionati con frequenza minima di 1 gg e dotato di una connessione wireless 4G così da poter trasmettere i dati acquisiti in remoto su apposita piattaforma Web.

I dettagli relativi alle caratteristiche tecniche della strumentazione da installare sono definiti nel successivo §18.2.

18.1.1 Frequenza delle letture

- Installazione:
 - le mire ottiche sulle opere di sostegno dovranno essere posizionate dopo la relativa realizzazione o infissione sulla sommità del cordolo di testa dove possibile.
 - le celle di carico verranno installate al momento del posizionamento dei tiranti attivi di ancoraggio;
 - i tubi inclinometrici dovranno essere realizzati dopo l'infissione dei micropali e sul versante prima dell'inizio delle attività di scavo;
 - Il piezometro a tubo aperto dovrà essere realizzato dopo l'infissione dei micropali prima dell'inizio delle attività di scavo.

Per quanto riguarda le tempistiche e le fasi di installazione della strumentazione sulle strutture/infrastrutture sensibili al procedere dei lavori in funzione delle differenti fasi di cantierizzazione, per scavi di profondità inferiore a 2 m non è prevista l'attivazione della strumentazione di monitoraggio, laddove indicata negli elaborati di progetto.

- Letture di 0: immediata.
- Frequenza di lettura delle mire ottiche, degli inclinometri e delle celle di carico durante lo scavo:
 - 1 lettura ogni due metri di abbassamento del piano di lavoro.
- Dopo il completamento dello scavo
 - 1 lettura mensile (da diradare nel caso in cui non si notino ulteriori evoluzioni del quadro deformativo delle strutture in interferenza) fino a quando la strumentazione risulterà accessibile/visibile.

Il programma sopra indicato potrà naturalmente essere rimodulato/intensificato in funzione delle letture effettivamente registrate in sito e dalla sequenza delle fasi operative realizzata in cantiere, in accordo con il progettista delle opere strutturali.

18.1.2 Valori di soglia e gestione dei dati

Si riportano nella seguente tabella le soglie di attenzione e allarme di riferimento per il monitoraggio delle opere di sostegno e degli scavi da realizzarsi in corrispondenza dell'imbocco lato Idro della galleria di derivazione.

| VALORI SOGLIA MONITORAGGIO OPERE DI SOSTEGNO | | | | |
|--|---------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| STRUMENTO | PARAMETRO | PRECISIONE e U.M. | VALORI DI SOGLIA | |
| | | | ATTENZIONE | ALLARME |
| Mire ottiche | Spostamenti orizzontali paratie | 0.5 mm | 15 mm | 25 mm |
| Inclinometri | Spostamento orizzontale | ± 0.050 mm x 500 mm | 25 mm* | 50 mm* |
| Celle di carico su tiranti attivi | Carico assiale | 1% fondo sala | N_{max} Esercizio | $1.2 \times N_{max}$ Esercizio |

*Nota 1: al raggiungimento delle soglie di allarme inclinometriche, in caso si abbia evidenza di instabilità nel resto della strumentazione installata sulle opere di sostegno, le attività in corso saranno sospese, qualora necessario, per dare la possibilità di predisporre le contromisure necessarie ad arrestare/mitigare i fenomeni deformativi in atto.

Valori attesi

Se i valori misurati sono inferiori alle soglie di attenzione, le operazioni di scavo procedono normalmente e la frequenza dei rilievi non viene variata.

Valori di attenzione:

Qualora sia evidente un incremento sistematico degli spostamenti al procedere dello scavo, la frequenza delle misure dovrà essere aumentata e dovranno essere indicati eventuali accorgimenti tecnici per arrestare tale tendenza in funzione dei fenomeni in atto; la direzione lavori sarà informata del superamento delle soglie e delle eventuali azioni correttive studiate.

Le soglie di attenzione sono state fissate al raggiungimento di un valore prossimo al 70% dei valori massimi attesi determinati a partire dalla analisi numeriche effettuate sulle sezioni tipo di scavo per le condizioni più critiche, ciò al fine di attivare le necessarie misure di rafforzamento dei controlli e studio delle cause del problema osservato, nonché delle possibili contromisure da introdurre per arrestare l'evoluzione dei fenomeni osservati.

Valori di allarme:

La direzione lavori dovrà essere tempestivamente informata del superamento della soglia di allarme. Le operazioni di cantiere potranno essere interrotte in funzione delle indicazioni dei rilievi strumentali effettuati nella fase di raggiungimento delle condizioni di allarme (trend in crescita evidente, segnali di incipienti danni quali fessure/forti vibrazioni avvertite/movimenti registrati da altra strumentazione installata). Se il quadro tensionale/deformativo dovesse richiederlo, saranno posti in atto i provvedimenti e le contromisure studiate per arrestare l'evoluzione dei fenomeni in atto e i periodi di misurazione dovranno essere prolungati secondo le esigenze.

