



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico Orientale  
Porti di Trieste e Monfalcone

## PROGETTO AdSP n. 1951

*Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste*

CUP: C94E21000460001

### Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo A– intervento PNC da autorizzare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:		
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO	Responsabile dell'integrazione e Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO	Progettazione generale
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO	Progettazione generale
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.	Sistema di trazione elettrica ferroviaria
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.	Impianti speciali e segnalamenti ferroviari
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.	Progettazione strutturale oo.cc. ferrovia e strade
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.	Progettazione della sicurezza
ing. Sara Agnoletto	HMR Ambiente S.r.l.	Progettazione MISP e cassa di colmata
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.	Modellazione rumore, atmosfera, vibrazioni
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.	Studio di impatto ambientale e piano di monitoraggio ambientale
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.	Relazione di sostenibilità
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.	Progettazione degli edifici pubblici nel contesto dell'ex area "a caldo"
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.	Connessione stradale alla GVT
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi		

NOME FILE: 3STR_P_R_N-STR_2AT_002_02_02_revisione	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: <b>REL. CALCOLO STRUTTURE STRADALI</b>	ELABORATO: <b>3STR_P_R_N-STR_2AT_002_02_02</b> <b>REVISIONE</b>

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2023	Definitivo	D. Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa
01	30/06/2023	Recepimento osservazioni CSLLPP	D. Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa
02	01/02/2024	Recepimento prescrizioni VIA	D. Fedrigo	S.Dal Piva	G.Nappa



## Sommario

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>RELAZIONE ILLUSTRATIVA SUI MATERIALI</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>20</b>
5.1	CARICHI PERMANENTI VERTICALI	20
5.2	CARICHI VARIABILI VERTICALI	20
5.3	CARICHI VARIABILI ORIZZONTALI	21
5.4	ALTRI CARICHI	21
5.5	AZIONE SISMICA	21
5.6	SPINTA DELLE TERRE	22
5.6.1	<i>Incremento della spinta per azioni sismiche</i>	23
5.7	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	23
<b>6</b>	<b>ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE</b>	<b>24</b>
6.1	OPERE CD02D: MURI E PARATIA	25
6.1.1	<i>Opera CD02D-a: paratia lato monte</i>	27
6.1.2	<i>Opera CD02D-a: muro lato mare</i>	28
6.1.3	<i>Opera CD02D-b1: muro lato mare</i>	31
6.1.4	<i>Opera CD02D-b2</i>	31
6.1.5	<i>Opera CD02D-c1: muro</i>	31
6.1.6	<i>Opera CD02D-c2: muro</i>	34
6.1.7	<i>Opera CD02D-d: muro</i>	36



6.1.8	<i>Incidenza armatura</i>	38
6.2	OPERE CD02D-B2: SVINCOLO CONNESSIONE GVT	39
6.2.1	<i>Verifica dell'impalcato</i>	40
6.2.2	<i>Muri di appoggio</i>	44
6.2.3	<i>Pali di fondazione</i>	45
6.2.4	<i>Incidenza armatura</i>	48
6.3	RAMPE DI COLLEGAMENTO ALLA GVT	49
6.3.1	<i>Sezione tipo A</i>	50
6.3.2	<i>Sezione tipo A1</i>	52
6.3.3	<i>Sezione tipo B</i>	56
6.3.4	<i>Sezione tipo C</i>	58
6.3.5	<i>Sezione tipo D</i>	60
6.3.6	<i>Sezione tipo E</i>	66
6.3.7	<i>Sezione tipo F</i>	67
6.3.8	<i>Sezione tipo G/G1</i>	68
6.3.9	<i>Incidenza armatura</i>	69
6.4	CDR-01: IMPALCATO SVINCOLO SECONDARIO	69
6.4.1	<i>Impalcato CDR-01-a1</i>	70
6.4.1.1	<i>Verifica dell'impalcato</i>	71
6.4.1.2	<i>Verifica del muro centrale</i>	75
6.4.1.3	<i>Verifica del muro laterale (Nord)</i>	75
6.4.2	<i>Impalcato CDR-01-a2</i>	75
6.4.3	<i>Impalcato CDR-01-b1</i>	76
6.4.3.1	<i>Verifica dell'impalcato</i>	76
6.4.3.2	<i>Muro centrale (in mezzeria) e pali di fondazione</i>	78



6.4.3.3	<i>Pile/colonne e pali di fondazione delle pile/colonne</i>	82
6.4.4	<i>Impalcato CDR-01-b2</i>	85
6.4.5	<i>Impalcato CDR-01-c</i>	87
6.4.6	<i>Incidenza armatura</i>	89
6.5	CDR-02: RAMPA STRADALE VERSO "ARVEDI" E AREA HHLA-PLT	91
6.5.1	<i>Opera CDR-02-a: muro di sostegno ad U</i>	92
6.5.2	<i>Opera CDR-02-b: muro di sostegno</i>	93
6.5.3	<i>Incidenza armatura</i>	93
6.6	CDR-03: OPERE CDR-03-A/B RAMO STRADALE DA SVINCOLO CDR-01 A INTERNO AREA ARVEDI	94
6.6.1	<i>Impalcato CDR-03-a</i>	95
6.6.1.1	<i>Verifica dell'impalcato</i>	97
6.6.1.2	<i>Verifica della pila</i>	99
6.6.1.3	<i>Verifica dei pali di fondazione</i>	101
6.6.2	<i>Opera CDR-03-b</i>	103
6.6.3	<i>Incidenza armatura</i>	106
6.7	CDR-04: RAMPA STRADALE VERSO TERMINAL	107
6.7.1	<i>Opera CDR04-a: muro "a U"</i>	108
6.7.2	<i>Opera CDR04-b: rilevato con muri di sostegno</i>	111
6.7.3	<i>Incidenza armatura</i>	114

#### Sommario figure

Figura 1-1: planimetria dell'intervento .....	9
Figura 1-2: particolare sistema viario di progetto .....	9
Figura 4-1: planimetria delle indagini geognostiche (2022) .....	17
Figura 6-1: format di esempio per il calcolo della resistenza delle sezioni in c.a.....	24
Figura 6-2: key-plan delle tipologie di interventi CD02D. ....	26



<i>Figura 6-4: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	28
<i>Figura 6-5: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	29
<i>Figura 6-6: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.</i>	29
<i>Figura 6-7: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.</i>	30
<i>Figura 6-8: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).</i>	30
<i>Figura 6-9: sezione tipo dell'intervento in esame (in rosso il rilevato stradale CDR-04-a lato mare).</i>	31
<i>Figura 6-10: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	32
<i>Figura 6-11: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.</i>	32
<i>Figura 6-12: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.</i>	33
<i>Figura 6-13: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).</i>	33
<i>Figura 6-14: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	35
<i>Figura 6-15: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.</i>	35
<i>Figura 6-16: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.</i>	36
<i>Figura 6-17: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).</i>	36
<i>Figura 6-18: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	37
<i>Figura 6-20: sezione tipo dell'intervento in esame: trasversale.</i>	40
<i>Figura 6-21: sezione tipo dell'intervento in esame: longitudinale.</i>	40
<i>Figura 6-22: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti.</i>	41
<i>Figura 6-23: rappresentazione della sezione tipo della trave.</i>	42
<i>Figura 6-24: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente.</i>	42
<i>Figura 6-25: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU.</i>	43
<i>Figura 6-26: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.</i>	43
<i>Figura 6-27: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.</i>	44
<i>Figura 6-28: schema del palo modellato con Carl 14.</i>	47
<i>Figura 6-29: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Carl 14.</i>	47
<i>Figura 6-30: key-plan delle denominazioni dei tratti stradali di collegamento alla GVT.</i>	50
<i>Figura 6-31: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione trasversale.</i>	51
<i>Figura 6-32: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione tipo tratto immissione rampa diretta entrata Sud.</i>	51
<i>Figura 6-33: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione longitudinale rampa semidiretta uscita Sud (sez. A e B).</i>	52



Figura 6-34: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione trasversale.....	52
Figura 6-35: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione tipo.....	53
Figura 6-36: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti. ....	54
Figura 6-37: rappresentazione della sezione tipo della trave.....	54
Figura 6-38: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente. ....	54
Figura 6-39: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU. ....	55
Figura 6-40: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU. ....	55
Figura 6-41: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.....	56
Figura 6-42: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	57
Figura 6-43: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi. ....	57
Figura 6-44: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.....	57
Figura 6-45: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).....	58
Figura 6-46: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	59
Figura 6-47: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi. ....	59
Figura 6-48: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.....	59
Figura 6-49: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).....	60
Figura 6-50: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	61
Figura 6-51: involuppo dei momenti massimi SLU/SLV sulla paratia. ....	64
Figura 6-52: involuppo dei tagli massimi SLU/SLV sulla paratia. ....	64
Figura 6-53: spostamento massimo in cc SLE sulla paratia.....	65
Figura 6-54: modello nello stage 3: realizzazione del piano stradale e della soletta di impalcato. ....	66
Figura 6-55: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	67
Figura 6-56: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	68
Figura 6-57: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	69
Figura 6-58: key-plan e planimetria (sotto) delle tipologie di interventi CDR-01. ....	70
Figura 6-59: sezione tipo dell'intervento in esame. ....	71
Figura 6-60: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti. ....	72
Figura 6-61: rappresentazione della sezione tipo della trave.....	73
Figura 6-62: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente. ....	73
Figura 6-63: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU. ....	73



<i>Figura 6-64: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.</i>	74
<i>Figura 6-65: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.</i>	75
<i>Figura 6-66: sezione tipo dell'intervento in esame (riquadro in rosso l'impalcato CDR-01-a1).</i>	76
<i>Figura 6-67: schema del palo modellato con Carl 14 e sintesi dei risultati.</i>	81
<i>Figura 6-68: risultati delle sollecitazioni determinate con Carl 14.</i>	82
<i>Figura 6-69: schermata del palo modellato con Carl 14 e risultati delle analisi.</i>	85
<i>Figura 6-70: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	86
<i>Figura 6-71: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	89
<i>Figura 6-72: key-plan generale degli interventi in esame.</i>	92
<i>Figura 6-73: planimetria delle tipologie di interventi CDR-02.</i>	92
<i>Figura 6-74: planimetria delle tipologie di interventi CDR-03.</i>	95
<i>Figura 6-75: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	96
<i>Figura 6-76: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti.</i>	97
<i>Figura 6-77: rappresentazione della sezione tipo della trave.</i>	97
<i>Figura 6-78: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente.</i>	98
<i>Figura 6-79: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU.</i>	98
<i>Figura 6-80: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.</i>	98
<i>Figura 6-81: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.</i>	99
<i>Figura 6-82: format di calcolo.</i>	101
<i>Figura 6-83: schermata del palo modellato con Carl 14 e risultati delle analisi.</i>	103
<i>Figura 6-84: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	104
<i>Figura 6-85: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.</i>	105
<i>Figura 6-86: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.</i>	105
<i>Figura 6-87: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).</i>	106
<i>Figura 6-88: key-plan generale degli interventi in esame.</i>	108
<i>Figura 6-89: planimetria delle tipologie di interventi CDR-04.</i>	108
<i>Figura 6-90: sezione tipo dell'intervento in esame.</i>	109
<i>Figura 6-91: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.</i>	109
<i>Figura 6-92: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.</i>	110
<i>Figura 6-93: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).</i>	110



<i>Figura 6-94: sezione tipo dell'intervento in esame.</i> .....	112
Figura 6-95: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi. ....	112
Figura 6-96: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.....	112
Figura 6-97: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).....	113

## Sommario tabelle

Tabella 4.1-1	Tabella dei parametri geotecnici dei terreni assunti nei calcoli.	18
Tabella 4.1-2	Tabella dei parametri geotecnici del terreno di riempimento dei rilevati assunti nei calcoli.	19



## **1 GENERALITÀ**

La presente relazione riguarda i lavori per la realizzazione della nuova stazione ferroviaria di Servola, inquadrati all'interno del progetto di fattibilità tecnico economica per i "Lavori per l'estensione delle infrastrutture comuni per lo Sviluppo del Punto Franco Nuovo", da realizzarsi in comune di Trieste.

Il presente PFTE oggetto di autorizzazione, secondo procedura speciale ex art. 44 D.Lgs. 77.2021, relativo ai seguenti ambiti inseriti nel fascicolo A:

1. MISP,
2. Stazione ferroviaria commerciale Nuova Servola, Connessione alla GVT e altre opere viarie,
3. Edifici pubblici funzionali al Porto di Trieste,

è parte di un più ampio contesto che prevede opere progettuali anche per i seguenti ulteriori ambiti non oggetto di autorizzazione inseriti nel fascicolo B:

1. Cassa di Colmata,
2. Molo VIII,
3. Rampa Arvedi,
4. Opere ferroviarie su asset RFI.

Nel presente elaborato sono trattate anche queste ultime per contestualizzare le opere PNC nello sviluppo complessivo ed unitario del Punto Franco Nuovo all'interno del Sistema Portuale.

Oggetto del presente elaborato sono le sole opere civili necessarie alla realizzazione dell'infrastruttura stradale per la connessione con la Grande Viabilità Triestina (di seguito, per semplicità, indicata con l'acronimo GVT).

Il sistema viabile necessario per collegare le aree portuali con l'importante asse viario locale si sviluppa nella zona centrale rispetto l'intera area di intervento, andando ad interessare sia la zona subito a Nord della nuova stazione di Servola, che quella a Sud.

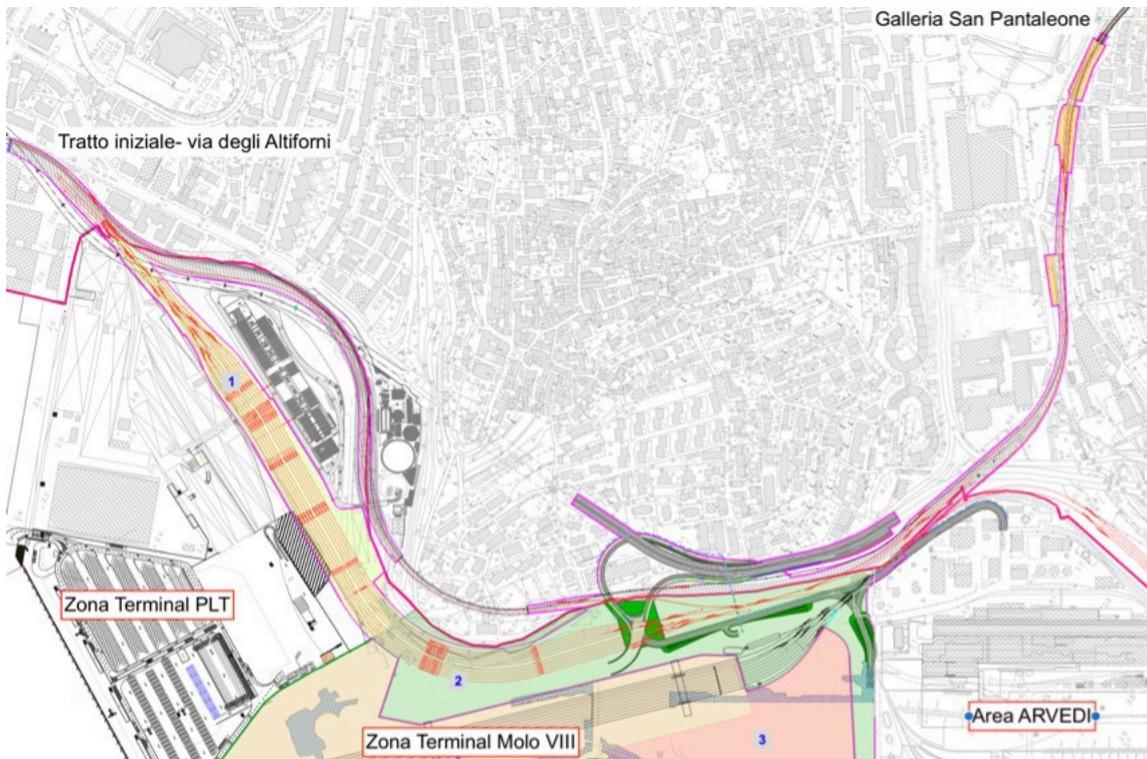


Figura 1-1: planimetria dell'intervento

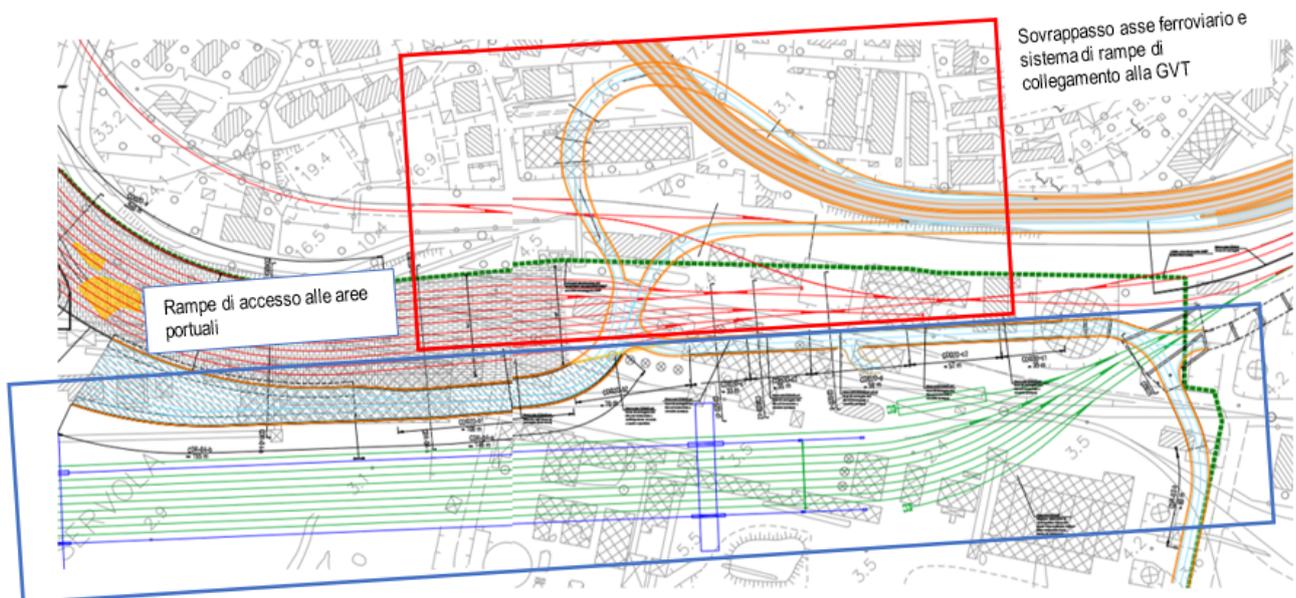


Figura 1-2: particolare sistema viario di progetto



Il collegamento alla GVT (riquadro rosso nella figura precedente) avviene per tramite di 2 rampe indipendenti che si staccano dall'asse viario principale e convergono poi su un impalcato posto a cavallo del fascio di binari. Complessivamente si tratta di un insieme di cavalcavia, di varia dimensione ed orientamento, realizzati con impalcati ottenuti affiancando travi prefabbricate precomprese con soletta collaborante in c.a.; questi vanno in appoggio su muri continui fondati su pali, al fin di poter limitare gli interventi di scavo e gli ingombri delle opere strutturali nella zona interessata dal fascio ferroviario. Le porzioni di svincolo poste a Nord sono impostate anche su rilevati o trincee, delimitate da muri di sostegno in c.a. che seguono l'andamento planimetrico di ogni singola rampa.

Le rampe poste nella zona Sud (interna all'area portuale, riquadro blu nella figura precedente) sono in generale ottenute mediante rilevati contenuti tra muri di sostegno, la cui sommità sarà variabile in funzione del profilo stradale della rampa stessa. In corrispondenza dello svincolo per l'accesso all'area Arvedi l'asse stradale interseca l'asse dei binari diretti verso il Terminal del Molo VIII: per risolvere l'interferenza la strada si rialza e scavalca il corpo ferroviario con un cavalcavia costituito da muri (ortogonali in genere all'asse stradale) su pali e una serie di impalcati ricavati affiancando travi prefabbricate in c.a.p. con soletta collaborante in c.a..

Si riporta nei capitoli successivi una breve descrizione delle diverse sezioni strutturali considerate in progetto, nonché delle ipotesi alla base della progettazione strutturale.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione di calcolo strutture stradali</p>	<p>Pag. 11 di 115</p>
---	---	-----------------------

## **2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il progetto è svolto nell'ambito della normativa tecnica vigente e relativa Circolare esplicativa, che raccoglie in un unico testo organico le norme prima distribuite in diversi decreti ministeriali:

- D.M. 17 gennaio 2018 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni";

- Circolare n. 7 del 21.01.2019 - "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

Altre normative di riferimento, comunque adottate e a cui si è fatto riferimento, sono le seguenti:

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

- Legge 2 febbraio 1974 n. 64 - "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

- D.G.R. n. 485 del 6 maggio 2010

- UNI EN 206-1:2014: "Resistenza e durabilità del calcestruzzo strutturale"

- UNI EN 1991-1-1:2004: "Eurocodice 1: Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici - (aggiornamento Errata Corrige 2010)"

- UNI EN 1992-1-1:2005: "Eurocodice 2 - Progettazione di strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici - (aggiornamento Errata Corrige 2010)"

- UNI EN 1997-1:2005: "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali"

- CNR\_DT 207/2018 - "Istruzioni per la valutazione degli effetti del vento sulle costruzioni"

Altri documenti di riferimento:

- Manuale di progettazione RFI e relativi allegati;

- Relazione di calcolo delle opere ferroviarie 2FER\_P\_R\_N-STR\_2AT\_002\_02\_02;



### **3 RELAZIONE ILLUSTRATIVA SUI MATERIALI**

Si elencano le caratteristiche generali dei materiali impiegati.

#### **Calcestruzzo per le opere di fondazione:**

$R_{ck} \geq 45 \text{ MPa}$  (C35/45)

confezionato secondo le caratteristiche della classe di esposizione XS3 come definite dalla Norma EN 206-1 UNI 11104/04, con classe di consistenza S4 o S5. Copriferro minimo 80 mm.

#### **Calcestruzzo per le opere in elevazione gettate in opera:**

$R_{ck} \geq 40 \text{ MPa}$  (C32/40)

confezionato secondo le caratteristiche della classe di esposizione XS1 come definite dalla Norma EN 206-1 UNI 11104/04, con classe di consistenza S4 o S5. Copriferro minimo 45 mm.

#### **Calcestruzzo per le travi precomprese (in c.a.p.):**

$R_{ck} \geq 55 \text{ MPa}$  (C45/55)

confezionato secondo le caratteristiche della classe di esposizione XS1 come definite dalla Norma EN 206-1 UNI 11104/04, con classe di consistenza S4 o S5. Copriferro minimo 40 mm.

#### **Miscela cementizia per iniezioni di micropali:**

$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$  (C25/30)

La miscela sarà confezionata secondo le caratteristiche della **classe di esposizione XS3**, così come definita dalla Norma UNI EN 206/14 e UNI 11104/16. La miscela sarà in ogni caso additivata con antiritiro accelerante, tipo "Flowcable" o similare.

#### **Acciaio per le opere in c.a.:**

Per le armature in barra si impiega un acciaio ad aderenza migliorata del tipo: B450 C, controllato in stabilimento.

#### **Acciaio da carpenteria, piastrame e armatura micropali:**

Si impiega un acciaio tipo: S355 J0, conforme a quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018 al p.to 4.2.1.1, zincato e verniciato con vernici idonee all'ambiente costiero. La classe di esecuzione delle strutture in carpenteria metallica è EXC4.

#### **Acciaio per barre filettate e bulloni (collegamenti)**

Le barre filettate e i bulloni di serraggio utilizzati per i collegamenti tra elementi metallici hanno le seguenti caratteristiche minime di resistenza:



classe 8.8 per elementi principali

$f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$

$f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$

**Tutte le saldature dovranno essere** eseguite come previsto dal D.M. 17.01.2018 ai p.ti 4.2.1.2, 4.2.8.2 ed 11.3.4.5, mentre le bullonature dovranno essere conformi a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018, dalle UNI 3740 e 20898 parte I e II, di classe minima 8.8.



#### **4 RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI**

Per la relazione geotecnica e sulle fondazioni, si rimanda al relativo elaborato specialistico; si riporta, per maggiore chiarezza espositiva, un breve riepilogo delle caratteristiche dei terreni impiegate nella presente relazione.

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un substrato litoide afferente alla Formazione del Flysch triestino la cui parte superiore si presenta alterata e degradata fino a perdere la propria struttura litoide. La formazione è un'alternanza di rocce clastiche originatesi in ambiente di sedimentazione marino e caratterizzate da due tipi litologici principali, marne e arenarie, a caratteristiche petrografiche e fisiche notevolmente diverse (Onofri R., 1982).

Le arenarie sono prevalentemente delle calcareniti, caratterizzate da una matrice carbonatica con frazione detritica costituita per lo più da granuli di calcite, quarzo, altri silicati e resti di microfossili. Sono rocce molto dure, compatte e rigide, il cui singolo provino di materiale è dotato di altissima resistenza meccanica. Le arenarie sono in genere nettamente stratificate con singoli strati di potenza variabile da centimetrica a pluri-decimetrica.

Le marne hanno composizione mineralogica simile alle arenarie ma si differenziano per una maggiore percentuale di carbonati a scapito degli altri componenti mineralogici, oltre alla ricchezza di resti organici. Le marne, sovente fratturate nel tipico assetto "a cubetti", subiscono facilmente una sorta di desquamazione in piccole scaglie, specialmente nei casi in cui la roccia è stata oggetto di intense deformazioni ad opera di stress tettonici.

I processi di degradazione delle porzioni superficiali del Flysch determinano una completa alterazione, disgregazione e disarticolazione della massa rocciosa, che diviene un terreno costituito da una matrice limosa-sabbiosa-argillosa inglobante corpi detritici di arenaria e, in percentuale minore, di scaglie di marna, identificato come complesso C1 (Onofri R., 1982).

Tali depositi, definiti come argille limoso-sabbiose talora ghiaiose, segnano il passaggio tra il basamento roccioso e i sovrastanti depositi fini marini, con spessori localmente molto variabili anche in aree poco estese. Il Flysch nei termini più superficiali presenta una fascia di alterazione che pur mantenendo la struttura lapidea si presenta parzialmente degradato e disarticolato. In genere, i litotipi marnosi ed arenacei assumono colorazioni giallo-ocracee. Lo spessore di questo livello, usualmente definito Flysch alterato, è molto variabile con potenze medie comprese tra 0.5 e 3.0 m, anche se si possono rivenire spessori maggiori.

Si riportano i cinque tipi principali di Flysch sulla base delle variazioni percentuali delle marne rispetto alle arenarie (Onofri R., 1982):

- Tipo T1 - Costituito prevalentemente da arenaria (in genere strati di spessore superiore a 30 cm) con interstratificati pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. La stratificazione è distinta e lo spessore del singolo strato è notevolmente costante.
- Tipo T2 - Costituito prevalentemente da arenaria (in genere strati di spessore inferiore a 30 cm) con interstratificati poco frequenti pacchetti di lamine di marna



dello spessore globale di ordine centimetrico. La stratificazione è distinta e lo spessore del singolo strato è notevolmente costante.

- Tipo T3 – Costituito da circa il 50% da arenaria e circa il 50% da marna (spessori degli strati di arenaria e dei pacchetti di lamine di marna variabili generalmente da 1 cm a circa 20 cm). La stratificazione è distinta e lo spessore del singolo strato è notevolmente costante.
- Tipo T4 – Costituito prevalentemente da marna i cui pacchetti possono avere uno spessore variabile da circa 10 cm a circa 50 cm; interstratificati rari strati di arenaria con spessore generalmente compreso tra circa 10 cm e circa 50 cm. La stratificazione è abbastanza distinta e lo spessore del singolo pacchetto, o strato, è piuttosto costante.
- Tipo T4 – Costituito prevalentemente da arenarie a buona consistenza litoide ma che ha subito notevoli processi deformativi (spessore degli strati non superiore a 10 cm circa). La stratificazione è talora poco distinta e con spessore poco costante.

Sovrastante il Flysch, laddove presenti, si rilevano sedimenti di origine marina, caratterizzati da argille limose o limi argillosi di colore grigio verde o grigio nero, con frazione organica e livelletti sabbiosi che spesso presentano resti conchigliari e/o torba. Si tratta di sedimenti marini e in parte continentali, caratterizzati essenzialmente da materiali fini, quali argille e limi, talora con sabbie di colore variabile dal grigio verde al grigio nero, per arrivare al marrone scuro-nero nel caso di intervalli torbosi o a composizione fortemente organica. I depositi grossolani, formati da sedimenti ghiaiosi poligenici, sono presenti principalmente lungo la costiera triestina o lungo le foci delle aste idriche che defluiscono a mare dai rilievi collinari triestini.

Sulla base delle indagini geognostiche e delle prospezioni geofisiche eseguito nel sito oggetto d'analisi, è stata riconosciuta la successione geolitologica e litostratigrafica ed identificato il modello di riferimento dell'area, come schematizzato nella "Indagini geognostiche a terra - Relazione tecnica":

#### 1. Terreni antropici di riporto

Terreni e materiali antropici di riporto, caratterizzati da ghiaia, clasti e ciottoli arenacei spigolosi, normalmente centimetrici, talora frammentati a residui lateritici e a scarti di lavorazione e di demolizione, in matrice limoso sabbiosa debolmente argillosa, di colore nocciola al marrone scuro, talora grigio.

#### 2. Complesso limoso argilloso, debolmente sabbioso

Sedimenti marini caratterizzati da termini limoso argillosi, debolmente sabbiosi, localmente torbosi, di colore variabile da grigio chiaro, a grigio scuro, a grigio verde, talora marrone, marrone-scuro o nero se in presenza di intervalli torbosi, talora con abbondante presenza di resti conchigliari; tale complesso mostra talora la presenza di strati caratterizzati da limo sabbioso argilloso, con sabbia fina.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione di calcolo strutture stradali</p>	<p>Pag. 16 di 115</p>
---	---	-----------------------

### 3. Flysch alterato marnoso arenaceo

Terreni di copertura, propri dei fenomeni di alterazione e di disgregazione dei termini più superficiale della sottostante formazione flyschoidale, caratterizzato da rari livelli arenacei centimetrici, molto alterati, di colore marrone ocraceo a grigio azzurro (Complesso C1).

### 4. Flysch integro marnoso arenaceo

Litotipo caratterizzante il basamento roccioso flyschoidale integro marnoso arenaceo fratturato e disarticolato nei suoi termini più superficiali sia a causa dei processi di degradazione fisica, chimica e biologica, sia per probabili processi meccanici propri di stress tettonici; nel complesso si riconosce l'andamento della stratificazione, con presenza di strati arenacei di potenza centimetrica o pluri-centimetrica, di colore variabile da grigio azzurro a marrone ocraceo, alternati a strati di marne di potenza centimetrica o decimetrica, finemente stratificate, con talora fessurazione "a cubetti", disarticolate (tipo T3 e T4).

### 5. Flysch integro arenaceo marnoso

Litotipo caratterizzante il basamento roccioso flyschoidale integro arenaceo marnoso con strati marnosi di colore grigio azzurro di potenza centimetrica, dal classico aspetto fogliettato, alternati a strati decimetrici o pluricentimetrici di arenaria compatti o debolmente fratturati, di colore grigio azzurro, talora con screziature giallo ocracee e rare venature calcitiche (Tipo T2).

Nell'area in esame sono state eseguite, in diversi periodi temporali, diverse e numerose campagne di indagini, associate a diversi e specifici scopi. Di seguito, per mera semplicità espositiva, si fa riferimento solo all'ultima campagna, rimandando all'elaborato "1GNR\_P\_R\_C-GEO\_1GE\_002\_02\_00 Relazione sulle indagini" per maggiori dettagli.

Le ultime indagini geognostiche (n. 15 prove) sono state eseguite a carotaggio continuo con carotiere semplice o doppio di diametro 101 mm e rivestimento metallico provvisorio del foro di diametro 127 mm, spinti sino a profondità variabili da 5 a 29.5 m dal p.c., la cui posizione e numerazione è riportata nella figura seguente; l'elaborazione dei risultati, unitamente a quelli delle prove geofisiche, ha permesso di definire un modello geotecnico del sottosuolo.

La figura seguente riporta i sondaggi eseguiti (sigla SGxxx) e le prove geofisiche (sigla Txxx).



Figura 4-1: planimetria delle indagini geognostiche (2022)

Il modello geotecnico che sintetizza l'intervento, a meno dei livelli stratigrafici che saranno variabili da zona a zona, è quello riportato nella tabella seguente.



LITOLOGIA	Peso di volume, $\gamma$ [kN/mc]	Angolo d'attrito efficace, $\varphi'$ [°]	Coesione efficace, $c'$ [kPa]	Coesione non drenata, $c_u$ [kPa]	Modulo edometrico, $M$ [MPa]	Modulo elastico efficace, $E'$ [MPa]
Rilevati di nuova realizzazione	19.0÷20.0	36	5	-		50
Materiali antropici di riporto; Terreni eluvio - colluviali	18.0	24.5÷37.5	5	-		3.0**
Limo sabbioso argilloso; Limo argilloso	18.0÷19.0	23.7÷37.1	5	30	3.7*	5.0
Flysch marnoso arenaceo alterato (complesso C1)	18.5**	31**	5**	100**	-	20**
Flysch marnoso arenaceo integro (Tipo T3/T4)	23**	22**	40**	250**	-	350**
Flysch marnoso arenaceo integro (Tipo T2)	24**	28**	150**	-	-	800**

\*: valore conservativo  
 \*\*: parametri del modello geotecnico riportato nella relazione del progetto esecutivo dei "Lavori di realizzazione della Piattaforma Logistica in area portuale compresa tra lo scalo legnami e l'ex-italsider e conseguenti opere di collegamento": "RGT0022 relazione geotecnica r02" del 15.09.2015

#### 4.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Si riporta di seguito la caratterizzazione della stratigrafia considerata nel calcolo; la potenza degli strati è variabile, in funzione della zona considerata.

I parametri geotecnici adottati sono riassunti nella tabella seguente:

Terreni	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$E$ kPa)
Terreno di riporto	18	19	0	30	5000
Limo sabbioso argilloso; Limo argilloso	18	20	5	30	15000
Flysch alterato	22	23	40	24	150000
Flysch integro	22	23	150	25	250000

Tabella 4.1-1 Tabella dei parametri geotecnici dei terreni assunti nei calcoli.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione di calcolo strutture stradali</p>	<p>Pag. 19 di 115</p>
---	---	-----------------------

Per i terreni di riempimento si considerano invece le seguenti caratteristiche minime:

Terreno	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	E kPa
Terreno di riempimento	19	20	0	34	20000

Tabella 4.1-2 Tabella dei parametri geotecnici del terreno di riempimento dei rilevati assunti nei calcoli.

## 4.2 INQUADRAMENTO SISMICO

La definizione del rischio sismico del sito secondo la normativa vigente (NTC 17.01.2018) parte dalla determinazione delle coordinate geografiche dell'area su cui sarà realizzata l'opera. Nel caso in esame le coordinate geografiche (indicative, zona centrale, via degli Alti Forni presso capannoni Scalo Legnami) espresse nel sistema di riferimento ED50 sono:

Latitudine: N 45,627680°

Longitudine: E 13,780079°

La normativa definisce i parametri dell'evento sismico di progetto da adottare per ciascuna località del territorio nazionale, come definiti nel seguito.

