



PROVINCIA
DI AREZZO

SETTORE VIABILITA' E LAVORI PUBBLICI
Servizio di Coordinamento Lavori Pubblici e PNRR



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA'
ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
TRA PIEVE S.STEFANO NORD E CANILI
lotto 1 stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori
sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013

PROGETTO ESECUTIVO

STAZIONE APPALTANTE: PROVINCIA DI AREZZO - Settore Viabilità e Lavori Pubblici

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE

Ing. D. BONADIES
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. M. RASIMELLI
Ing. R. ALUIGI
Ing. S. PELLEGRINI
Ing. A. POLLI
Ing. M. MARELLI
Ing. A. LUCIA

IL GEOLOGO

Dott. Geol. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. P. BRACCIALI

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI
SWISS

PINI SWISS ENGINEERS SA

Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



PINI
ITALIA

PINI SWISS ENGINEERS Srl

Via Cavour 2 - 22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

OPERE DI SOSTEGNO

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE DI SOSTEGNO

CODICE UNICO DI PROGETTO (CUP) I27H23000190001

P00_OS00_STR_RE01_B

REVISIONE

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

- - - - - - - - - -

CODICE
ELAB.

P00 OS00 STR RE01

B

1 di 159

D

C

B

A

REV.

REVISIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA

PRIMA EMISSIONE

DESCRIZIONE

DIC 2024

GIUGNO 2024

DATA

PROCACCI

PROCACCI

REDATTO

ARCELLI

ARCELLI

VERIFICATO

BONADIES

BONADIES

APPROVATO

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 2 di 159</p>
---	---

I N D I C E

1	PREMESSA	4
2	RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI INTERVENTI	6
2.1	INTERVENTI TIPO A	7
2.2	INTERVENTI TIPO B	8
2.3	INTERVENTI TIPO C	8
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
4	RELAZIONE SUI MATERIALI	13
4.1	CALCESTRUZZI	13
4.1.1	Leganti	13
4.1.2	Aggregati	13
4.1.3	Acque di impasto	14
4.1.4	Prescrizione per il disarmo	15
4.1.5	Caratteristiche meccaniche e di calcolo	15
4.1.6	Calcestruzzo per magrone di sottofondazione:	16
4.2	ACCIAI PER CEMENTO ARMATO	17
4.2.1	Saldabilità	17
4.2.2	Caratteristiche meccaniche e di calcolo	18
4.3	ACCIAI DA CARPENTERIA	18
4.3.1	Saldabilità	18
4.3.2	Classe di esecuzione	19
4.3.3	Caratteristiche meccaniche e di calcolo	23
4.3.4	Caratteristiche bulloni per unioni	24
4.4	DURABILITÀ DEI NUOVI MATERIALI IMPIEGATI	24
4.4.1	Normativa di riferimento	24
4.4.2	Classificazione ambientale	25
4.4.3	Strutture in acciaio	25
5	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	26
6	RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA	34
6.1.1	Vita nominale di progetto	35
6.1.2	Classi d'uso	35
6.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	36
6.1.4	Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche	37
6.1.5	Parametri caratteristici per la determinazione dello spettro sismico elastico	39
6.1.6	Stati limite e relative probabilità di superamento	39
6.1.7	Valutazione dell'azione sismica	41
6.1.8	Metodi di analisi e criteri di verifica delle opere di sostegno	45
7	RELAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE	51
7.1	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE	54
8	DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE FONDATE SU PALI	55
8.1	INTERVENTO B1.1 – PARATIA DI PALI (STRATIGRAFIA S4)	57
8.1.1	Sezioni di verifica	57
8.1.2	Analisi dei risultati	59
8.1.3	Verifica di resistenza paratia	67
8.1.4	Verifiche di resistenza trave di coronamento	72
8.2	INTERVENTO B1.2 – PARATIA DI PALI A QUINCONCE (STRATIGRAFIA S5)	77
8.2.1	Sezioni di verifica	78
8.2.1	Analisi dei risultati	79
8.2.2	Verifica di resistenza paratia	88
8.2.3	Verifiche di resistenza trave di coronamento	93

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 3 di 159
--	---

8.3	INTERVENTO B2.1 – PARATIA DI PALI A MONTE DEI MURI ESISTENTI (STRATIGRAFIA S4)	98
8.3.1	Sezioni di verifica	98
8.3.2	Analisi dei risultati	99
8.3.3	Verifica di resistenza paratia	108
8.3.4	Verifiche di resistenza trave di coronamento	114
8.4	INTERVENTO B2.2 – PARATIA DI PALI ACCOSTATI (STRATIGRAFIA S5)	119
8.4.1	Sezioni di verifica	120
8.4.2	Analisi dei risultati	121
8.4.3	Verifica di resistenza paratia	129
8.4.4	Verifiche di resistenza trave di coronamento	134
8.5	INTERVENTO B2.3 – PARATIA DI PALI A MONTE DEI MURI DI SOSTEGNO (STRATIGRAFIA S5)	139
8.5.1	Sezioni di verifica	141
8.5.2	Analisi dei risultati	141
8.5.3	Verifica di resistenza paratia	150
8.5.4	Verifiche di resistenza trave di coronamento	155

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 4 di 159
--	---

1 PREMESSA

Nella presente relazione vengono descritti i calcoli di dimensionamento strutturale e geotecnico degli interventi di consolidamento previsti per il ripristino delle condizioni di sicurezza e funzionalità della S.S. n°3 bis “Tiberina” da utilizzare come percorso alternativo nel caso di chiusura del tratto parallelo dell’E-45 (Orte-Ravenna).

L’opera rientra nell’ambito del Progetto Esecutivo dei “Lavori di risanamento profondo, rinforzo del piano viabile, ripristino di banchine laterali, sistemazione dell’idraulica di piattaforma, segnaletica orizzontale (ACCORDO QUADRO 2 – TRATTO TOSCANO)”, facente parte della S.S. n°3 bis “Tiberina”, itinerario E-45 (Orte Ravenna).

Gli interventi di progetto sono localizzati nel tratto di strada compreso tra l’abitato di Valsavignone e la frazione di Canili [confine regionale], per una lunghezza complessiva di circa 1.185 m; il tratto di strada in esame, compreso tra una quota di 560 m e di 620 m s.l.m., si sviluppa in destra idraulica del fiume Tevere.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 5 di 159</p>
---	---

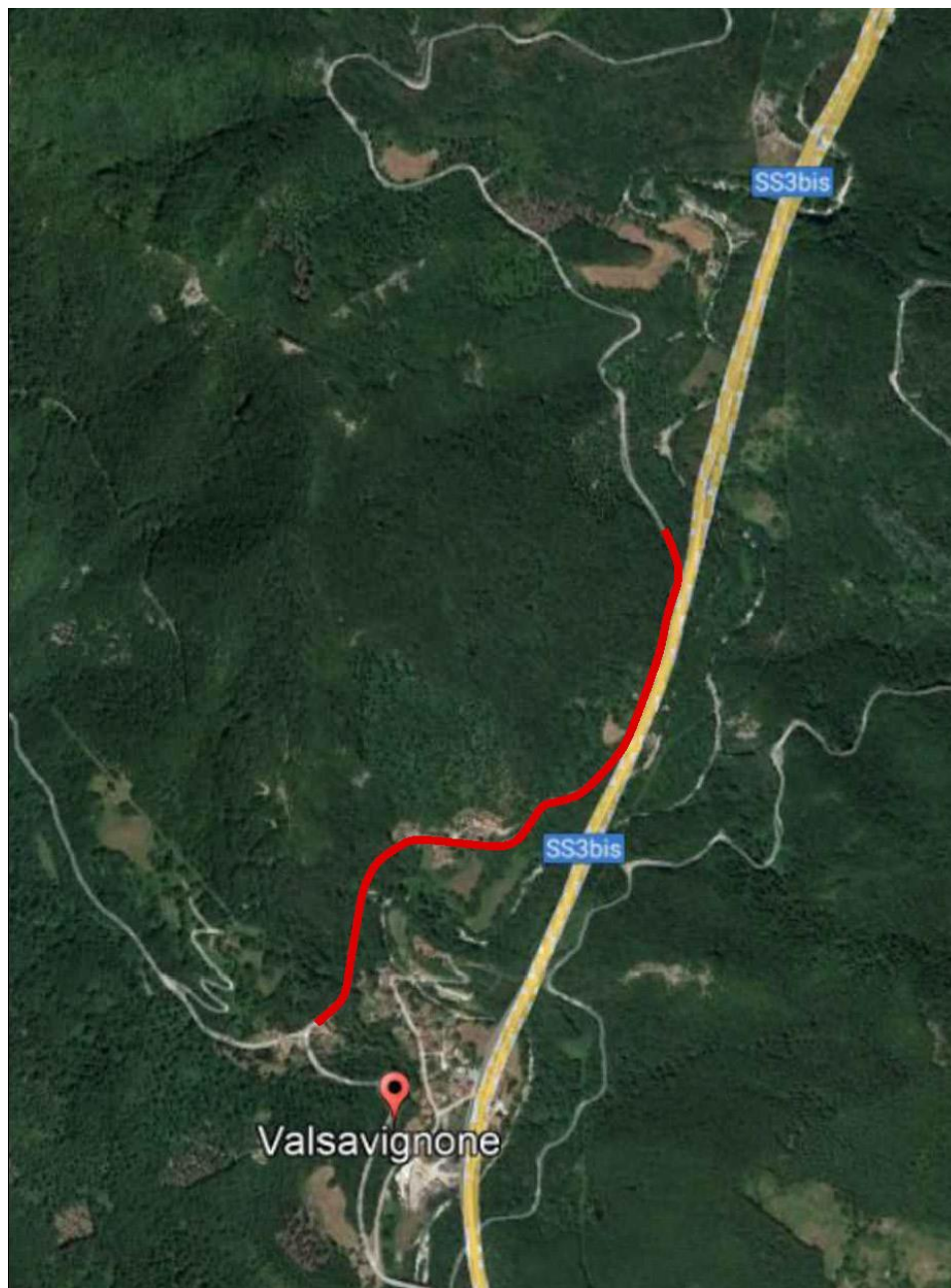


Fig. 1.1: Inquadramento territoriale area di intervento (fonte <https://www.google.it/maps>).

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 6 di 159
--	---

2 RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI INTERVENTI

Gli interventi di progetto sono localizzati nel tratto di strada compreso tra l'abitato di Valsavignone e la frazione di Canili, dove a causa delle avverse condizioni meteorologiche che si sono succedute negli anni, caratterizzate da nevicate e forti escursioni termiche (fattori tipici del clima appenninico), le condizioni della strada si sono deteriorate al punto da imporre una chiusura al traffico. In particolare, oltre ad un generale deterioramento della pavimentazione stradale con formazione di buche e avvallamenti, sono presenti invasioni della carreggiata stradale da parte di massi provenienti da monte e frane per rottura dei muri di sostegno della sede stradale a valle che risultano in rapida evoluzione in ragione della totale mancanza di attività manutentiva.

Gli interventi proposti mirano alla messa in sicurezza della sede stradale ed al miglioramento delle condizioni di equilibrio del versante, necessari a consentire il transito del traffico pesante proveniente in caso di necessità dalla chiusura di una carreggiata dell'E45.

Si prevedono pertanto operazioni poco invasive come il ripristino della funzionalità delle reti paramassi e la regimazione delle acque superficiali con la profilatura dei fossi di guardia sul lato di monte della strada, nonché azioni più consistenti atte a garantire la sicurezza del transito dei veicoli laddove si è manifestato un cedimento del substrato.

Nel caso delle opere esistenti come muri di sostegno a gravità e manufatti idraulici si prevede il consolidamento con interventi mirati con tecnica cucì e scuci, ripristino dei vuoti con pietra locale e stuccatura con malta a calce naturale ove necessario.

Questo tipo di intervento è previsto con una percentuale maggiore in corrispondenza dei tombini idraulici di attraversamento, dove vi è una presenza maggiore di distaccamento delle pietre di contenimento del muro dovuto all'azione erosiva della corrente d'acqua.

Sarà inoltre indispensabile la realizzazione di opere accessorie come barriere bordo laterale dove le scarpate presentano una pendenza maggiore di 45° e bordo ponte conformi ad una tipologia di strada extraurbana secondaria.