Le soglie di allarme sono state fissate al raggiungimento di un valore prossimo al 120% dei valori massimi attesi per le condizioni di esercizio analizzate; durante la fase di monitoraggio tra la soglia di attenzione e la soglia di allarme dovrà essere attivata la fase di "azione" volta ad una stabilizzazione del trend o al rientro nella norma. Se necessario durante la fase di "azione" prima del raggiungimento della soglia di allarme i lavori potranno essere

interrotti in funzione dei dati e delle evidenze acquisite per il tempo sufficiente a studiare il quadro deformativo/tensionale evidenziato dall'intera strumentazione installata, studiare e mettere in opera le necessarie contromisure.

18.2 Caratteristiche tecniche strumentazione di monitoraggio

18.2.1 Mire ottiche per la misura degli spostamenti

Il riscontro topografico da utilizzare per il controllo degli spostamenti è costituito da una barra metallica ad aderenza migliorata di diametro minimo e lunghezza idonee (al sito di indagine) per ancorarsi in perforazioni mediante resine bicomponenti oppure da saldare direttamente alle travi di ripartizione metallica (ove previste). La barra di ancoraggio sarà dotata di piastrina metallica che alloggerà il target di misura ad alta rifrangenza.

Le misure si effettueranno manualmente da una unità topografica tramite stazione totale di precisione, con grado di accuratezza pari a $\pm 0.5\text{mm}$.

18.2.2 Strain gauges

Le barrette estensimetriche con sensore a corda vibrante ed uscita in frequenza (Hz) dotate di termistore per il rilievo della temperatura, sono costituite da un corpo tubolare in acciaio inox della lunghezza di 150 mm, provviste di blocchetti a saldare per garantire il migliore ancoraggio all'elemento strutturale di controllo.

Con la posa in opera delle barrette estensimetriche sarà possibile controllare in fase di esercizio la risposta deformativa lungo la direzione di allungamento dello strumento di misura.

Il range di lavoro delle barrette estensimetriche è pari a $3000\ \mu\epsilon$, ($\pm 1500\ \mu\epsilon$). La precisione di misura è minore del 2.0% del fondo scala. Le misure saranno eseguite da tecnico specializzato con idonea centralina di misura portatile.

Caratteristiche dei sensori:

- Tipo di sensore strain gauge a corda vibrante dotato di termistore
- Range $\pm 1500\ \mu\epsilon$
- Tipo di segnale frequenza Hz
- Risoluzione $1\ \mu\epsilon$
- Precisione totale $< 2.0\%$ del fondo scala
- Campo di temperatura $-20 / +80\ ^\circ\text{C}$

18.2.3 Celle di carico per tiranti

Le celle di carico toroidali di tipo elettrico vengono utilizzate per determinare le forze applicate dai tiranti. Le celle di carico elettriche sono costituite da un corpo in acciaio di forma toroidale sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo che garantiscono una bassa sensibilità ai carichi eccentrici. La cella viene installata tra una piastra di distribuzione del carico ed una piastra supplementare in acciaio (se non è possibile predisporre una superficie piana).

Caratteristiche delle celle di carico per tiranti:

- Tipo di sensore: elettrico
- Range 300-2500 kN
- Tipo di segnale mA (4-20)

- Precisione totale < 0.5% del fondo scala
- Campo di temperatura -20 / +70 °C

18.2.4 Tubi inclinometrici fissi

In corrispondenza dei punti indicati in progetto saranno installati tubi inclinometrici fissi per la profilazione del foro per la sua lunghezza. La lunghezza del tubo sarà conforme a quanto indicato nelle sezioni di monitoraggio di progetto.

Essi sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio che alloggia il sensore inclinometrico MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), il carrello a bilanciere, ed un'asta di prolunga in fibra di carbonio. Per la profilazione, il tubo inclinometrico è attrezzato con una catena continua di inclinometri fissi che viene chiusa in superficie con un carrello terminale. Essi saranno associati ad un datalogger, con impostate soglie di attenzione e allarme, in grado di trasmettere i dati rilevati su FTP o altro database.

Caratteristiche:

- Tipo tubo: ABS
- Diametro minimo interno tubo inclinometrico: 60 mm
- Diametro esterno: 71 mm
- Risoluzione: 0.00056°
- Accuratezza: +/- 0,025% fondo scala
- Precisione di una catena di inclinometri fissi tipo BH < ± 2 mm/30 m
- Temperatura di esercizio: -30+70°C