I parametri per la definizione dell'azione sismica sono:

Vita nominale della costruzione:  $V_N = 100$  anni

Classe d'uso della costruzione  $C_U = IV$

Categoria di suolo E

Condizione topografica T1

Per la categoria di sottosuolo è stata assunta cautelativamente la "E", rappresentativa della zona più settentrionale; nella parte più a Sud il substrato roccioso è prossimo al piano campagna, e l'amplificazione locale potrà essere ragionevolmente inferiore.

Ne consegue la seguente tabella dei periodi di ritorno dell'evento sismico di progetto associato a ciascuno stato limite.

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	120	0,065	2,547	0,266
SLD	201	0,083	2,497	0,284
SLV	1898	0,184	2,568	0,342
SLC	2475	0,201	2,573	0,347

Per ulteriori dettagli, si rimanda al relativo elaborato specialistico.



## **5 ANALISI DEI CARICHI**

La valutazione dei carichi applicati alle strutture è fondamentale per ottenere un ragionevole dimensionamento delle stesse. Tenuto conto del livello di progettazione, finalizzato alla definizione delle opere d'arte in modo che queste siano fattibili e realizzabili, sono state assunte delle semplificazioni nella definizione dei carichi, volte a uniformare il percorso progettuale senza scendere ad un livello di dettaglio proprio dei livelli progettuali successivi.

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi e delle azioni considerate per la verifica delle strutture.

### **5.1 Carichi permanenti verticali**

I carichi permanenti verticali sono valutati in funzione della geometria dei diversi elementi, tenendo conto del peso di volume dei materiali che li compongono:

- calcestruzzo armato  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- acciaio  $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$
- terreno di riempimento  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

### **5.2 Carichi variabili verticali**

I carichi variabili verticali sono valutati con riferimento alle indicazioni normative; in particolare:

- Sui rilevati l'effetto del carico ferroviario è stato assimilato ad un carico uniformemente distribuito di 50 kN/mq
- Sugli impalcati l'effetto del carico ferroviario è stato stimato e semplificato in un carico uniformemente distribuito di 50 kN/mq
- Sugli impalcati stradali l'effetto del carico stradale è stato assimilato ad un carico uniformemente distribuito di 20 kN/mq
- A ridosso delle opere che sostengono rilevati stradali si è considerato un sovraccarico variabile uniformemente distribuito di 20 kN/mq
- Nelle fasi costruttive delle opere di sostegno, va assunto un sovraccarico variabile applicato a monte delle stesse di almeno 10 kN/mq



### 5.3 Carichi variabili orizzontali

I carichi variabili orizzontali in esercizio sono valutati con riferimento alle indicazioni normative; in particolare sono state prese in considerazione le azioni date dal frenamento, dall'urto e dal vento.

### 5.4 Altri carichi

In questa fase sono stati omessi altri carichi come le azioni termiche, della neve, etc., in quanto meno gravose rispetto a quelle considerate per il dimensionamento delle opere.

### 5.5 Azione sismica

L'azione sismica è valutata in funzione della vita di riferimento (=200 anni) e del comportamento dinamico delle opere.

In particolare per le opere di sostegno rigide è stato assunto il coefficiente di riduzione  $\beta_m$  tenendo conto della possibilità (o meno) dell'opera di poter maturare spostamenti permanenti; per le opere di sostegno flessibile (paratie) i coefficienti di riduzione  $\alpha$  e  $\beta$  sono assunti come generalmente unitari. Tali parametri sono strettamente correlati alla duttilità che la struttura deve poter fornire, e assumere valore unitario implica non accettare la formazione di plasticizzazioni, nella struttura e nel terreno.

Per le strutture dei cavalcavia (fondazioni, pile/spalle e impalcato) si è assunto un fattore di comportamento unitario ( $q=1$ ), anche in questo caso privilegiando il mantenimento in campo elastico delle strutture anche sotto l'azione di sismi intensi e con alto periodo di ritorno.

#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$

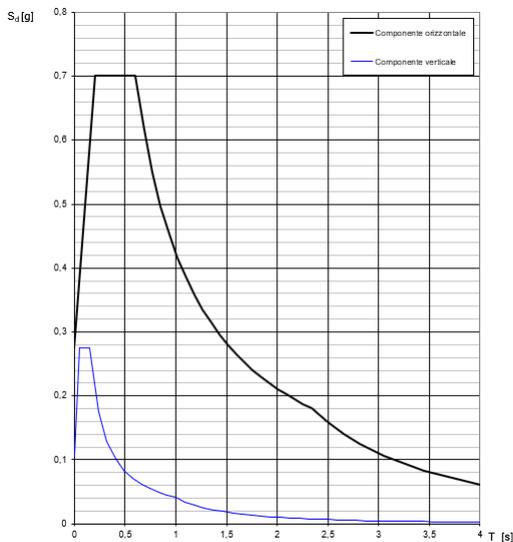
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	120	0,065	2,547	0,266
SLD	201	0,083	2,497	0,284
SLV	1898	0,184	2,568	0,342
SLC	2475	0,201	2,573	0,347

L'azione sismica è stata pertanto valutata in funzione della vita di riferimento (=200 anni) e del comportamento dinamico delle opere.

Si riportano gli spettri di progetto relativi all'opera in esame, ottenuti con i parametri sopra definiti, per  $q=1$ .



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato II SLV



## 5.6 Spinta delle terre

La spinta delle terre sui muri di sostegno è dovuta ai carichi permanenti e variabili presenti a tergo dell'opera, e si sviluppa sulla superficie delle strutture a contatto con il terreno. Le caratteristiche del terreno considerate nei calcoli sono quelle introdotte nella relazione geotecnica relativamente agli strati di terreno indicati. L'incremento di spinta con la profondità è regolato dalla nota relazione:

$$\sigma'_h = K q_0 + h \gamma K$$

in cui:

$K$  è il coefficiente di spinta del terreno, attiva o a riposo a secondo del comportamento della parete,

$\gamma$  è il peso specifico del terreno,

$h$  è la profondità rispetto il p.c.,

$q_0$  è il sovraccarico agente sul terreno.

A valle delle opere, se presente terreno, viene computata inoltre una percentuale di spinta passiva del terreno, pari al massimo al 50% della stessa; la spinta passiva viene calcolata analogamente a quanto descritto sopra:

$$\sigma'_h = 50\% h \gamma k_p$$

in cui:

$k_p$  è il coefficiente di spinta passiva,



$\gamma$  è il peso specifico del terreno,

$h$  è la profondità rispetto il p.c..

### 5.6.1 Incremento della spinta per azioni sismiche

Le azioni sismiche sulle strutture di sostegno di progetto sono valutate conformemente a quanto previsto dal punto 3.2.3. e 7.11 del Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 - "Nuove norme tecniche per le costruzioni". In particolare, per il caso specifico in esame, si utilizza l'analisi "pseudo-statica" definita nelle Norme citate.

Il calcolo dell'azione sismica è condotto conformemente a quanto indicato al punto 7.11.6.2 e 7.11.6.3, considerando una componente orizzontale dell'accelerazione equivalente costante di:

$$a_{\max} = S_s S_T a_g$$

da cui (dati riferiti a stato limite di salvaguardia della vita - SLV):

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

dove:

$a_g$  è l'accelerazione orizz. mediata sul reticolo di rif.to per sito di riferimento rigido,

$S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (riferito a suolo tipo "E"),

$S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica (categoria T1),

$\beta$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (se del caso).

## 5.7 Condizioni e combinazioni di carico

Le condizioni di carico elementari considerate nelle analisi (e relativi coefficienti) sono conformi alle indicazioni normative.



## 6 ANALISI E VERIFICA DELLE OPERE

Il dimensionamento e la verifica dei muri di sostegno, degli impalcati ferroviari e stradali, e di tutte le opere e relative fondazioni sono stati svolti con i seguenti programmi di calcolo:

- Max 15.0 di Aztec, versione 15.04 A, per i muri di sostegno;
- Scat 14.0 di Aztec, versione 14.02 A, per le strutture scatolari in c.a.;
- Carl 14.0 di Aztec, versione 4.02 B, per i pali di fondazione;
- Paratie PLUS 2022 di Harpaceas, per le paratie;
- SAP2000 della CSI Italia, per soletta e altre strutture generiche;

Si analizzano a seguire tutte le sezioni di calcolo e le varie tipologie di opere.

Le verifiche delle sezioni tipo, svolte a titolo esemplificativo, sono eseguite con l'ausilio di programmi di calcolo per le sezioni in c.a. (per es. VcaSlu del Prof. Gelfi, il cui esempio di format riportato a seguire) oppure tramite l'ausilio di fogli di calcolo manuale (vd. esempio per il calcolo della resistenza al taglio della sezione in c.a.). Lo stesso dicasi per la risoluzione di travi a pìù campate (p.e. "Trave con dwg" del Prof. Gelfi, etc.) o altri.

The image shows a software interface for the verification of rectangular concrete sections according to NTC 2018. It includes several input fields for material properties (B450C concrete, c32/40 steel), load data (N, M, V), and section geometry (base, height, effective depth). A table on the right provides the results of the shear verification, including the design shear force (V<sub>RD1</sub>) and the design shear resistance (V<sub>RD,ST</sub> and V<sub>RD,PIEG</sub>).

Verifica a taglio per sezioni rettangolari secondo le NTC 2018			
base	1000 mm		N. barre zona tesa
altezza	800 mm	d	750 mm
f <sub>ck</sub>	32 MPa	As	2072.4 mm <sup>2</sup>
f <sub>yd</sub>	391 MPa	θ	35 °
γ <sub>c</sub>	1.72		
γ <sub>s</sub>	1.15		
Armatura	staffe	As	0 mm <sup>2</sup>
		passo	200 mm
		n	2.0
	piegati	As	314 mm <sup>2</sup>
		alfa	45 °
		passo	600 mm
		n	2.5
		d, pieg	520 mm
Carico assiale	N=		0 kN
Resistenza SENZA armatura a taglio	V <sub>RD1</sub>		282 kN
Resistenza CON armatura a taglio			
	V <sub>RD,ST</sub>		0 kN
	V <sub>RD,ST</sub>		2506 kN
	V <sub>RD,PIEG</sub>		411 kN
	V <sub>RD,PIEG</sub>		4260 kN

Figura 6-1: format di esempio per il calcolo della resistenza delle sezioni in c.a..

Tutti i parametri geotecnici utilizzati per la verifica delle fondazioni e delle opere, così come i parametri sismici utilizzati, sono desunti dalle relative relazioni specialistiche.

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione di calcolo strutture stradali</p>	<p>Pag. 25 di 115</p>
---	---	-----------------------

## 6.1 Opere CD02D: muri e paratia

Si tratta dei muri e della paratia (a monte, per un solo tratto) di sostegno del rilevato ferroviario, indicativamente dalla progr. Km. +7.173,00 alla progr. km. 7.621,00 (misurate lungo il profilo denominato "PLT 1") per le opere ferroviarie CD02D-a/b1, dalla progr. km. 7.621,00 alla progr. km 7.905,00 (lungo il medesimo riferimento) per le opere prevalentemente stradali CD02D-b2/c1/c2/d, del fascio che da via degli Altiforni porta alla nuova stazione di Servola. Il fascio di binari corre a quota superiore all'attuale p.c., pertanto è prevista la realizzazione di un rilevato ferroviario di larghezza media di 60m circa, mentre a monte, per il tratto a ridosso della collina di Servola, è necessaria la realizzazione di una paratia di sostegno per poter eseguire lo scavo a valle, fino alla quota di realizzazione della ferrovia.

Sulla restante porzione il rilevato è sostenuto da muri di sostegno, quando in generale il piano ferroviario o stradale è superiore al p.c. esistente. Inoltre, alcuni tratti di muri hanno la funzione di sostegno per entrambi i rilevati (ferroviario e stradale).

Lo svincolo di collegamento alla Grande Viabilità Triestina (di seguito GVT) alle aree portuali che sovrappassa i binari invece è realizzato con un impalcato con travi prefabbricate in c.a.p., su muri fondati su pali di fondazione.

Proseguendo poi verso Sud-Est, superato lo svincolo sopraelevato della connessione alla GVT, l'opera di sostegno è di nuovo un muro, che sostiene ambo i lati un rilevato: a Nord quello ferroviario, di quota pressoché costante (bassa pendenza), mentre a Sud il rilevato stradale della rampa che scende e risale per collegare la zona "Arvedi".

Al termine del tratto/rampa "Arvedi" vi è un ulteriore svincolo secondario rispetto al precedente, a forma approssimativamente triangolare, dal quale si staccano due ulteriori rami: uno verso Sud e l'altro verso Sud-Est (svincolo per l'accesso in area Arvedi).

Si riporta a seguire un key-plan delle opere progettate:

- CD02D-a: tratto con paratia a monte e muro di sostegno a valle. Su un tratto lato mare, il muro sostiene anche il rilevato stradale;
- CD02D-b1: tratto con muro di sostegno a valle, sul tratto lato mare, che sostiene anche il rilevato stradale;
- CD02D-b2: tratto di muro su pali che sostiene l'impalcato dello svincolo di collegamento alla GVT e, allo stesso tempo, anche il rilevato ferroviario (sotto all'impalcato);
- CD02D-c1: muro di sostegno ad U del rilevato ferroviario a Nord e del rilevato stradale della rampa di connessione allo svincolo di cui sopra a Sud. La quota del rilevato stradale è maggiore di quella del rilevato ferroviario, con differenza di quota abbastanza significativa;
- CD02D-c2: muro di sostegno del rilevato ferroviario a Nord e del rilevato stradale della rampa di connessione allo svincolo di cui sopra a Sud. La quota del rilevato



stradale è maggiore di quella del rilevato ferroviario, ma la differenza di quota è contenuta;

- CD02D-d: muro di sostegno del rilevato ferroviario a Nord e del rilevato stradale della rampa di connessione allo svincolo di cui sopra a Sud. La quota del rilevato stradale è minore di quella del rilevato ferroviario, ma la differenza di quota è contenuta. Si tratta della parte centrale della rampa, che "scende" verso l'area dell'ex-Ferriera e poi risale verso un ulteriore svincolo secondario;
- CDR-01: svincolo secondario sopraelevato per l'accesso alle varie aree portuali e area "Arvedi" (esaminato a seguire).

Le opere esclusivamente "stradali", denominate nella figura con la sigla "CDR", vengono verificate nei paragrafi seguenti.

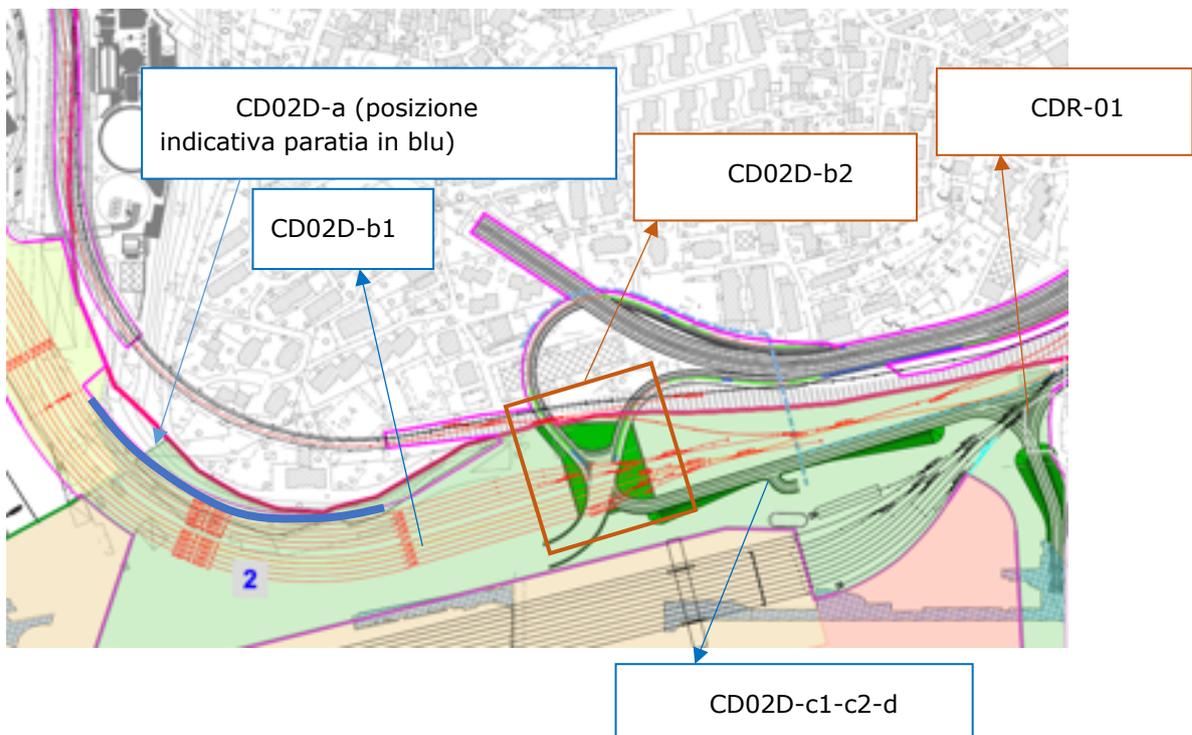
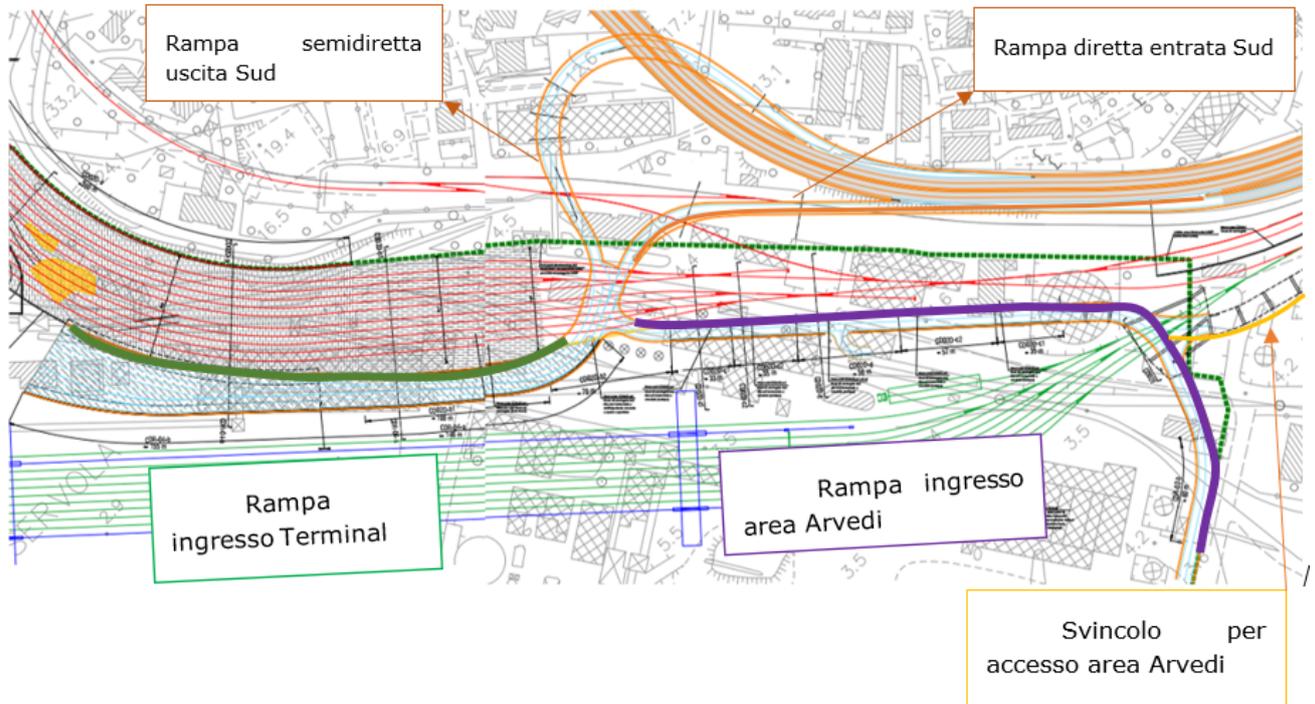


Figura 6-2: key-plan delle tipologie di interventi CD02D.

Per completezza si riporta inoltre un key-plan rappresentante la denominazione delle aree stradali.



### 6.1.1 Opera CD02D-a: paratia lato monte

Per l'opera in esame si rimanda alla specifica relazione di calcolo.

Si riporta a seguire solo la rappresentazione della geometria della sezione tipo.

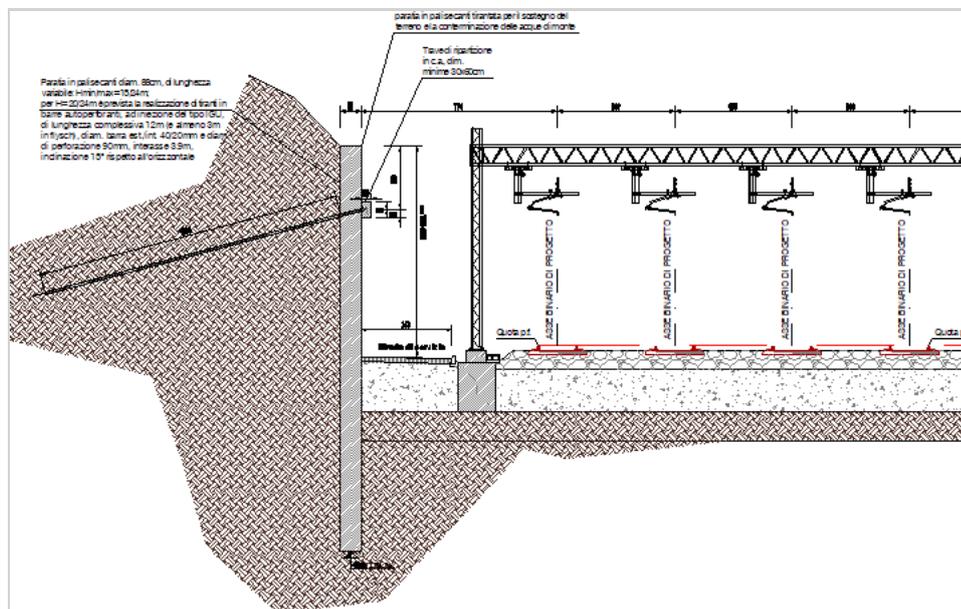


Figura 6-3: sezione tipo dell'intervento in esame.

### 6.1.2 Opera CD02D-a: muro lato mare

Si riportano le principali dimensioni geometriche dell'opera:

Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale min/max ....	2.60-3.90 m
Altezza complessiva del muro min/max .....	2.90-4.5 m
Spessore del paramento verticale .....	0.60 m
Larghezza complessiva della soletta di fondazione .....	2.50 m
Spessore della soletta di fondazione .....	0.60 m
Larghezza totale dell'opera/rilevato max .....	~ 60 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	0.30 m
Spessore del ballast.....	0.70 m

Sul tratto in adiacenza all'opera CDR-04-b, il muro in esame è "inglobato" nel muro, di dimensione maggiore, dell'opera stradale (CDR-04-b). Per la verifica di questo muro si rimanda al §6.7.2.

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

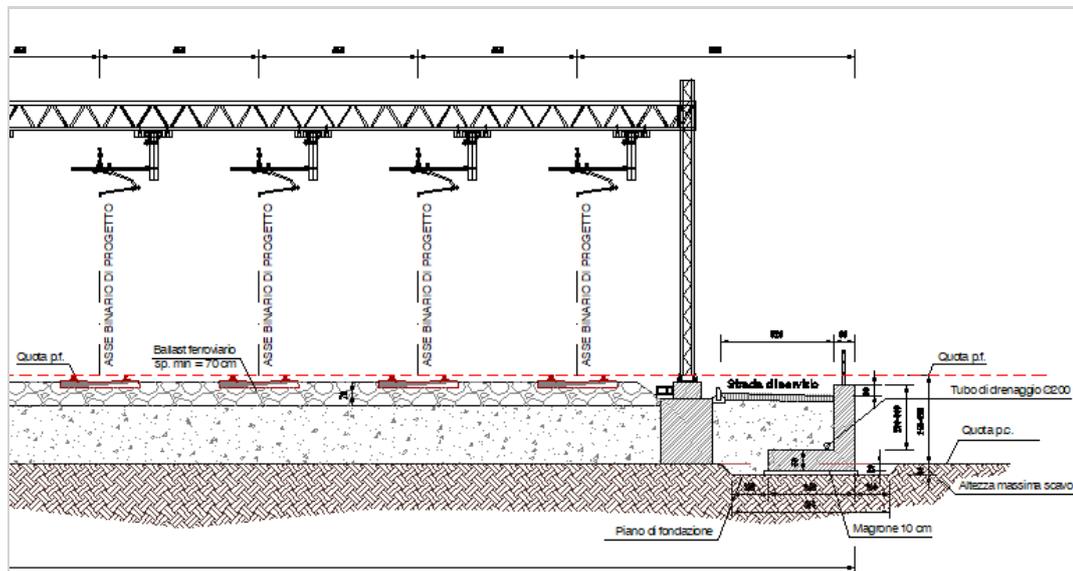


Figura 6-4: sezione tipo dell'intervento in esame.

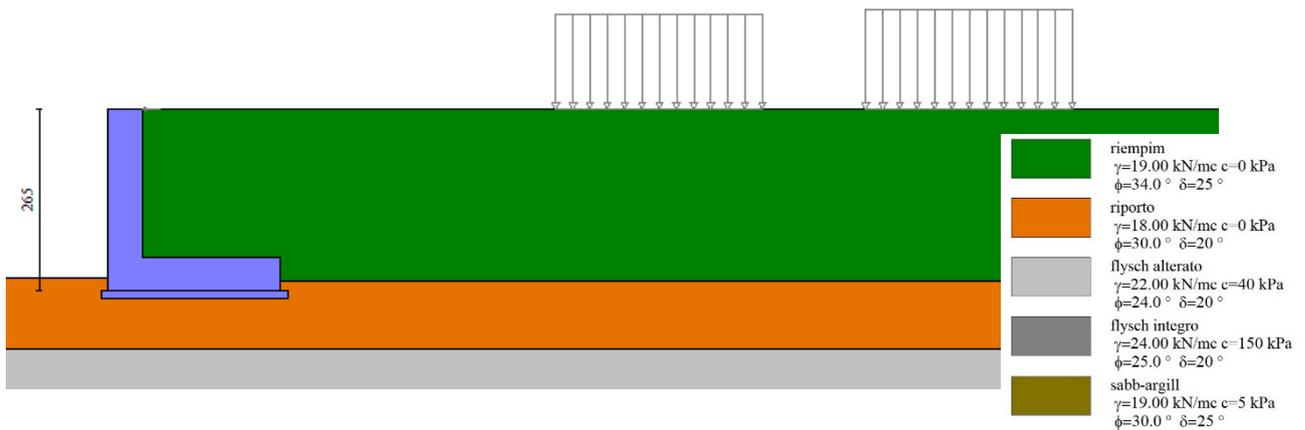


Figura 6-5: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.



Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSSco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		1.739	5.922	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.605	5.657	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.515	5.923	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		2.302	5.506	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		2.071	5.974	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		1.970	5.524	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.628	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	1.607	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	1.568	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	4.061	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	4.217	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	3.159	--	--	--

Figura 6-6: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.

Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

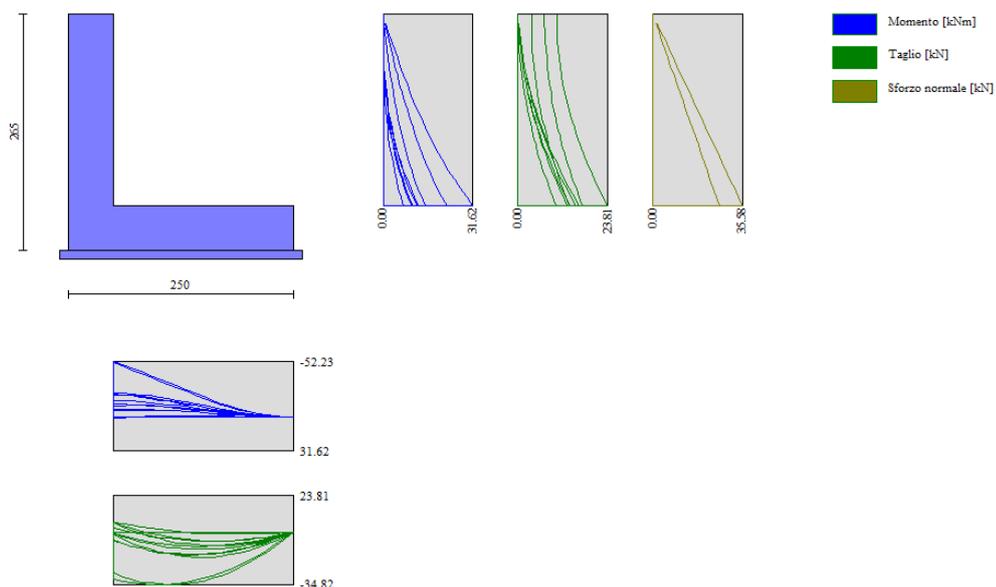


Figura 6-7: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).

### Verifica della sezione di fondazione

Sez. 100x60cm,  $\Phi 16/15$  est/int

Senza armatura resistente a taglio

$$Msd = 53 \text{ kNm/m} < Mrd = 283 \text{ kNm/m}$$



$$V_{sd} = 35 \text{ kN/m} < V_{rd} = 221 \text{ kN/m}$$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

### 6.1.3 Opera CD02D-b1: muro lato mare

Per il calcolo di questo muro si rimanda al paragrafo nel quale si riportano le verifiche dell'opera CDR-04-a (§6.7.1).

Si riporta a seguire la rappresentazione della geometria della sezione tipo.

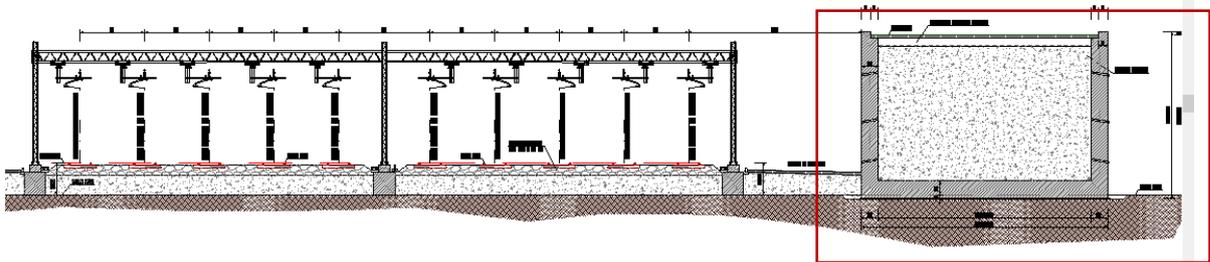


Figura 6-8: sezione tipo dell'intervento in esame (in rosso il rilevato stradale CDR-04-a lato mare).

### 6.1.4 Opera CD02D-b2

Per il calcolo di questi muri, e relative fondazioni, si rimanda al paragrafo §6.1.

### 6.1.5 Opera CD02D-c1: muro

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:

Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale min/max .... 1.30-2.00 m

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 4.50-8.20 m

Altezza complessiva del muro min/max ..... 4.90-8.60 m

Spessore del paramento verticale ..... 1.00 m

Larghezza complessiva della soletta di fondazione ..... 10.30 m

Spessore della soletta di fondazione ..... 1.00 m

Altezza massima di scavo (compreso magrone) ..... 0.50 m

Spessore del ballast lato rilevato ferroviario ..... 0.70 m



Spessore pacchetto strada lato rilevato stradale (max)..... 0.40 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

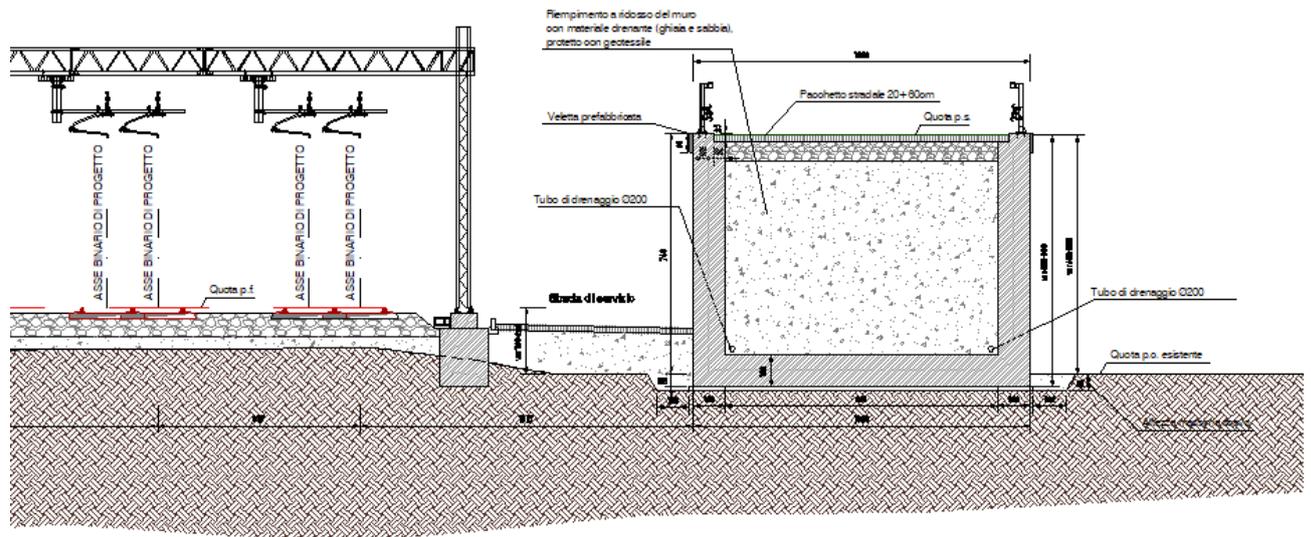


Figura 6-9: sezione tipo dell'intervento in esame.

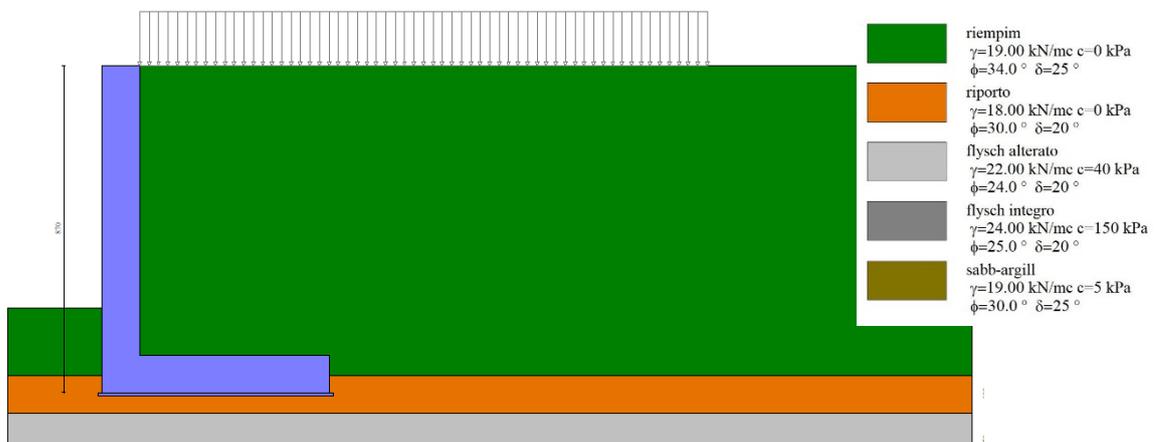


Figura 6-10: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.