Le protezioni saranno direttamente infisse nel terreno quando la larghezza della sede stradale e la presenza del terreno a valle lo consentano, oppure su cordoli in cemento armato collegati a pali di medio diametro nelle altre situazioni.

La scelta di cordoli di coronamento in c.a. su pali di diametro $\phi 600$ sarà prevista ogni qualvolta si dovranno disporre le barriere in testa a manufatti esistenti o direttamente a tergo, in quanto

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 7 di 159
--	---

l'assenza di elaborati progettuali relativi alle opere esistenti e l'impossibilità di garantire un ancoraggio efficace nel caso di azioni eccezionali come urti e svio dei veicoli pesanti, non consentono il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza.

Realizzando pertanto un intervento con pali trivellati tubati infissi nel substrato roccioso si garantisce la stabilizzazione del corpo stradale, la possibilità di ancoraggio delle barriere con soddisfacimento di tutte le verifiche di sicurezza e contestualmente si mantiene l'estetica delle strutture di sostegno attuali evitando problematiche di impatto ambientale.

La scelta progettuale dei pali di medio diametro tubati consente, rispetto ai micropali, un notevole risparmio economico grazie all'aumento del loro interasse, la conseguente riduzione del numero totale e l'assenza di tiranti, garantendo allo stesso tempo grazie al tubo metallico la perfetta verticalità dell'infissione, il rispetto delle distanze e la notevole riduzione delle vibrazioni che potrebbero altresì essere problematiche ai manufatti o edifici esistenti.

In generale verrà disposta una fila di pali con interasse massimo di 2.0 m; nei casi in cui è necessaria una stabilizzazione di eventuali corpi di frana saranno invece previsti pali a quinconce con interasse di 1.2 m ed infine nelle situazioni in cui dovrà essere garantita la perfetta verticalità dello scavo o comunque le protezioni di edifici o corpi stradali si avranno pali perfettamente accostati.

In particolare, a seguire si riporta una descrizione degli interventi che interessano il primo stralcio.

2.1 INTERVENTI TIPO A

Queste tipologie di intervento consistono nella sostituzione o installazione diretta della barriera bordo laterale e si dividono in:

- Intervento A1: installazione/sostituzione della barriera su arginello in terra;
- Intervento A2: installazione/sostituzione della barriera su arginello in misto stabilizzato;
- Intervento A3: manutenzione/sostituzione della barriera in corrispondenza delle opere d'arte esistenti.

L'installazione su arginello della barriera sarà conforme alle specifiche tecniche e la lunghezza d'infissione sarà calcolata in base alle caratteristiche del terreno ed alla pendenza del versante. Tale soluzione sarà attuata solamente nelle situazioni in cui il terreno a valle non presenta pendenze troppo elevate, onde evitare smottamenti o frane della sede stradale a seguito di un traffico pesante.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 8 di 159
--	---

In corrispondenza dei manufatti esistenti in cui avviene una semplice sostituzione delle barriere con una di caratteristiche congruenti si progetterà opportunamente il collegamento della piastra di base con il manufatto stesso.

2.2 INTERVENTI TIPO B

Queste tipologie di intervento si basano sull'installazione della barriera bordo laterale su un cordolo in c.a. fondato su pali e si dividono in:

- Intervento B1: installazione della barriera su cordolo in c.a. fondato su pali;
- Intervento B2: installazione della barriera su cordolo in c.a. fondato su pali in corrispondenza di muri esistenti.

Quando la pendenza del terreno di valle risulta particolarmente accentuata l'installazione della barriera risulta vincolata alla realizzazione di un cordolo in c.a. collegato a pali trivellati di diametro 600 mm. Le caratteristiche del rilevato non garantiscono infatti la stabilità della sede stradale per un traffico pesante intenso e pertanto la trivellazione di pali risulta indispensabile per evitare frane o smottamenti. La lunghezza dei pali sarà tale da consentire l'infissione dello stesso per una lunghezza di almeno 2.50 m sul substrato roccioso compatto.

La presenza del cordolo sommitale garantisce inoltre un collegamento adeguato alla barriera bordo laterale; nei casi in questione la morfologia del sede stradale di valle e le caratteristiche dei terreni non consentirebbero, infatti, il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza.

2.3 INTERVENTI TIPO C

Queste tipologie di intervento riguardano le opere minori accessorie al ripristino ed al miglioramento della viabilità e dal punto di vista strutturale riguardano principalmente la realizzazione di cunette alla francese di due tipi a protezione del versante di monte.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 9 di 159</p>
---	---

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le strutture degli edifici in oggetto saranno dimensionate secondo le seguenti norme e leggi:

DM 17.01.2018 – Nuove Norme tecniche per le costruzioni

CIRCOLARE n.7 del 21.01.2018 – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM.17.01.2018

OPCM n°3274 del 20-03-2003 – "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche e integrazioni (Parte relativa alla zona sismica).

Legge 5.11.1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in c.a. normale e precompresso ed a struttura metallica.

Legge 2.2.1974 n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

D.M. 16.02.2007 – Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi

Leggi e decreti successivi. Se applicabili.

Per le caratteristiche dei materiali si fa inoltre riferimento alle seguenti Norme:

UNI ENV 206 2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità

UNI-ENV 197-1:2011 - Cemento - Parte 1: Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni

UNI 8520-1:2015 - Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 1: Designazione e criteri di conformità

UNI 11406:2011 - Rivestimenti metallici protettivi dei materiali ferrosi - Prova di uniformità dello strato di zincatura su materiali zincati a caldo - Metodo secondo Preece

UNI EN 10025-1:2005 - Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura

UNI EN 10020:2001 - Definizione e classificazione dei tipi di acciaio.

UNI EN 771-1:2015 - Specifica per elementi per muratura - Parte 1: Elementi di laterizio per muratura

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 10 di 159
--	--

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento agli **Eurocodici** strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali:

Eurocodice – Criteri generali di progettazione strutturale

UNI EN 1990:2006

Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture

UNI EN 1991-1-1:2004 - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici

UNI EN 1991-1-2:2004 - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco

UNI EN 1991-1-3:2015 - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve

UNI EN 1991-1-4:2010 - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento

UNI EN 1991-1-5:2004 - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche

UNI EN 1991-1-6:2005 - Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione

UNI EN 1991-1-7:2014 - Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali

UNI EN 1991-2:2005 - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti

UNI EN 1991-3:2006 - Parte 3: Azioni indotte da gru e da macchinari

UNI EN 1991-4:2006 - Parte 4: Azioni su silos e serbatoi

Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo

UNI EN 1992-1-1:2015 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1992-1-2:2005 - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1992-2:2006 - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi

UNI EN 1992-3:2006 - Parte 3: Strutture di contenimento liquidi

UNI EN 1992-4:2018 – Parte 4: Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo

Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio

UNI EN 1993-1-1:2014 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1993-1-2:2005 - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

UNI EN 1993-1-3:2007 - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 11 di 159</p>
---	--

UNI EN 1993-1-4:2015 - *Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per acciai inossidabili*

UNI EN 1993-1-5:2017 - *Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra*

UNI EN 1993-1-6:2017 - *Parte 1-6: Resistenza e stabilità delle strutture a guscio*

UNI EN 1993-1-7:2007 - *Parte 1-7: Strutture a lastra ortotropa caricate al di fuori del piano*

UNI EN 1993-1-8:2005 - *Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti*

UNI EN 1993-1-9:2005 - *Parte 1-9: Fatica*

UNI EN 1993-1-10:2005 - *Parte 1-10: Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore*

UNI EN 1993-1-11:2007 - *Parte 1-11: Progettazione di strutture con elementi tesi*

UNI EN 1993-1-12:2007 - *Parte 1-12: Regole aggiuntive per l'estensione della EN 1993 fino agli acciai di grado S 700*

UNI EN 1993-2:2007 - *Parte 2: Ponti di acciaio*

UNI EN 1993-3-1:2007 - *Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere - Torri e pali*

UNI EN 1993-3-2:2007 - *Parte 3-2: Torri, pali e ciminiere - Ciminiere*

UNI EN 1993-4-1:2017 - *Parte 4-1: Silos*

UNI EN 1993-4-2:2007 - *Parte 4-2: Serbatoi*

UNI EN 1993-4-3:2007 - *Parte 4-3: Condotte*

UNI EN 1993-5:2007 - *Parte 5: Pali e palancole*

UNI EN 1993-6:2007 - *Parte 6: Strutture per apparecchi di sollevamento*

Eurocodice 4 – *Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo*

UNI EN 1994-1-1:2005 - *Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*

UNI EN 1994-1-2:2014 - *Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio*

UNI EN 1994-2:2006 - *Parte 2: Regole generali e regole per i ponti*

Eurocodice 5 – *Progettazione delle strutture in legno*

UNI EN 1995-1-1:2014 - *Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici*

UNI EN 1995-1-2:2005 - *Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio*

UNI EN 1995-2:2005 - *Parte 2: Ponti*

Eurocodice 6 – *Progettazione delle strutture in muratura*

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 12 di 159
--	--

UNI EN 1996-1-1:2013 - *Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata*

UNI EN 1996-1-2:2005 - *Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio*

UNI EN 1996-2:2006 - *Parte 2: Considerazioni progettuali, selezione dei materiali ed esecuzione delle murature*

UNI EN 1996-3:2006 - *Parte 3: Metodi di calcolo semplificato per strutture di muratura non armata*

Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica

UNI EN 1997-1:2013 - *Parte 1: Regole generali*

UNI EN 1997-2:2007 - *Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo*

Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

UNI EN 1998-1:2013 - *Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*

UNI EN 1998-2:2011 - *Parte 2: Ponti*

UNI EN 1998-3:2005 - *Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici*

UNI EN 1998-4:2006 - *Parte 4: Silos, serbatoi e condotte*

UNI EN 1998-5:2005 - *Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*

UNI EN 1998-6:2005 - *Parte 6: Torri, pali e camini*

Eurocodice 9 – Progettazione delle strutture in alluminio

UNI EN 1999-1-1:2014 - *Parte 1-1: Regole strutturali generali*

UNI EN 1999-1-2:2007 - *Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio*

UNI EN 1999-1-3:2011 - *Parte 1-3: Strutture sottoposte a fatica*

UNI EN 1999-1-4:2011 - *Parte 1-4: Lamiere sottili piegate a freddo*

UNI EN 1999-1-5:2007 - *Parte 1-5: Strutture a guscio*

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 13 di 159
--	--

4 RELAZIONE SUI MATERIALI

I materiali ed i prodotti per uso strutturale devono rispondere ai requisiti indicati nel seguito

- *Identificati* univocamente a cura del produttore, secondo le procedure applicabili;
- *Qualificati* sotto la responsabilità del produttore, secondo le procedure applicabili;
- *Accettati* dal direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione;

Nell'esecuzione delle opere in oggetto è previsto l'impiego dei seguenti materiali.

4.1 CALCESTRUZZI

I componenti del calcestruzzo devono avere le seguenti caratteristiche:

4.1.1 Leganti

Devono impiegarsi esclusivamente i leganti idraulici previsti dalle disposizioni vigenti in materia, dotati di conformità ad una norma armonizzata della serie UNI EN 197

4.1.2 Aggregati

Gli aggregati dovranno rispettare i requisiti minimi imposti dalla norma UNI 8520 parte 2 relativamente al contenuto di sostanze nocive. In particolare:

- il contenuto di solfati solubili in acido (espressi come SO_3 da determinarsi con la procedura prevista dalla UNI-EN 1744-1 punto 12) dovrà risultare inferiore allo 0.2% sulla massa dell'aggregato indipendentemente se l'aggregato è grosso oppure fine (aggregati con classe di contenuto di solfati AS0,2);
- il contenuto totale di zolfo (da determinarsi con UNI-EN 1744-1 punto 11) dovrà risultare inferiore allo 0.1%;
- non dovranno contenere forme di silice amorfa alcali-reattiva o in alternativa dovranno evidenziare espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 14 di 159
--	--

La sabbia deve essere viva, con grani assortiti in grossezza da 0 a 3 mm, non proveniente da rocce in decomposizione, scricchiolante alla mano, pulita, priva di materie organiche, melmose, terrose e di salsedine.