Relazione di calcolo strutture stradali

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	F Ssco	F Sqlim	F Srib	F Sstab	F Shyd	F Supl
1	STR (A1-M1-R3)		1.942	6.676	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.525	5.262	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.469	5.470	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		2.416	6.140	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		2.267	6.615	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		2.091	6.238	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.966	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	2.159	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	2.150	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	5.048	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	2.766	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	2.274	--	--	--
13	ECC		1.839	5.683	2.602	2.780	--	--

Figura 6-11: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.

Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

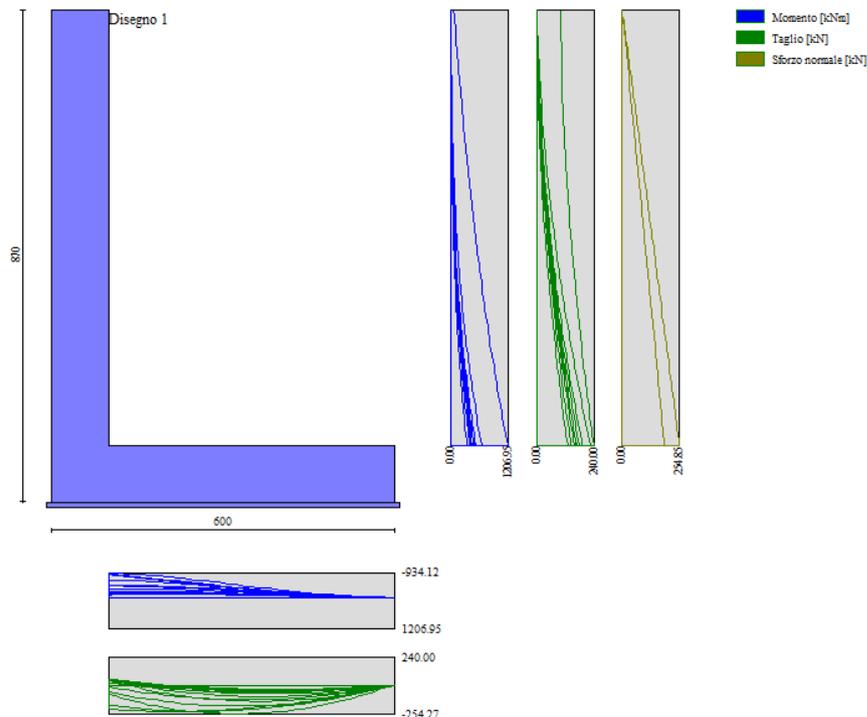


Figura 6-12: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).



### Verifica della sezione di elevazione

Sez. 100x80cm,  $\Phi 30/15$  int (lato strada),  $\Phi 20/15$  est (lato ferrovia)

Senza armatura resistente a taglio

$M_{sd} = 1207 \text{ kNm/m}$  <  $M_{rd} = 1680 \text{ kNm/m}$

$V_{sd} = 240 \text{ kN/m}$  <  $V_{rd} = 418 \text{ kN/m}$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

#### 6.1.6 *Opera CD02D-c2: muro*

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:

Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale min/max .... 1.20-2.10 m

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 0.90-4.50 m

Altezza complessiva del muro min/max ..... 2.00-5.50 m

Spessore del paramento verticale ..... 0.80 m

Larghezza complessiva della soletta di fondazione ..... 4.50 m

Larghezza soletta di fondazione lato rilevato ferroviario (o lato opposto) 1.50 m

Larghezza della soletta di fondazione lato rilevato stradale. 2.20 m

Spessore della soletta di fondazione ..... 0.80 m

Altezza massima di scavo (compreso magrone) ..... 1.10 m

Spessore del ballast lato rilevato ferroviario ..... 0.70 m

Spessore pacchetto strada lato rilevato stradale (max)..... 0.40 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

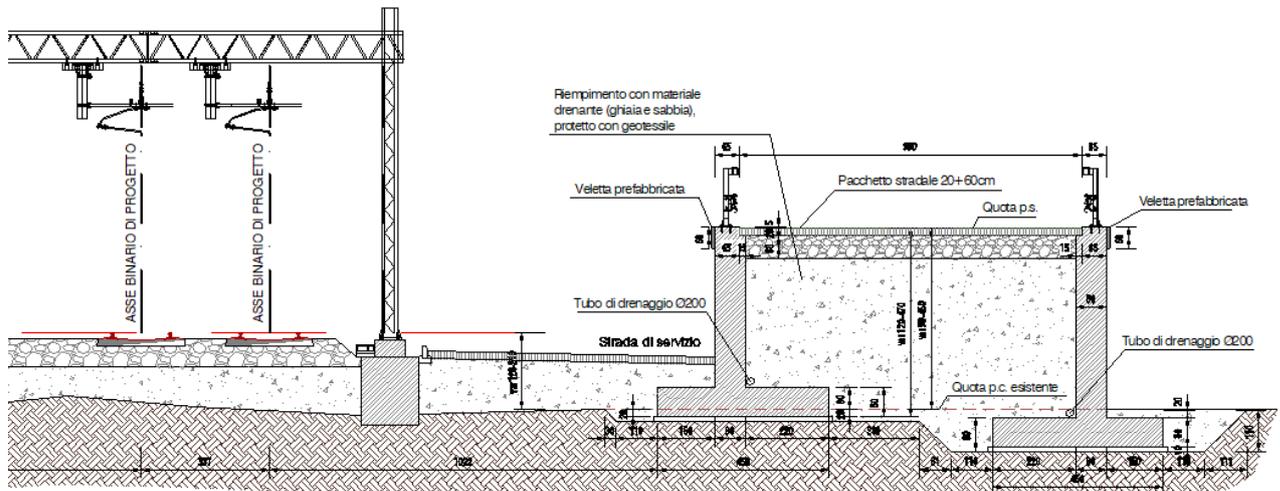


Figura 6-13: sezione tipo dell'intervento in esame.

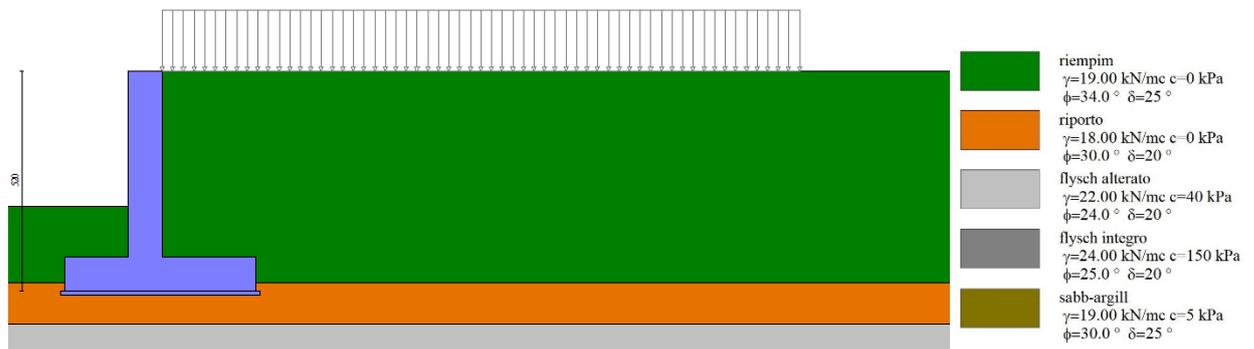


Figura 6-14: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		2.115	10.782	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.837	12.457	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.806	12.537	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		2.546	9.563	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		2.354	9.764	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		2.307	10.631	--	--	--	--
7	STR (A1-M1-R3)		1.340	4.656	--	--	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.939	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	2.252	--	--
10	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	2.187	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)		--	--	6.564	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	4.272	--	--	--
13	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	3.251	--	--	--
14	ECC		1.355	4.979	1.765	2.950	--	--



Figura 6-15: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.

Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

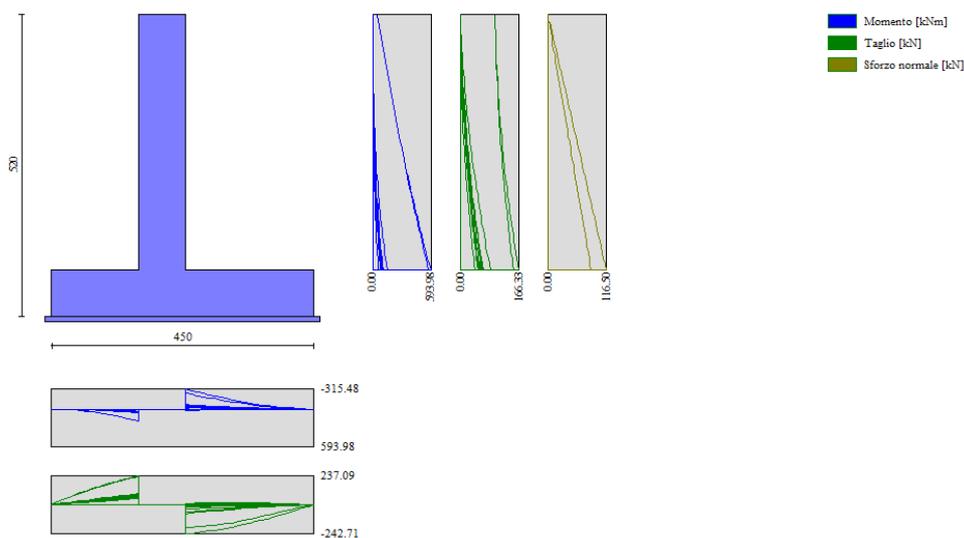


Figura 6-16: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).

#### Verifica della sezione di elevazione

Sez. 100x80cm,  $\Phi 24/15$  int (lato strada),  $\Phi 20/15$  est (lato ferrovia)

Senza armatura resistente a taglio

$$M_{sd} = 594 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 847 \text{ kNm/m}$$

$$V_{sd} = 167 \text{ kN/m} < V_{rd} = 320 \text{ kN/m}$$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

#### 6.1.7 Opera CD02D-d: muro

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:

Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale min/max .... 1.20-2.00 m



Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max ....	0.0-0.90 m
Altezza complessiva del muro min/max .....	1.50-2.50 m
Spessore del paramento verticale .....	0.65 m
Larghezza complessiva della soletta di fondazione .....	2.15 m
Larghezza soletta di fondazione lato rilevato ferroviario (o opposto)	1.50 m
Larghezza soletta di fondazione lato rilevato stradale .....	0.0 m
Spessore della soletta di fondazione .....	0.60 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	0.90 m
Spessore del ballast lato rilevato ferroviario .....	0.70 m
Spessore pacchetto strada lato rilevato stradale (max).....	0.40 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

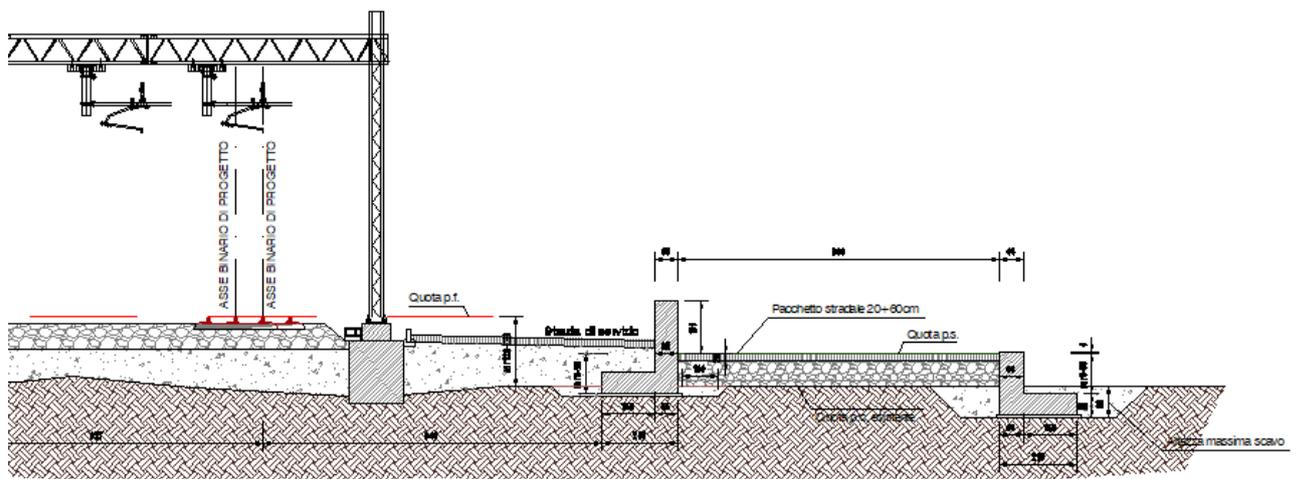


Figura 6-17: sezione tipo dell'intervento in esame.

Date le dimensioni dell'opera (altezza ridotta, massimo 2.5m altezza muro, max. 0.90m altezza rinterro, e fondazione di larghezza 2.15m, con sezioni di spessore 60-65cm, per consentire



il raccordo con le rimanenti porzioni di muro e l'installazione della barriera di sicurezza "tipo bordo ponte"), si omettono le verifiche esplicite che sono comunque soddisfatte.

#### 6.1.8 *Incidenza armatura*

L'incidenza del calcestruzzo e dell'armatura per le sezioni in esame (dimensioni medie) sono riportate a seguire.

Per la paratia CD02D-a (mediamente):

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 280$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 19$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 2200$  kg/m, ovvero 115 kg/mc

Per il muro CD02D-a:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 360$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 4.5$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 50$  kg/mc

Per i muri CD02D-b1:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 100$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 4.5$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 50$  kg/mc

Per i muri CD02D-b2 e relativi pali di fondazione, si veda il paragrafo §6.1.

Per i muri CD02D-c1:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 80$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 23.0$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 100$  kg/mc



Per i muri CD02D-c2:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 80$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 6.0$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 65$  kg/mc

Per i muri CD02D-d:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 55$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 2.5$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 60$  kg/mc

## 6.2 Opere CD02D-b2: svincolo connessione GVT

Si tratta dell'impalcato in c.a. necessario a sostenere lo svincolo per la connessione alla GVT, che sovrappassa i binari e si collega alle rampe semidirette di entrata/uscita dalla sopraelevata.

L'impalcato, di dimensione pressoché rettangolare, sostiene tutta la sede stradale dello svincolo; è realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e soletta collaborante, ha altezza complessiva di 140cm; le travi appoggiano sui muri laterali continui di spessore minimo 1.20m,

Lo schema statico in fase finale è di trave su più appoggi, mentre in fase iniziale, durante la posa delle travi prefabbricate, di trave ad unica campata su due appoggi.

Le strutture di sostegno sono muri continui, di spessore 120cm, realizzati su pali di fondazione di diametro 1000mm; i muri centrali sono fondati su un basamento in c.a. ed una fila di pali di fondazione, di interasse 1.5m, mentre i muri di estremità sono fondati su un basamento di dimensioni maggiori, fondato su due file di pali, di distanza 3.5m e sempre 1.5m di interasse.

Si riportano a seguire le rappresentazioni delle sezioni tipo dell'opera.

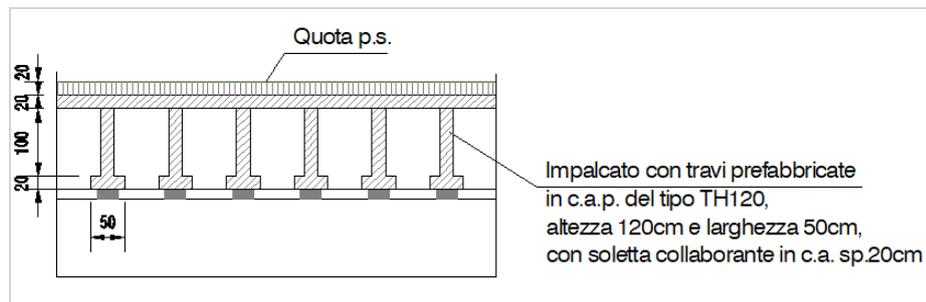


Figura 6-18: sezione tipo dell'intervento in esame: trasversale.

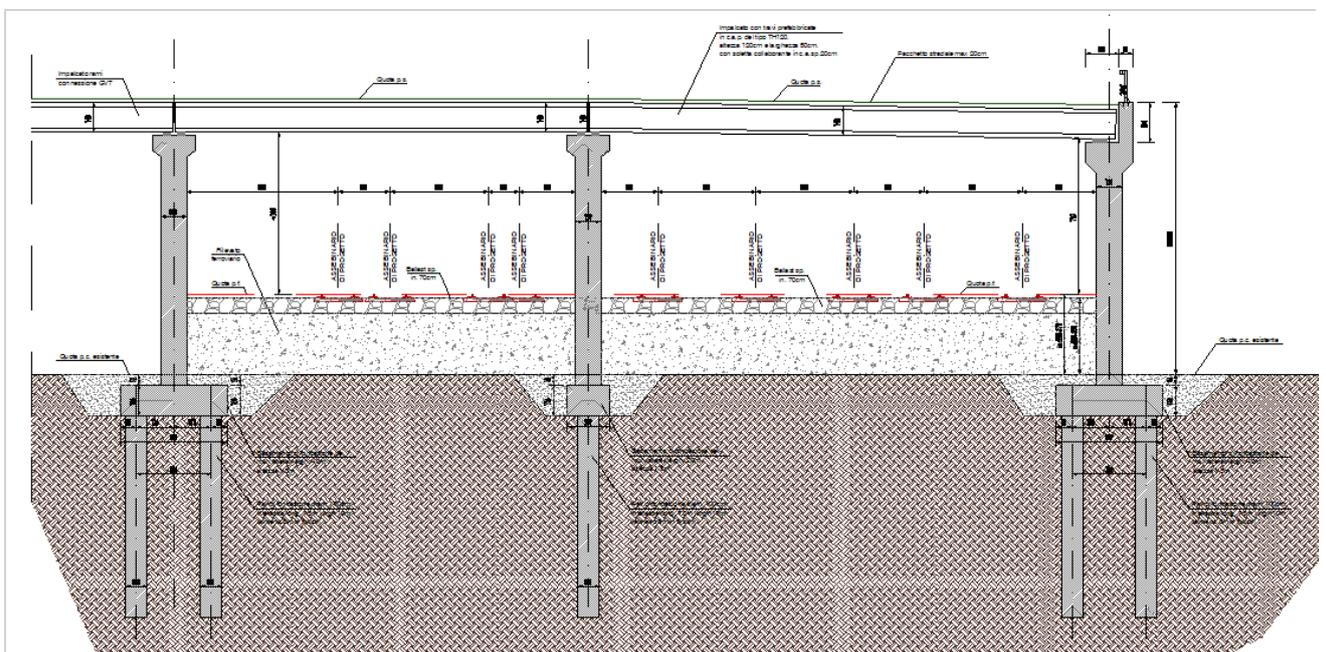


Figura 6-19: sezione tipo dell'intervento in esame: longitudinale.

### 6.2.1 Verifica dell'impalcato

Come sopra detto, l'impalcato è costituito da travi prefabbricate in c.a.p. del tipo TR120 della SigmaC o equivalente, sopra le quali viene realizzata una soletta in c.a. di spessore 20cm.

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche dell'impalcato.

Altezza totale dell'impalcato in c.a. .... 1.40 m

Spessore della soletta in c.a. .... 0.20 m

Altezza delle travi in c.a.p. .... 1.20 m

Larghezza delle travi in c.a.p. .... 0.5 m



Interasse delle travi in c.a.p. .... 1.00 m  
Larghezza min/max dell'impalcato ..... ~ 15-55 m  
Lunghezza campata min/max..... ~18-29 m  
Altezza totale della pavimentazione stradale (max)..... 0.20 m

Si riportano a seguire le verifiche delle travi e della soletta di impalcato, svolte con il programma XPonti della SIGMA C, programma per il calcolo dei ponti e delle solette di impalcato.

Si riportano a seguire la rappresentazione del modello di calcolo e le verifiche svolte.

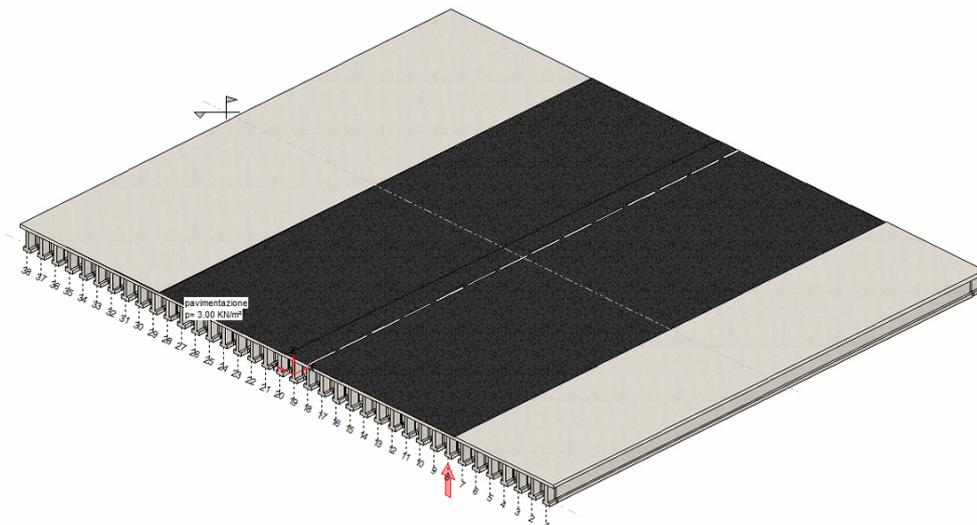


Figura 6-20: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti.

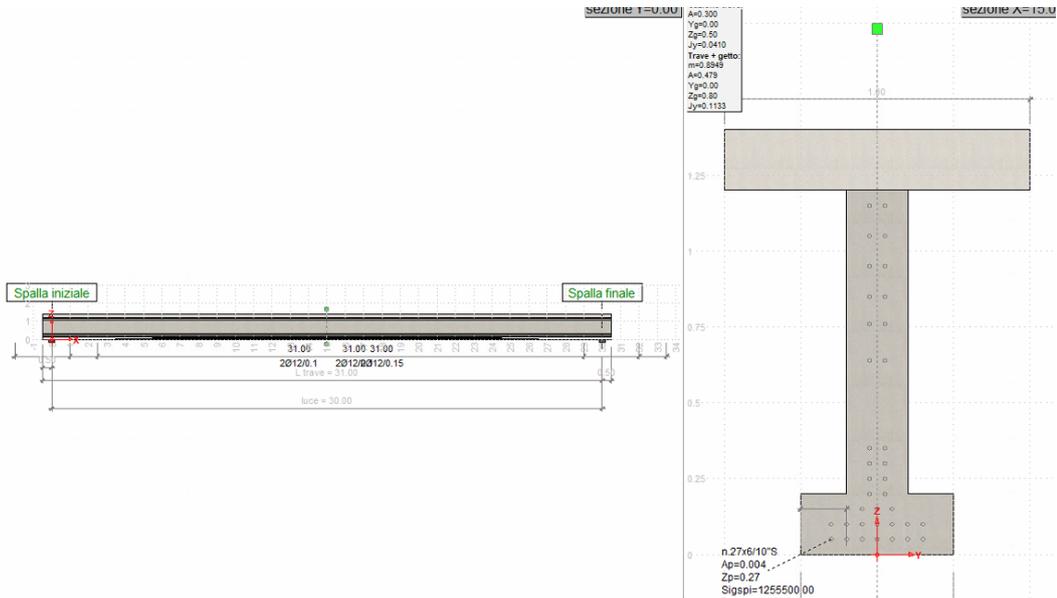


Figura 6-21: rappresentazione della sezione tipo della trave.

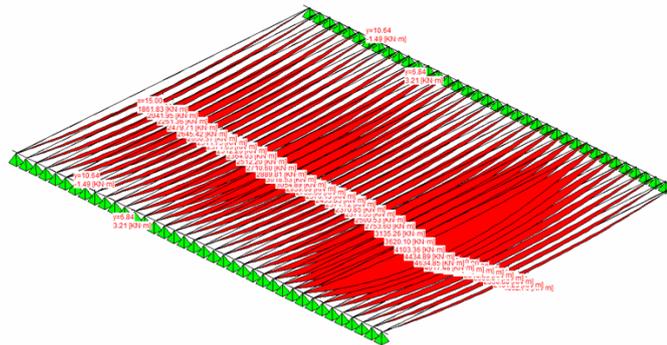


Figura 6-22: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente.

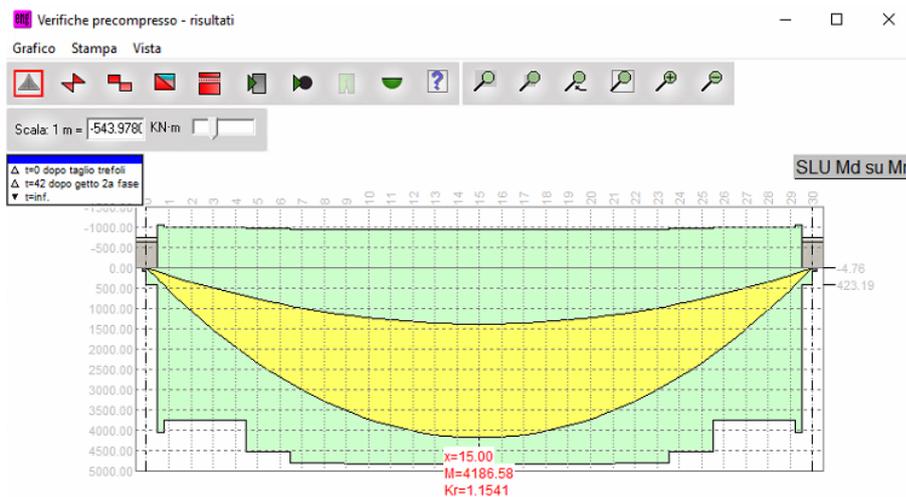




Figura 6-23: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU.

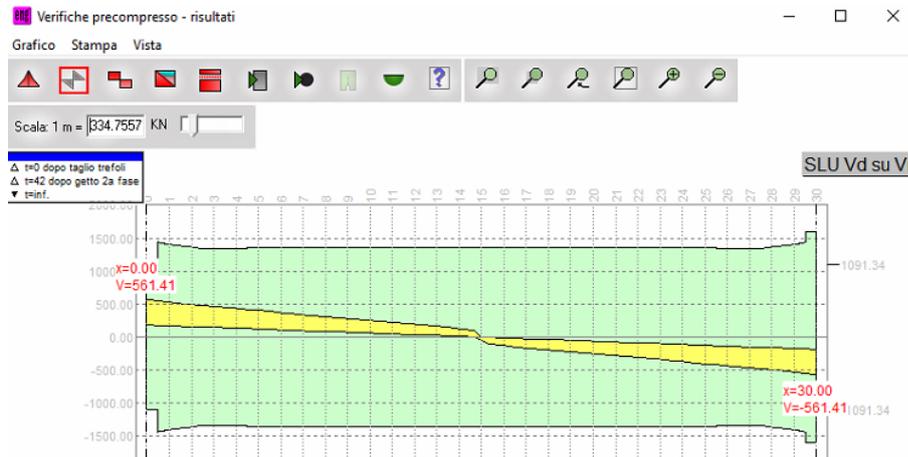


Figura 6-24: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.

Si riporta inoltre una verifica SLU semplificata della soletta:

$$p_p = 0.2 \cdot 25 = 5 \text{ kN/mq}$$

$$p_{av} = 4 \text{ kN/mq}$$

$$q = 20 \text{ kN/mq}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Sez. 100\*20cm,  $\Phi 12/20 \times 20$  sup/inf entrambe le direzioni

$$M_{sd,max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot 1^2 / 8 = 5 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 36 \text{ kNm/m}$$

$$M_{sd,max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot 1 / 2 = 20 \text{ kN/m} < V_{rd} = 84 \text{ kN/m}$$

Non si riportano le verifiche in cc SLE che risultano però anch'esse soddisfatte. La deformazione dell'impalcato considerando il carico accidentale in cc SLE rara è pari massimo a circa  $L/725$ , valore compatibile con la funzionalità dell'opera.

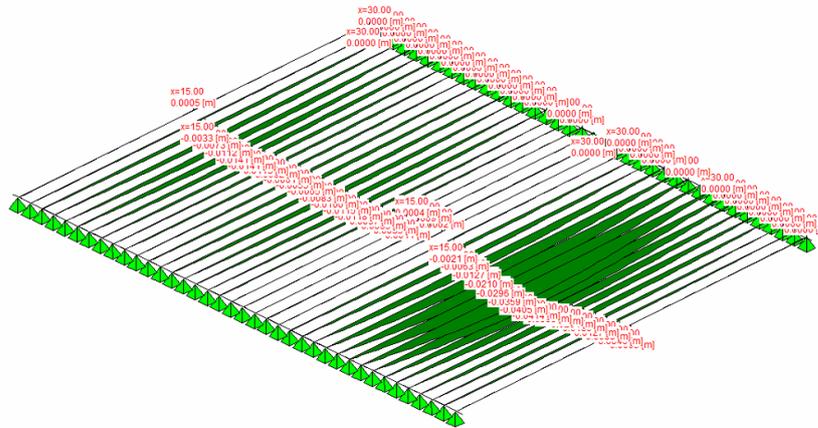


Figura 6-25: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.

### 6.2.2 Muri di appoggio

L'impalcato è appoggiato su muri laterali in c.a. di spessore 120cm. Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche.

- Altezza totale fuori terra del muro centrale ..... 6.15 m
- Altezza totale fuori terra dei muri laterali..... 9.75 m
- Spessore dei muri ..... 1.20 m

Si riporta a seguire il dimensionamento e la verifica dei muri, in cc SLU e SLV. I valori di riferimento assunti nei calcoli a seguire (in parte già riportati nei paragrafi precedenti) sono i seguenti:

- carico permanente di impalcato: perm = 12.5+4 = 16.5 kN/mq
- carico variabile di impalcato: var = 20 kN/m
- peso proprio muro: pp,m = 1.2\*1\*25 = 30 kN/m
- peso proprio basamento (centr.): pp,bc= 2.0\*1.5\*1\*25 = 75 kN/m
- peso proprio basamento (lat.): pp,bl = 5\*1.5\*1\*25 = 190 kN/m
- accelerazione sismica di impalcato: amax = 0.701 g
- accelerazione sismica in fondazione: amax = 0.282 g



### **Muro in mezzzeria**

Sp. 120cm

H fuori terra max = 7.5m

#### SLU

Nsd,max = 1525 kN/m

Msd,max = 0 kNm/m

#### SLV

Nsd,max = 685 kN/m

Vsd,max = 480 kN/m

Msd,max = 2590 kNm/m

### **Muri laterali**

H fuori terra max = 9.75m

#### SLU

Nsd,max = 1190 kN/m

Msd,max = 0 kNm/m

#### SLV

Nsd,max = 650 kN/m

Vsd,max = 455 kN/m

Msd,max = 3370 kNm/m

In entrambi casi le verifiche sono soddisfatte in quanto:

sez. 100x120cm, armatura verticale  $\Phi 30/15 + \Phi 26/15$  (2 livelli) int/est, ganci  $\Phi 12/30 \times 30$

Mrd (N=685 kN/m) = 3770 kNm/m > Msd = 2590 kNm/m

Mrd (N=650 kN/m) = 3755 kNm/m > Msd = 3370 kNm/m

Vrd = 480 kN/m > Vsd = 455 kN/m

Si omettono le verifiche SLE che risultano soddisfatte.

### **6.2.3 Pali di fondazione**

L'impalcato è appoggiato su muri laterali in c.a. su pali di fondazione, le cui caratteristiche geometriche sono riportate a seguire.

Diametro dei pali..... 1.00 m

Interasse longitudinale dei pali..... 1.00/1.50 m

Altezza basamento ..... 1.50 m

Larghezza basamento ..... 2.00/5.00 m



Profondità dei pali ..... 10.0 m

(e almeno 8m in Flysch integro)

Interasse trasversale dei pali (per muri di estremità) ..... 3.50 m

#### Pali dei muri centrali

Si riporta a seguire il dimensionamento e la verifica dei pali più sollecitati (mezzeria) nelle combinazioni di carico SLU e SLV.

#### SLU

$N_{sd,max} = 1625 \text{ kN}$

#### SLV

$N_{sd,max} = 760 \text{ kN}$

$V_{sd,max} = 502 \text{ kN}$

$M_{sd,max} = 3100 \text{ kNm/m}$

Si riporta a seguire la rappresentazione del modello del palo realizzato per la verifica con il programma di calcolo CARL di Aztec, e a seguire il format dei risultati delle verifiche geotecniche che risultano soddisfatte.

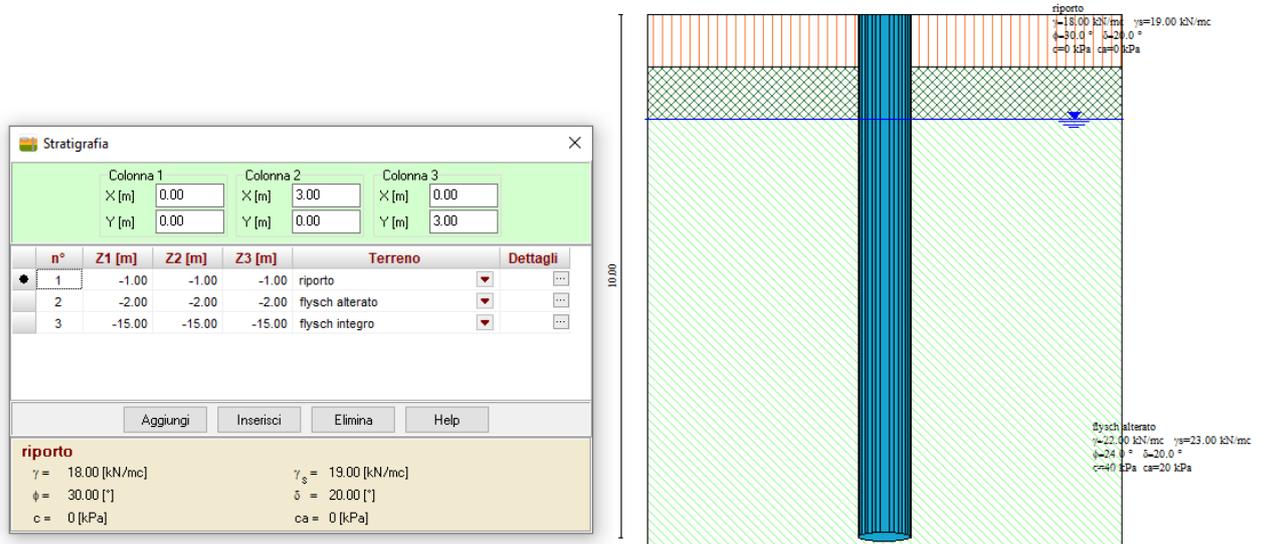


Figura 6-26: schema del palo modellato con Carl 14.



Figura 6-27: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Carl 14.

Le verifiche geotecniche sono soddisfatte in quanto:

$$N_{sd,max} = 1625 \text{ kN} < N_{rd} = 3969 \text{ kN}$$

$$V_{sd,max} = 503 \text{ kN} < V_{rd} = 895 \text{ kN}$$

Anche le verifiche strutturali sono soddisfatte in quanto:



( $\Phi 1000\text{mm}$ , armatura longitudinali 35  $\Phi 30\text{mm}$ , spirale  $\Phi 12/15$ )

$$M_{rd} (N_{sd}=685) = 3217 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 3100 \text{ kNm}$$

$$V_{rd} = 695 \text{ kN} > V_{sd,max} = 502 \text{ kN}$$

#### Pali dei muri di estremità

Per quanto riguarda invece i pali dei muri di estremità, le fondazioni di questi sono costituite da un basamento in c.a., fondato su pali di diametro 1000mm (2 file) di interasse 3.5m e 1.5m longitudinali. Si riporta a seguire il dimensionamento e la verifica dei pali dei muri di appoggio laterali in cc SLV.

#### SLV

$$N_{sd,max} = 940 \text{ kN}$$

$$V_{sd,max} = 510 \text{ kN}$$

$$M_{sd,max} = 3795 \text{ kN}$$

Per ogni coppia di pali si ottengono pertanto le seguenti sollecitazioni:

$$N_{sd} (+) = (940 + 3795/3.5) * 1.5 = 3035 \text{ kN (compressione)}$$

$$N_{sd} (-) = (940 + 3795/3.5) * 1.5 = -220 \text{ kN (trazione)}$$

$$V_{sd} = 510 * 1.5 / 2 = 383 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 0 \text{ kNm}$$

Secondo i valori sopra riportati, le verifiche geotecniche sono soddisfatte in quanto:

$$N_{sd} (+) = 3035 \text{ kN} < N_{rd} = 3969 \text{ kN}$$

$$N_{sd} (-) = -220 \text{ kN} < N_{rd} = -1405 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 383 \text{ kN} < V_{rd} = 895 \text{ kN}$$

Anche le verifiche strutturali sono soddisfatte in quanto i valori qui ottenuti sono inferiori a quelli verificati per gli altri pali di fondazione (muri interni), a parità di sezione e armatura.

#### 6.2.4 *Incidenza armatura*

L'incidenza del calcestruzzo e dell'armatura per le strutture sono riportate a seguire:



Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{max} = 70m$

Per l'impalcato (escluse travi)

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 0.20 \text{ mc/mq}$

Peso di acciaio armatura lenta (compresi sfridi):  $P_{acc} = 100 \text{ kg/mc}$

Per i muri

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 1.2 \text{ mc/m/m}$

Peso di acciaio armatura lenta:  $P_{acc} = 165 \text{ kg/mc}$

Per i pali di fondazione

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 0.8 \text{ mc/m/m}$

Peso di acciaio armatura lenta:  $P_{acc} = 170 \text{ kg/mc}$

Per il basamento dei muri

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = \text{var } 3-7.5 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio armatura lenta:  $P_{acc} = 60 \text{ kg/mc}$

### **6.3 Rampe di collegamento alla GVT**

Si riportano a seguire le verifiche delle rampe di collegamento dello svincolo principale (CD02D-b2 di cui al §6.2) alla GVT esistente; le rampe si dividono in:

- Rampa semidiretta di uscita Sud: direzione GVT provenendo da Muggia verso aree portuali;
- Rampa indiretta di entrata Sud: direzione da aree portuali verso Udine;

Si riporta a seguire una rappresentazione schematica delle rampe e in generale dei tratti stradali esaminati a seguire.

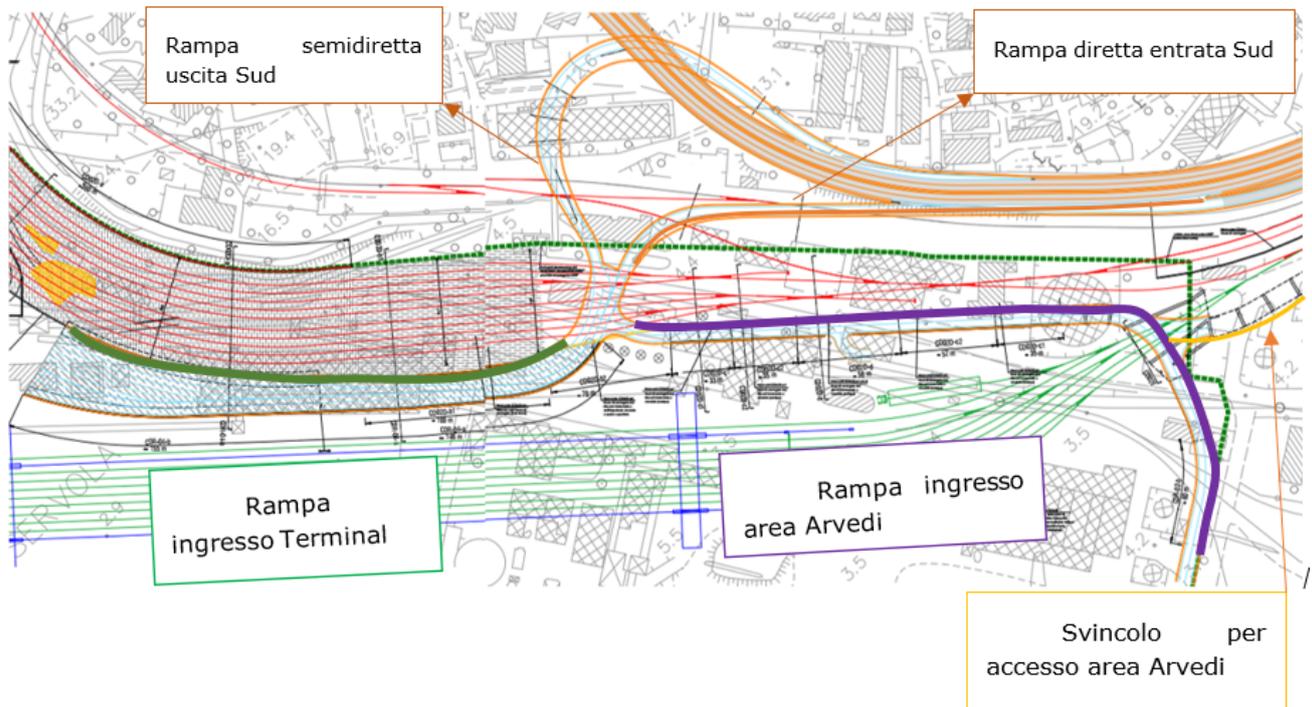


Figura 6-28: key-plan delle denominazioni dei tratti stradali di collegamento alla GVT.

Le rampe in esame sono a quota variabile rispetto alla quota del p.c. e si sviluppano secondo diverse sezioni tipo, tutte riportate a seguire. Sempre a seguire si eseguono inoltre le verifiche delle principali sezioni tipo.

- Sez. tipo AA: strada sopraelevata, su impalcato in travi prefabbricate e soletta in c.a.(a più campate);
- Sez. tipo BB: strada in rilevato con muri di sostegno laterali (ad U);
- Sez. tipo CC: strada in trincea con muri di sostegno a mensola laterali;
- Sez. tipo DD: strada in trincea con paratie in pali secanti di sostegno laterali;
- Sez. tipo EE: strada in trincea con paratie in pali secanti di sostegno laterali e impalcato in c.a. superiore per il sostegno della strada/rampa superiore;
- Sez. tipo GG: strada in rilevato con muri di sostegno laterali a mensola.

### 6.3.1 Sezione tipo A

Si tratta di un impalcato costituito da travi prefabbricate in c.a.p. del tipo TR120 della SigmaC o equivalente, sopra le quali viene realizzata una soletta in c.a. di spessore 20cm. L'impalcato appoggia su muri di spessore 120cm, su pali di fondazione di diam. 100cm, lunghezza 10m (min. 8m in Flysch) e interasse 1.5m.



Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 2.0-9.5 m

Spessore max pacchetto pavimentazione ..... 10/20 cm

Per le verifiche dell'impalcato in esame, della sottostruttura e delle fondazioni, si rimanda alle verifiche dell'opera CD02D-b2, del tutto analoga a quella in esame (§6.2). Si riporta a seguire la rappresentazione della geometria della sezione tipo.

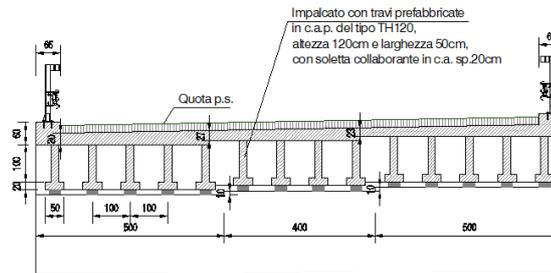


Figura 6-29: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione trasversale.

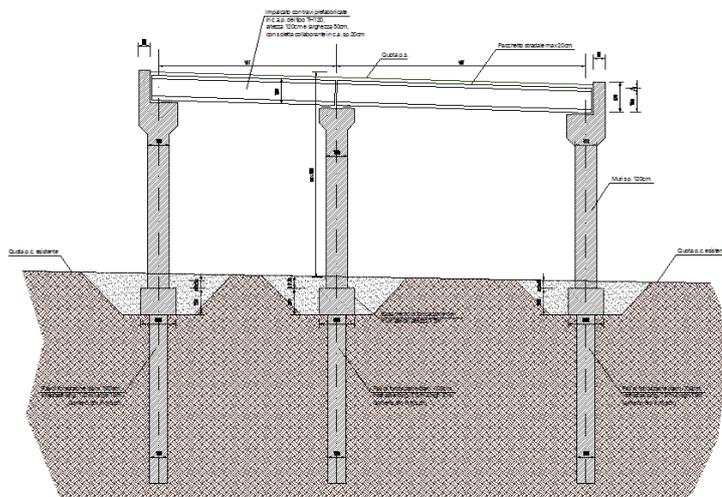


Figura 6-30: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione tipo tratto immissione rampa diretta entrata Sud.

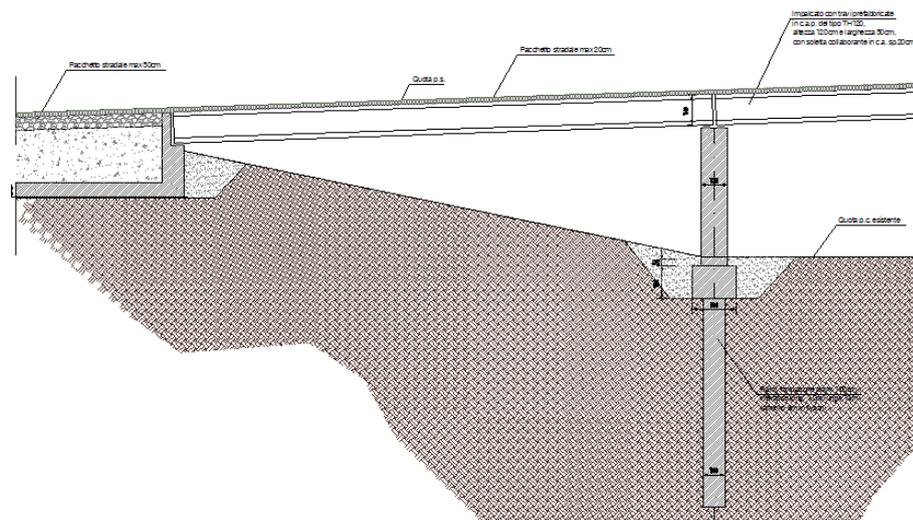


Figura 6-31: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione longitudinale rampa semidiretta uscita Sud (sez. A e B).

### 6.3.2 Sezione tipo A1

Si tratta di un impalcato costituito da travi prefabbricate in c.a.p. del tipo TR80 della SigmaC o equivalente, molto simile alla tipologia A (vd. §6.3.2) ma di dimensioni ridotte (luce e altezza travi), sopra le quali viene realizzata una soletta in c.a. di spessore 20cm. L'impalcato appoggia su muri di spessore 120cm, su pali di fondazione di diam. 100cm, lunghezza 10m (min. 8m in Flysch) e interasse 1.5m.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale max ..... 9.5 m

Spessore max pacchetto pavimentazione ..... 10/20 cm

Per le verifiche della sottostruttura e delle fondazioni, si rimanda alle verifiche dell'opera CD02D-b2, del tutto analoga a quella in esame (§6.2). Si riporta invece a seguire la rappresentazione della geometria della sezione tipo e la verifica dell'impalcato.

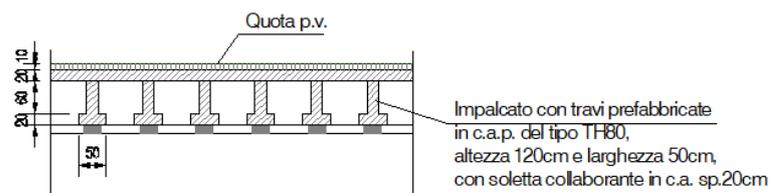


Figura 6-32: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione trasversale.



Relazione di calcolo strutture stradali

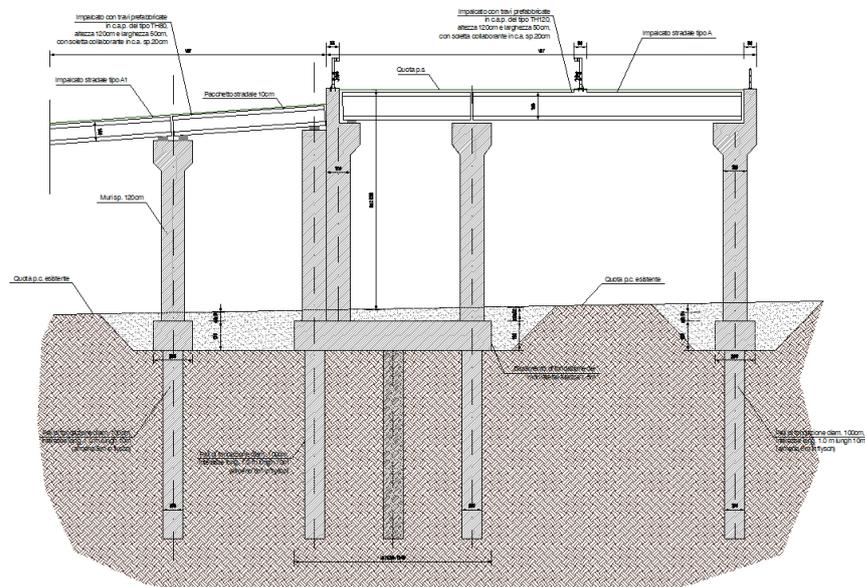


Figura 6-33: sezione tipo dell'intervento in esame: sezione tipo.

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche dell'impalcato.

Altezza totale dell'impalcato in c.a. .... 1.00 m

Spessore della soletta in c.a. .... 0.20 m

Altezza delle travi in c.a.p. .... 0.80 m

Larghezza delle travi in c.a.p. .... 0.5 m

Interasse delle travi in c.a.p. .... 1.00 m

Larghezza dell'impalcato ..... ~ 40 m

Lunghezza campata min/max..... ~18-29 m

Altezza totale della pavimentazione stradale (max)..... 0.10 m

Si riportano a seguire le verifiche delle travi e della soletta di impalcato, svolte con il programma XPonti della SIGMA C, programma per il calcolo dei ponti e delle solette di impalcato.

Si riportano a seguire la rappresentazione del modello di calcolo e le verifiche svolte. Si considera nella modellazione la sola fascia rappresentativa di una sezione stradale di luce 17m.

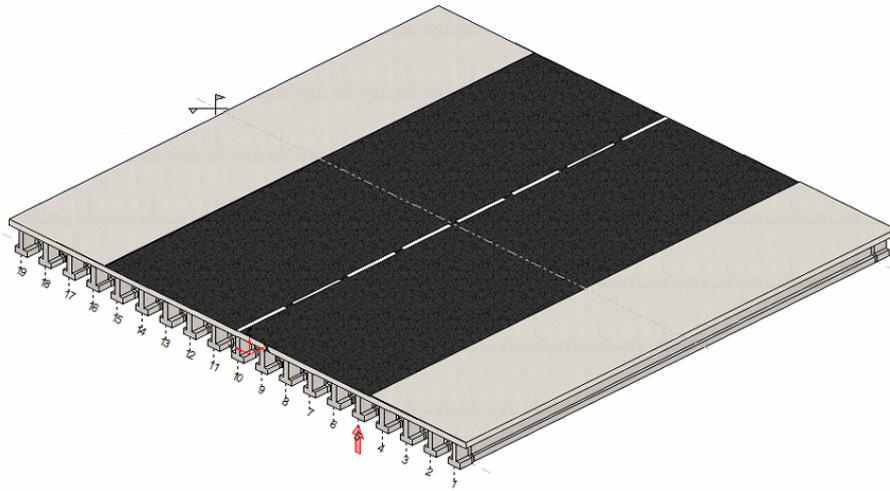


Figura 6-34: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti.

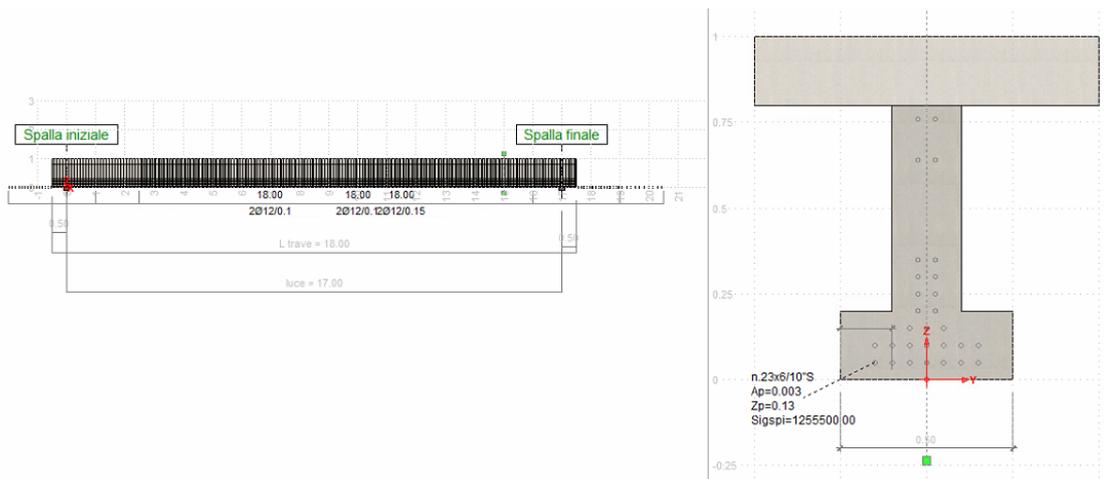


Figura 6-35: rappresentazione della sezione tipo della trave.

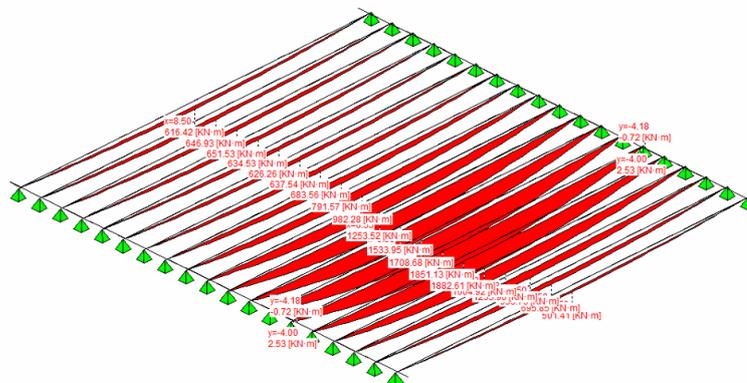


Figura 6-36: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente.

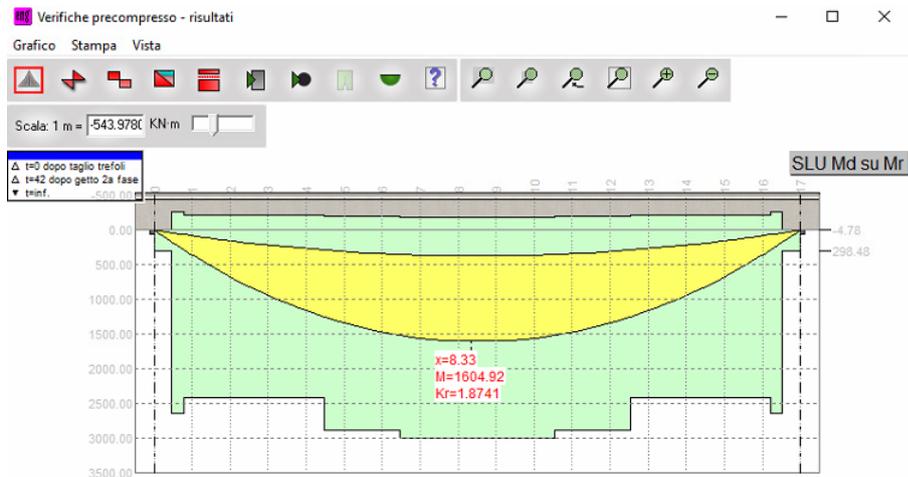


Figura 6-37: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU.

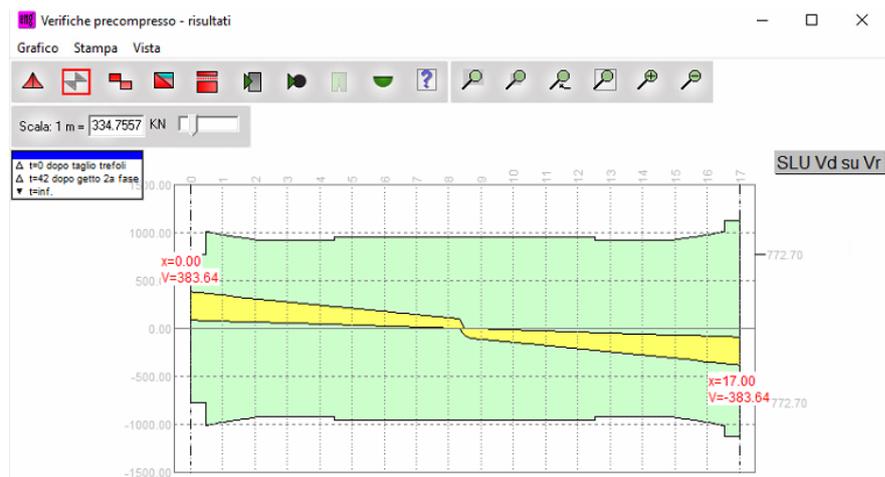


Figura 6-38: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.

Si riporta inoltre una verifica SLU semplificata della soletta:

$$pp = 0.2 \cdot 25 = 5 \text{ kN/mq}$$

$$pav = 4 \text{ kN/mq}$$

$$q = 20 \text{ kN/mq}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Sez. 100\*20cm,  $\Phi 12/20 \times 20$  sup/inf entrambe le direzioni

$$M_{sd,max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot l^2 / 8 = 5 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 36 \text{ kNm/m}$$

$$M_{sd,max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot l / 2 = 20 \text{ kN/m} < V_{rd} = 84 \text{ kN/m}$$



Non si riportano le verifiche in cc SLE che risultano però anch'esse soddisfatte. La deformazione dell'impalcato considerando il carico accidentale in cc SLE rara è pari massimo a circa  $L/1000$ , valore compatibile con la funzionalità dell'opera.

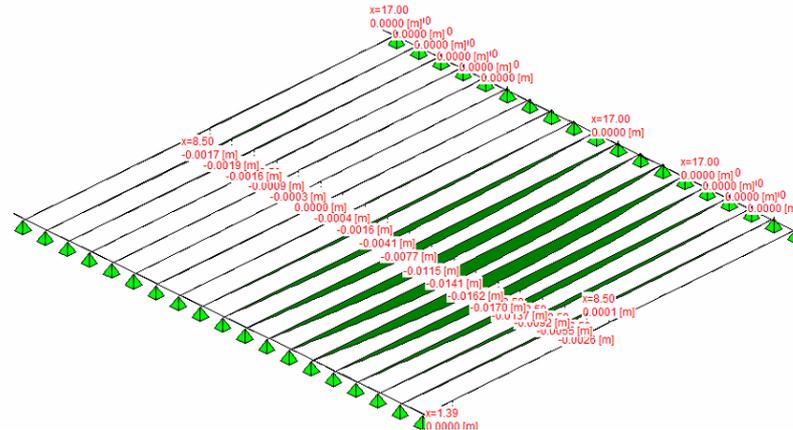


Figura 6-39: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.

### 6.3.3 Sezione tipo B

Si tratta di un muro di sostegno ad "U" del rilevato stradale, che si trova a quota maggiore rispetto al p.c.; il muro ha quota variabile e spessore 65cm.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 0.0-2.0 m

Spessore max pacchetto pavimentazione in rilevato ..... 0.40 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento (cautelativamente il solo muro a un lato).



Relazione di calcolo strutture stradali

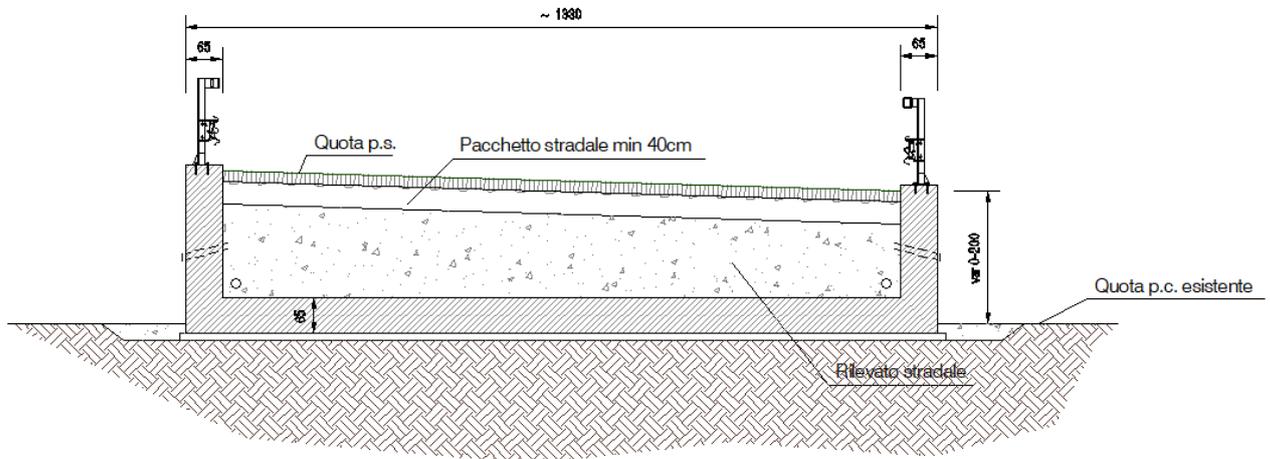


Figura 6-40: sezione tipo dell'intervento in esame.

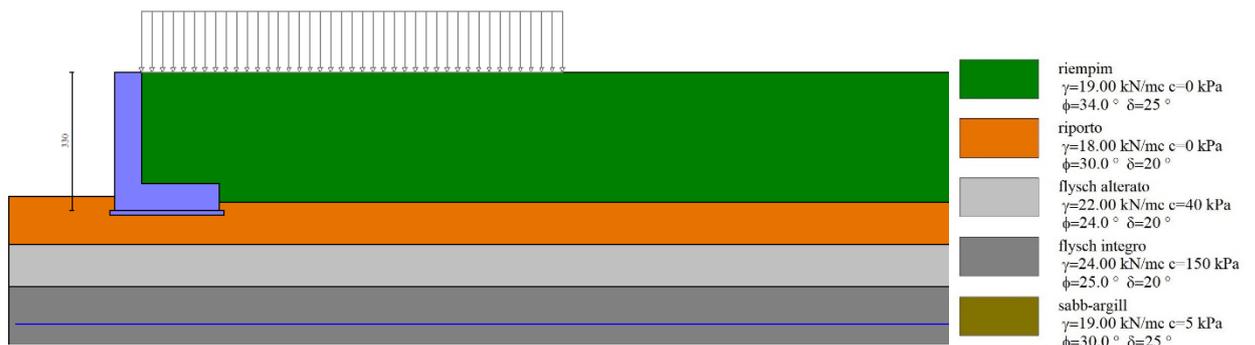


Figura 6-41: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		1.703	5.526	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.454	5.342	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.380	5.565	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		2.107	5.144	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		1.918	5.633	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		1.892	5.108	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.292	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	1.574	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	1.538	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	5.030	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	3.161	--	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	2.529	--	--	--	--
13	ECC		1.078	2.662	1.501	1.935	--	--

Figura 6-42: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.

Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE



sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

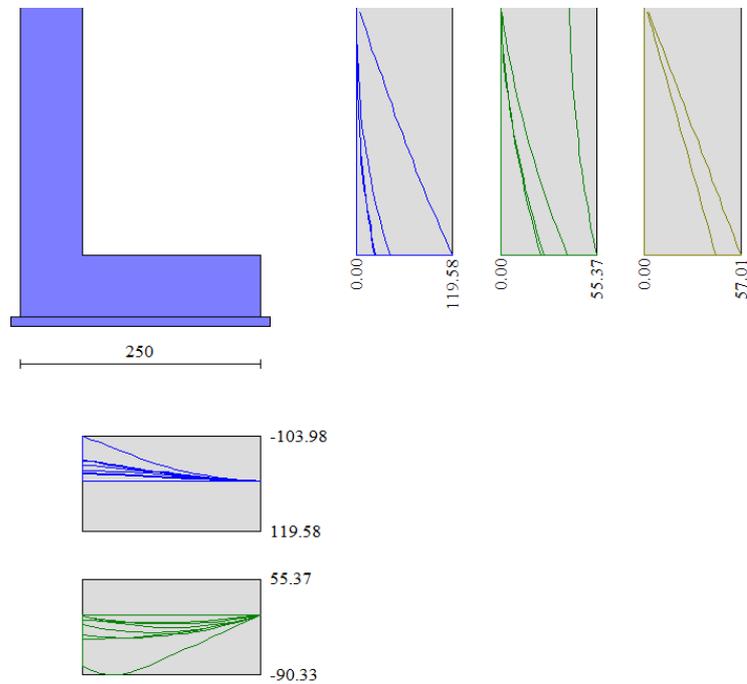


Figura 6-43: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).

#### Verifica della sezione di elevazione

Sez. 100x65cm,  $\Phi 16/15$  est/int

Senza armatura resistente a taglio

$M_{sd} = 120 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 305 \text{ kNm/m}$

$V_{sd} = 56 \text{ kN/m} < V_{rd} = 235 \text{ kN/m}$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

#### 6.3.4 Sezione tipo C

Si tratta di due muri di sostegno accoppiati per la realizzazione della strada in trincea rispetto al p.c. che si trova a quota maggiore; il muro ha quota variabile e spessore 65cm e larghezza totale della soletta di fondazione 3.5m.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 0.0-4.0 m

Spessore max pacchetto pavimentazione in trincea ..... 0.40 m



Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

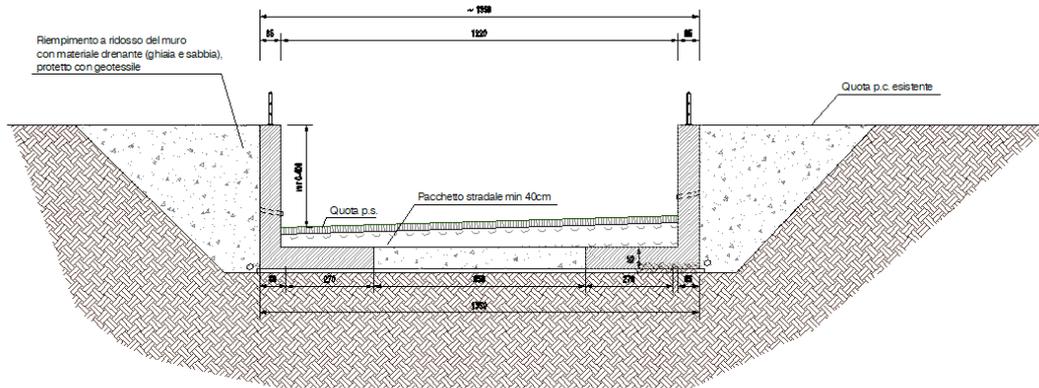


Figura 6-44: sezione tipo dell'intervento in esame.

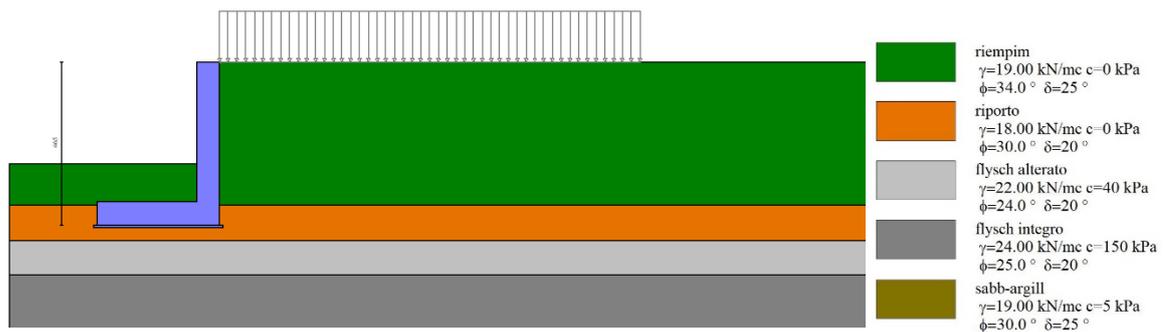


Figura 6-45: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	F Ssco	F Sqlim	F Srib	F Sstab	F Shyd	F Supl
1	STR (A1-M1-R3)		1.195	8.679	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.370	15.963	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.389	15.443	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		1.430	11.583	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		1.273	9.452	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		1.352	11.375	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.798	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	1.994	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	1.944	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	2.451	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	3.388	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	2.917	--	--	--

Figura 6-46: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.



Si riporta a seguire invece la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (nella rappresentazione solo involucro delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

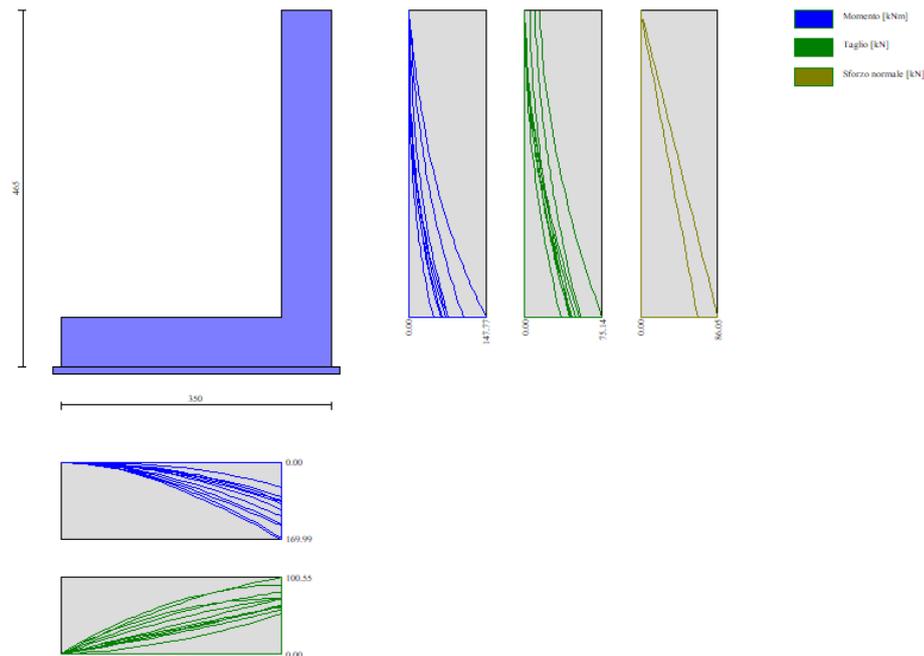


Figura 6-47: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).

### Verifica della sezione di fondazione

Sez. 100x65cm,  $\Phi 16/15$  sup/inf

Senza armatura resistente a taglio

$$M_{sd} = 170 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 305 \text{ kNm/m}$$

$$V_{sd} = 101 \text{ kN/m} < V_{rd} = 235 \text{ kN/m}$$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

### 6.3.5 Sezione tipo D

Si tratta di due paratie "accoppiate", in pali secanti di diametro 100cm, per la realizzazione della strada in trincea rispetto al p.c. che si trova a quota maggiore; la paratia ha quota variabile.