La ghiaia deve contenere elementi assortiti, di dimensioni fino a 20-25 mm, resistenti e non gelivi, non friabili, scevri di sostanze estranee, terra e salsedine. Le ghiaie sporche vanno accuratamente lavate. Anche il pietrisco proveniente da rocce compatte, non gessose né gelive, dovrà essere privo di impurità od elementi in decomposizione.

In definitiva gli inerti dovranno essere lavati ed esenti da corpi terrosi ed organici. Non sarà consentito assolutamente il misto di fiume. L'acqua da utilizzare per gli impasti dovrà essere potabile, priva di sali (cloruri e solfuri).

Potranno essere impiegati additivi fluidificanti o super fluidificanti per contenere il rapporto acqua/cemento mantenendo la lavorabilità necessaria.

Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:

- passante al vaglio di mm 16 = 100%
- passante al vaglio di mm 8 = 88-60%
- passante al vaglio di mm 4 = 78-36%
- passante al vaglio di mm 2 = 62-21%
- passante al vaglio di mm 1 = 49-12%
- passante al vaglio di mm 0.25 = 18-3%

4.1.3 Acque di impasto

L'acqua di impasto, ivi compresa l'acqua di riciclo, dovrà essere conforme alle norme UNI EN 1008:2003

L'acqua per l'impasto deve essere limpida, priva di sali (particolarmente solfati e cloruri) in percentuale dannose e non essere aggressiva.

Le caratteristiche di composizione della miscela, di resistenza meccanica e di lavorabilità, nonché le classi di esposizione dei calcestruzzi utilizzati nell'esecuzione delle opere dovranno essere corrispondenti a quelli sotto riportati utilizzati per la verifica di progetto.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 15 di 159
--	--

4.1.4 Prescrizione per il disarmo

Indicativamente: pilastri 3-4 giorni; solette modeste 10-12 giorni; travi, archi 24-25 giorni, mensole 28 giorni.

Per ogni porzione di struttura, il disarmo non può essere eseguito se non previa autorizzazione della Direzione Lavori.

4.1.5 Caratteristiche meccaniche e di calcolo

Calcestruzzo pali ad elica continua tubati tipo "C.A.P." C25/30 - (DM. 17.01.2018 - EC2)

Dati

Classe di resistenza	C25/30	Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione
Classe di esposizione	XC2	Classe di esposizione secondo UNI EN 206-1
ρ	2500 daN/m ³	Peso specifico
Classe di consistenza	S5	Slump
Dimensione max dell'aggregato	16 mm	
a/c	<0,60	Rapporto acqua cemento nella miscela
Dosaggio minimo di cemento	280 daN/m ³	
Tipo e classe di cemento	CEM II 32,5	
γ_c	1.5	Coefficiente di sicurezza
α_{cc}	0.85	Coeff. Per resistenza a lunga durata
ν	0.2	Coefficiente di Poisson
ϵ_{c2}	0.2%	Allungamento al limite elastico
ϵ_{cu}	0.35%	Allungamento a rottura
α	0.00001 C ⁻¹	Coefficiente di dilatazione termica

Risultati

f_{ck}	25.00 N/mm ²	Resistenza cilindrica a compressione (N/mm ²)
R_{ck}	30.00 N/mm ²	Resistenza cubica a compressione (N/mm ²)
f_{cd}	14.17 N/mm ²	Resistenza di calcolo a compressione
f_{ctm}	2.56 N/mm ²	Resistenza media a trazione semplice
$f_{ctk,0,05}$	1.80 N/mm ²	Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)
$f_{ctk,0,95}$	3.33 N/mm ²	Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)
f_{ctd}	1.20 N/mm ²	Resistenza di calcolo a trazione semplice
f_{bd}	2.69 N/mm ²	Resistenza tangenziale di aderenza
E_{cm}	31476 N/mm ²	Modulo elastico (EC2)

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 16 di 159</p>
---	--

Calcestruzzo trave di coronamento C32/40 - (DM. 17.01.2018 - EC2)

Dati

Classe di resistenza	C32/40	<i>Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione</i>
Classe di esposizione	XF4	<i>Classe di esposizione secondo UNI EN 206-1</i>
ρ	2500 daN/m ³	<i>Peso specifico</i>
Classe di consistenza	S4	<i>Slump</i>
Dimensione max dell'aggregato	20 mm	
a/c	<0,45	<i>Rapporto acqua cemento nella miscela</i>
Dosaggio minimo di cemento	340 daN/m ³	
Tipo e classe di cemento	CEM II 42,5	
γ_c	1.5	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
α_{cc}	0.85	<i>Coeff. Per resistenza a lunga durata</i>
ν	0.2	<i>Coefficiente di Poisson</i>
ϵ_{c2}	0.2%	<i>Allungamento al limite elastico</i>
ϵ_{cu}	0.35%	<i>Allungamento a rottura</i>
α	0.00001 C ⁻¹	<i>Coefficiente di dilatazione termica</i>

Risultati

f_{ck}	32.00 N/mm ²	<i>Resistenza cilindrica a compressione (N/mm²)</i>
R_{ck}	40.00 N/mm ²	<i>Resistenza cubica a compressione (N/mm²)</i>
f_{cd}	18.13 N/mm ²	<i>Resistenza di calcolo a compressione</i>
f_{ctm}	3,02 N/mm ²	<i>Resistenza media a trazione semplice</i>
$f_{ctk,0,05}$	2,12 N/mm ²	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)</i>
$f_{ctk,0,95}$	3,93 N/mm ²	<i>Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)</i>
f_{ctd}	1,41 N/mm ²	<i>Resistenza di calcolo a trazione semplice</i>
f_{bd}	3,18 N/mm ²	<i>Resistenza tangenziale di aderenza</i>
E_{cm}	33346 N/mm ²	<i>Modulo elastico (EC2)</i>

4.1.6 Calcestruzzo per magrone di sottofondazione:

Classe di resistenza:	C16/20
Spessore minimo:	Sp.= 10 cm

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 17 di 159
--	--

4.2 ACCIAI PER CEMENTO ARMATO

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile, per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo d'acciaio ed alla sua eventuale saldabilità.

Le caratteristiche, meccanica, di resistenza e di lavorabilità degli acciai utilizzati nell'esecuzione delle opere dovranno essere corrispondenti a quelli sotto riportati utilizzati per le verifiche di progetto.

4.2.1 Saldabilità

Negli acciai per cemento armato devono l'analisi chimica effettuata su colata e l'eventuale analisi chimica di controllo effettuata sul prodotto finito deve soddisfare le limitazioni riportate nella Tab.11.3II del §11 delle NTC2008 dove il calcolo del carbonio equivalente C_{eq} è effettuato con la seguente formula:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

in cui i simboli chimici denotano il contenuto degli elementi stessi espresso in percentuale.

Tabella 11.3.II – Massimo contenuto di elementi chimici in %

		Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0,24	0,22
Fosforo	P	0,055	0,050
Zolfo	S	0,055	0,050
Rame	Cu	0,85	0,80
Azoto	N	0,014	0,012
Carbonio equivalente	C_{eq}	0,52	0,50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0,03% in massa, a patto che il valore del C_{eq} venga ridotto dello 0,02% in massa. Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 18 di 159
--	--

4.2.2 Caratteristiche meccaniche e di calcolo

Acciaio per c.a. B450C

Dati

Classe di resistenza	B450C	<i>Tipo di acciaio per c.a.</i>
ρ	7850 daN/m ³	<i>Peso specifico</i>
Modulo elastico	210000 N/mm ²	<i>Modulo di Young</i>
γ_s	1,15	<i>Coefficiente di sicurezza</i>
ε_{su}	6,750%	<i>Allungamento per snervamento</i>

Risultati

f_y	450	<i>Resistenza di snervamento a trazione (N/mm²)</i>
f_t	540	<i>Resistenza a rottura a trazione (N/mm²)</i>
$(f_t / f_y)_k$	1,20	<i>>1,05 e <1,35</i>
f_{yk}	391,3 N/mm ²	<i>Resistenza di calcolo a compressione di calcolo $s < 50$ mm</i>

4.3 ACCIAI DA CARPENTERIA

Ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile, per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, dalla quale risulti, in modo inequivocabile, il riferimento all'Azienda produttrice, allo Stabilimento, al tipo d'acciaio ed alla sua eventuale saldabilità.

Le caratteristiche, meccanica, di resistenza e di lavorabilità degli acciai utilizzati nell'esecuzione delle opere dovranno essere corrispondenti a quelli sotto riportati utilizzati per le verifiche di progetto.

4.3.1 Saldabilità

Negli acciai per cemento armato devono l'analisi chimica effettuata su colata e l'eventuale analisi chimica di controllo effettuata sul prodotto finito deve soddisfare le limitazioni riportate nella Tab.11.3II del §11 delle NTC2088 dove il calcolo del carbonio equivalente C_{eq} è effettuato con la seguente formula:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

In cui i simboli chimici denotano il contenuto degli elementi stessi espresso in percentuale.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 19 di 159
--	--

Tabella 11.3.II – Massimo contenuto di elementi chimici in %

		Analisi di prodotto	Analisi di colata
Carbonio	C	0,24	0,22
Fosforo	P	0,055	0,050
Zolfo	S	0,055	0,050
Rame	Cu	0,85	0,80
Azoto	N	0,014	0,012
Carbonio equivalente	C _{eq}	0,52	0,50

È possibile eccedere il valore massimo di C dello 0,03% in massa, a patto che il valore del C_{eq} venga ridotto dello 0,02% in massa. Contenuti di azoto più elevati sono consentiti in presenza di una sufficiente quantità di elementi che fissano l'azoto stesso.

4.3.2 Classe di esecuzione

Per l'acciaio da carpenterie è necessario identificare la classe di esecuzione come prescritto dalla UNI-EN 1090-2 del 2011 in base ai seguenti parametri:

- 1) **Classe di conseguenza (CC)**
- 2) **Classe di servizio (SC)**
- 3) **Classe di produzione (PC)**

L'allegato B della EN 1990:2002 fornisce una guida semplificata per la determinazione della **classe di conseguenza**. Le classi sono divise in 3 livelli:

Classe	Danno	Esempio di edifici ed opere di ingegneria civile
CC3	Danni elevati per perdita di vite umane, o conseguenze economiche, sociali e ambientali molto gravi	Tribune, edifici pubblici ove le conseguenze di un crollo sono molto gravi (ad es. sala da concerto)
CC2	Danni medi per perdita di vite umane, o conseguenze economiche, sociali e ambientali considerevoli	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici dove i danni per crollo sono medi (es. edificio per uffici)
CC1	Danni bassi per perdita di vite umane o conseguenze economiche, sociali e ambientali trascurabili	Edifici agricoli dove le persone normalmente non entrano (es. magazzini, serre...)