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 2.0-6.7 m\*



\*8.0m dove sostiene l'impalcato sez. tipo EE

Spessore max pacchetto pavimentazione in trincea .....	0.40 m
Altezza complessiva dei pali rivestiti max.....	15.0/16.0 m
Diametro pali.....	1.0 m
Interasse pali.....	0.75 m
Lunghezza infissione.....	8.0 m

(almeno 6m in Flysch)

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

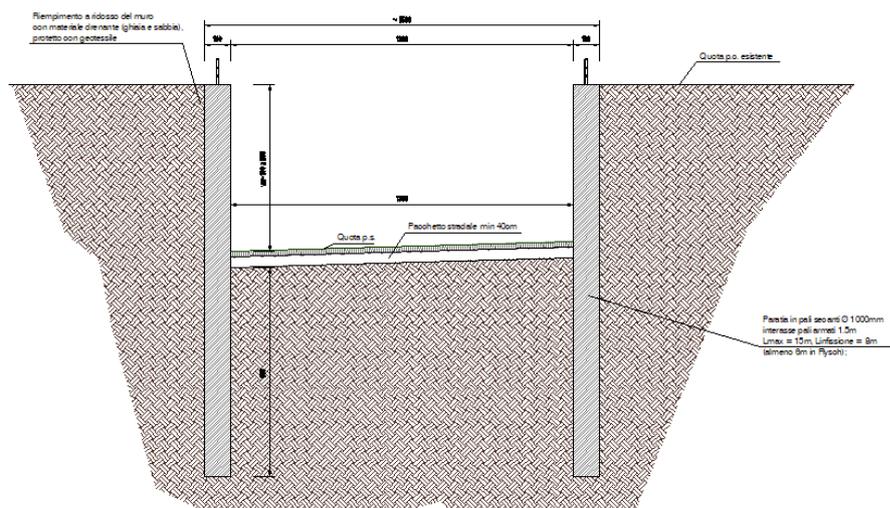


Figura 6-48: sezione tipo dell'intervento in esame.

La verifica della sezione è stata eseguita con il software di calcolo Paratie PLUS 2022.

Nell'analisi sono stati considerati i seguenti step esecutivi per il modello della paratia:

- stage0: condizione geostatica: serve al programma per determinare le caratteristiche meccaniche di partenza del terreno;
- stage1: realizzazione delle paratie;
- stage2: scavo fino a quota -8.0m dalla sommità della paratia, per la realizzazione del piano stradale;

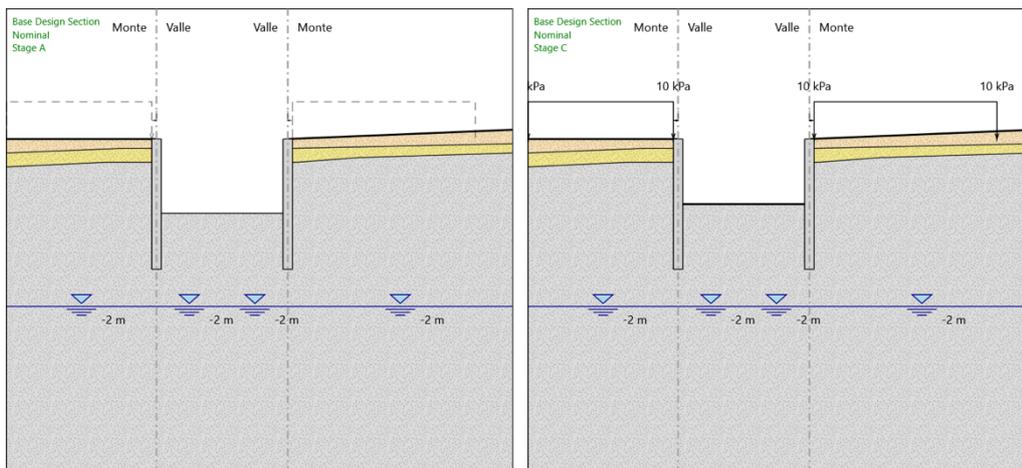
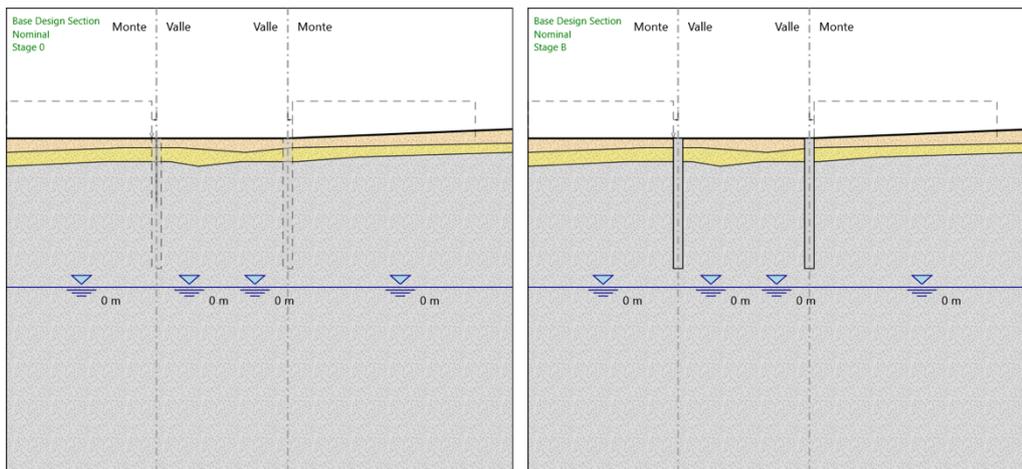


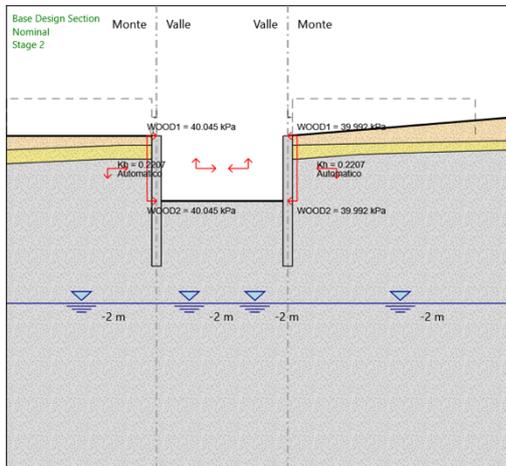
stage3: realizzazione del piano strada applicazione dei carichi esterni e quindi configurazione finale di "esercizio" della paratia;

stage4: paratia in esercizio in c.c. sismica (carico accidentale a monte nullo).

Di seguito sono rappresentate graficamente le principali fasi di analisi estratte dal software.

	Terreni	$\gamma_{DRY}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{SAT}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$K_k$ [m/s]	$K_z$ [m/s]	$c'$ [kPa]	$e'$ [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m <sup>2</sup> ]
	riempim Sabbia/Ghiaia	19	20	0.000001	0.000001	0	34	$E_{VC} = 4000$ $E_{UR} = 12000$
	riporto Sabbia/Ghiaia	18	19	0.0001	0.0001	0	30	$E_{VC} = 5000$ $E_{UR} = 8000$
	flysch alterato Sabbia/Ghiaia	22	23	0.00001	0.00001	40	24	$E_{VC} = 150000$ $E_{UR} = 240000$
	flysch integro Sabbia/Ghiaia	22	23	0.00001	0.00001	150	25	$E_{VC} = 250000$ $E_{UR} = 400000$





Le condizioni di carico considerate sono:

cc1: spinta del terreno

cc2: incremento di spinta da sovraccarichi superficiali

Combinazione 0      A0 + M1      (SLE Rara)

Combinazione 1      A1 + M1 + R1      (R3 per tiranti, se presenti)

Combinazione 2      A2 + M2 + R1

Combinazione 3      A0 + M1 + R1      (combinazione di carico sismica STR)

Combinazione 4      A0 + M2 + R1      (combinazione di carico sismica GEO)

Le combinazioni 1/2/3/4 sono utilizzate per la verifica delle paratie agli stati limite ultimi, come previsto dalla norma.

Si riportano a seguire le sollecitazioni sulla struttura e l'esempio della verifica della sezione tipo.



Relazione di calcolo strutture stradali

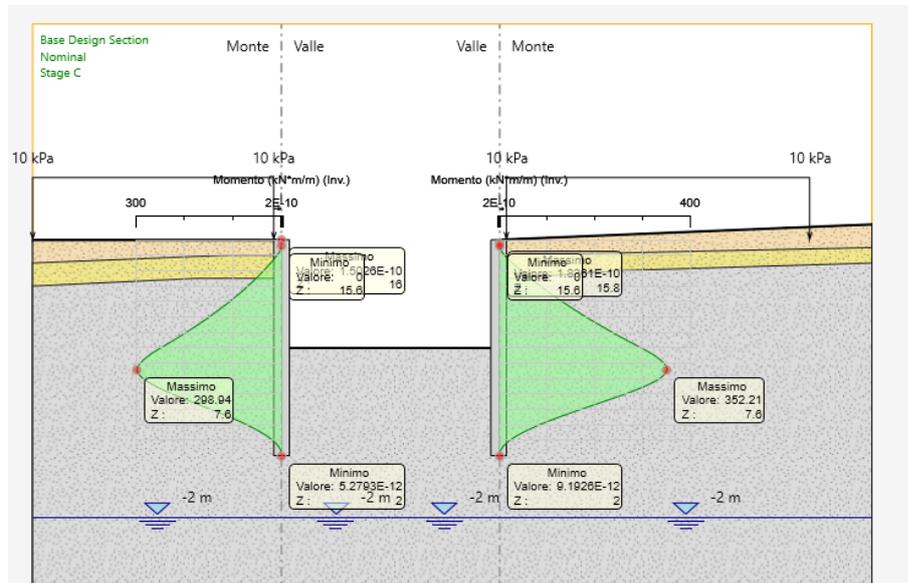


Figura 6-49: involufo dei momenti massimi SLU/SLV sulla paratia.

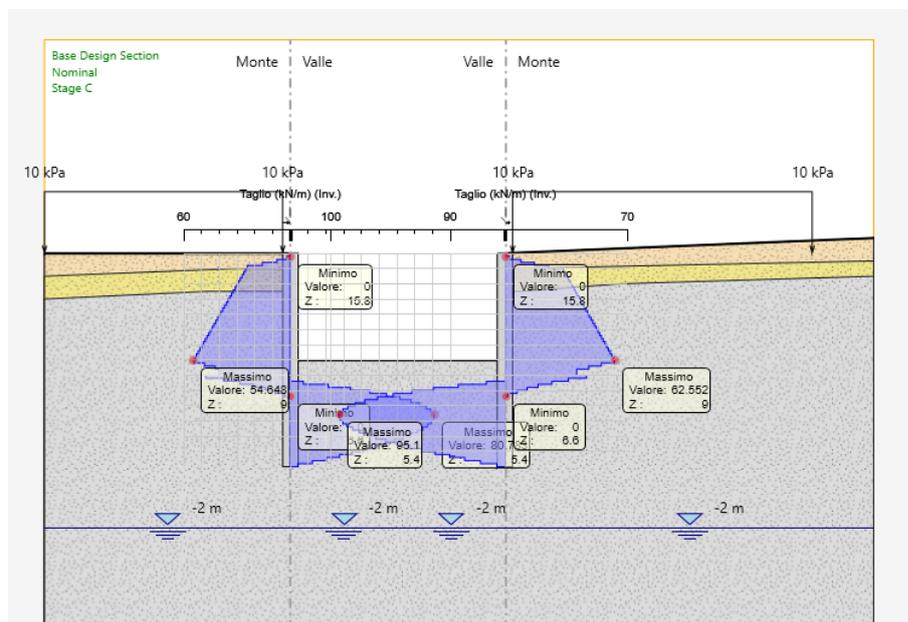


Figura 6-50: involufo dei tagli massimi SLU/SLV sulla paratia.

Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)

La convergenza del programma ad una soluzione garantisce che la verifica della rotazione del diaframma attorno ad un generico punto (atto di moto rigido) è soddisfatta per tutte le condizioni di carico.



I pali secanti secondari armati hanno interasse 1.5m e sono armati con barre longitudinali 20  $\Phi$ 24mm e spirale  $\Phi$ 10/25.

Il massimo momento SLU è pari a  $M_{Ed} = 353 \cdot 1.5 = 530$  kNm

Il massimo taglio SLU sollecitante è pari a  $V_{Ed} = 63 \cdot 1.5 = 95$  kN

Le verifiche strutturali sono soddisfatte in quanto:

$$M_{rd} = 1302 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 530 \text{ kNm}$$

$$V_{rd} = 289 \text{ kN} > V_{sd,max} = 95 \text{ kN}$$

In cc SLE si riporta a seguire lo spostamento massimo calcolato in sommità alla paratia, pari a massimo 10mm, valore assolutamente compatibile con la funzionalità dell'opera.

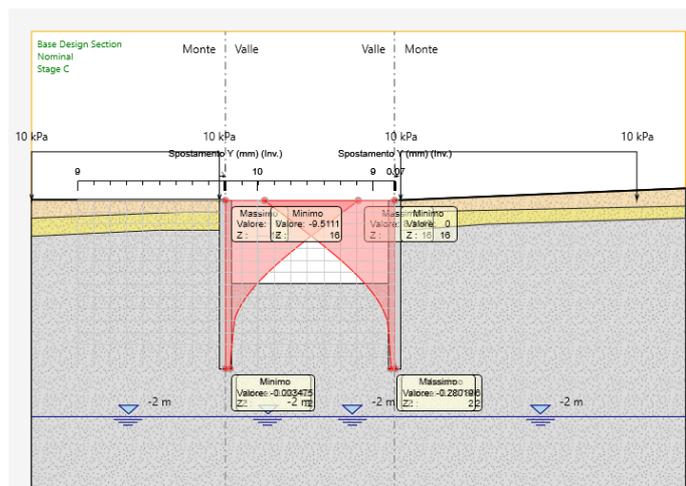


Figura 6-51: spostamento massimo in cc SLE sulla paratia.

Si riporta inoltre il modello della paratia in corrispondenza dell'impalcato stradale della sezione tipo EE; a parità di geometria e armatura, la struttura è soddisfatta.

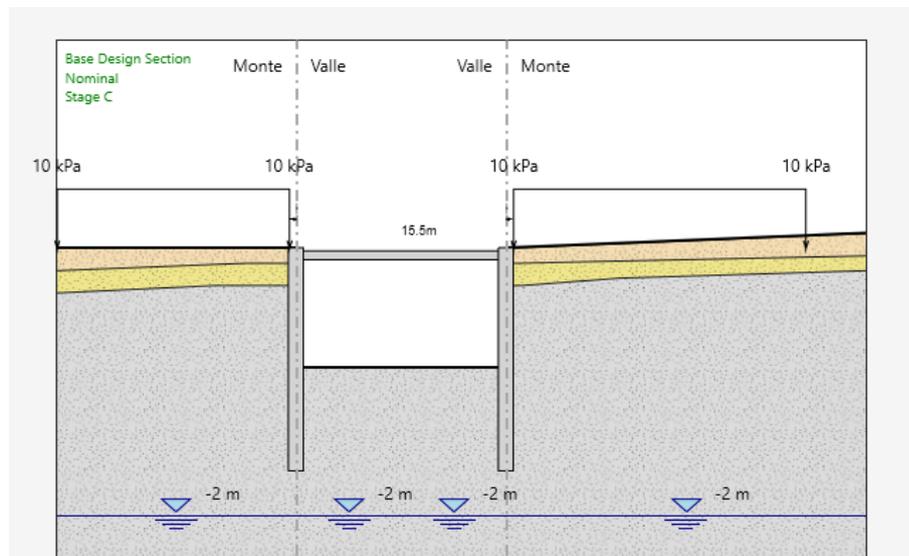


Figura 6-52: modello nello stage 3: realizzazione del piano stradale e della soletta di impalcato.

Il massimo momento SLU è pari a  $M_{Ed} = 128 \cdot 1.5 = 192 \text{ kNm}$

Il massimo taglio SLU sollecitante è pari a  $V_{Ed} = 81 \cdot 1.5 = 122 \text{ kN}$

Le verifiche strutturali sono soddisfatte in quanto:

$$M_{rd} = 1302 \text{ kNm} > M_{sd,max} = 192 \text{ kNm}$$

$$V_{rd} = 289 \text{ kN} > V_{sd,max} = 122 \text{ kN}$$

In cc SLE si riporta a seguire lo spostamento massimo calcolato in sommità alla paratia, inferiore a 5mm, valore assolutamente compatibile con la funzionalità dell'opera.

### 6.3.6 Sezione tipo E

Si tratta di un impalcato costituito da una soletta piena monolitica in c.a., di spessore 60cm, appoggiata su muri fondati su pali.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.s. inferiore max ..... 8.5 m

Spessore max pacchetto pavimentazione ..... 0.20 m

Per le verifiche della struttura in esame, si rimanda alle verifiche delle opere CDR-01-b1 e b2, del tutto analoghe a quella in esame (§6.4.3).

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.

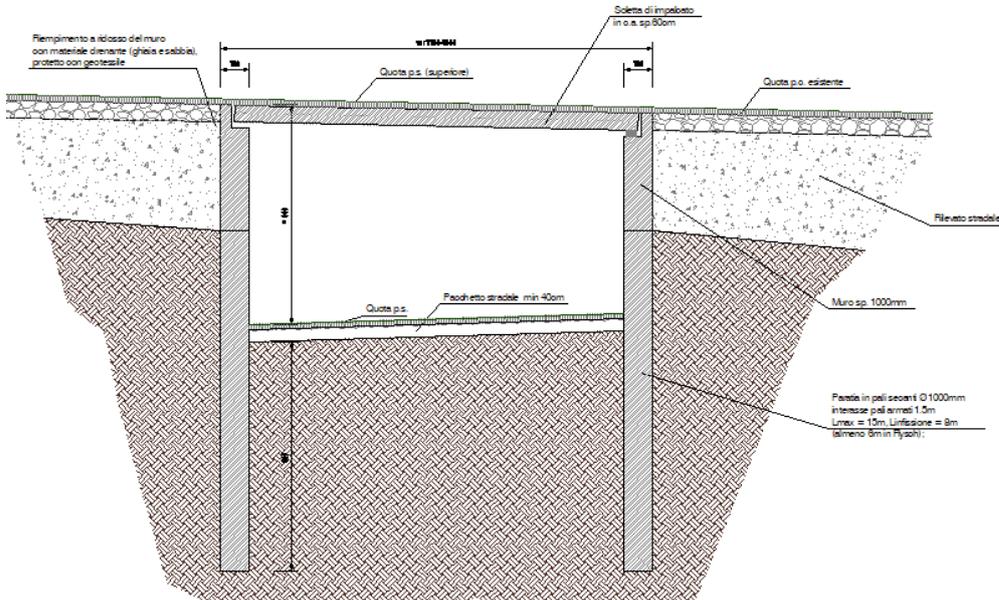


Figura 6-53: sezione tipo dell'intervento in esame.

### 6.3.7 Sezione tipo F

Si tratta di una paratia in pali secanti di diametro 100cm, per la realizzazione della strada in rilevato (raccordo con GVT).

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale max ..... 2.0 m

Lunghezza infissione ..... 8.0 m

Spessore max pacchetto pavimentazione in rilevato ..... 0.40 m

Per le verifiche della struttura in esame, si rimanda alle verifiche della sezione tipo D (§6.3.5).

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.



Relazione di calcolo strutture stradali

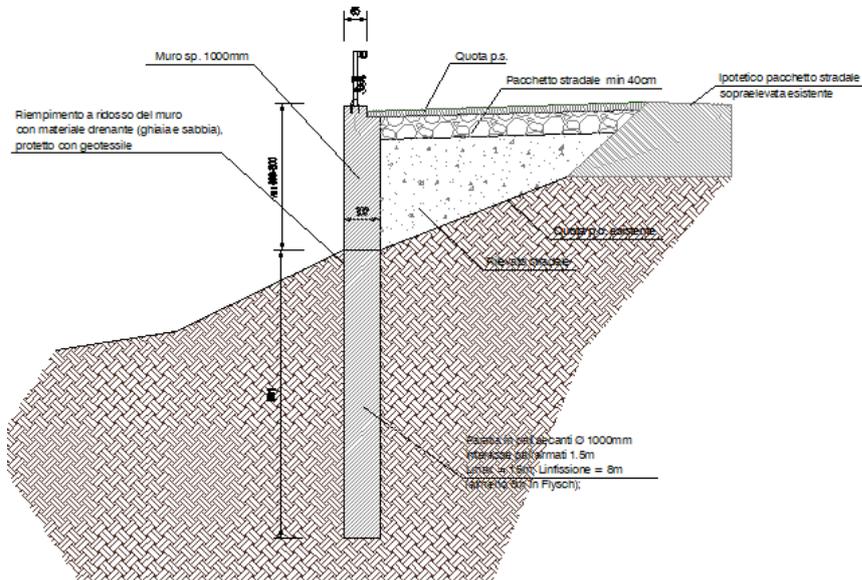


Figura 6-54: sezione tipo dell'intervento in esame.

### 6.3.8 Sezione tipo G/G1

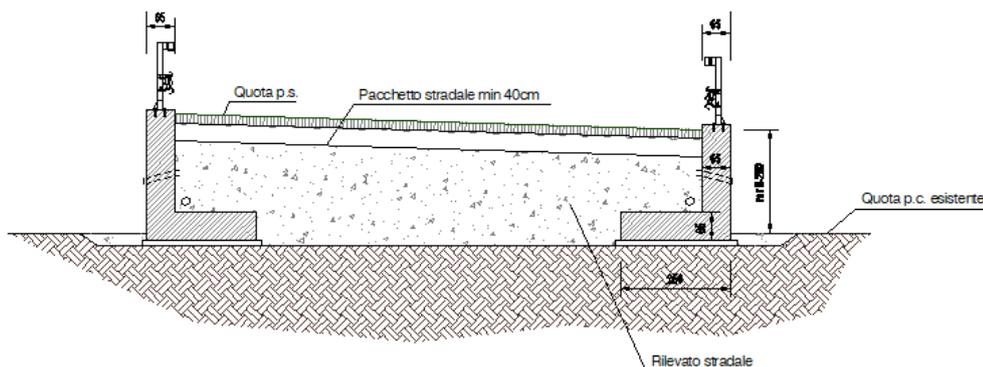
Si tratta di due muri di sostegno del rilevato stradale, che si trova a quota maggiore rispetto al p.c.; il muro ha quota variabile e spessore 65cm e larghezza totale della soletta di fondazione 2.5m.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 0.0-2.0 m

Spessore max pacchetto pavimentazione in rilevato ..... 0.40 m

Considerato che il muro ha le stesse dimensioni verificate per la sezione tipo B, si rimanda al §6.3.3 per maggiori dettagli.

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, e del modello di calcolo utilizzato per il dimensionamento.



	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione di calcolo strutture stradali</p>	<p>Pag. 69 di 115</p>
---	---	-----------------------

*Figura 6-55: sezione tipo dell'intervento in esame.*

### 6.3.9 Incidenza armatura

L'incidenza di calcestruzzo e di armatura per le sezioni tipo (dimensioni medie) sono pari a:

#### Sezione tipo A

Si veda quanto riportato al §6.2.

#### Sezione tipo B

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 9.0 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 70 \text{ kg/mc}$

#### Sezione tipo C

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 2*3.6 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 70 \text{ kg/mc}$

#### Sezione tipo D, E e F

Paratia: Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 12.5 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio armatura lenta (escluse travi):  $P_{acc} = 80 \text{ kg/mc}$

Impalcato: Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 0.6 \text{ mc/mq}$

Peso di acciaio armatura lenta (escluse travi):  $P_{acc} = 120 \text{ kg/mc}$

#### Sezione tipo G

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 2*2.5 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 70 \text{ kg/mc}$

## 6.4 CDR-01: impalcato svincolo secondario

Si tratta di un impalcato in c.a., secondario rispetto a quello calcolato al §6.2, necessario per collegare lo svincolo principale visto in precedenza con le diramazioni stradali di ingresso all'area Arvedi.

L'impalcato è sopraelevato e passa al di sopra del raccordo dei binari dell'area di HHLA PLT con il fascio "principale" che si dirige verso il Terminal del molo VIII.

Lo svincolo raccorda tre rami stradali ed è composto da impalcato che sono appoggiati su muri e/o colonne. L'impalcato è costituito, su due tratti a Sud (separati da giunti di dilatazione), da una soletta monolitica in c.a., di spessore costante, che appoggia sui muri e colonne circolari,



e sulla parte Nord (sopra fascio binari e anche più a Nord) da un impalcato realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e soletta in c.a., sempre appoggiato su muri o pile.

Le luci massime sono variabili.

Gli impalcati realizzati a destra e a sinistra del confine dell'intervento, saranno separati, così come le sottostrutture e le fondazioni dovranno essere indipendenti; gli impalcati avranno pertanto un giunto a tutta larghezza lungo la linea di intervento.

La figura seguente illustra le opere del tratto CDR-01.

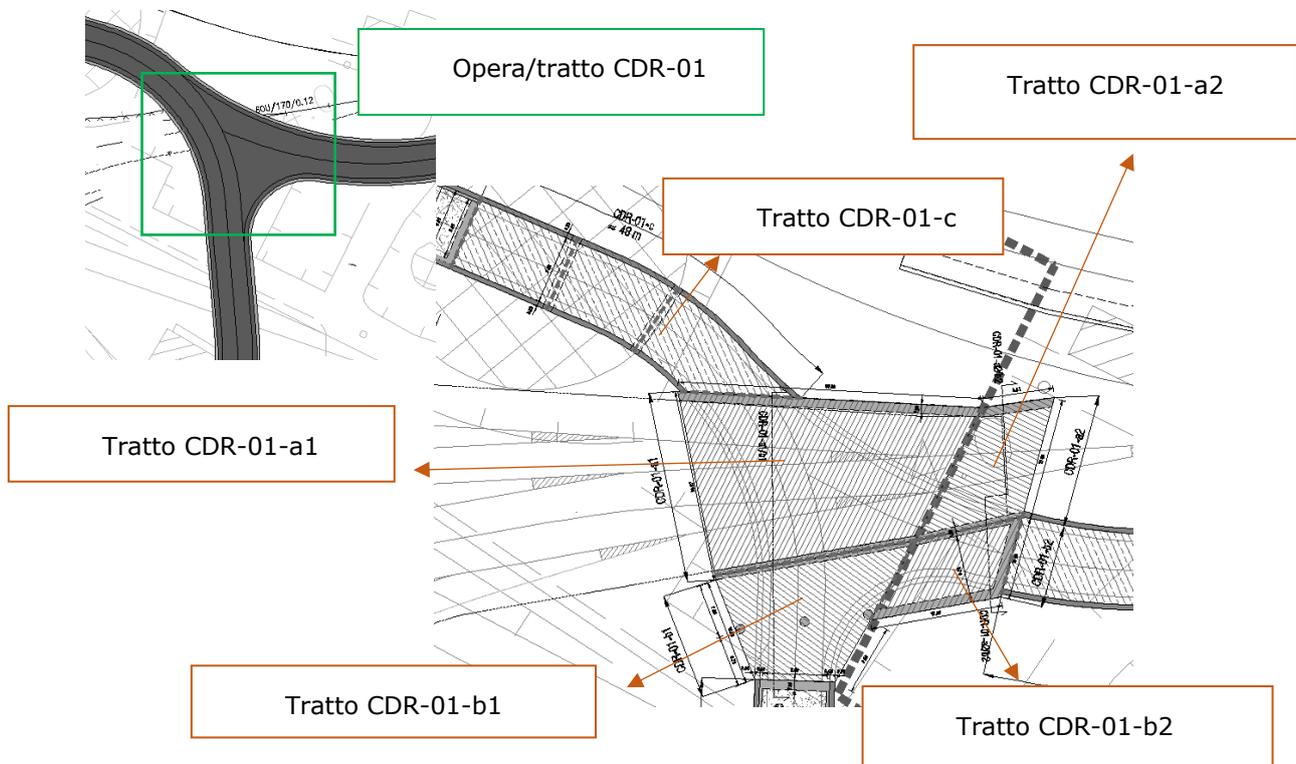


Figura 6-56: key-plan e planimetria (sotto) delle tipologie di interventi CDR-01.

#### 6.4.1 Impalcato CDR-01-a1

Si tratta di un impalcato stradale, realizzato con travi in c.a.p. prefabbricate del tipo TTH80 della Sigma C, o equivalenti, collegate da una soletta di impalcato, che poggiano sui muri laterali in c.a., fondati su pali di fondazione.

I dettagli delle opere e le verifiche vengono riportate a seguire.

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, ed il calcolo utilizzato per il dimensionamento.



Relazione di calcolo strutture stradali

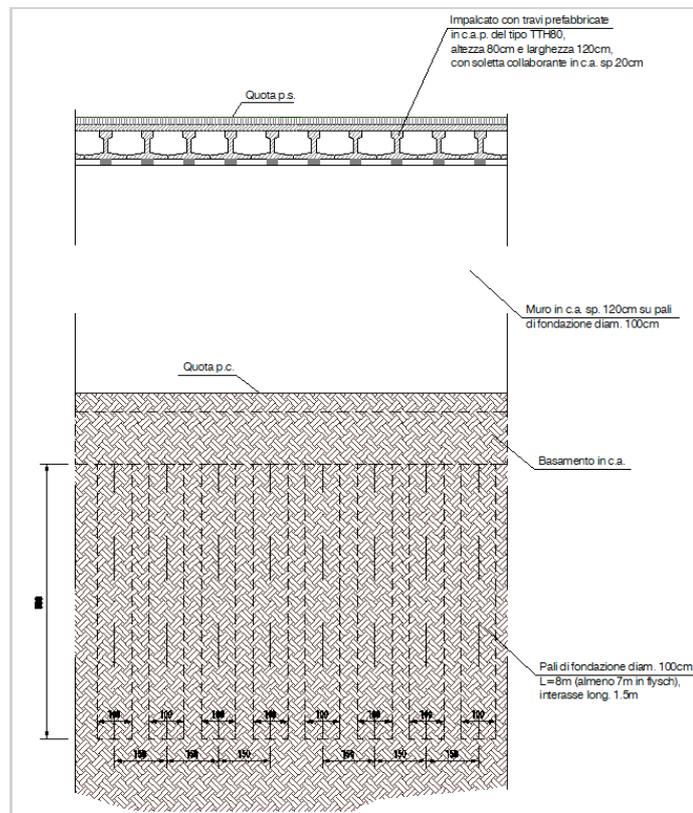


Figura 6-57: sezione tipo dell'intervento in esame.

I carichi agenti e trasmessi dall'impalcato sono i seguenti:

peso proprio impalcato:  $pp,imp = 0.30 \cdot 25 / 1.2 + 0.20 \cdot 25 = 11.3 \text{ kN/mq}$

peso proprio pavimentazione:  $pp,pav = 0.2 \cdot 20 = 4 \text{ kN/mq}$

carico variabile:  $q,var = 20 \text{ kN/mq}$

#### 6.4.1.1 Verifica dell'impalcato

Come sopra detto, l'impalcato è costituito da travi prefabbricate in c.a.p., sopra le quali viene realizzata una soletta in c.a.. Le travi sono disposte non perfettamente parallele, in quanto l'impalcato ha forma sghemba in pianta e le travi vengono pertanto disposto leggermente ruotate l'una dalla successiva.

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche dell'impalcato.

Altezza totale dell'impalcato in c.a. .... 1.00 m



Spessore della soletta in c.a. ....	0.20 m
Altezza delle travi in c.a.p. ....	0.80 m
Larghezza delle travi in c.a.p. ....	1.2 m
Spessore del anima/delle ali delle travi in c.a.p. ....	14/17 cm
Interasse min delle travi in c.a.p. ....	1.20 m
Larghezza min/max dell'impalcato .....	~ 26-39 m
Lunghezza campata min/max.....	~18-24 m
Altezza totale della pavimentazione stradale .....	10/20 cm

Si riportano a seguire le verifiche delle travi e della soletta di impalcato, svolte con il programma XPonti della SIGMA C, programma per il calcolo dei ponti e delle solette di impalcato.

Si riportano a seguire la rappresentazione del modello di calcolo e le verifiche svolte. Si considera nella modellazione la sola fascia rappresentativa di una sezione stradale di luce 24m.

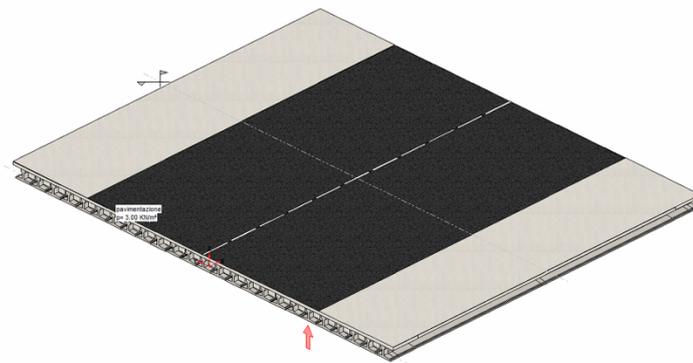


Figura 6-58: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti.

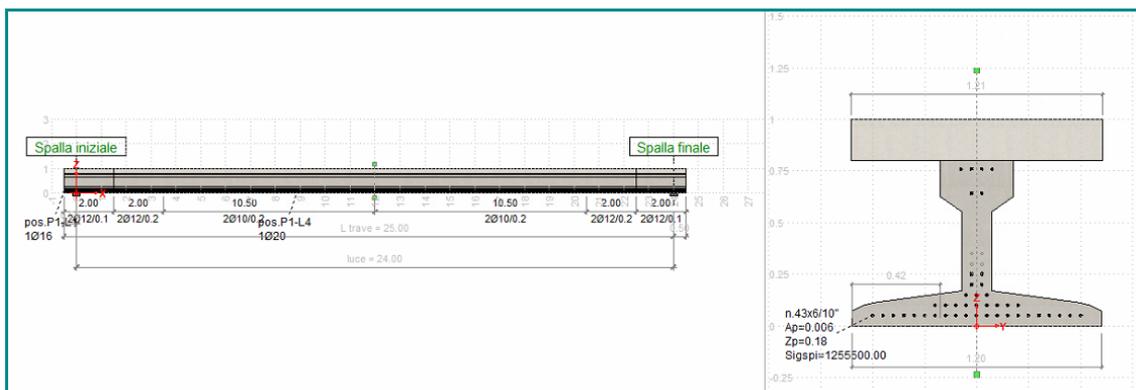




Figura 6-59: rappresentazione della sezione tipo della trave.

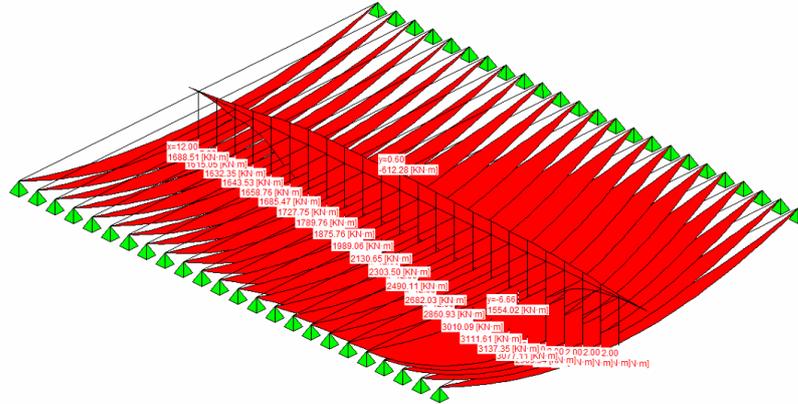


Figura 6-60: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente.

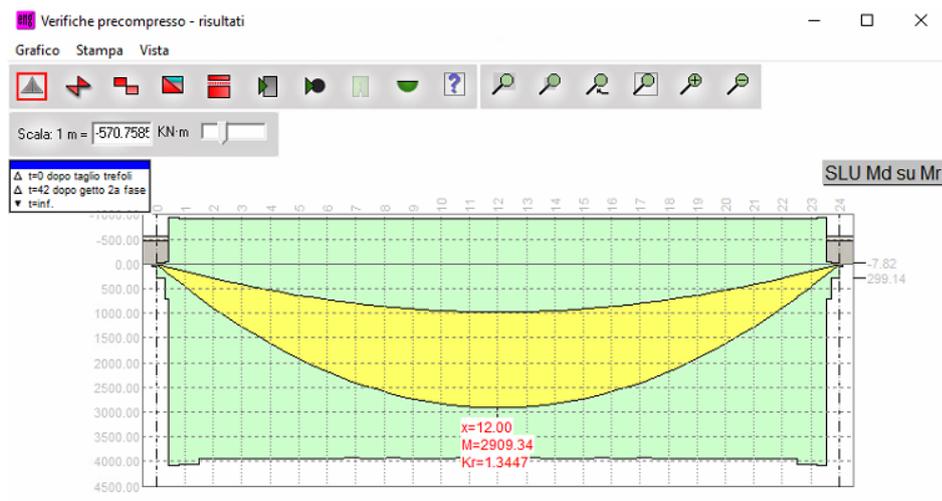


Figura 6-61: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU.

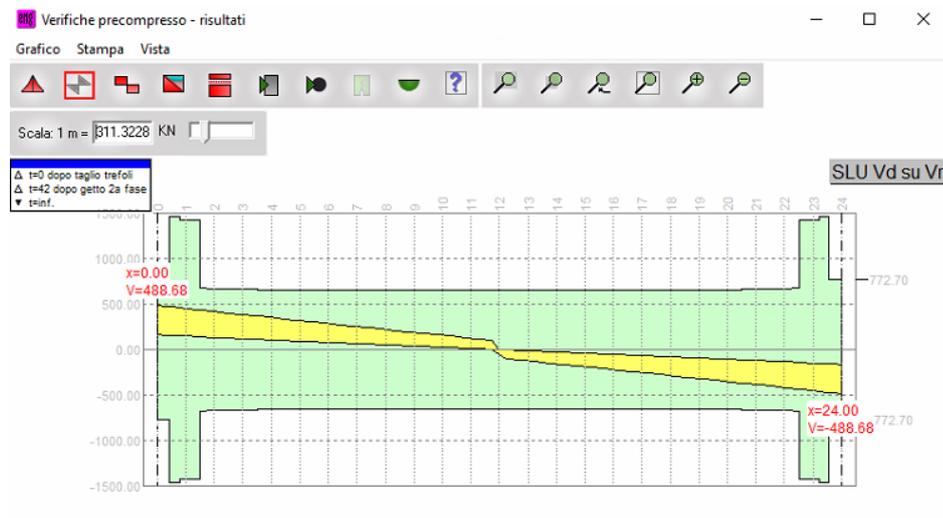


Figura 6-62: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.

Si riporta inoltre una verifica SLU semplificata della soletta:

$$p_p = 0.2 \cdot 25 = 5 \text{ kN/mq}$$

$$p_{av} = 4 \text{ kN/mq}$$

$$q = 20 \text{ kN/mq}$$

$$L(\max) = 1.5 \text{ m}$$

Sez. 100\*20cm,  $\Phi 12/20 \times 20$  sup/inf entrambe le direzioni

$$M_{sd, \max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot 1.5^2 / 8 = 11.3 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 36 \text{ kNm/m}$$

$$M_{sd, \max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot 1.5 / 2 = 30 \text{ kN/m} < V_{rd} = 84 \text{ kN/m}$$

Non si riportano le verifiche in cc SLE che risultano però anch'esse soddisfatte. La deformazione dell'impalcato considerando il carico accidentale in cc SLE rara è pari massimo a circa L/905, valore compatibile con la funzionalità dell'opera.

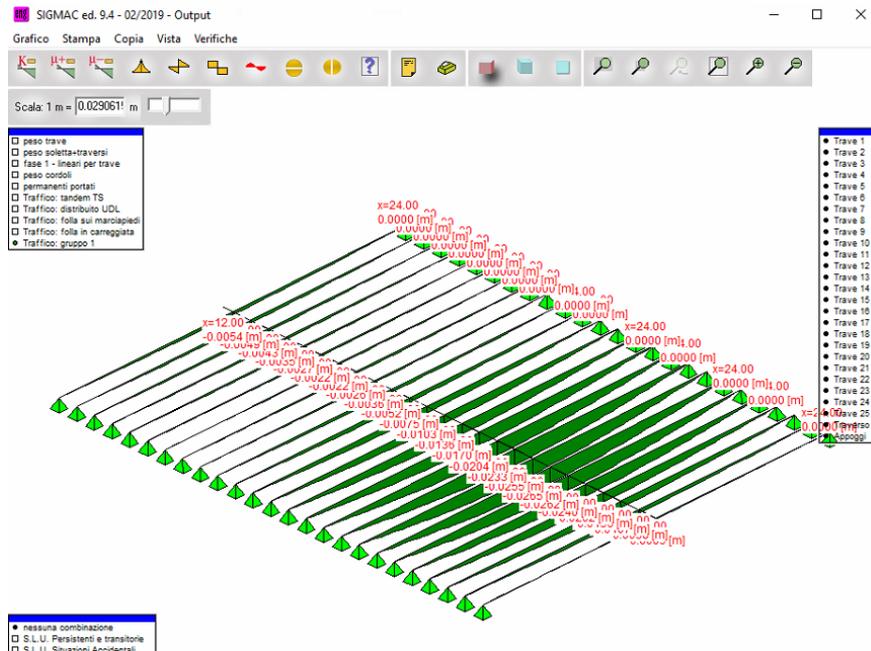


Figura 6-63: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.

#### 6.4.1.2 Verifica del muro centrale

Per la verifica del muro centrale si rimanda al §6.2, che riporta le verifiche del muro in esame, sul quale è appoggiato anche l'impalcato CDR-01-b1.

#### 6.4.1.3 Verifica del muro laterale (Nord)

Per la verifica del muro laterale a Nord, che sostiene sia l'impalcato CDR-01-a1 sia l'impalcato CDR-01-c, si rimanda alla verifica del muro centrale (paragrafo precedente), analogo per tipologia, geometrie e fondazioni, ma più caricato rispetto a quello in esame.

#### 6.4.2 Impalcato CDR-01-a2

Si tratta di un impalcato stradale, realizzato con travi in c.a.p. prefabbricate, similmente al CDR-01-a1. Si rimanda pertanto al relativo paragrafo (§6.4.1 per ulteriori dettagli).

La rappresentazione della geometria della sezione è la medesima riportata al paragrafo succitato.



### 6.4.3 Impalcato CDR-01-b1

Si tratta di un impalcato stradale realizzato in c.a., su pile e muri in c.a. su pali di fondazione. Si riporta a seguire la rappresentazione della sezione "CDR-01-a1 e CDR-01-b1".

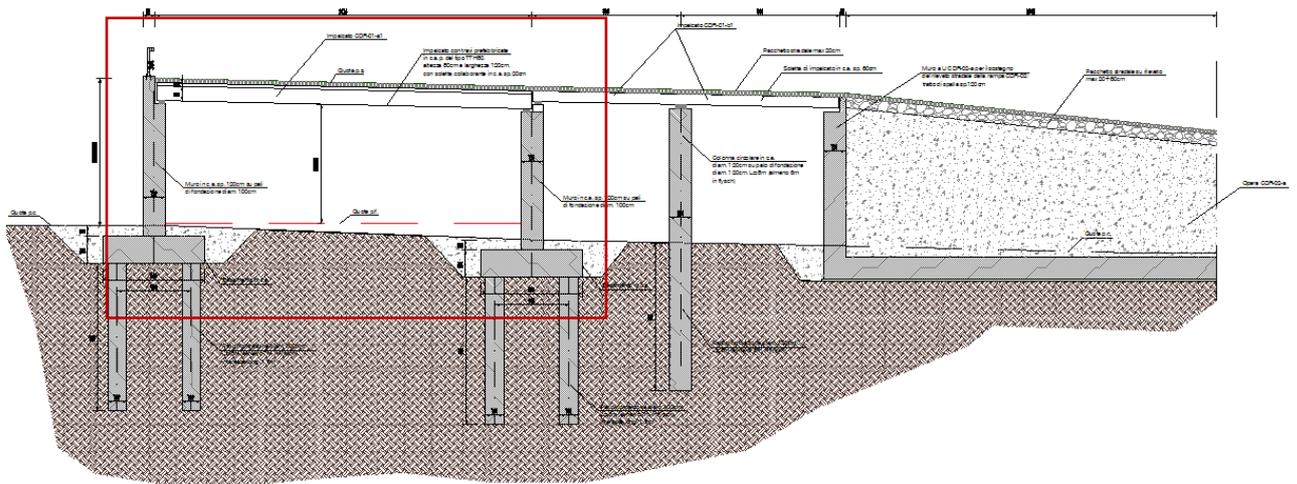


Figura 6-64: sezione tipo dell'intervento in esame (riquadrate in rosso l'impalcato CDR-01-a1).

#### 6.4.3.1 Verifica dell'impalcato

Come sopra detto, l'impalcato è costituito da una soletta monolitica in c.a. di spessore costante. La verifica semplificata è stata fatta considerando le due fasce di impalcato maggiormente sollecitate.

La direzione "longitudinale" è definita come la direzione (prevalente) stradale.

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche dell'impalcato.

Altezza totale della soletta in c.a. .... 0.60 m

Larghezza min/max dell'impalcato in direzione longitudinale ~ 15-21 m

Campate in direzione longitudinale (dimensione max) ..... 2 campate da ~10.5 m

Larghezza max area influenza in direzione longitudinale .... 8.5 m

Larghezza min/max dell'impalcato in direzione trasversale. ~ 10-24 m

Campate in direzione longitudinale (dimensione media) ..... 2 campate da ~9.0 m



Larghezza max area influenza in direzione trasversale..... 7.0 m

Altezza totale della pavimentazione stradale ..... 10/20 cm

Si riportano a seguire le verifiche delle travi di impalcato, considerando i seguenti carichi:

peso proprio impalcato:  $pp,sol = 0.6 \cdot 25 = 15 \text{ kN/mq}$

peso proprio pavimentazione:  $pp,pav = 0.2 \cdot 20 = 4 \text{ kN/mq}$

carico variabile stradale:  $q = 20 \text{ kN/mq}$

Il carico sull'impalcato nelle varie cc è pari a:

$$q,slu = 1.35 \cdot 15 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20 = 53.3 \text{ kN/mq}$$

$$q,sle,rr = 15 + 4 + 20 = 39 \text{ kN/mq}$$

$$q,sle,fr = 15 + 4 + 0.75 \cdot 20 = 34 \text{ kN/mq}$$

$$q,sle,sism = 15 + 4 = 19 \text{ kN/mq}$$

Lo schema statico, sia per le travi longitudinali sia per le trasversali, è di trave su più appoggi.

Si riportano a seguire le verifiche. Il carico viene ripartito nelle due direzioni.

#### Impalcato direzione longitudinale

$$Msd,slu (+) = 53.3/2 \cdot 10.5^2 \cdot 9/128 = 206.5 \text{ kNm}$$

$$Msd,slu (-) = -53.3/2 \cdot 10.5^2/8 = -367 \text{ kNm/m}$$

$$Vsd,slu = 53.3/2 \cdot 10.5 \cdot 5/8 = 175 \text{ kNm}$$

$$Msd,sle,rr (+) = 39/2 \cdot 10.5^2 \cdot 9/128 = 151 \text{ kNm}$$

$$Msd,sle,rr (-) = -39/2 \cdot 10.5^2/8 = -268.5 \text{ kNm/m}$$

Le verifiche sono soddisfatte in quanto:

sez. 100x60cm,  $\Phi 20/15$  sup (inf all'appoggio) e  $\Phi 24/15$  inf (sup all'appoggio)



$$M_{rd} (+) = 432 \text{ kNm} > M_{sd,slu} (+) = 206.5 \text{ kNm}$$

$$M_{rd} (-) = -606 \text{ kNm} > M_{sd,slu} (-) = -367 \text{ kNm/m}$$

$$V_{rd} = 245 \text{ kN} > V_{sd,slu} = 175 \text{ kN}$$

In cc SLE, le verifiche non sono riportate ma sono ancora soddisfatte.

#### Impalcato direzione longitudinale

In direzione lo schema statico, i carichi, la geometria e le armature sono le stesse, ma si riduce la luce delle campate e quindi le sollecitazioni, rispetto alla direzione longitudinale. Si ritengono pertanto le verifiche implicitamente soddisfatte.

#### *6.4.3.2 Muro centrale (in mezzeria) e pali di fondazione*

Si riporta a seguire la verifica del muro in mezzeria, sollecitato dagli impalcati CDR-01-a1 e CDR-01-b1.

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche, valide indicativamente peraltro per tutti i muri del tratto CD-01.

Altezza totale fuori terra del muro ..... ~8.0 m

Spessore dei muri ..... 1.20 m

Diametro dei pali..... 1.00 m

Interasse longitudinale dei pali ..... 1.50 m

Interasse trasversale dei pali ..... 4.00 m

Altezza basamento ..... 1.50 m

Larghezza basamento ..... 5.50 m

Profondità dei pali ..... 8.0 m (e almeno 7m in Flysch integro)

Si riporta a seguire il dimensionamento e la verifica dei muri, in cc SLU e SLV. I valori di riferimento assunti nei calcoli a seguire (in parte già riportati nei paragrafi precedenti) sono i seguenti:



carico perm. di impalcato CDR-01-a1 (slu):	$g_{1,slu} = 11.4*1.35+4*1.5 = 21.4 \text{ kN/mq}$
carico perm. di impalcato CDR-01-b1 (slu):	$g_{1,slu} = 15*1.35+4*1.5 = 26.3 \text{ kN/mq}$
carico perm. di impalcato CDR-01-a1 (slv):	$g_{1,slu} = 11.4+4 = 15.4 \text{ kN/mq}$
carico perm. di impalcato CDR-01-b1 (slv):	$g_{1,slu} = 15+4 = 19 \text{ kN/mq}$
carico variabile di impalcato:	$var = 20 \text{ kN/mq}$
peso proprio muro:	$pp = 1.2*1*25 = 30 \text{ kN/m/m}$
peso proprio basamento:	$pp = 1.5*5.5*1*25 = 210 \text{ kN/m}$
accelerazione sismica di impalcato:	$a_{max} = 0.701 \text{ g}$
accelerazione sismica al suolo:	$a_{max,terr} = 0.282 \text{ g}$

#### Verifica del muro

Sp. 120cm

H fuori terra max = 8m

*In cc SLU:*

$$N_{sd,max} = (21.4*20/2+26.3*16/2+1.5*20*(20+16)/2+30*8*1.35 = 1288 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd,max} = 0 \text{ kNm/m}$$

*In cc SLV:*

$$N_{sd,max} = (15.4*20/2+19*16/2+1.5*20*36/2+30*8 = 845+240 = 1085 \text{ kN/m}$$

$$V_{sd,max} = 1085*0.701 = 760 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd,max} = (845*8+240*4)*0.701 = 5405 \text{ kN/m}$$

Le verifiche sono soddisfatte in quanto:

(sez. 100x120cm, armatura verticale  $\Phi 30/10+\Phi 24/10$  int/est, orizzontali 2 livelli  $\Phi 12/20$ , ganci a taglio  $\Phi 12/20 \times 20$ )

$$M_{rd} (N=1085 \text{ kN/m}) = 5442 \text{ kNm/m} > M_{sd} = 5405 \text{ kNm/m}$$



$$V_{rd} = 1520 \text{ kN/m} > V_{sd} = 760 \text{ kNm/m}$$

Si omettono le verifiche SLE che risultano soddisfatte.

#### Verifica dei pali di fondazione

Si riporta a seguire il dimensionamento e la verifica dei pali in cc SLU e SLV.

Le sollecitazioni agenti sul basamento sono calcolate a seguire:

*In cc SLU:*

$$N_{sd,max} = 1288 + 210 \cdot 1.35 = 1572 \text{ kN/m}$$

*In cc SLV:*

$$N_{sd,max} = 1085 + 210 = 1295 \text{ kN/m}$$

$$V_{sd,max} = 1085 \cdot 0.701 + 210 \cdot 0.282 = 820 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd,max} = (845 \cdot 9 + 240 \cdot 5) \cdot 0.701 + 210 \cdot 0.282 \cdot 0.75 = 6210 \text{ kNm/m}$$

Pertanto i pali sono soggetti alle seguenti sollecitazioni:

In cc SLU:  $N_{sd,max} = 1.5 \cdot 1572 / 2 = 1180 \text{ kN}$

$$M_{sd,max} = 0 \text{ kNm/m}$$

In cc SLV:  $N_{sd,c,max} = 1.5 \cdot (1295/2 + 6210/4) = 3300 \text{ kN}$

$$N_{sd,t,max} = 1.5 \cdot (1295/2 - 6210/4) = -1360 \text{ kN}$$

$$V_{sd,max} = 1.5 \cdot 820 / 2 = 615 \text{ kN/m}$$

Si riporta a seguire la rappresentazione del modello del palo realizzato per la verifica con il programma di calcolo CARL di Aztec, e a seguire il format dei risultati delle verifiche geotecniche che risultano soddisfatte.

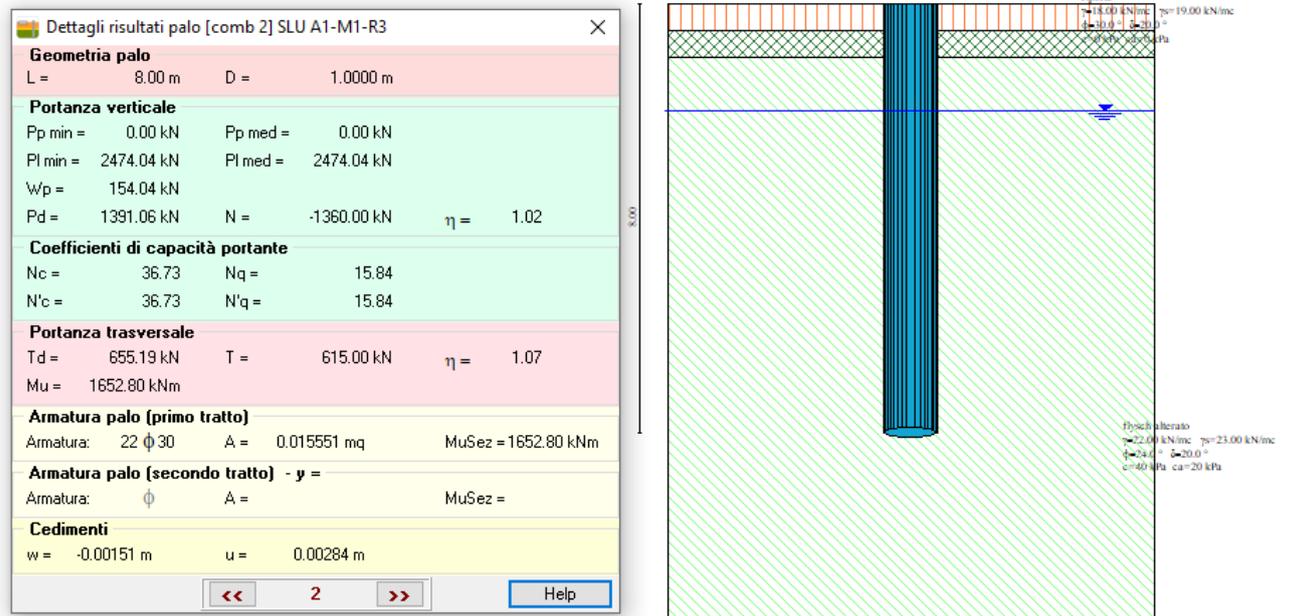


Figura 6-65: schema del palo modellato con Carl 14 e sintesi dei risultati.

Le verifiche geotecniche sono soddisfatte in quanto:

$$N_{sd,c,max} = 3300 \text{ kN} < N_{rd,c} = 3972 \text{ kN}$$

$$N_{sd,t,max} = -1360 \text{ kN} < N_{rd,t} = -1392 \text{ kN}$$

$$V_{sd,max} = 615 \text{ kN} < V_{rd} = 655 \text{ kN}$$

Si riportano ora i valori delle sollecitazioni agenti lungo il palo, e quindi le relative verifiche:

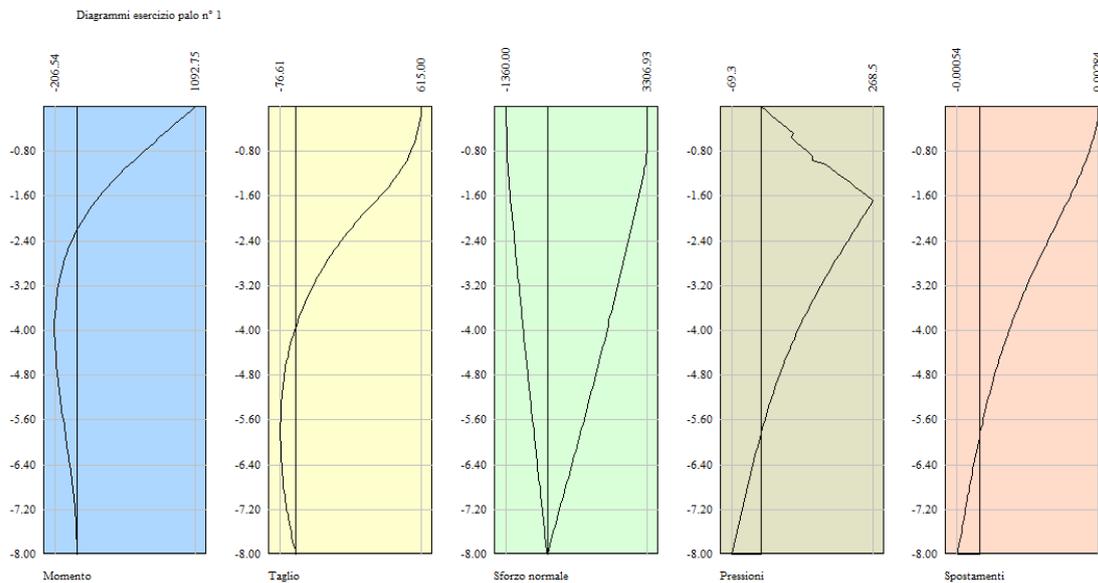


Figura 6-66: risultati delle sollecitazioni determinate con Carl 14.

Anche le verifiche strutturali sono soddisfatte in quanto:

( $\Phi 1000\text{mm}$ , armatura longitudinali 22  $\Phi 30\text{mm}$ , spirale  $\Phi 12/15$ )

$M_{rd}$  ( $N_{sd} = -1360$ ) = 1717 kNm >  $M_{sd,max}$  = 1092 kNm

$V_{rd}$  = 694 kN >  $V_{sd,max}$  = 615 kN

#### 6.4.3.3 Pile/colonne e pali di fondazione delle pile/colonne

L'impalcato CDR-01-b1 è appoggiato in mezzeria su colonne (pile) circolari in c.a. di diametro 120cm, che poggiano su basamento in c.a. su pali di fondazione.

Si riporta a seguire il calcolo delle pile e delle fondazioni delle pile, su pali, considerando come sollecitazioni quelle gravose orizzontali ottenute nelle cc sismiche SLV.

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche dell'impalcato.

Altezza massima colonne/pile in c.a. .... 8.0 m

Diametro colonne/pile in c.a. .... 1.2 m

Massima differenza di quota p.c. e p.s. .... 8.55 m

Diametro dei pali ..... 1.2 m

Lunghezza dei pali ..... 8 m (almeno 6m in fisch)



Numero di pali (per pila) ..... 1

Il peso proprio delle pile e delle fondazioni è pari a:

$$pp,pile = 1.15 \cdot 25 = 29 \text{ kN/m}$$

$$pp,basam = 3 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 25 = 225 \text{ kN}$$

#### Verifica delle pile/colonne

Si riportano a seguire le verifiche per le pile maggiormente sollecitate, in cc SLV. La sollecitazione sismica agente sulle colonne viene suddivisa sugli elementi verticali in funzione della rigidezza.

In direzione x si ha che le colonne sopportano una percentuale dell'azione sismica totale pari al ~5%, mentre in direzione y una quota parte praticamente nulla.

Si riporta a seguire il calcolo:

$$Sd,max = 0.701g$$

$$\text{massa totale impalcato:} \quad 270 \cdot 19 = 5130 \text{ kN}$$

$$\text{massimo tagliante sismico di impalcato:} \quad 5130 \cdot 0.701 = 3596 \text{ kN}$$

$$Nsd,slv,imp = 19 \cdot 10.5 \cdot 8.5 = 1695 \text{ kN}$$

$$Nsd,slv,pil = 29 \cdot 8 = 232 \text{ kN}$$

$$Nsd,tot,slv = 1927 \text{ kN}$$

$$Vsd,x,slv = 3596 \cdot 0.05 + 29 \cdot 8 \cdot 0.701 = 180 + 165 = 345 \text{ kN}$$

$$Vsd,y,slv = 0 \text{ kN}$$

$$Msd,x,slv = (180 \cdot 8 + 165 \cdot 4) = 2100 \text{ kNm}$$

$$Msd,y,slv = 0 \text{ kNm}$$

Le verifiche sono soddisfatte:

Sez. diam. 120cm, 20  $\Phi$ 30, spirale  $\Phi$ 12/15



$$M_{sd,x} = 2100 \text{ kNm} < M_{rd,x,slv} = 2636 \text{ kNm}$$

$$V_{sd,x} = 345 \text{ kN} < V_{rd,x,slv} = 725 \text{ kNm}$$

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 60 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 20
- Diametro barre: 3 [cm]
- Copriferro (baric.): 4 [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0, M<sub>Ed</sub>: 0, V<sub>Ed</sub>: 0

Metodo n: -325 kN, 520 kNm, 0

**Materiali**

B450C c32/40

E<sub>su</sub>: 67.5 %, E<sub>c2</sub>: 2 %, f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>, E<sub>cu</sub>: 3.5 %, E<sub>s</sub>: 200,000 N/mm<sup>2</sup>, f<sub>cd</sub>: 18.13, E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15, f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8, E<sub>syd</sub>: 1.957 %, σ<sub>c,adm</sub>: 12.25, σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup>, τ<sub>co</sub>: 0.7333, τ<sub>c1</sub>: 2.114

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN: 0, yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U. + S.L.U., Metodo n

**Tipo flessione**

Retta Deviata

Vertici: 50 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>o</sub>: 0 cm Col. modello

**Lato calcestruzzo - Acciaio snervato**

M<sub>xRd</sub>: 2,636 kNm

σ<sub>c</sub>: -18.13 N/mm<sup>2</sup>, σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup>, ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰, ε<sub>s</sub>: 12.28 ‰, d: 116 cm, x: 25.73 x/d: 0.2218, δ: 0.7172

Precompresso

Metodo di Clarke-Birjandi (1993)		
Raggio sezione c.a.	R	600 mm
Copriferro (baricentrico)	c	40 mm
Distanza armatura da centro	Rs	560 mm
	sen(α)	0,594
	α	0,64 rad
Area calcestruzzo equivalente	Av	966585 mm <sup>2</sup>
Altezza utile equivalente	d	957 mm
Larghezza sez. rettangolare equivalente	bw	1011 mm
Sollecitazioni di progetto		
Sollecitazione assiale di progetto compressione (+)	Ned	0,00 kN
Sollecitazione tagliante di progetto	Ved	0,00 kN
Resistenza di elementi con armatura a taglio		
N° bracci armatura trasversale	n°br	2
Diametro armatura trasversale	Øsw	12 mm
Passo armatura trasversale	s	200 mm
Area totale armatura trasversale	Asw	226,2 mm <sup>2</sup>
Percentuale meccanica di armatura a taglio	ωst	2,42 %
Angolo armatura trasversale rispetto ad asse elemento	α	90 °
	ctg α	0
Angolo puntoni di cls rispetto ad asse elemento	θ	35,0 °
*1<ctg θ<=2,5	ctg θ	1,43
Tensione media di compressione (Ned/Ac)<0.2*fcd	σcp	0,000 MPa
Coeff. Maggiorativo	ac	1,00
Resistenza a taglio-trazione	VRsd	544,09 kN
Resistenza a taglio-compressione	Vrcd	3705,83 kN
Resistenza a taglio con armatura specifica	VRd	544,09 kN

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, risultano essere soddisfatte.

### Verifica dei pali di fondazione

Si riporta a seguire la verifica dei pali. Sui pali agiscono le seguenti sollecitazioni:

In cc SLU:  $N_{sd,slu} = 53.3 \cdot 10.5 \cdot 8.5 = 4757 \text{ kN}$

In cc SLV:  $N_{sd,slv} = 19 \cdot 10.5 \cdot 8.5 = 1670 \text{ kN}$

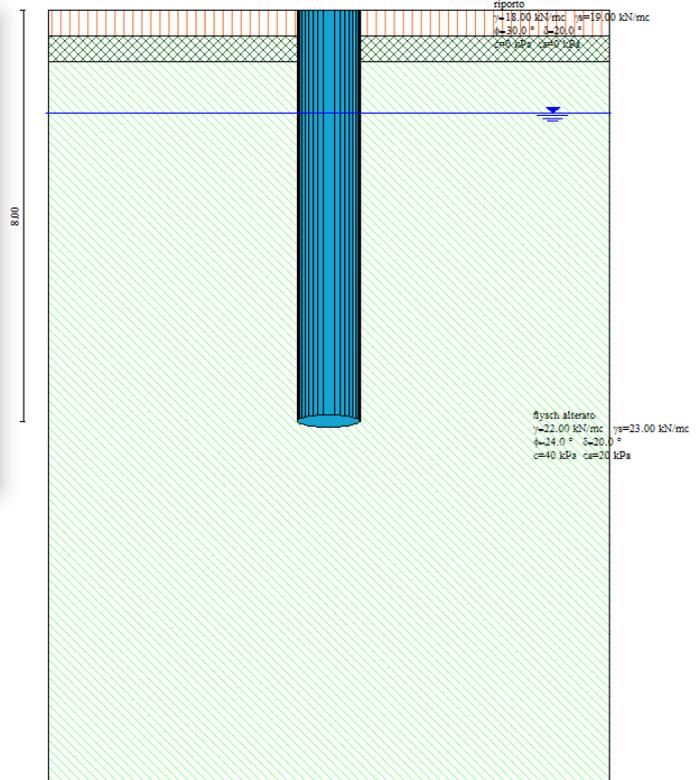
$V_{sd,slv} = 345 \text{ kN}$

$M_{sd,slv} = 2100 \text{ kNm}$

La verifica dei pali è stata svolta con il programma Carl della Aztec, di cui si riporta la schermata di rappresentazione del modello, insieme ai dettagli dei risultati nella verifica più gravosa, che risulta essere soddisfatta.



Dettagli risultati palo [comb 1] SLU A1-M1-R3			
<b>Geometria palo</b>			
L =	8.00 m	D =	1.2000 m
<b>Portanza verticale</b>			
Pp min =	8652.47 kN	Pp med =	8652.47 kN
Pl min =	2573.01 kN	Pl med =	2573.01 kN
Wp =	221.82 kN		
Pd =	5182.32 kN	N =	4757.00 kN
		$\eta =$	1.09
<b>Coefficienti di capacità portante</b>			
Nc =	36.73	Nq =	15.84
N'c =	36.73	N'q =	15.84
<b>Portanza trasversale</b>			
Td =	30.11 kN	T =	0.01 kN
		$\eta =$	3069.99
<b>Armatura palo (primo tratto)</b>			
Armatura:	38 $\phi$ 30	A =	0.026861 mq
		MuSez =	3442.27 kNm
<b>Armatura palo (secondo tratto) - y =</b>			
Armatura:	$\phi$	A =	
		MuSez =	
<b>Cedimenti</b>			
w =	0.00416 m	u =	0.00000 m



Dettagli risultati palo [comb 2] SLU A1-M1-R3			
<b>Geometria palo</b>			
L =	8.00 m	D =	1.2000 m
<b>Portanza verticale</b>			
Pp min =	8652.47 kN	Pp med =	8652.47 kN
Pl min =	2573.01 kN	Pl med =	2573.01 kN
Wp =	221.82 kN		
Pd =	5182.32 kN	N =	1670.00 kN
		$\eta =$	3.10
<b>Coefficienti di capacità portante</b>			
Nc =	36.73	Nq =	15.84
N'c =	36.73	N'q =	15.84
<b>Portanza trasversale</b>			
Td =	349.47 kN	T =	345.00 kN
		$\eta =$	1.01
Mu =	-2765.34 kNm		
<b>Armatura palo (primo tratto)</b>			
Armatura:	38 $\phi$ 30	A =	0.026861 mq
		MuSez =	3442.27 kNm
<b>Armatura palo (secondo tratto) - y =</b>			
Armatura:	$\phi$	A =	
		MuSez =	
<b>Cedimenti</b>			
w =	0.00146 m	u =	0.01093 m

Figura 6-67: schermata del palo modellato con Carl 14 e risultati delle analisi.

Anche la verifica strutturale dei pali, eseguita con le sollecitazioni determinate dal programma lungo il fusto dei pali, è soddisfatta. Si riportano le verifiche per le sollecitazioni più significative.

Sez. diam. 120cm, 38  $\Phi$ 30, spirale  $\Phi$ 12/15

$$M_{sd,x} = 2550 \text{ kNm} < M_{rd,x,slv} = 4322 \text{ kNm}$$

$$V_{sd,x} = 645 \text{ kN} < V_{rd,x,slv} = 725 \text{ kNm}$$

#### 6.4.4 Impalcato CDR-01-b2

L'impalcato in esame è del tutto analogo al CDR-01-b2, progettato al §6.2. Si riporta invece a seguire la verifica del muro su cui appoggia l'impalcato CDR-02-b1 e il CDR-03-a calcolati a seguire.



Si riporta a seguire la rappresentazione della geometria della sezione tipo (CDR-01-b1).

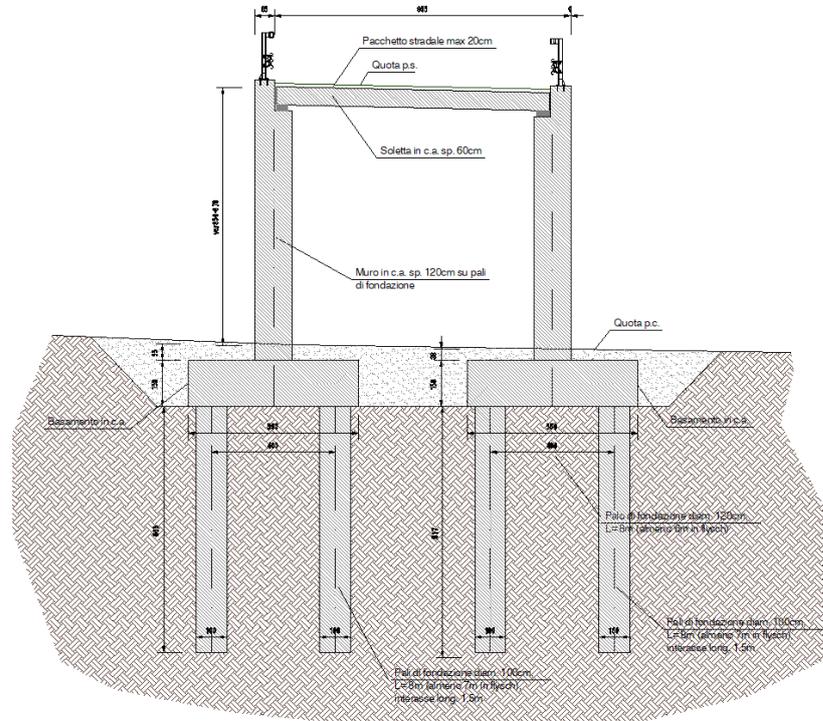


Figura 6-68: sezione tipo dell'intervento in esame.