Per le **categorie di servizio** si fa riferimento al prospetto B1 dell'Allegato B delle UNI EN 1090.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 21 di 159</p>
---	--

La classe di esecuzione determina i requisiti per le varie attività di esecuzione riportate nella EN 1090-2. I requisiti sono riassunti nell'appendice A.3

prospetto A.3 Requisiti di ogni classe di esecuzione				
Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4 - Specifiche e documentazione				
4.2 Documentazione del costruttore				
4.2.1 - Documentazione della qualità	Nr (nessuna prescrizione)	Si	Si	Si
5 - Prodotti costituenti				
5.2 Identificazione, documenti di controllo e tracciabilità				
Documenti di controllo	Vedere prospetto 1	Vedere prospetto 1	Vedere prospetto 1	Vedere prospetto 1
Tracciabilità	Nr (nessuna prescrizione)	Si (parziale)	Si (completa)	Si (completa)
Marcatura	Nr	Si	Si	Si
5.3 Prodotti Strutturali di acciaio				
5.3.2 Tolleranze di spessore	Classe A	Classe A	Classe A	Classe B
5.3.3 Finiture superficiali	Larghi - Classe A2 Lunghi - Classe C1	Larghi - Classe A2 Lunghi - Classe C1	Condizioni più stringenti se specificate	Condizioni più stringenti se specificate
5.3.4 Proprietà particolari	Nr	Nr	Discontinuità interne di classe di qualità S1 per giunti a croce saldati	Discontinuità interne di classe di qualità S1 per giunti a croce saldati
6 - Preparazione ed assemblaggio				
6.2 Identificazione	Nr	Nr	Elementi finiti/ Certificati di controllo	Elementi finiti/ Certificati di controllo
6.4 Taglio				
6.4.3 Taglio termico	Privo di irregolarità significative durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10	EN ISO 9013 u = range 4 Rz5 = range 4 Durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10	EN ISO 9013 u = range 4 Rz5 = range 4 Durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10	EN ISO 9013 u = range 3 Rz5 = range 3 Durezza, se specificata, in conformità al prospetto 10
6.5 Formatura				
6.5.3 Raddrizzatura a fiamma	Nr	Nr	Deve essere sviluppata idonea procedura	Deve essere sviluppata idonea procedura
6.6 Foratura				
6.6.3 Esecuzione dei fori	Punzonamento	Punzonamento	Punzonamento + alesatura	Punzonamento + alesatura
6.7 Fresature	Nr	Raggio minimo 5 mm	Raggio minimo 5 mm	Raggio minimo 10 mm Punzonamento non permesso
6.9 Assemblaggio	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 1	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 1	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 2	Deriva: Allungameto funzionale tolleranza Classe 2
7 - Saldature				
7.1 Generalità	EN ISO 3834-4	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-2

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 22 di 159</p>
---	--

prospetto A.3 **Requisiti di ogni classe di esecuzione (Continua)**

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
7.4 Qualifica delle procedure di saldatura e del personale che esegue la saldatura				
7.4.1 Qualifica delle procedure di saldatura	Nr	Vedere prospetti 12 e 13	Vedere prospetti 12 e 13	Vedere prospetti 12 e 13
7.4.2 Qualifica dei saldatori e degli operatori	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418	Saldatori: EN 287-1 Operatori: EN 1418
7.4.3 Coordinamento di saldatura	Nr	Conoscenze tecniche, secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche, secondo i prospetti 14 o 15	Conoscenze tecniche, secondo i prospetti 14 o 15
7.5.1 Preparazione del giunto	Nr	Nr	Non è ammessa la prefabbricazione dei primers	Non è ammessa la prefabbricazione dei primers
7.5.6 Attacchi temporanei	Nr	Nr	L'utilizzo deve essere specificato. Fresatura e bulinatura non sono ammesse	L'utilizzo deve essere specificato. Fresatura e bulinatura non sono ammesse
7.5.7 Punti di saldatura	Nr	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata	Procedura di saldatura qualificata
7.5.9 Saldatura di testa 7.5.9.1 Generalità	Nr	Pezzi di flusso e riflusso se specificato	Pezzi di flusso e riflusso	Pezzi di flusso e riflusso
7.5.9.2 Saldature su un solo lato			Sostegno permanente continuo	Sostegno permanente continuo
7.5.17 Esecuzione di saldatura			Rimozione degli spruzzi	Rimozione degli spruzzi
7.6 Criteri di accettazione	EN ISO 5817 Qualità livello D (A) testo cancellato (A)	EN ISO 5817 Generalmente qualità livello C	EN ISO 5817 Qualità livello B	EN ISO 5817 Qualità livello B +
9 - Montaggio				
9.6 Montaggio e lavoro in cantiere				
9.6.3 Movimentazione e stoccaggio in cantiere	Nr	Procedura normalizzata documentata	Procedura normalizzata documentata	Procedura normalizzata documentata
9.6.5.3 Incastro ed allineamento	Nr	Nr	Spessori fissati mediante saldatura soggetta ai requisiti del punto 7	Spessori fissati mediante saldatura soggetta ai requisiti del punto 7
12 - Ispezione, prova e correzione				
12.4.2 Controllo dopo la saldatura				
12.4.2.2 Scopo dei controlli	Controllo visivo	CND: Vedere prospetto 24	CND: Vedere prospetto 24	CND: Vedere prospetto 24
12.4.2.5 Correzione delle saldature	Non sono richiesti WPQ	Secondo WPQ	Secondo WPQ	Secondo WPQ
12.4.4 Prove di produzione	Nr	Nr	Se specificate	Se specificate
12.5.2 Controllo di collegamenti bullonati precaricati	Nr	Come segue	Come segue	Come segue

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 23 di 159</p>
---	--

prospetto A.3 Requisiti di ogni classe di esecuzione (Continua)

Punti	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
12.5.2.2 Prima del serraggio		Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio	Controllo della procedura di serraggio
12.5.2.3 Durante e dopo il serraggio		2° step di serraggio Sequenziale di tipo A	1° step di serraggio 2° step di serraggio Sequenziale di tipo A	1° step di serraggio (A) 2° step di serraggio Sequenziale di tipo B
12.5.2.4 Metodo di coppia		Localizzazione del lotto di assemblaggio 2° step di serraggio	Localizzazione del lotto di assemblaggio Controllo della procedura di serraggio (ogni lotto di bulloni) 2° step di serraggio	Localizzazione del lotto di assemblaggio Controllo della procedura di serraggio (ogni lotto di bulloni) 2° step di serraggio
12.5.2.5 Metodo combinato		Controllo della marcatura 2° step di serraggio	1° step di serraggio Controllo della marcatura 2° step di serraggio	1° step di serraggio Controllo della marcatura 2° step di serraggio
12.5.3.1 Ispezione, collaudo e riparazioni di rivetti a caldo	Nr	Prova ring sequenziale di tipo A	Prova ring sequenziale di tipo A	Prova ring sequenziale di tipo B
12.7.3.1 Indagine della posizione geometrica dei nodi di connessione	Nr	Nr	Registrazioni delle indagini	Registrazioni delle indagini

4.3.3 Caratteristiche meccaniche e di calcolo

Acciaio per carpenterie metalliche - DM 17.01.2018

Dati

Classe di resistenza	S275J0	<i>Tipo di acciaio per carpenteria</i>
t_{max}	30 mm	<i>Spessore massimo dei piatti <> 40 mm</i>
ρ	7850 daN/m ³	<i>Peso specifico</i>
E	210000 N/mm ²	<i>Modulo di elasticità normale</i>
G	80000 N/mm ²	<i>Modulo di elasticità tangenziale</i>
γ_{M0}	1.05	<i>Resistenza delle sezioni 1,2,3,4</i>
γ_{M1}	1.05	<i>Resistenza all'instabilità delle membrane</i>
γ_{M2}	1.25	<i>Resistenza per frattura delle sezioni tese</i>
ε_{su}	1.000%	<i>Allungamento per snervamento</i>
ν	0.3	<i>Coefficiente di Poisson</i>
α	00000012 °C ⁻¹	<i>Coeff. Di espansione</i>

Risultati

f_{yk}	275.0 N/mm ²	<i>Resistenza caratteristica di snervamento a trazione</i>
f_{tk}	430.0 N/mm ²	<i>Resistenza caratteristica di rottura a trazione</i>

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 24 di 159
--	--

4.3.4 Caratteristiche bulloni per unioni

4.3.4.1 Bulloni "non a serraggio controllato"

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'non precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 15048-1. In alternativa anche gli assiemi ad alta resistenza conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1 sono idonei per l'uso in giunzioni non precaricate.

Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIII.a.

Tab. 11.3.XIII.b

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{tb} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Le tensioni di snervamento f_{yb} e di rottura f_{tb} delle viti appartenenti alle classi indicate nella precedente Tab. 11.3.XIII.a sono riportate nella seguente Tab. 11.3.XIII.b:

Tab. 11.3.XIV

Sistema	Viti		Dadi		Rondelle	
	Classe di resistenza	Riferimento	Classe di resistenza	Riferimento	Durezza	Riferimento
HR	8.8	UNI EN 14399-1	8	UNI EN 14399-3	300-370 HV	UNI EN 14399 parti 5 e 6
	10.9	UNI EN 14399-3	10	UNI EN 14399-3		
HV	10.9	UNI EN 14399-4	10	UNI EN 14399-4		

4.3.4.2 Bulloni "a serraggio controllato"

Agli assiemi Vite/Dado/Rondella impiegati nelle giunzioni 'Precaricate' si applica quanto specificato al punto A del § 11.1 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 14399-1. Viti, dadi e rondelle, in acciaio, devono essere associate come in tabella 11.3.XIV.

4.4 DURABILITÀ DEI NUOVI MATERIALI IMPIEGATI

4.4.1 Normativa di riferimento

Le caratteristiche di durabilità dei calcestruzzi da impiegare nelle opere di progetto sono valutate secondo la Norma Nazionale UNI 9858 e la Normativa Europea ENV 206 secondo quanto stabilito dal D.M. 17.01.2018

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 25 di 159</p>
---	--

4.4.2 Classificazione ambientale

Le opere in oggetto verranno realizzate in zona urbanizzata; esse in parte sono interrato. Secondo le indicazioni contenute nella UNI EN 206, sono classificabili in ambiente XC2 (fondazioni).

prospetto F1 Valori limite raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo																		
	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione indotta da carbonatazione				Corrosione indotta da cloruri						Attacco da gelo/dsgelo				Ambienti chimici aggressivi		
						Acqua di mare			Cloruri diversi dall'acqua di mare									
		XD	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2				XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3
Massimo w/z	—	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto minimo di cemento ^a (kg/m³)	—	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto minimo di aria (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0 ^{b1}	4,0 ^{b1}	4,0 ^{b1}	—	—	—
Altri requisiti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Aggregati in conformità alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/dsgelo				—	Cemento resistente ai solfati ^{b)}	
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria inglobata, si dovrebbe sottoporre a prova la prestazione del calcestruzzo secondo un metodo di prova appropriato rispetto a un calcestruzzo di cui è stata dimostrata la resistenza al gelo/dsgelo per la classe di esposizione pertinente.																	
b)	Quando i solfati nell'ambiente comportano classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare cemento resistente ai solfati conforme alla EN 197-1 o alle norme nazionali complementari.																	
c)	Quando si applica il concetto del valore R il rapporto massimo w/z e il contenuto minimo di cemento si modificano in conformità al punto 5.2.5.2.																	

4.4.3 Strutture in acciaio

Per le strutture in acciaio laminato sono previsti i seguenti cicli di protezione:

VERNICIATURA SU ACCIAIO GREZZO

- preparazione del sottofondo mediante sabbiatura grado SA2.0;
- mano di fondo mediante applicazione di vernice antiruggine a base di zinco inorganico, spessore minimo 40 micron.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 26 di 159
---	--

5 ANALISI DEI CARICHI

5.1 CARICHI PERMANENTI

5.1.1 Carichi permanenti strutturali

Il carico permanente strutturale (G_1) è rappresentato dal solo peso del calcestruzzo pari a 25kN/m^3 .

5.1.2 Carichi permanente non strutturali

Il carico permanente non strutturale (G_2) è rappresentato da:

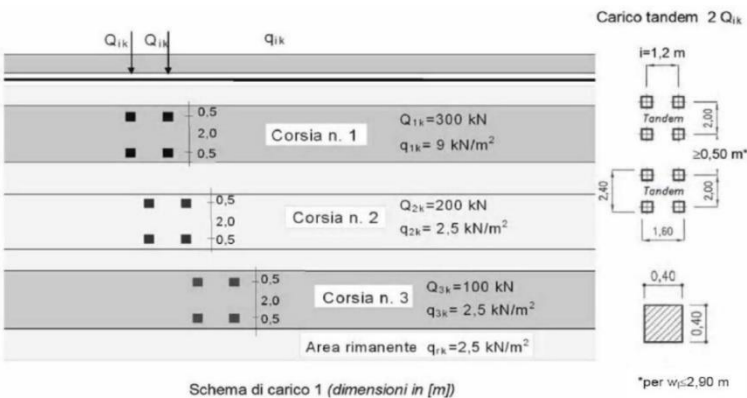
- Peso della pavimentazione pari a 20 kN/m^3

5.2 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO

In tale paragrafo si riporta la descrizione dei carichi mobili e della loro disposizione trasversale atta a definire, di volta in volta, le sollecitazioni più sfavorevoli sia per gli elementi dell'impalcato che per gli elementi delle sottostrutture.

I carichi mobili agenti sull'impalcato sono definiti al § 5.1.3.3 del D.M. 17/01/18 e vanno posizionati in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli ai fini della verifica degli elementi strutturali.

Schema di Carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0.40 m , e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato nella figura sottostante. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.



LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 27 di 159
--	--

Il numero delle corsie di carico convenzionali considerate ai fini del calcolo dell'impalcato e delle sottostrutture è definito in base a quanto riportato nella Tabella 5.1.I del D.M. 17/01/18:

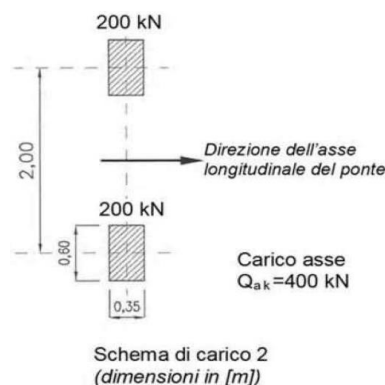
Larghezza di carreggiata "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40$ m	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0$ m	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

Nella seguente tabella si riportano i valori dell'intensità dei carichi tandem e dei carichi distribuiti per le varie corsie.

Posizione	Carico asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]
Corsia Numero 1	300	9,00
Corsia Numero 2	200	2,50
Corsia Numero 3	100	2,50
Altre corsie	0,00	2,50

In questo caso i carichi da traffico vengono impiegati per il dimensionamento degli sbalzi laterali della soletta, che hanno una lunghezza in direzione trasversale minore di quella di una corsia di carico, motivo per cui si fa riferimento alla sola corsia 1.

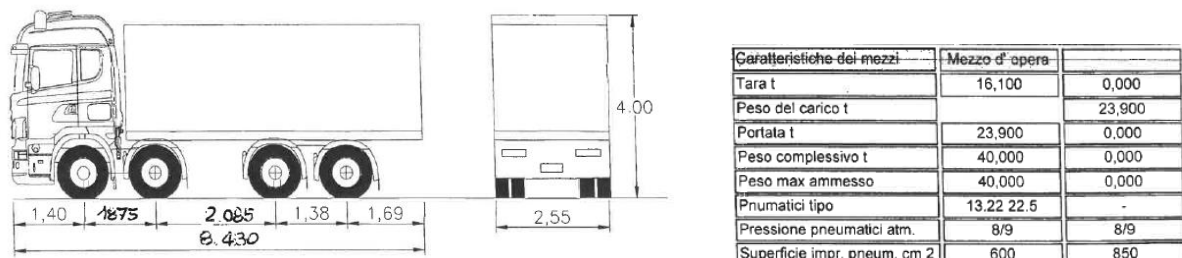
Schema di Carico 2: è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0.60 m ed altezza 0.35 m. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.



<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 28 di 159</p>
---	--

In corrispondenza dei muri andatori il traffico veicolare, per le verifiche di carattere globale, viene schematizzato come un carico diffuso di intensità pari a 20 kN/m² in accordo con Quaderni ANAS e documenti RFI di comprovata validità.

Tale carico risulta congruo al traffico stradale in quanto maggiore rispetto al mezzo a pieno carico transitabile (autocarro da 40 ton). A supporto di tale assunzione progettuale si riporta di seguito lo schema di un mezzo standard da 40 ton e la relativa tabella con caratteristiche tecniche.



Il mezzo presenta un ingombro di 8.43m x 2.55; pertanto la pressione relativa all'impronta di carico è pari a:

$$400 \text{ kN} / (8.43\text{m} \times 2.55\text{m}) = 18.60 \text{ kN/m}^2$$

La scelta progettuale di assumere un carico uniformemente distribuito sull'intera sede stradale e sulle banchine di 20 kN/m² è pertanto cautelativa rispetto agli usuali transiti.

Relativamente alle verifiche locali sarà invece utilizzato lo schema di carico 2 considerando la la posizione più sfavorevole,

5.3 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni, come indicato dalle NTC2018:

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

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

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

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

I coefficienti parziali per le combinazioni SLU sono:

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 29 di 159</p>
---	--

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g ₁ e g ₃	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g ₂	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}$, $\gamma_{\epsilon 3}$, $\gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.
⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 1:Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni agli SLU (NTC2018)

Le verifiche agli SLU sono state condotte con coefficienti amplificativi delle azioni della colonna A1.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 30 di 159</p>
---	--

I coefficienti di combinazione sono:

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	—	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Per le opere di luce maggiore di 300 m è possibile modificare i coefficienti indicati in tabella previa autorizzazione del Servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici, sentito lo stesso Consiglio.

Figura 5.1: Coefficienti di combinazione (NTC2018)

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 31 di 159</p>
---	--

6 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base dei risultati delle indagini sono stati definiti i valori dei parametri fisici e meccanici utilizzati per le analisi numeriche illustrate nell'apposita relazione.

Tale modello è costituito dalle unità geotecniche le cui proprietà vengono riassunte nella successiva tabella.

Unità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	E_{vc} (MPa)	E_{ur} (MPa)
TERRENO A	Riporti (coltre stradale)	19.5	0	32	10	30
TERRENO B	Frana (coltre eluvio- colluviale)	20	0	30	50	150
TERRENO C	Marne	25-26.5	50	40	479	1437

Tabella 2: Modello geotecnico

Gli interventi di progetto trattati nell'attuale stralcio progettuale fanno riferimento, a seconda della loro posizione, alle stratigrafie dei terreni individuate nei sondaggi S4 ed S5.

In particolare, relativamente al primo stralcio progettuale, le opere si riferiranno alla stratigrafia individuata dal sondaggio S4, eccetto per le zone in frana che invece ricadranno nella successione di substrati individuata dal sondaggio S5.

Relativamente alla quota di falda e data la riproposizione diffusa degli interventi è stata assunta, a favore di sicurezza, la profondità minima rilevata dai sondaggi pari a 3.0m dal p.c.

A seguire si riportano le sezioni geologiche relative ai due indagini in questione, rimandando agli elaborati grafici ed alle relazioni tecniche specifiche per ulteriori dettagli.

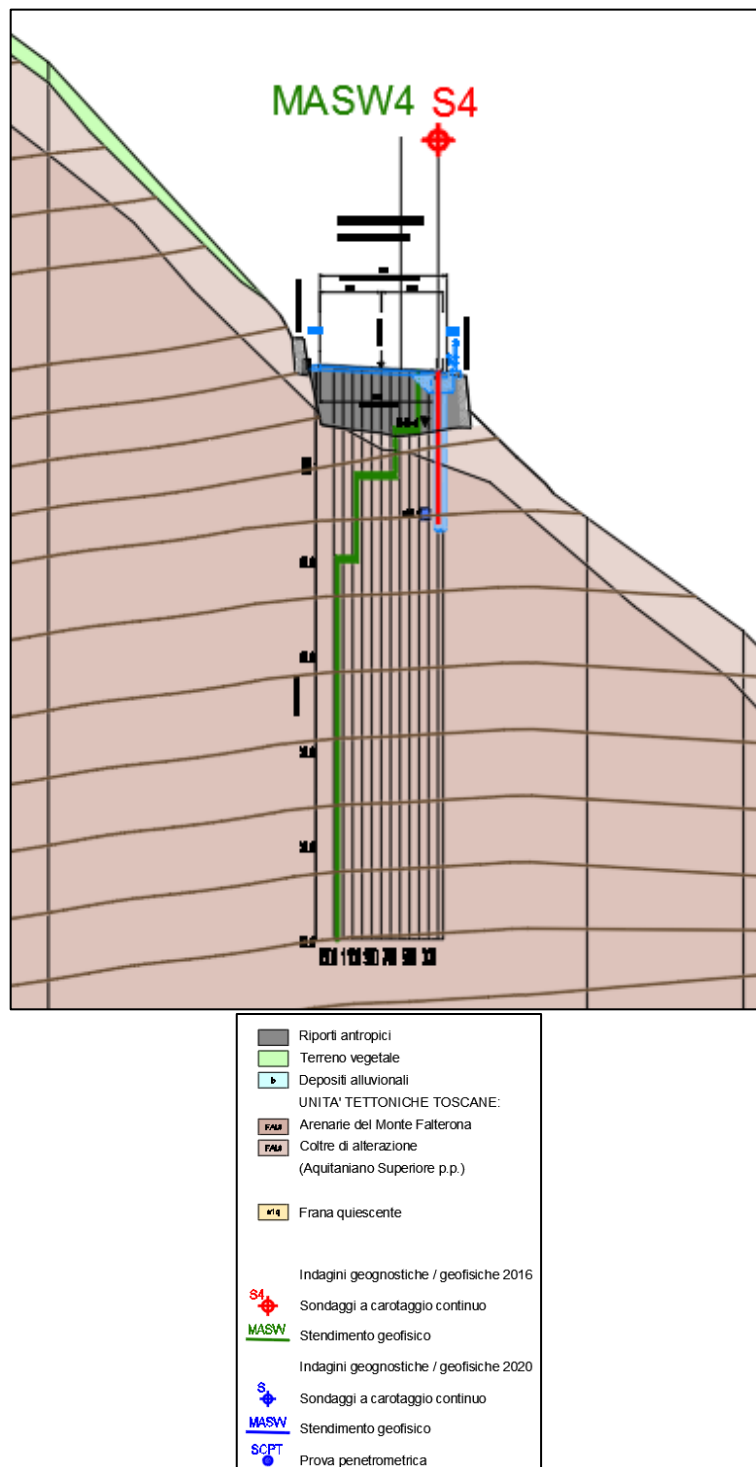


Fig. 6.1 – Sondaggio S4

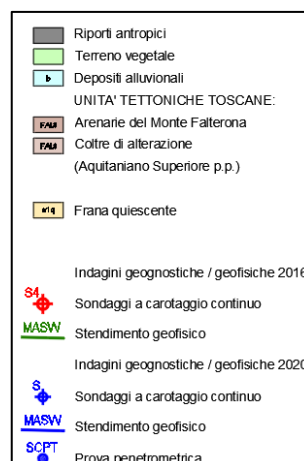
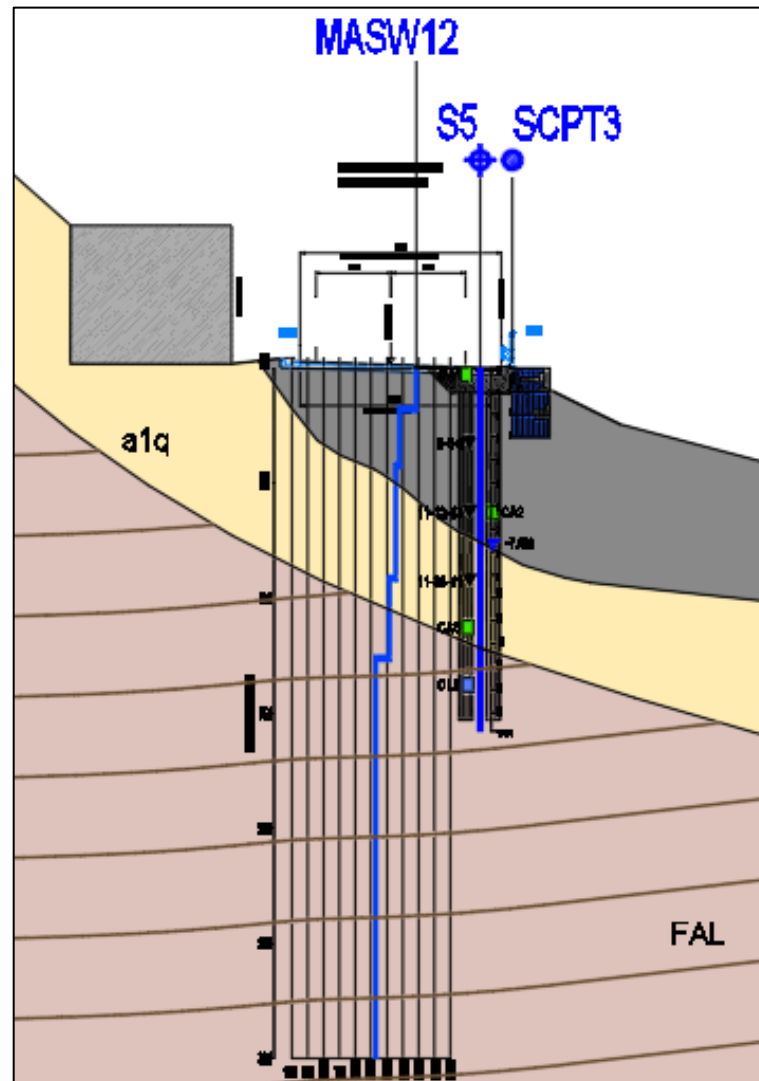


Fig. 6.2 – Sondaggio S5

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 34 di 159
--	--

7 RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

Le verifiche statiche e sismiche sono state condotte conformemente al Nuovo Testo Unico sulle Costruzioni **D.M. 17.01.2018** e successive circolari ed integrazioni secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limite

Il Comune di Perugia (PG) è stato posto in zona di **2° categoria** dalla nuova mappa sismica riportata all'Allegato A del OPCM3274/2003.