#### Verifica del muro di appoggio dell'impalcato CDR-01-b2 e CDR-03-a

Si riportano a seguire le caratteristiche geometriche del muro:

Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale max ..... 8.50 m

Larghezza massima ..... 11 m

Spessore del muro ..... 1.2 m

Numero di pali di fondazione per ogni pila..... 4

Diametro dei pali.....  $\Phi 1.0$  m

Lunghezza dei pali..... 10 m (almeno 8m in flysch)

Interasse pali..... 3.5 m



Sul muro di spalla agiscono carichi dimezzati rispetto a quelli calcolati per le pile in mezzera dell'impalcato CDR-03-a; in direzione parallela al muro, il muro è collegato ad altri due muri ortogonali.

Dimensioni sezione 100x120cm,  $\Phi 24/15$  vert. su ogni lato,  $\Phi 16/20$  orizz. su ogni lato

Armatura a taglio:  $\Phi 12/20$

$$N_{sd,tot,slv} = 5347/2 = 2675 \text{ kN}$$

$$V_{sd,x,slv} = 3750/2 = 1875 \text{ kN} \quad < \quad V_{rd,x} = 3875 \text{ kNm}$$

$$M_{sd,x,slv} = 21085/2 = 10543 \text{ kNm} \quad < \quad M_{rd,x} = 12875 \text{ kNm}$$

#### Verifica dei pali di fondazione del muro

Pali  $\Phi 100$ cm, numero tot. 4, int. 3.5m trasv/long, L tot = 10m (almeno 8m in flysch integro)

Sui pali agiscono le seguenti sollecitazioni:

$$N_{sd,c,max} = 2675/4 = 669 \text{ kN}$$

$$M_{sd,max} = 10543/4 = 2636 \text{ kN}$$

$$V_{sd,tot} = 1875/4 = 469 \text{ kN}$$

I valori massimi ottenuti sono inferiori di quelli di verifica considerati per i pali delle pile dell'opera CDR-03-a, al §6.6.1. Le verifiche sono pertanto implicitamente soddisfatte.

Lo stesso dicasi per le verifiche di resistenza strutturale dei pali:

$$M_{sd} = 740 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 469 \text{ kN}$$

#### *6.4.5 Impalcato CDR-01-c*

Si tratta di un impalcato stradale, realizzato con travi in c.a.p. prefabbricate (a cassone), che poggiano sulle pile, realizzate a sezione piena in c.a., che sono fondate su un basamento in c.a. su pali di fondazione.

L'opera è del tutto analoga alla CDR-03-a, riportata al §6.6.1, al quale si rimanda per maggiori dettagli.

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:



Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale max.....	7.75 m	
Larghezza massima di impalcato .....	10.3 m	
Spessore massimo di impalcato.....	1.25	m
Altezza delle travi prefabbricate .....	1.00	m
Altezza della soletta in c.a. ....	0.25	m
Numero di travi prefabbricate per ogni campata .....	5	
Interasse delle travi prefabbricate .....	2.05 m	
Dimensione delle pile .....	10x1.2m	
Lunghezza campata .....	18 m	
Dimensione del basamento di fondazione .....	13.5x5.5 m	
Spessore del basamento di fondazione .....	1.5 m	
Numero di pali di fondazione per ogni pila.....	4+4	
Diametro dei pali.....	Φ1.0 m	
Lunghezza dei pali.....	10 m (almeno 8m in flysch)	
Interasse pali.....	3.5 m	
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	2.10 m	

Si riporta a seguire la geometria della sezione, mentre per il calcolo utilizzato per il dimensionamento, si rimanda al paragrafo succitato.

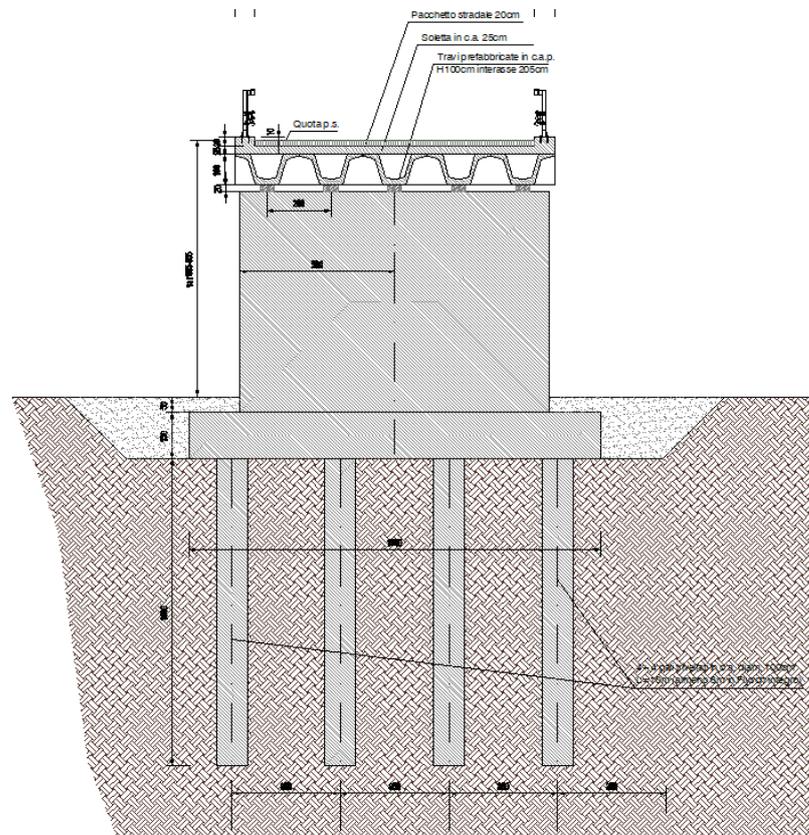


Figura 6-69: sezione tipo dell'intervento in esame.

#### 6.4.6 Incidenza armatura

L'incidenza del calcestruzzo e dell'armatura per le strutture in esame sono riportate a seguire (valori medi).

##### Opera CDR-01-a1/a2:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} = 25m$  (CDR-01-a1) e  $17m$  (CDR-01-a2)

Impalcato:      Volume di calcestruzzo:       $V_{cls} = 0.5$  mc/mq  
                    Peso di acciaio armatura lenta (escluse travi):       $P_{acc} = 60$  kg/mc

Muri:            Volume di calcestruzzo:       $V_{cls} = 9.5$  mc/m  
                    Peso di acciaio armatura lenta (escluse travi):       $P_{acc} = 140$  kg/mc





Soletta:	Volume di calcestruzzo:	$V_{cls} = 0.25 \text{ mc/mq}$
	Peso di acciaio (compresi sfridi):	$P_{acc} = 80 \text{ kg/mc}$
Pila:	Volume di calcestruzzo:	$V_{cls} = 12 \text{ mc/m}$
	Peso di acciaio (compresi sfridi):	$P_{acc} = 110 \text{ kg/mc}$
Basamento:	Volume di calcestruzzo:	$V_{cls} = 8.3 \text{ mc/m}$
	Peso di acciaio (compresi sfridi):	$P_{acc} = 65 \text{ kg/mc}$
Pali:	Volume di calcestruzzo:	$V_{cls} = 0.8 \text{ mc/m}$
	Peso di acciaio (compresi sfridi):	$P_{acc} = 175 \text{ kg/mc}$

## 6.5 CDR-02: rampa stradale verso "Arvedi" e area HHLA-PLT

Come sopra detto, al termine del tratto/rampa di accesso in area "Arvedi" (opere CD02D-b2 e c1/c2/d) vi è lo svincolo secondario "CDR-01", dal quale si dipartono due rami: uno verso Sud e l'altro verso Sud-Est, che portano entrambi in area "Arvedi".

Lo schema planimetrico che segue illustra, in modo grafico, le zone oggetto di analisi e sotto descritte:

- CDR-01: svincolo secondario sopraelevato per l'accesso alle varie aree portuali, realizzato con impalcato in c.a. o c.a.p. su pile/muri e pali di fondazione;
- CDR-02: rampa stradale su rilevato, che collega lo svincolo di cui al punto precedente alla quota del p.c., sostenuto a Nord e a Sud da un muro di sostegno a mensola. Il primo tratto di rilevato, ad altezza maggiore, è sostenuto da un muro ad U. L'opera viene suddivisa in due sezioni;
- CDR-03: rampa stradale su impalcato o rilevato, che collega lo svincolo CDR-01 alla quota del p.c.. Il primo tratto è realizzato su impalcato, mentre sul secondo tratto, di altezza inferiore, la strada è realizzata su rilevato, sostenuto ambo i lati da muri di sostegno.

Si riportano a seguire le planimetrie dei tratti interessati.

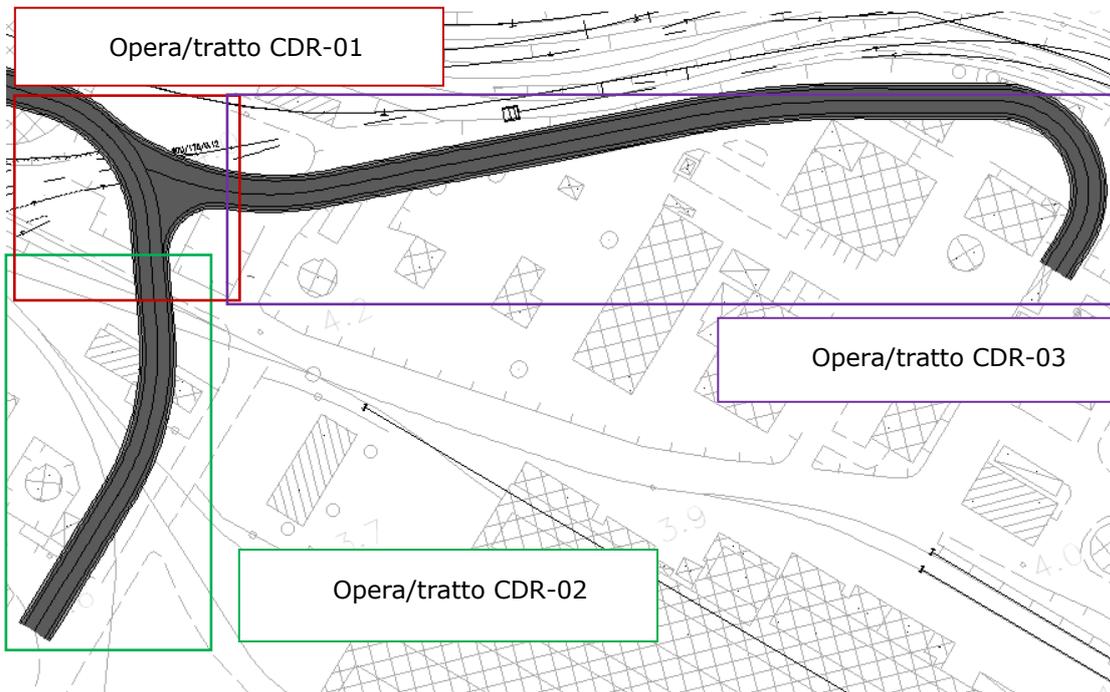


Figura 6-70: key-plan generale degli interventi in esame.

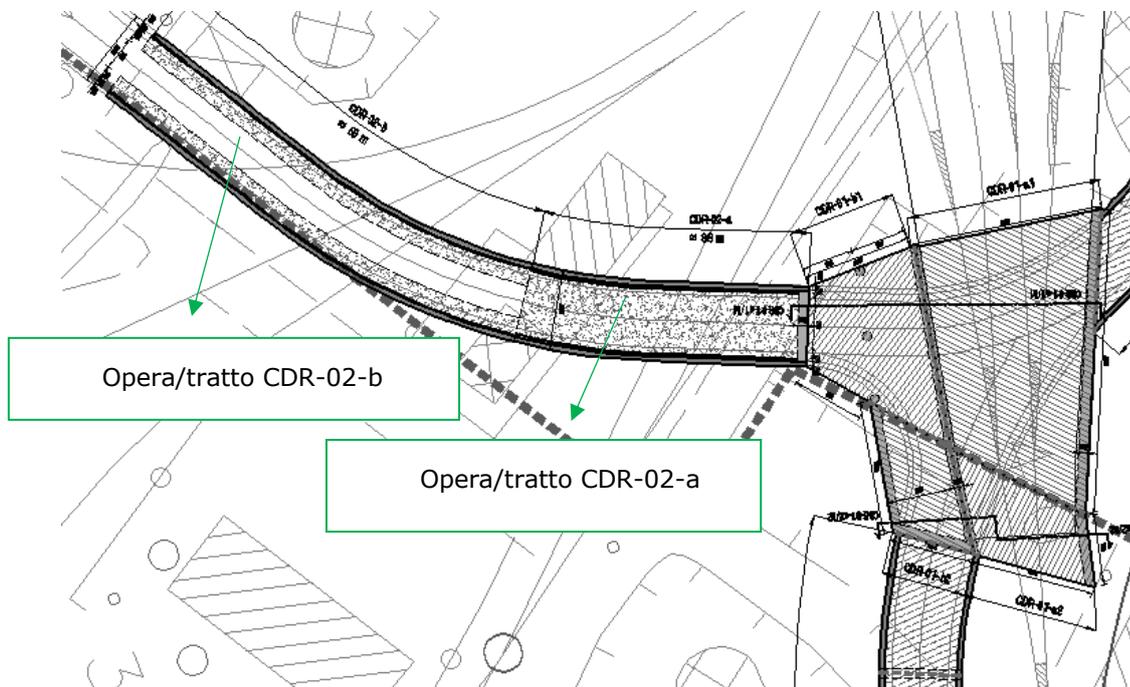


Figura 6-71: planimetria delle tipologie di interventi CDR-02.

### 6.5.1 Opera CDR-02-a: muro di sostegno ad U

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:



Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max ....	4.50-8.20 m
Altezza complessiva del muro min/max .....	4.90-8.40 m
Spessore del paramento verticale .....	1.00 m
Larghezza complessiva della soletta di fondazione .....	10.30 m
Spessore della soletta di fondazione .....	1.00 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	0.50 m
Spessore pacchetto rilevato stradale (max).....	0.40 m

Per le verifiche dell'opera CDR-02-a si rimanda alle verifiche del tratto CD02D-c1, del tutto analogo (vd. §

#### 6.5.2 *Opera CDR-02-b: muro di sostegno*

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max ....	0.00-4.50 m
Altezza complessiva del muro min/max .....	0.00-4.85 m
Spessore del paramento verticale .....	0.80 m
Larghezza complessiva della soletta di fondazione .....	3.00 m
Spessore della soletta di fondazione .....	0.80 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	0.30 m
Spessore pacchetto rilevato stradale (max).....	0.40 m

Per le verifiche dell'opera CDR-02-b si rimanda invece alle verifiche del tratto analogo CDR-03-b riportato a seguire (vd. §6.6.2).

#### 6.5.3 *Incidenza armatura*

L'incidenza del calcestruzzo e dell'armatura per le sezioni in esame (dimensioni medie) sono riportate a seguire.



Per il muro CDR-02-a (mediamente):

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 35$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 23.5$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 110$  kg/mc

Per il muro CDR-02-b (mediamente):

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 60$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 5.5$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 90$  kg/mc

## **6.6 CDR-03: opere CDR-03-a/b ramo stradale da svincolo CDR-01 a interno area Arvedi**

Si riporta a seguire, brevemente, la verifica dell'impalcato e dei muri che sostengono il rilevato stradale CDR-03 del ramo stradale che dallo svincolo secondario di cui al §6.4 si collega con l'area interna Arvedi.

Si suddivide l'opera in due tratti, l'opera CDR-03-a, di altezza maggiore (dislivello max/min fuori terra 820-500cm), corrisponde al tratto iniziale dallo svincolo, di lunghezza circa pari a 200m; il secondo tratto, denominato opera CDR-03-b, si estende per i restanti 100m circa lato area Arvedi, e ha altezza fuori terra minore, max/min 500-0cm.

Per la planimetria dei tratti interessati, si rimanda all'immagine presente al §6.3.

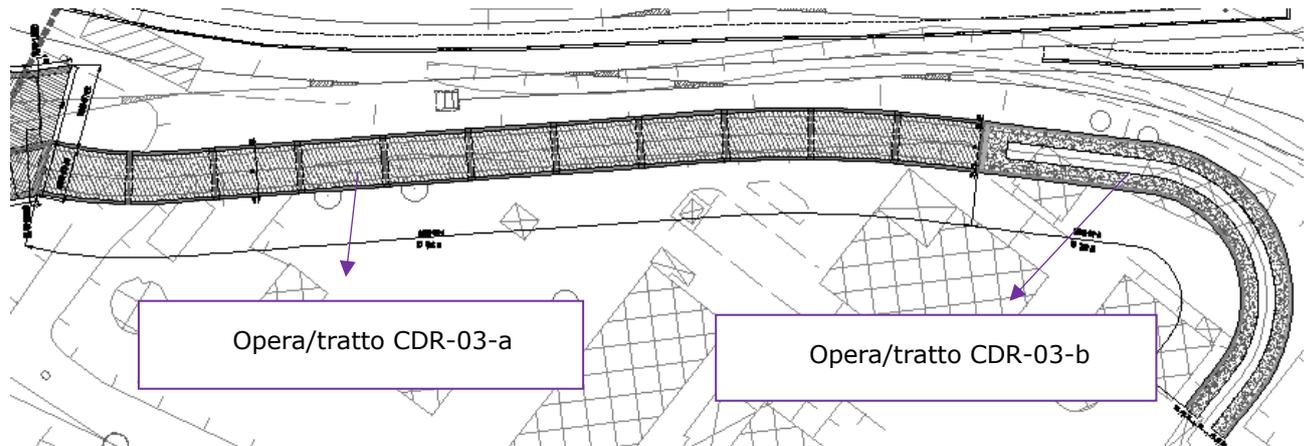


Figura 6-72: planimetria delle tipologie di interventi CDR-03.

### 6.6.1 Impalcato CDR-03-a

Si tratta di un impalcato stradale, in pendenza, realizzato con travi in c.a.p. prefabbricate (a cassone), che poggiano sulle pile, realizzate a sezione piena in c.a., che sono fondate su un basamento in c.a. su pali di fondazione. Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:

Differenza di quota p.f. rispetto al p.c. attuale min/max ....	5.00-8.20 m
Larghezza massima di impalcato .....	10.3 m
Spessore massimo di impalcato.....	1.25 m
Altezza delle travi prefabbricate .....	1.00 m
Altezza della soletta in c.a. ....	0.25 m
Numero di travi prefabbricate per ogni campata .....	5
Interasse delle travi prefabbricate .....	2.05 m
Dimensione delle pile.....	10x1.2m
Lunghezza campata max .....	18 m
Dimensione del basamento di fondazione .....	13.5x5.5 m
Spessore del basamento di fondazione .....	1.5 m



Numero di pali di fondazione per ogni pila.....	4+4
Diametro dei pali.....	Φ1.0 m
Lunghezza dei pali.....	10 m (almeno 8m in flysch)
Interasse pali.....	3.5 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	2.10 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, ed il calcolo utilizzato per il dimensionamento.

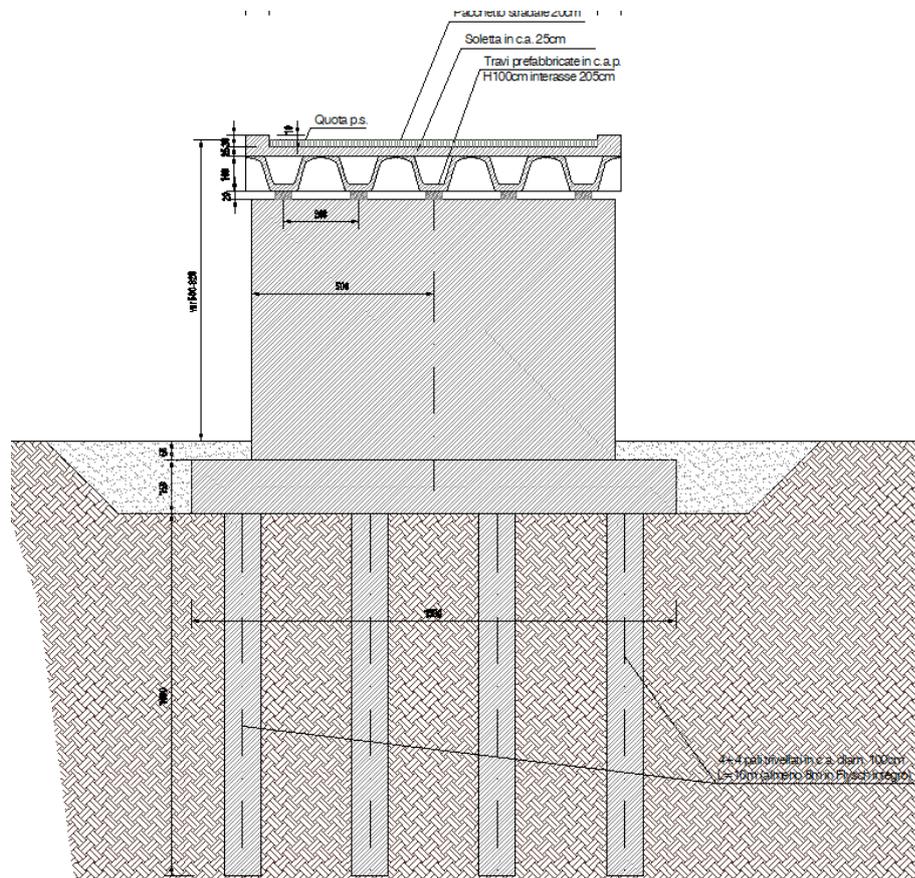


Figura 6-73: sezione tipo dell'intervento in esame.

I carichi agenti e trasmessi dall'impalcato e dalla sottostruttura sono i seguenti:

peso proprio pavimentazione:	$pp,pav = 0.2 \cdot 20 = 4 \text{ kN/mq}$
peso proprio impalcato:	$pp,imp = 0.5 \cdot 25 / 2.05 + 0.25 \cdot 25 = 12.4 \text{ kN/mq}$
peso proprio pila:	$pp,pila = 10 \cdot 1.2 \cdot 25 = 300 \text{ kN/m}$



peso proprio fondazione:  $pp, \text{fond} = 1.5 \cdot 5.5 \cdot 25 = 210 \text{ kN/m}$

carico variabile:  $q, \text{var} = 20 \text{ kN/mq}$

### 6.6.1.1 Verifica dell'impalcato

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate "a cassone" in c.a.p., appoggiate e accostate, di larghezza complessiva 2.05m, sulle quali viene successivamente realizzata una soletta collaborante in c.a. di spessore 25cm.

Si riportano a seguire le verifiche delle travi e della soletta di impalcato, svolte con il programma XPonti della SIGMA C, programma per il calcolo dei ponti e delle solette di impalcato.

Si riportano a seguire la rappresentazione del modello di calcolo e le verifiche svolte.

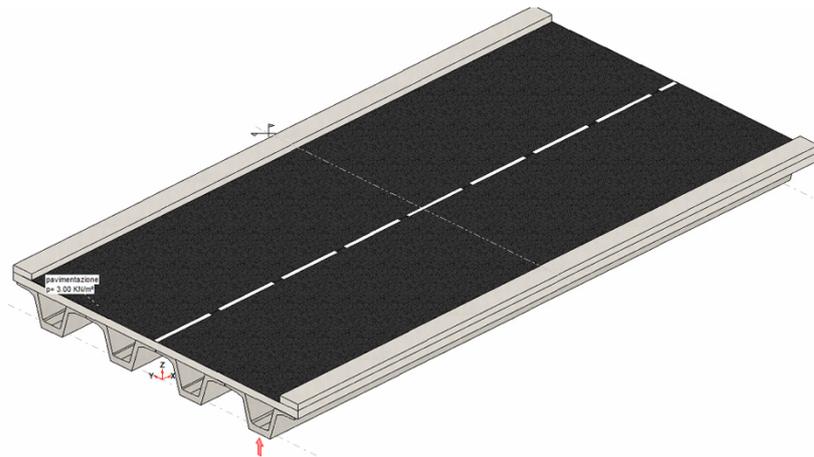


Figura 6-74: rappresentazione del modello di calcolo con il programma XPonti.

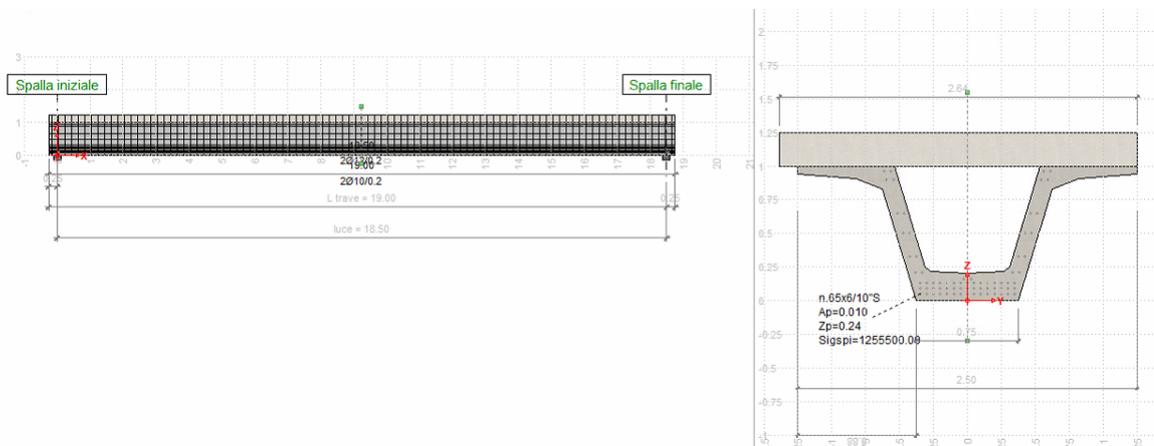


Figura 6-75: rappresentazione della sezione tipo della trave.

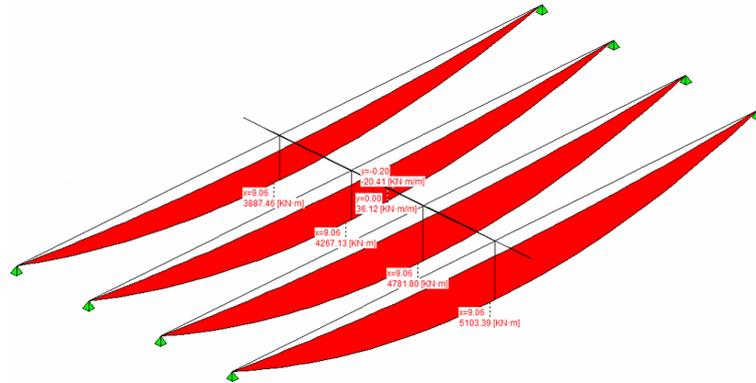


Figura 6-76: rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo nelle travi in cc SLU: momento flettente.

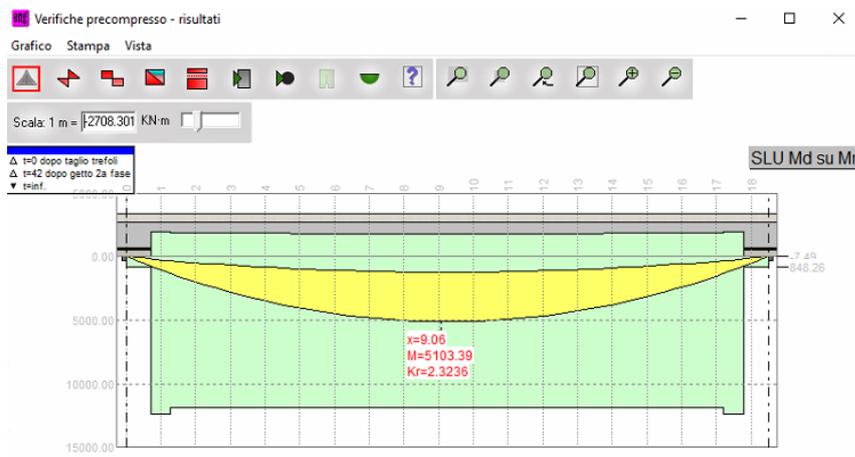


Figura 6-77: verifica svolta automaticamente a flessione in cc SLU.

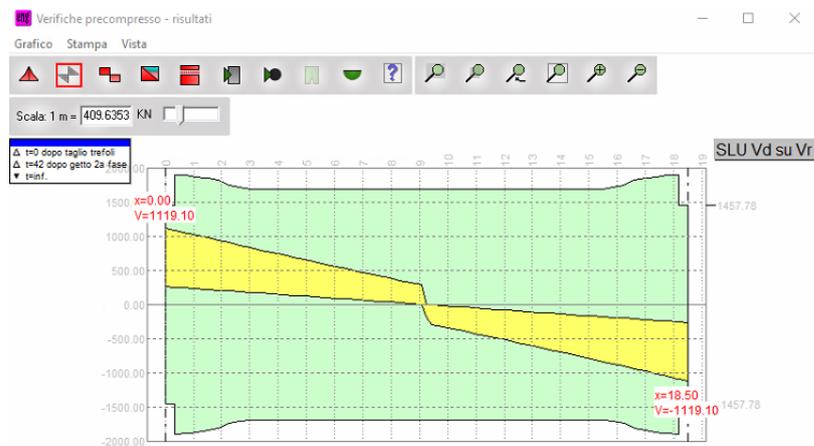


Figura 6-78: verifica svolta automaticamente a taglio in cc SLU.



Si riporta inoltre una verifica SLU semplificata della soletta:

$$pp = 0.2 \cdot 25 = 5 \text{ kN/mq}$$

$$pav = 4 \text{ kN/mq}$$

$$q = 20 \text{ kN/mq}$$

$$L (\text{max}) = 2.5 \text{ m (cautelativamente)}$$

Sez. 100\*20cm,  $\Phi 12/20 \times 20$  sup/inf entrambe le direzioni

$$Msd, \text{max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot 2.5^2 / 8 = 31.4 \text{ kNm/m} < Mrd = 36 \text{ kNm/m}$$

$$Msd, \text{max} = (1.35 \cdot 5 + 1.5 \cdot 4 + 1.35 \cdot 20) \cdot 2.5 / 2 = 50 \text{ kN/m} < Vrd = 84 \text{ kN/m}$$

Non si riportano le verifiche in cc SLE che risultano però anch'esse soddisfatte. La deformazione dell'impalcato considerando il carico accidentale in cc SLE rara è pari massimo a circa  $L/1400$ , valore compatibile con la funzionalità dell'opera.

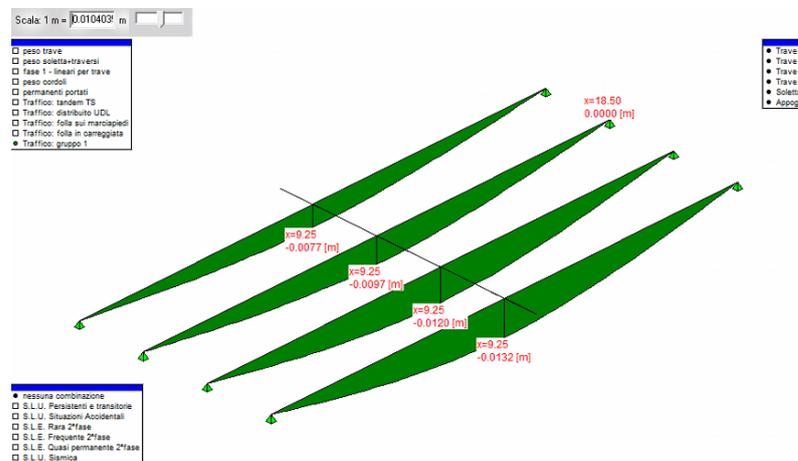


Figura 6-79: rappresentazione della deformata di calcolo nelle travi con applicazione del carico accidentale in cc SLE rara.

### 6.6.1.2 Verifica della pila

Si riporta a seguire la verifica della pila in c.a. nelle combinazioni di carico SLU e SLV. Si calcolano a seguire i carichi agenti sulla pila.

Nella c.c. SLU:

$$Nsd, \text{max} = (1.35 \cdot 12.4 + 1.5 \cdot 4) \cdot 11 \cdot 18 + 1.35 \cdot 300 \cdot 7 = 7340 \text{ kN}$$



Eventuali carichi orizzontali e momenti flettenti sulle pile, in cc SLU (per eccentricità del carico) o eccezionale (urto), sono trascurabili rispetto ai carichi in condizione sismica.

Nella c.c. SLV:

$$S_{d,max} = 0.701g$$

$$N_{sd,slv,imp} = (4+12.4)*11*18 = 3247 \text{ kN}$$

$$N_{sd,slv,pil} = 300*7 = 2100 \text{ kN}$$

$$N_{sd,tot,slv} = 5347 \text{ kN}$$

$$V_{sd,x,slv} = (5347)*0.701 = 3750 \text{ kN}$$

$$V_{sd,y,slv} = 0.3*3750 = 1125 \text{ kN}$$

$$M_{sd,x,slv} = (3247*7+2100*3.5)*0.701 = 21085 \text{ kNm}$$

$$M_{sd,y,slv} = 0.3*21085 = 6325 \text{ kNm}$$

Sez. 1000\*120cm,  $\Phi 30/15$

Dim. sezione 100x120cm,  $\Phi 30/15$  verticali su ogni lato,  $\Phi 16/20$  orizzontali su ogni lato

Armatura a taglio:  $\Phi 12/20$

Le verifiche sono soddisfatte in quanto:

$$M_{rd,x} = 22618 \text{ kNm} > M_{sd,x,slv} = 21085 \text{ kNm}$$

$$M_{rd,y} = 41832 \text{ kNm} > M_{sd,y,slv} = 6325 \text{ kNm}$$

$$V_{rd,x} = 3750 \text{ kN} > V_{sd,x,slv} = 4570 \text{ kN}$$

$$V_{rd,y} = 1125 \text{ kN} > V_{sd,y,slv} = 2765 \text{ kN}$$

Anche considerando il sisma a 90°:



$$Mrd,x = 21639 \text{ kNm} > Msd,x,slv = 6325 \text{ kNm}$$

$$Mrd,y = 76794 \text{ kNm} > Msd,y,slv = 21085 \text{ kNm}$$

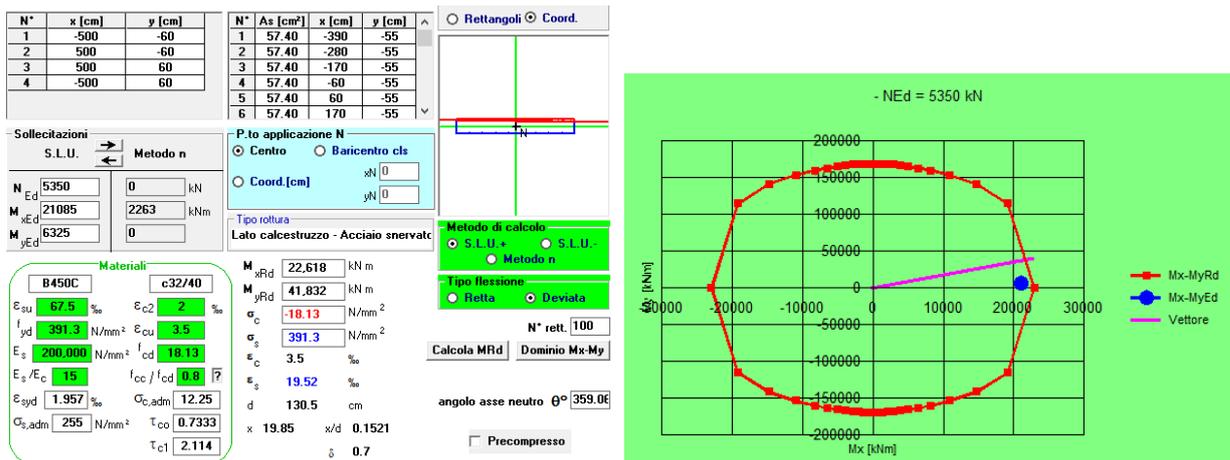


Figura 6-80: format di calcolo.

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, risultano essere soddisfatte.

### 6.6.1.3 Verifica dei pali di fondazione

Basamento sez. 550x150cm

Pali  $\Phi 100\text{cm}$ , n. tot. 4+4, int. 3.5m trasv/long, L tot = 10m (almeno 8m in flysch integro)

In cc SLU:

$$Nsd,max = (1.35 \cdot 12.4 + 1.5 \cdot 4) \cdot 11 \cdot 18 + 1.35 \cdot 300 \cdot 7 = 7340 + 1.35 \cdot 210 \cdot 13.3 = 11110 \text{ kN}$$

In cc SLV:

$$a_{max} \text{ (al suolo)} = 0.194 \cdot 1.453 = 0.282g$$

$$a_{max} \text{ (di impalcato)} = 0.701g$$

$$Nsd,slv,imp = (4 + 12.4) \cdot 11 \cdot 18 = 3247 \text{ kN}$$

$$Nsd,slv,pil = 300 \cdot 7 = 2100 \text{ kN}$$



$$N_{sd,slv,basam+terr} = 210 \cdot 13.3 + 5.5 \cdot 0.5 \cdot 18 \cdot 13.3 = 3450 \text{ kN}$$

$$N_{sd,tot,slv} = 8800 \text{ kN}$$

$$V_{sd,x,slv} = (3247 + 2100) \cdot 0.701 + 3450 \cdot 0.282 = 4720 \text{ kN}$$

$$V_{sd,y,slv} = 0.3 \cdot 4720 = 1415 \text{ kN}$$

$$M_{sd,x,slv} = (3247 \cdot 8 + 2100 \cdot 4.5) \cdot 0.701 + 3450 \cdot 0.282 \cdot 1 = 25810 \text{ kNm}$$

$$M_{sd,y,slv} = 0.3 \cdot 25810 = 7740 \text{ kNm}$$

Le sollecitazioni massime di compressione e trazione dei pali sono calcolate a seguire:

In cc SLU:  $N_{sd,c,max} = 11110/8 = 1390 \text{ kN}$

In cc SLV:  $N_{sd,c,max} = 8800/8 + (25810 + 7740)/3.5/4 = 3496 \text{ kN}$

$$N_{sd,t,max} = 8800/8 - (25810 + 7740)/3.5/4 = -1296 \text{ kN}$$

$$V_{sd,tot} = 4925/8 = 615 \text{ kN}$$

La verifica dei pali è stata svolta con il programma Carl della Aztec, di cui si riporta la schermata di rappresentazione del modello, insieme ai dettagli dei risultati nella verifica più gravosa, che risulta essere soddisfatta.



Dettagli risultati palo [comb 1] SLU A1-M1-R3			
<b>Geometria palo</b>			
L =	9.00 m	D =	1.0000 m
<b>Portanza verticale</b>			
Pp min =	6197.67 kN	Pp med =	6197.67 kN
Pl min =	2494.06 kN	Pl med =	2494.06 kN
Wp =	173.30 kN		
Pd =	4051.46 kN	N =	3496.00 kN
		$\eta =$	1.16
<b>Coefficienti di capacità portante</b>			
Nc =	36.73	Nq =	15.84
N'c =	36.73	N'q =	15.84
<b>Portanza trasversale</b>			
Td =	718.76 kN	T =	615.00 kN
		$\eta =$	1.17
<b>Armatura palo (primo tratto)</b>			
Armatura:	25 $\Phi$ 30	A =	0.017671 mq
		MuSez =	1842.92 kNm
<b>Armatura palo (secondo tratto) - y =</b>			
Armatura:	$\Phi$	A =	
		MuSez =	
<b>Cedimenti</b>			
w =	0.00391 m	u =	0.00279 m

Dettagli risultati palo [comb 2] SLU A1-M1-R3			
<b>Geometria palo</b>			
L =	9.00 m	D =	1.0000 m
<b>Portanza verticale</b>			
Pp min =	0.00 kN	Pp med =	0.00 kN
Pl min =	2494.06 kN	Pl med =	2494.06 kN
Wp =	173.30 kN		
Pd =	1420.33 kN	N =	-1296.00 kN
		$\eta =$	1.10
<b>Coefficienti di capacità portante</b>			
Nc =	36.73	Nq =	15.84
N'c =	36.73	N'q =	15.84
<b>Portanza trasversale</b>			
Td =	718.76 kN	T =	615.00 kN
		$\eta =$	1.17
<b>Armatura palo (primo tratto)</b>			
Armatura:	25 $\Phi$ 30	A =	0.017671 mq
		MuSez =	1842.92 kNm
<b>Armatura palo (secondo tratto) - y =</b>			
Armatura:	$\Phi$	A =	
		MuSez =	
<b>Cedimenti</b>			
w =	-0.00145 m	u =	0.00279 m

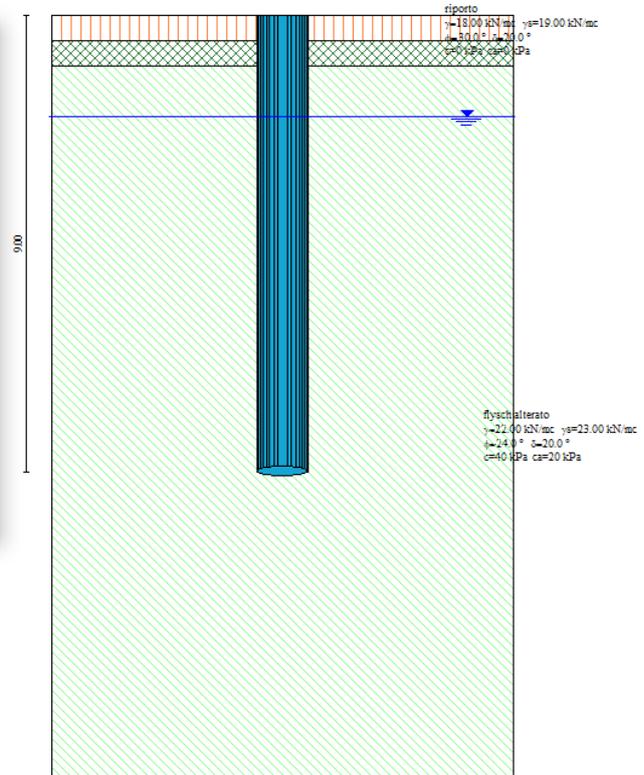


Figura 6-81: schermata del palo modellato con Carl 14 e risultati delle analisi.

Anche la verifica strutturale dei pali, eseguita con le sollecitazioni determinate dal programma lungo il fusto dei pali, è soddisfatta. Si riportano le verifiche per le sollecitazioni più significative.

Pali  $\Phi$ 100cm, 25  $\Phi$ 30 long

Armatura a taglio: spirale  $\Phi$ 12/15

Msd = 1086 kNm < Mrd = 2320 kNm

Vsd = 615 kN < Vrd = 695 kN

## 6.6.2 Opera CDR-03-b

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera:



Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max ....	5.00-0.0 m
Altezza complessiva del muro max .....	~ 5.40 m
Spessore del paramento verticale .....	0.80 m
Larghezza complessiva della soletta di fondazione .....	3.50 m
Spessore della soletta di fondazione .....	0.80 m
Larghezza totale dell'opera/rilevato .....	~ 11.0 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	0.30 m
Spessore della pavimentazione stradale .....	10/20 cm

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, ed il calcolo utilizzato per il dimensionamento.

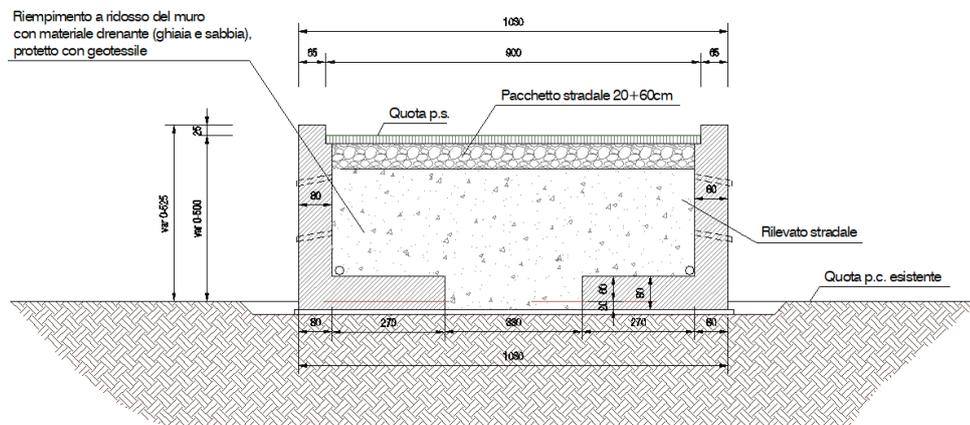


Figura 6-82: sezione tipo dell'intervento in esame.

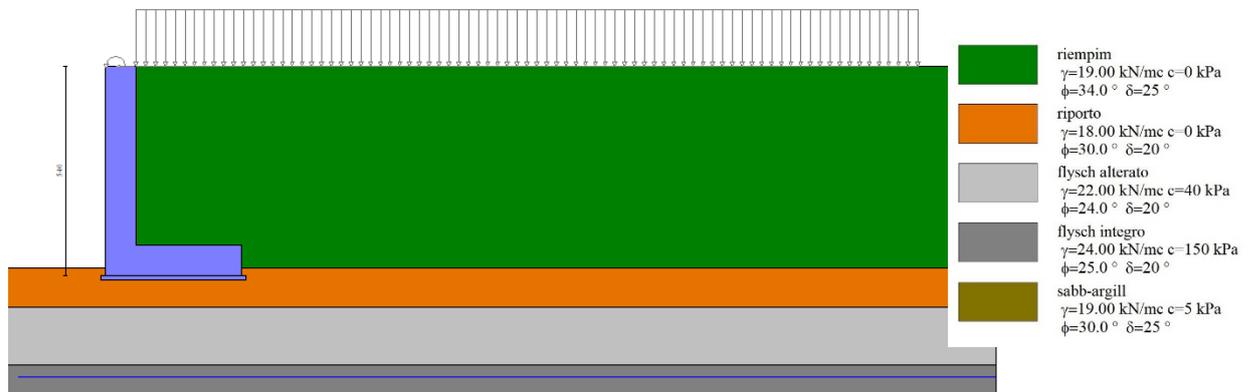


Figura 6-83: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		1.156	2.106	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.299	3.340	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.235	3.456	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		1.457	2.293	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		1.336	2.330	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		1.277	2.129	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.275	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	1.444	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	1.414	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	1.866	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	2.558	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	2.131	--	--	--

Figura 6-84: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.

Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

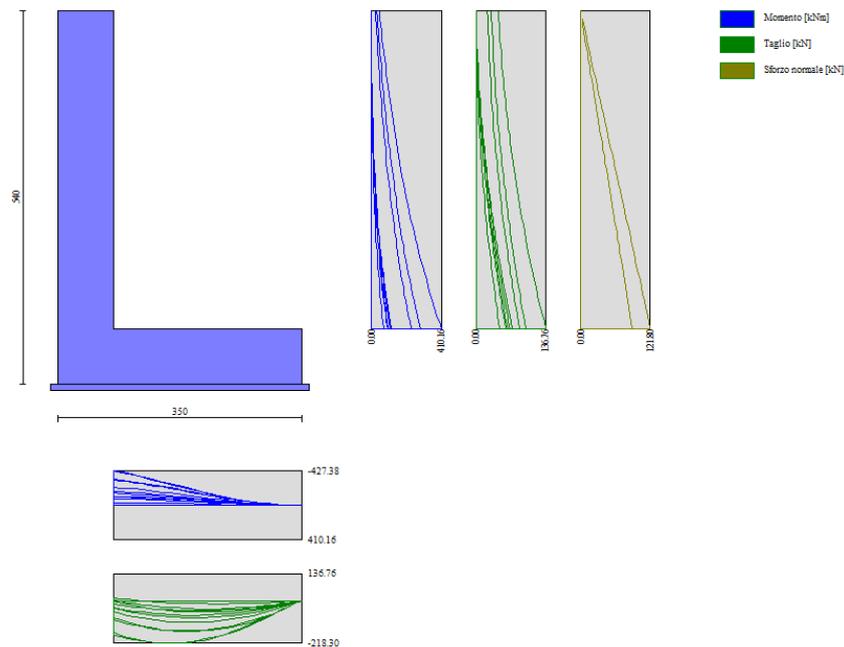


Figura 6-85: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (inviluppo cc SLU).

### Verifica della sezione di fondazione

Sez. 100x80cm,  $\Phi 24/15$  sup/inf

Senza armatura resistente a taglio

$$M_{sd} = 428 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 847 \text{ kNm/m}$$

$$V_{sd} = 219 \text{ kN/m} < V_{rd} = 337 \text{ kN/m}$$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

### 6.6.3 *Incidenza armatura*

L'incidenza del calcestruzzo e dell'armatura per la sezione in esame (dimensione media) è pari a quanto riportato a seguire.

Per l'opera CDR-03-a:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 200 \text{ m}$

Per le travi: Volume di calcestruzzo:

$$V_{cls} = 0.25 \text{ mc/mq}$$

	<p>Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste - CUP: C94E21000460001</p> <p>Relazione di calcolo strutture stradali</p>	<p>Pag. 107 di 115</p>
---	---	------------------------

Peso di acciaio lento e c.a.p.: -

Per la soletta: Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 0.25 \text{ mc/mq}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 80 \text{ kg/mc}$

Per la pila: Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 12 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 110 \text{ kg/mc}$

Per il basamento: Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 8.3 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 65 \text{ kg/mc}$

Per i pali: Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 0.8 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 175 \text{ kg/mc}$

Per l'opera CDR-03-b:

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 100 \text{ m}$

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 5.5 \text{ mc/m}$

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 100 \text{ kg/mc}$

## 6.7 CDR-04: rampa stradale verso Terminal

Si tratta di una rampa stradale in pendenza, che collega il nuovo svincolo stradale di collegamento alla GVT (CD02D-b2) con l'area di ingresso al terminal.

L'opera è realizzata, per il primo tratto di altezza massima, come un muro di sostegno ad U che da un lato sostiene anche il rilevato ferroviario, mentre, dove l'altezza si riduce e il rilevato stradale si allarga, la struttura è costituita da due muri di sostegno accoppiati. Anche in questo secondo caso, su un lato, vi è il rilevato ferroviario.



Si distinguono pertanto, nel seguito, le seguenti opere:

- CDR-04-a: muro di sostegno a U del rilevato stradale;
- CDR-04-b: due muri di sostegno singoli.

Si riportano a seguire le planimetrie dei tratti interessati.

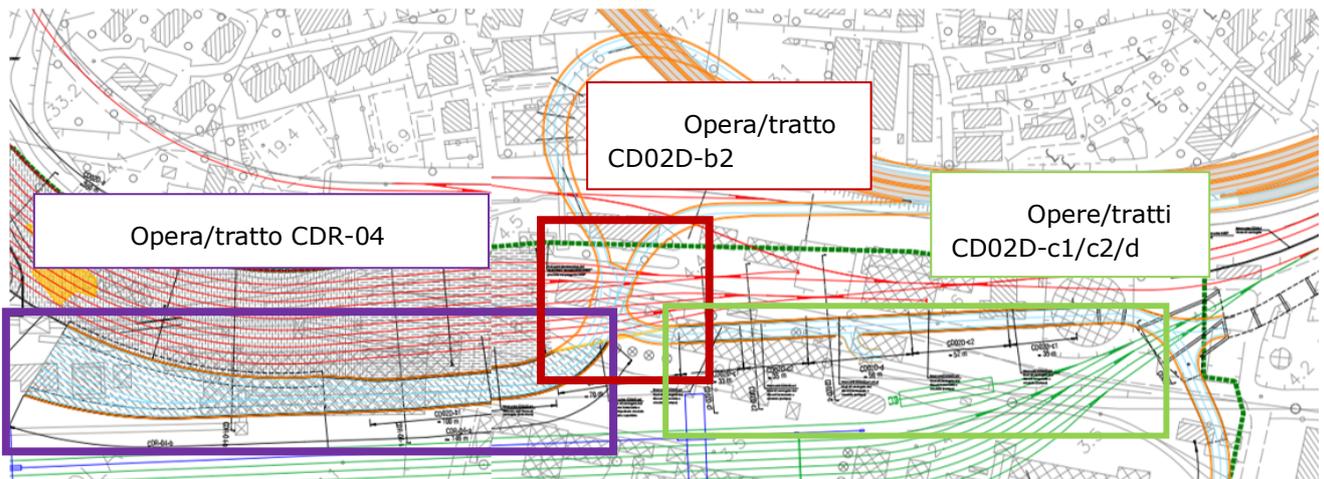


Figura 6-86: key-plan generale degli interventi in esame.

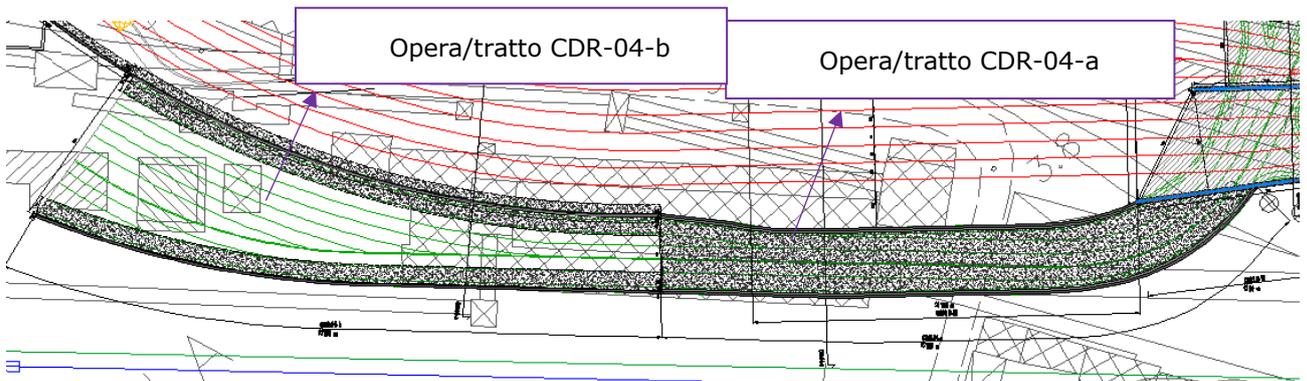


Figura 6-87: planimetria delle tipologie di interventi CDR-04.

### 6.7.1 Opera CDR04-a: muro "a U"

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera nel tratto ad altezza inferiore.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max .... 6.00-10.90 m

Altezza complessiva del muro max ..... 11.35 m



Spessore del paramento verticale ..... 1.20 m

Larghezza complessiva della soletta di fondazione min/max 18.30-20.90 m

Spessore della soletta di fondazione ..... 1.2 m

Altezza massima di scavo (compreso magrone) ..... 0.30 m

Spessore della pavimentazione stradale ..... 0.40 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, ed il calcolo utilizzato per il dimensionamento.

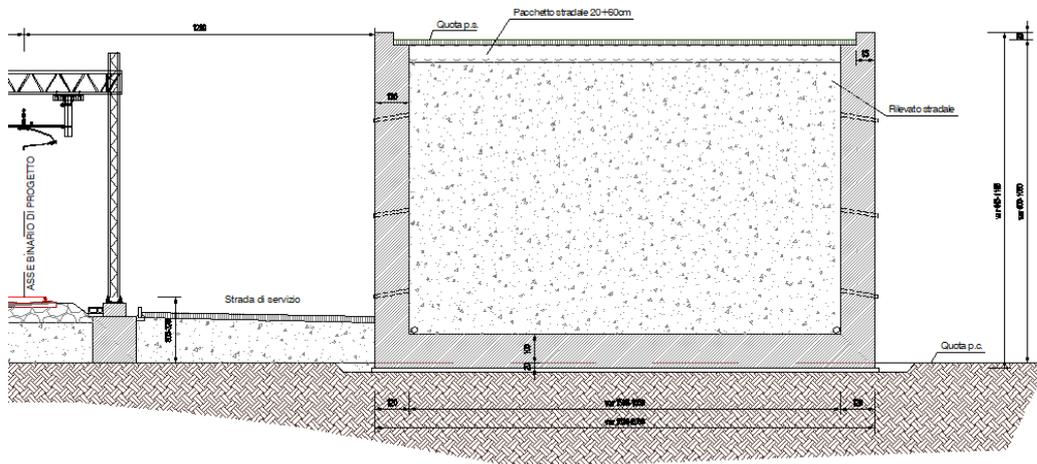


Figura 6-88: sezione tipo dell'intervento in esame.

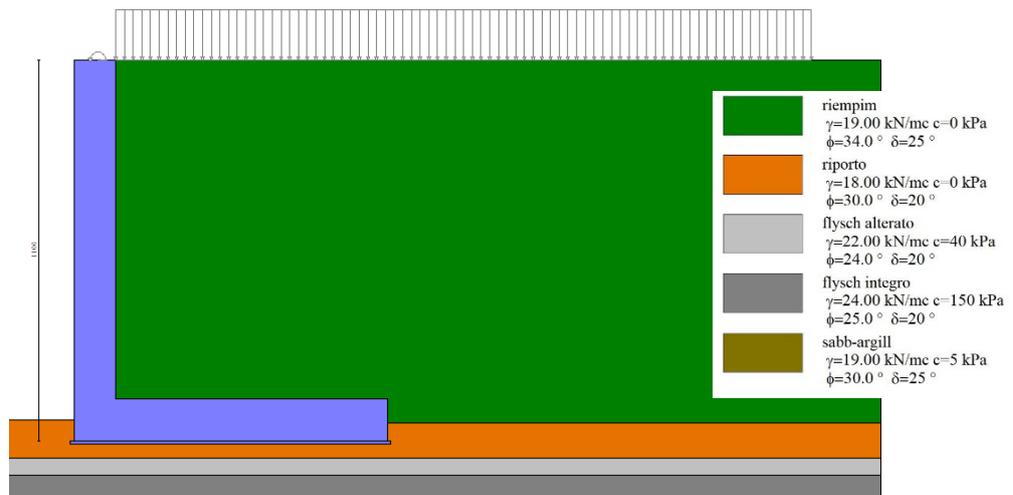


Figura 6-89: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.



Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		1.934	6.488	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.458	5.150	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.381	5.374	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		2.490	5.835	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		2.337	6.283	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		2.088	6.050	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	2.534	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	2.841	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	2.937	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	6.078	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	3.473	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	2.727	--	--	--

Figura 6-90: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.

Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

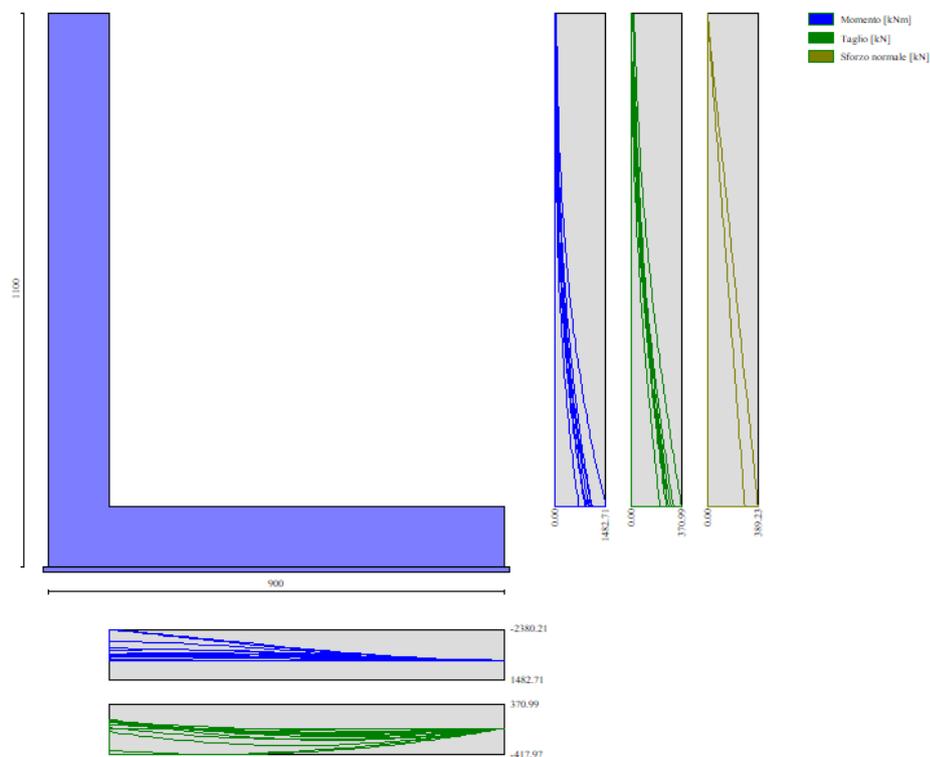


Figura 6-91: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).



### Verifica della sezione di fondazione

Sez. 100x120cm,  $\Phi 30/15 + \Phi 30/30$  sup.,  $\Phi 30/15$  inf.

Senza armatura resistente a taglio

$M_{sd} = 2381 \text{ kNm/m}$  <  $M_{rd} = 3056 \text{ kNm/m}$

$V_{sd} = 418 \text{ kN/m}$  <  $V_{rd} = 460 \text{ kN/m}$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.

### 6.7.2 *Opera CDR04-b: rilevato con muri di sostegno*

Si riportano a seguire le principali dimensioni geometriche dell'opera nel tratto ad altezza inferiore.

Differenza di quota p.s. rispetto al p.c. attuale min/max ....	6.00-0.0 m
Altezza complessiva del muro max .....	6.45 m
Spessore del paramento verticale .....	0.80 m
Larghezza complessiva della soletta di fondazione .....	5.50 m
Spessore della soletta di fondazione .....	0.80 m
Larghezza totale dell'opera/rilevato .....	20.90-45.00 m
Altezza massima di scavo (compreso magrone) .....	0.30 m
Spessore della pavimentazione stradale .....	0.40 m

Si riportano a seguire le rappresentazioni della geometria della sezione tipo, ed il calcolo utilizzato per il dimensionamento. È stata svolta, cautelativamente, la verifica del muro lato mare, mentre il muro lato monte, di uguali dimensioni ma con soletta di fondazione ambo i lati e dislivello del terreno inferiore, è implicitamente soddisfatto.



Relazione di calcolo strutture stradali

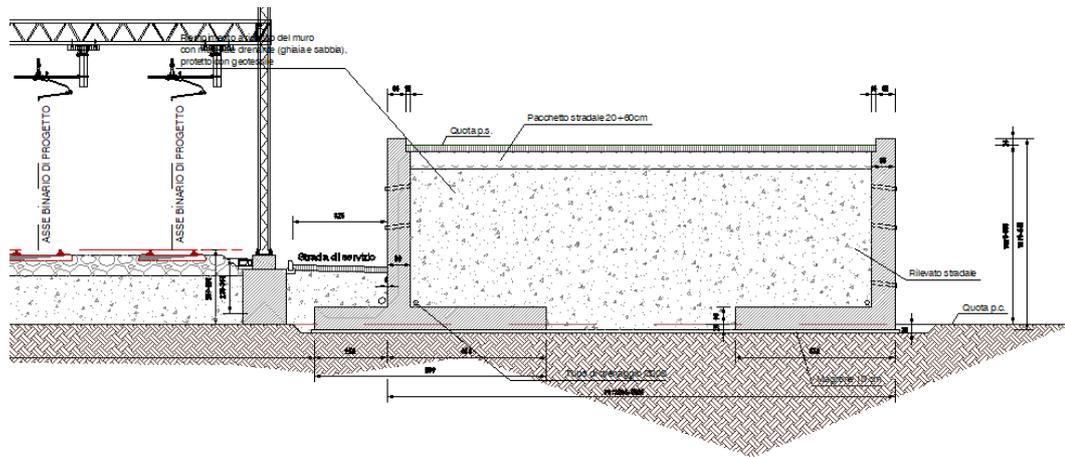


Figura 6-92: sezione tipo dell'intervento in esame.

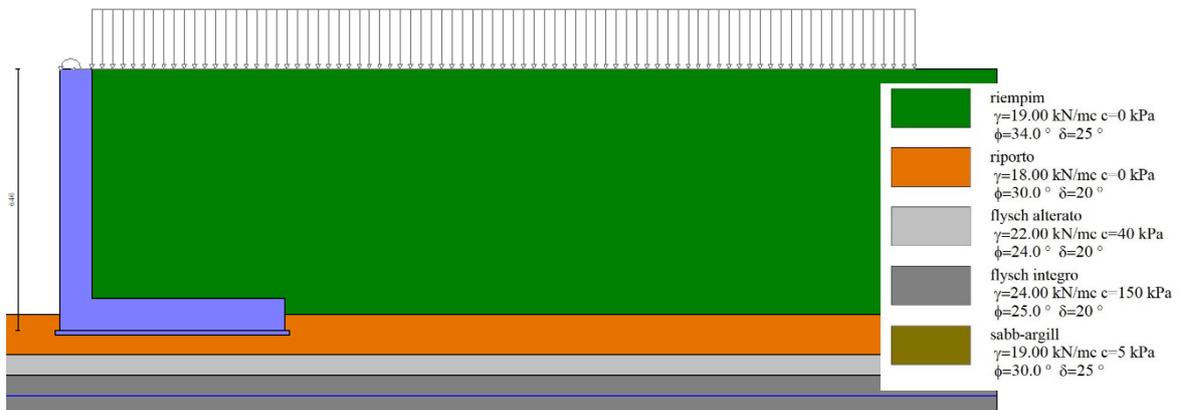


Figura 6-93: schema del muro modellato con Max 15 e applicazione dei carichi.

Si riporta a seguire la schermata di sintesi dei coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche (FS), estrapolata dal programma di calcolo. Le verifiche sono tutte soddisfatte.

Sintesi FS verifiche globali

n°	Combinazione	Sismica	FSsco	FSqlim	FSrib	FSstab	FShyd	FSupl
1	STR (A1-M1-R3)		1.615	7.518	--	--	--	--
2	STR (A1-M1-R3)	H + V	1.500	8.360	--	--	--	--
3	STR (A1-M1-R3)	H - V	1.419	8.757	--	--	--	--
4	STR (A1-M1-R3)		2.049	7.095	--	--	--	--
5	STR (A1-M1-R3)		1.918	7.499	--	--	--	--
6	STR (A1-M1-R3)		1.747	7.163	--	--	--	--
7	GEO (A2-M2-R2)		--	--	--	1.774	--	--
8	GEO (A2-M2-R2)	H + V	--	--	--	2.001	--	--
9	GEO (A2-M2-R2)	H - V	--	--	--	2.014	--	--
10	EQU (A1-M1-R3)		--	--	3.746	--	--	--
11	EQU (A1-M1-R3)	H + V	--	--	3.706	--	--	--
12	EQU (A1-M1-R3)	H - V	--	--	2.867	--	--	--

Figura 6-94: sintesi dei risultati delle verifiche svolte con Max 15.



Si riporta la rappresentazione delle sollecitazioni di calcolo del muro (involuppo delle combinazioni SLU), utilizzate per dimensionare le opere. Successivamente si riporta inoltre, a titolo esemplificativo, la verifica SLU di una sezione tipo del muro. Tutte le verifiche SLU e SLE sono state svolte su tutte le sezioni e risultano tutte verificate con le caratteristiche di geometria ed armature qui definite.

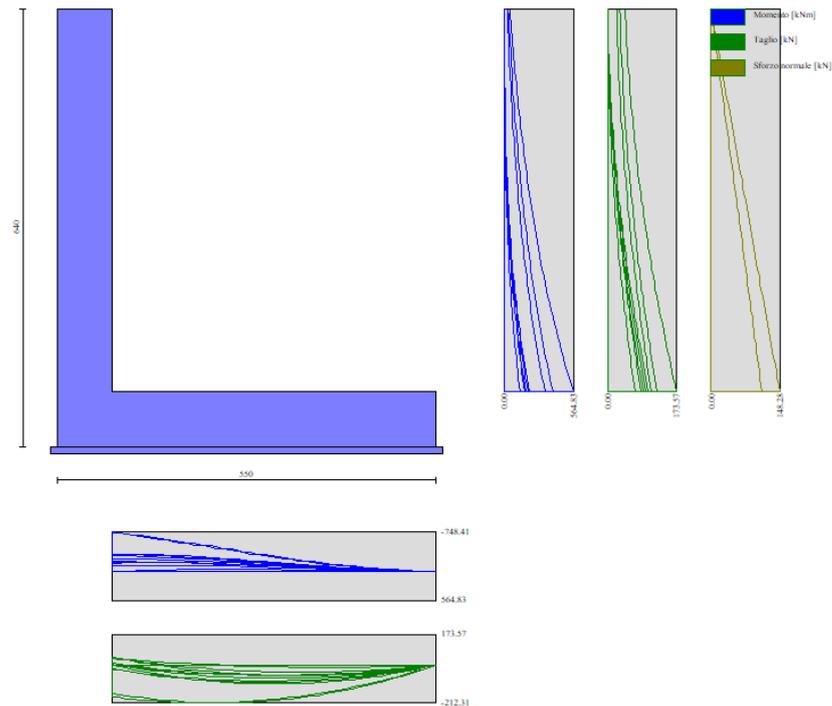


Figura 6-95: sollecitazioni agenti sul muro calcolate con Max 15 (involuppo cc SLU).

### Verifica della sezione di fondazione

Sez. 100x80cm,  $\Phi 26/15$  sup,  $\Phi 20/15$  inf

Senza armatura resistente a taglio

$$M_{sd} = 748 \text{ kNm/m} < M_{rd} = 990 \text{ kNm/m}$$

$$V_{sd} = 213 \text{ kN/m} < V_{rd} = 283 \text{ kN/m}$$

Anche le verifiche SLE, qui non riportate, sono state svolte e risultano soddisfatte.



### 6.7.3 *Incidenza armatura*

L'incidenza del calcestruzzo e dell'armatura per la sezione in esame (comprese fondazioni) è pari a:

Per l'opera CDR-04-a (mediamente):

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 155$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 44$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 130$  kg/mc

Per il muro CDR-04-b (mediamente):

Lunghezza complessiva dell'opera:  $L_{tot} \sim 155$  m

Volume di calcestruzzo:  $V_{cls} = 8.5$  mc/m

Peso di acciaio (compresi sfridi):  $P_{acc} = 85$  kg/mc