Le verifiche sismiche sono state condotte con analisi dinamica. I parametri necessari alle definizioni degli spettri di progetto, così come prescritto dalle NTC 2018, sono stabiliti dal progettista di concerto con la committenza. Nello specifico, data la natura strategica della costruzione, si considera una vita nominale **$V_N = 50$** anni ed una classe d'uso **III**. Ne deriva un tempo di riferimento per il calcolo dell'azione sismica pari a **$V_R = 75$ anni**.

Le azioni orizzontali e verticali dovute al sisma vengono calcolate con spettro di risposta come definito al cap.3 del D.M. 17.01.2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa **a_g** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 del DM2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **$S_e(T)$** , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **P_{VR}** come definite nel § 3.2.1 (DM2018), nel periodo di riferimento **V_R** , come definito nel § 2.4 (DM2018). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento **P_{VR}** nel periodo di riferimento **V_R** , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 35 di 159
--	--

Per i valori di a_g , F_0 e T^*_c , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

<u>Coordinate geografiche (sistema ED50) di localizzazione</u>
Latitudine Nord = 43.7376 °
Longitudine Est = 12.0250°

7.1.1 Vita nominale di progetto

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab.2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a P_N , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a P_N e comunque non inferiore a 5 anni.

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

7.1.2 Classi d'uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 36 di 159
--	--

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

7.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 37 di 159</p>
---	--

7.1.4 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 (DM2018). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 (DM2018).

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove ovvero, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 38 di 159</p>
---	--

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab.3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 39 di 159
--	--

7.1.5 Parametri caratteristici per la determinazione dello spettro sismico elastico

$V_N = 50$	Vita nominale dell'edificio come definito in tab. 2.4.I
Classe = III	Classe d'uso
$C_U = 1.0$	Coeff. d'uso come definito nella tab. 2.4.II
$V_R = V_N C_U = 50 \times 1.5 = 75$	Periodo di riferimento

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

7.1.6 Stati limite e relative probabilità di superamento

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 40 di 159</p>
---	--

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Stati limite analizzati	
SLC	Stato limite ultimo di prevenzione del collasso (SLC)
SLV	Stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)
SLD	Stato limite di esercizio di danno (SLD)
SLO	Stato limite di esercizio di operatività (SLO)

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{VR})$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 41 di 159</p>
---	--

7.1.7 Valutazione dell'azione sismica

7.1.7.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (vedi § 2.4 e § 3.2.1 del DM2018).

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante storie temporali del moto del terreno.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico, S_e , è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad [3.2.2]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Nelle quali:

T è il periodo proprio di vibrazione;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente

$$S = S_S \cdot S_T \quad [3.2.3]$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tab. 3.2.IV) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (vedi Tab. 3.2.V);

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55, \quad [3.2.4]$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base dei materiali, della tipologia strutturale e del terreno di fondazione;

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 42 di 159</p>
---	--

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato dalla relazione

$$T_C = C_C \cdot T_C^*, \quad [3.2.5]$$

dove:

T_C^* è definito al § 3.2 del DM2018 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (vedi Tab. 3.2.IV);

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, dato dalla relazione

$$T_B = T_C / 3 \quad [3.2.6]$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6. \quad [3.2.7]$$

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nel § 3.2.2 del DM2018, la forma spettrale su sottosuolo di categoria **A** è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_C che modifica il valore del periodo T_C .

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità e T_C^* è espresso in secondi.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 43 di 159</p>
---	--

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 del DM2018 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab.3.2.V, fino alla base, dove S_T assume valore unitario.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 44 di 159</p>
---	--

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico, S_{ve} , è definito dalle espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Nelle quali:

T è il periodo proprio di vibrazione (in direzione verticale);

F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad [3.2.9]$$

I valori di a_g , F_o , S , η sono definiti nel § 3.2.3.2.1 del DM2018 per le componenti orizzontali del moto sismico; i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono riportati nella Tab.3.2.VI.

Tab. 3.2.VI - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in Tab.3.2.V.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 45 di 159</p>
---	--

7.1.8 Metodi di analisi e criteri di verifica delle opere di sostegno

7.1.8.1 Muri di sostegno

I sistemi di drenaggio a tergo della struttura devono essere in grado di tollerare gli spostamenti transitori e permanenti indotti dal sisma, senza che sia pregiudicata la loro funzionalità.

A meno di specifiche analisi dinamiche, l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i metodi pseudo-statici e i metodi degli spostamenti. Se la struttura può spostarsi, l'analisi pseudo-statica si esegue mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto.

Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.7]$$

dove

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.8]$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD)

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario. I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma seguente.

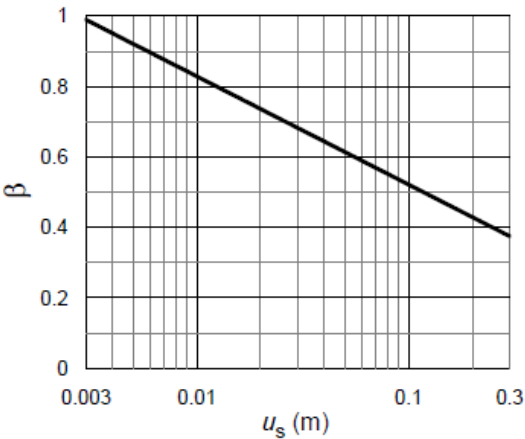


Fig. 7.1 Diagramma per la valutazione dello spostamento β

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e utilizzando valori di β_m incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

Per muri di sostegno ubicati in corrispondenza di versanti o in prossimità di pendii naturali devono essere soddisfatte le condizioni di stabilità del pendio, in presenza della nuova opera. Deve inoltre essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso muro-terreno.

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nella tabella seguente.

Tabella 3: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche SLV dei muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale γ_R
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 47 di 159</p>
---	--

Le azioni da considerare nelle analisi di sicurezza delle fondazioni sono fornite dalla spinta esercitata dal terrapieno, dalle azioni gravitazionali permanenti e dalle azioni inerziali agenti nel muro, nel terreno e negli eventuali sovraccarichi. La verifica nei confronti dello stato limite di scorrimento può essere eseguita anche con il metodo degli spostamenti.

L'accelerazione critica deve essere valutata utilizzando i valori caratteristici dei parametri di resistenza. Le condizioni dell'opera possono essere riferite al raggiungimento di uno stato limite ultimo (*SLV*) o di esercizio (*SLD*) in dipendenza del valore di soglia dello spostamento. La valutazione delle condizioni di sicurezza è effettuata mediante il confronto tra lo spostamento calcolato e il corrispondente valore di soglia. I criteri di scelta dei valori limite di spostamento devono essere illustrati e giustificati dal progettista.

In aggiunta alle verifiche di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi *SLV*, devono essere condotte verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio *SLD*. In particolare, gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

7.1.8.2 Paratie

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale a_h e a_v dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, a_h può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e $\beta \leq 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza. Per le paratie si può porre $a_v = 0$.

L'accelerazione di picco a_{max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, oppure come

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

<p style="text-align: center;">LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 48 di 159</p>
---	--

dove S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t) ed a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido. Il valore del coefficiente α può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma a seguire dove per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente V_s .

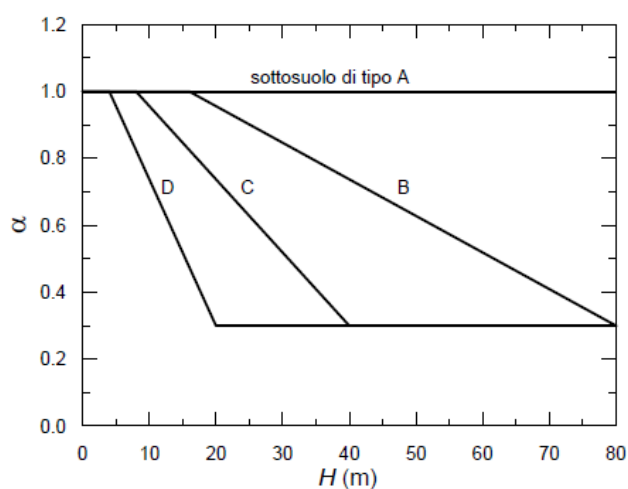


Fig. 7.2: Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\alpha=1$.

Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma in figura seguente, in funzione del massimo spostamento permanente u_s che l'opera può tollerare, verificando l'effettivo sviluppo di meccanismi duttili nel sistema.

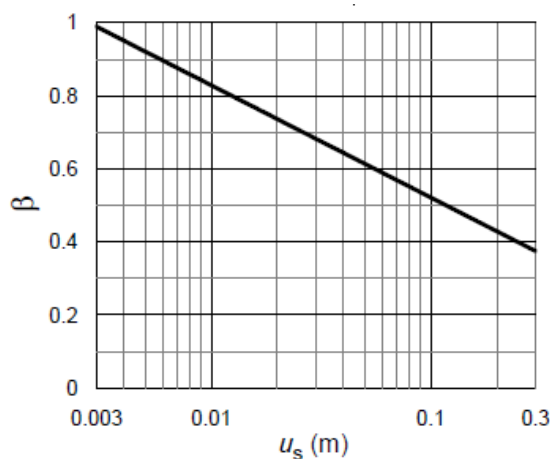


Fig. 7.3: Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 49 di 159</p>
---	--

In assenza di tale verifica, il coefficiente β vale 1. Per $u_s=0$ è $\beta=1$. Deve comunque risultare:

$$u_s \leq 0,005 \cdot H$$

Se $\alpha \cdot \beta \leq 0,2$ deve assumersi $k_h = 0,2 \cdot a_{max}/g$.

Possono inoltre essere trascurati gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la paratia.

Per valori dell'angolo di resistenza al taglio tra terreno e parete $\delta > \varphi'/2$, ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

Per paratie realizzate in corrispondenza di versanti o in prossimità di pendii naturali devono essere soddisfatte le condizioni di stabilità del pendio, in presenza della nuova opera.

Deve inoltre essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso paratia.

Per le paratie devono essere soddisfatte le condizioni di sicurezza nei confronti dei possibili stati limite ultimi (SLV). Nelle verifiche, per azioni s'intendono le risultanti delle spinte a tergo della paratia e per resistenze s'intendono le risultanti delle spinte a valle della paratia e le reazioni dei sistemi di vincolo.

Gli elementi di contrasto sollecitati a compressione (puntoni) devono essere dimensionati in maniera che l'instabilità geometrica si produca per forze assiali maggiori di quelle che provocano il raggiungimento della resistenza a compressione del materiale di cui sono composti. In caso contrario si deve porre $\beta=1$.

Nel caso di strutture ancorate, ai fini del posizionamento della fondazione dell'ancoraggio si deve tenere presente che, per effetto del sisma, la potenziale superficie di scorrimento dei cunei di spinta presenta un'inclinazione sull'orizzontale minore di quella relativa al caso statico. Detta L_s la lunghezza libera dell'ancoraggio in condizioni statiche, la corrispondente lunghezza libera in condizioni sismiche L_e può essere ottenuta mediante la relazione:

$$L_e = L_s \left(1 + 1,5 \cdot \frac{a_{max}}{g} \right)$$

dove a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito.

Gli elementi di ancoraggio devono avere resistenza e lunghezza tali da assicurare l'equilibrio dell'opera prima, durante e dopo l'evento sismico. Si deve inoltre accertare che il terreno sia in grado di fornire la resistenza necessaria per il funzionamento dell'ancoraggio durante il terremoto di riferimento e che sia mantenuto un margine di sicurezza adeguato nei confronti della liquefazione.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 50 di 159
--	--

Nei tiranti il cui tratto libero è realizzato con trefoli o barre di acciaio armonico, nel rispetto del criterio della progettazione in capacità, si deve verificare che la resistenza di progetto allo snervamento sia sempre maggiore del valore massimo della resistenza di progetto della fondazione dell'ancoraggio.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 51 di 159
--	--

8 RELAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

Le strutture sono dimensionate con schemi di calcolo adeguati alle effettive condizioni di esercizio delle opere.

I calcoli sono stati eseguiti secondo i criteri della Scienza delle Costruzioni, la teoria del De Saint Venant, la teoria della Meccanica delle Terre ed il metodo degli stati limiti (D.M. 17-01-2018).

Per le sezioni in c.a. sono state effettuate verifiche allo stato limite plastico con il controllo delle curvature. Si ipotizza sempre la conservazione delle sezioni piane e la parzializzazione della sezione.

Per i terreni è stato assunto un comportamento elasto-plastico ideale con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb. Nel modello di calcolo, il terreno viene rappresentato mediante elementi monodimensionali tipo molla, connessi alla paratia in ogni suo nodo. Il comportamento meccanico della molla è di tipo elasto-plastico: essa reagisce elasticamente fino ai valori limiti della resistenza, raggiunta la quale, a seconda del verso dello spostamento, assume un valore pari alla spinta attiva o alla spinta passiva del terreno. La deformabilità della molla è funzione dello stato tensionale a cui risulta sottoposta: in campo elastico essa è definita dall'espressione della rigidezza della molla:

$$K = \frac{E \cdot D}{L}$$

dove E è il modulo di elasticità del terreno, L la lunghezza della molla e D l'interasse tra le singole molle. La lunghezza della molla L è variabile in funzione delle dimensioni della zona di terreno coinvolta nel movimento, sia in condizioni di spinta attiva sia di spinta passiva. Lo stato tensionale iniziale della molla, nelle condizioni che precedono le operazioni di scavo e/o all'applicazione di qualsiasi azione esterna sulla paratia, è funzione della tensione verticale litostatica secondo la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

in cui K_0 è il coefficiente di spinta a riposo.

A seguito delle operazioni di scavo, o dell'applicazione di azioni esterne sulla struttura, la reazione offerta dalla molla aumenta o diminuisce (a seconda del verso della

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 52 di 159</p>
---	---

deformazione) raggiungendo al limite le tensioni corrispondenti alle condizioni di spinta attiva o passiva, rispettivamente per decrementi o incrementi di tensione.

Per la valutazione del K_0 si utilizza l'espressione:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi'$$

Per i coefficienti di spinta attiva e passiva K_A e K_P in condizioni statiche sono state utilizzate rispettivamente le espressioni fornite da Coulomb e Lancellotta (2007), ipotizzando un angolo di attrito tra terreno e struttura $\delta = \phi'/2$ per lo stato limite attivo e passivo.

L'equazione che fornisce il valore di K_A in accordo con la teoria di Coulomb è di seguito riportata:

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2(\beta) \cos(\delta + \beta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \sin(\varphi' - i)}{\cos(\delta + \beta) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

dove:

- β è l'inclinazione del paramento della paratia rispetto alla verticale;
- i è l'inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale.

L'equazione che fornisce il valore di K_P è valutata in accordo con la teoria di Lancellotta (2007, cfr. "Geotecnica" edizione 2012), di seguito riportata per il caso generale sismico:

$$K_{pe} = \left[\frac{\cos \delta}{\cos(\varepsilon - \theta) - \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2(\varepsilon - \theta)}} \left(\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta} \right) \right] e^{a \tan \phi}$$

dove:

- $a = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi} \right) + \sin^{-1} \left[\frac{\sin(\varepsilon - \theta)}{\sin \phi} \right] + \delta + (\varepsilon - \theta) + 2\theta$
- ε è l'inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale;
- δ è la scabrezza parete-terreno;
- θ rappresenta l'inclinazione della forza di massa per unità di volume in presenza delle azioni sismiche (dunque è pari a zero nel caso di interesse, di tipo statico).

La scelta della formulazione di Lancellotta è dovuta al fatto che essa è una soluzione di estremo inferiore, ottenuta con il teorema statico dell'analisi limite, dunque intrinsecamente conservativa.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 53 di 159
--	--

Per le verifiche la metodologia utilizzata è quella descritta nel NTC (D.M. 17.01.2018) per le verifiche sia statiche che sismiche.

Per quanto non ivi riportato si è fatto riferimento ai testi coordinati degli Eurocodici.

Le verifiche delle strutture sono state condotte con l'ausilio di programmi di calcolo agli elementi finiti e di fogli elettronici conformemente alle disposizioni della UNI 10024.

Particolare attenzione è stata posta nella presentazione dei risultati ottenuti dall'elaborazione automatica del modello. In particolare si è cercato di riassumere nella presente in modo sintetico ed efficace le configurazioni delle deformate, le rappresentazioni grafiche delle caratteristiche delle sollecitazioni e delle componenti degli sforzi, i diagrammi di involuppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici dei carichi applicati rimandando per le informazioni più dettagliate agli appositi tabulati di calcolo.

Per le caratteristiche e le stratigrafie si rimanda alla specifica Relazione Geologica – Geotecnica.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 54 di 159
--	--

8.1 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE

Secondo quanto riportato al §10.2 del DM 2018 si dichiara che Il dimensionamento delle paratie è avvenuto mediante il codice di calcolo agli elementi finiti **PARATIE-PLUS 2020**. ParatiePlus analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione "locale" fra parete e terreno.

ParatiePlus non permette lo studio di problematiche che coinvolgano un movimento esteso del versante di scavo, in quanto ParatiePlus non consente lo sviluppo di movimenti rigidi della parete o parti di ammasso rispetto ad altre parti di terreno. Scopo precipuo di ParatiePlus è quindi il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno. La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- Si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- La parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- Il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- I tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 55 di 159</p>
---	--

9 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE FONDATE SU PALI

9.1 DESCRIZIONE DEL CORDOLO DI CORONAMENTO

Il cordolo tipologico presenta uno spessore di 70 cm e lunghezza diversa a seconda che sia collocato su una fila di pali o due; di seguito si riportano un dettaglio.

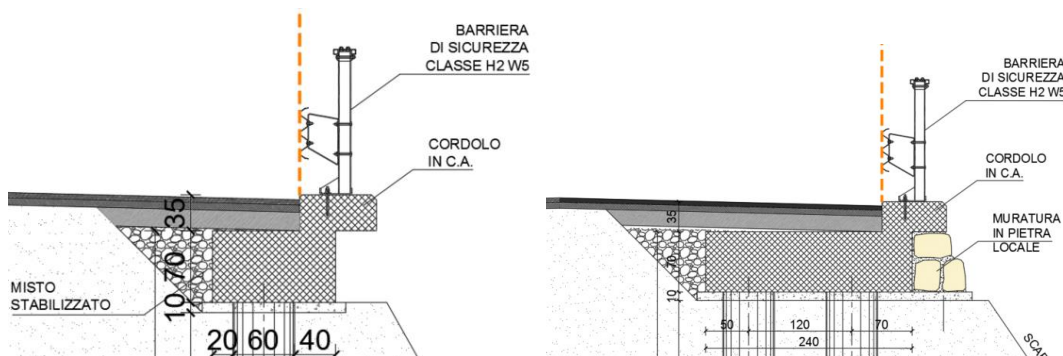


Figura 9.1 – Sezioni con cordoli di progetto tipologici

I carichi relativi alla struttura sono stati valutati assumendo le indicazioni riportate al §5.

I cordoli presentano uno spessore di pavimentazione pari a 0.35 m; nella modellazione è stata assunta una pressione in testa ai pali pari a 25 kN/m^2 atta a simulare il pacchetto formato da calcestruzzo e pavimentazione (comprendendo anche il cordolo porta-barriera) assumendo anche per la pavimentazione il peso specifico maggiorato del calcestruzzo.

Si trascura il carico lineare della barriera che risulta compreso nell'assunzione progettuale del carico complessivo di cordolo e pacchetto di finitura.

Per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo.

9.2 MODALITÀ REALIZZATIVA DEI PALI

A seguire si riportano gli interventi tipologici relativi al consolidamento dei versanti ed all'installazione delle barriere dove è necessaria la realizzazione di una paratia di pali.

Gli interventi vengono differenziati in base alla stratigrafia di riferimento, alla lunghezza dei pali ed all'interasse degli stessi. La soluzione individuata consiste nell'adozione di una paratia di pali ad elica continua tubati tipo "CAP" così da ridurre al minimo le vibrazioni ed evitare cedimenti del versante o danni ai manufatti o eventuali edifici limitrofi.

La sequenza realizzativa di ciascun palo avviene secondo le seguenti fasi di lavoro:

1. Piazzamento;
2. Perforazione tubata;

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 56 di 159</p>
---	--

3. Getto di calcestruzzo ed estrazione dell'elica;
4. Inserimento della gabbia di armatura.

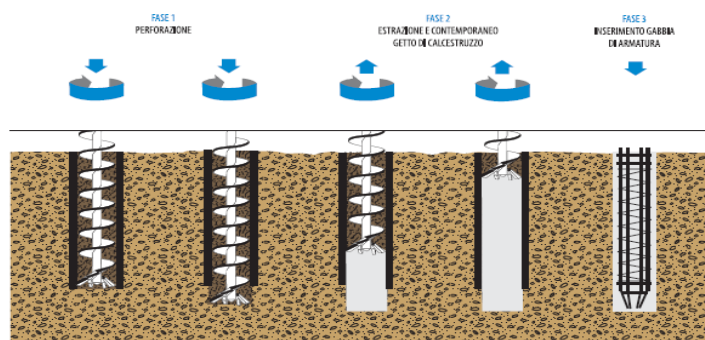


Fig. 9.1: Fasi esecutive dei pali ad elica continua tubati tipo "CAP".

Il procedimento operativo prevede i seguenti accorgimenti esecutivi:

- Raggiunta la profondità di progetto, il calcestruzzo viene pompato ad una pressione fino a 10 bar all'interno dell'asta cava attorno alla quale è assemblata l'elica e la trivella viene sollevata di alcuni centimetri; la pressione raggiunta comporta l'espulsione della puntazza ed il riempimento dello spazio sottostante.
- Mentre il calcestruzzo occupa progressivamente la cavità realizzata dall'elica, questa viene estratta lentamente, evitando di farla ruotare e contemporaneamente si estrae il rivestimento esterno.
- Segue installazione dell'armatura nei pali già gettati tramite gru o a mezzo dell'organo di servizio della perforatrice.
- Per garantire il corretto posizionamento della gabbia vanno applicati idonei centratori.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 57 di 159</p>
---	--

9.3 INTERVENTO B1.1 – PARATIA DI PALI (STRATIGRAFIA S4)

L'intervento in esame si colloca sulla stratigrafia S4 del modello geotecnico del sottosuolo.

Le paratie si presentano come un'opera di natura permanente con pali con lunghezza effettiva pari a 7.30 m ed interasse di 2.0 m.

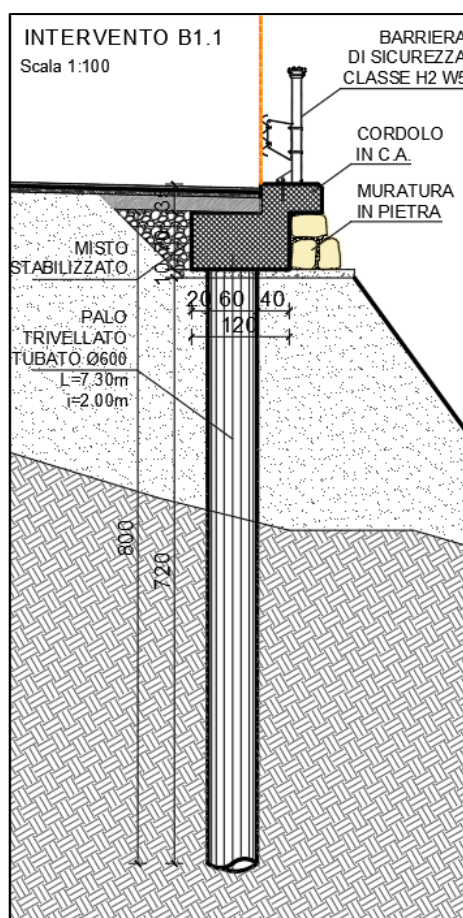


Fig. 9.2 - Sezione tipologica intervento B1.1

9.3.1 Sezioni di verifica

Le analisi di dimensionamento della paratia sono state eseguite in corrispondenza della condizione più sfavorevole.

Nell'intervento in esame, in cui a valle della paratia è presente un pendio naturale con pendenze elevate, a vantaggio di sicurezza, si ipotizza che sia presente una berma. Per determinare l'estradosso della berma (altezza dello scavo a valle) del modello di calcolo rappresentativo della sezione dimensionante, si attribuisce al valore di "B" l'altezza corrispondente allo spessore del rilevato stradale (Fleming et. al, 1992).

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 58 di 159
--	--

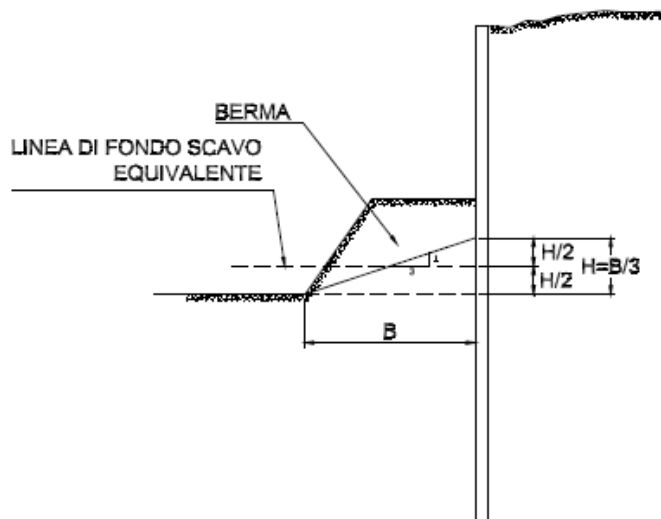


Figura 9.2 – Modellazione della gradonatura (Fleming et. al, 1992).

Nella tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche delle sezioni analizzate. Le altezze di scavo considerate si intendono sempre da estradosso trave di coronamento.

SEZ.	ALTEZZA TOTALE PARATIA	LUNGHEZZA PALI	ALTEZZA FUORITERRA PARATIA	DIAMETRO PALI	INTERASSE	ARMATURA A FLESSIONE	ARMATURA A TAGLIO
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[m]	[-]	[-]
54-55	8.00	7.30	1.80	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10

Tabella 9.1 – Caratteristiche della paratia di pali.

Le condizioni prese a riferimento nel modello di calcolo sono quelle complessivamente più critiche ai fini della sicurezza e della funzionalità dell'opera; dunque, dimensionanti anche nei confronti delle sezioni non direttamente soggette a verifica, caratterizzate da altezze inferiori. In particolare, nel modello di calcolo si assume la quota +0.00 in corrispondenza dell'estradosso della trave di coronamento.

Il cordolo di testata in calcestruzzo armato non viene modellato ma se ne assume il carico permanente equivalente in testa alla paratia.

Sarà considerata inizialmente una prima fase in cui si riporta la condizione geostatica, coincidente con la configurazione a riposo nella quale viene riprodotto lo stato tensionale supposto esistente nel terreno prima di ogni intervento. In tale fase vengono eseguiti gli elementi verticali. Si suppone in pratica che l'inserimento della parete, prima dello scavo, perturbi di poco lo stato tensionale nel terreno.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 59 di 159</p>
---	--

9.3.2 Analisi dei risultati

Si riporta nelle figure seguenti un quadro di sintesi dei risultati ottenuti che sono riportati al metro lineare. È da tener debitamente in conto che, gli stati limite relativi al raggiungimento delle resistenze negli elementi strutturali (rottura per flessione/taglio) sono verifiche STR da svolgersi secondo la combinazione SLU A1+M1+R3. Pertanto, le verifiche strutturali verranno condotte con riferimento alle sollecitazioni desunte nella combinazione SLU A1+M1+R3, mentre le azioni derivanti dalle combinazioni GEO SLU A2+M2+R1/SLOPE A2+M2+R2 sono da ritenersi irrilevanti per tale scopo.

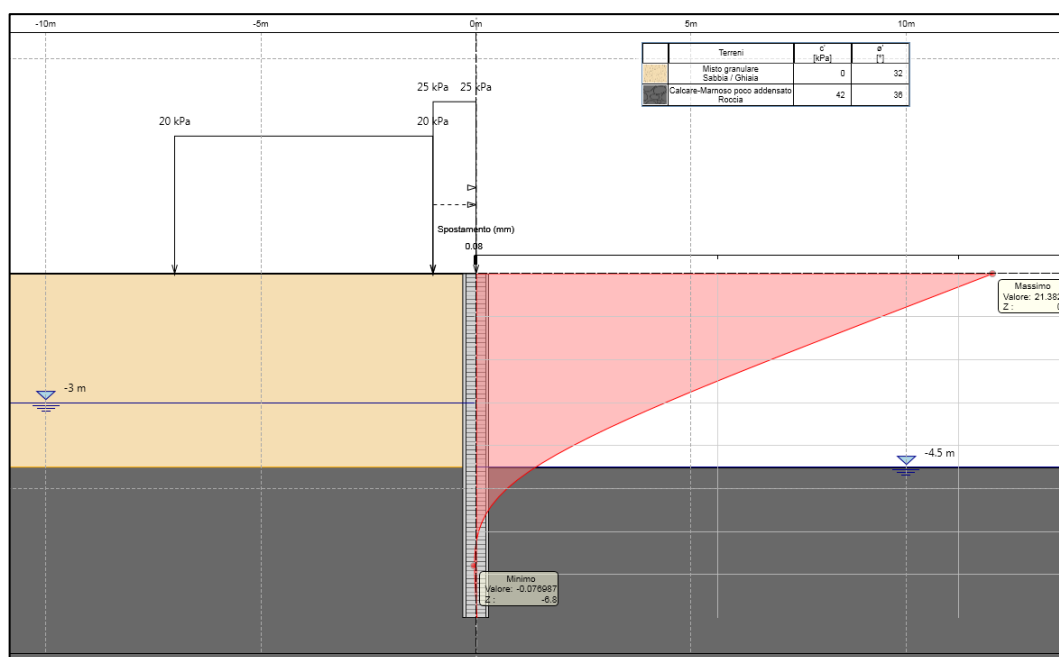


Fig. 9.3: Spostamenti SLE ($s_{max} = 21.4 \text{ mm}$)

Dal diagramma degli spostamenti agli SLE sono stati ottenuti i valori massimi in testa all'opera. Tali valori risultano limitati e opportunamente distanti dalla soglia massima che possono produrre il raggiungimento delle condizioni di stato limite d'esercizio per le strutture.

Salvo casi particolari (edifici particolari come le centrali nucleari) cedimenti e spostamenti orizzontali immediatamente a tergo dell'opera di sostegno inferiori all'1.0% dell'altezza di scavo per di più immediati perché in terreni granulari, sono comunemente ritenuti ampiamente accettabili (fuori terra della paratia, Peck, 1969; Clough & O'Rourke, 1990).

I valori dedotti numericamente per gli spostamenti, trascurabili, risultano idonei a garantire adeguati livelli di funzionalità.

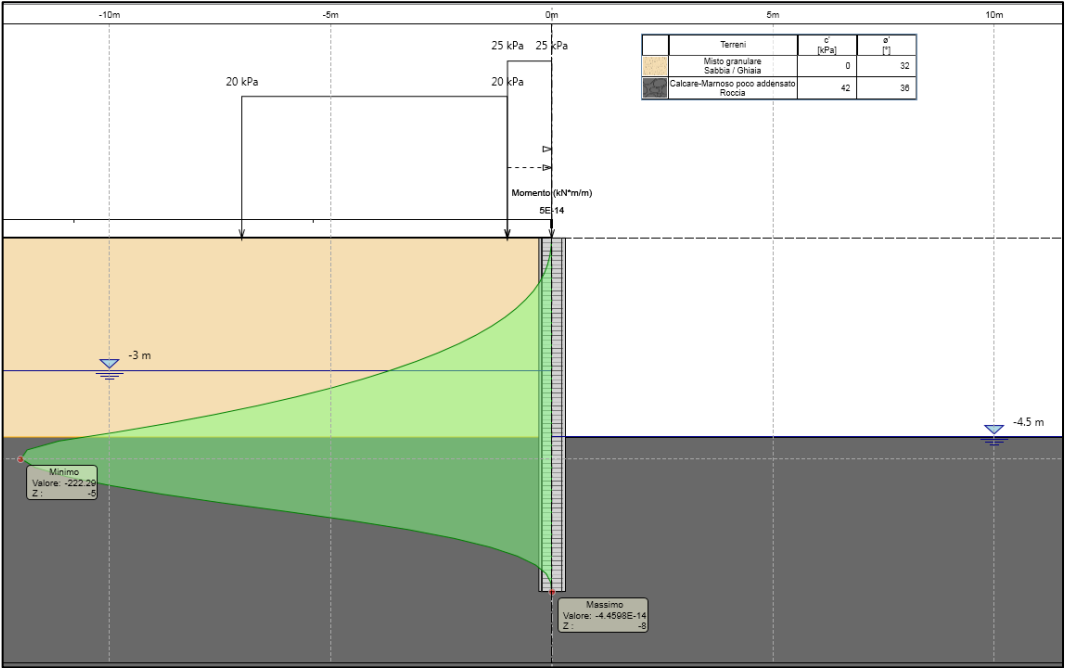


Fig. 9.4: Momento flettente SLU_A1+M1+R1 ($M_{max} = -211 \text{ kN/m}$)

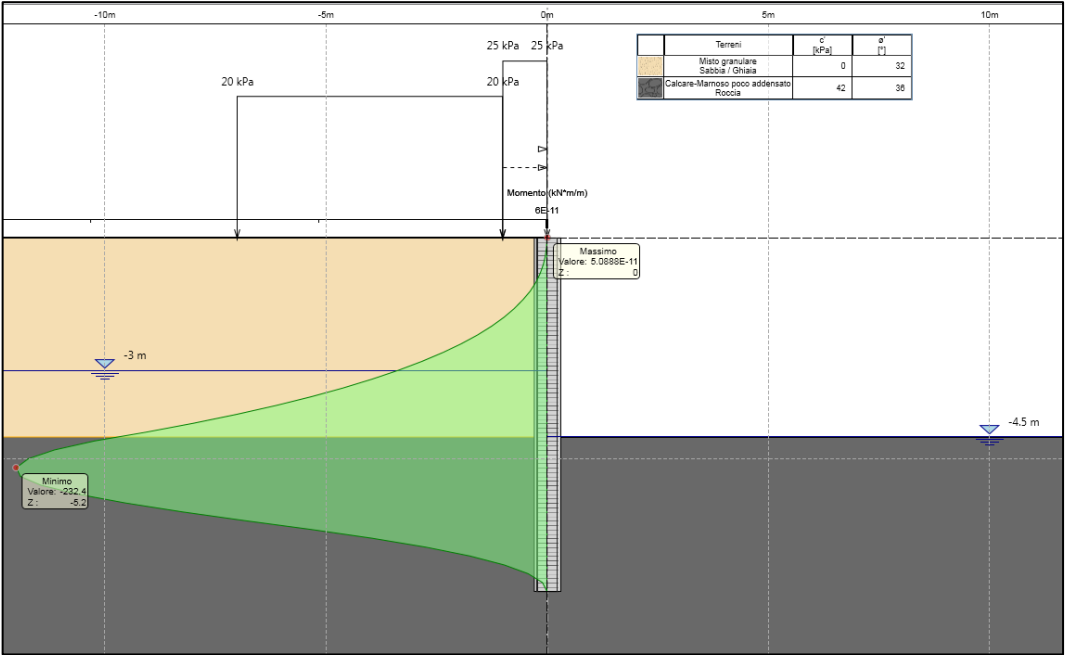


Fig. 9.5: Momento flettente SLU_A2+M2+R1 ($M_{max} = -218 \text{ kN/m}$)

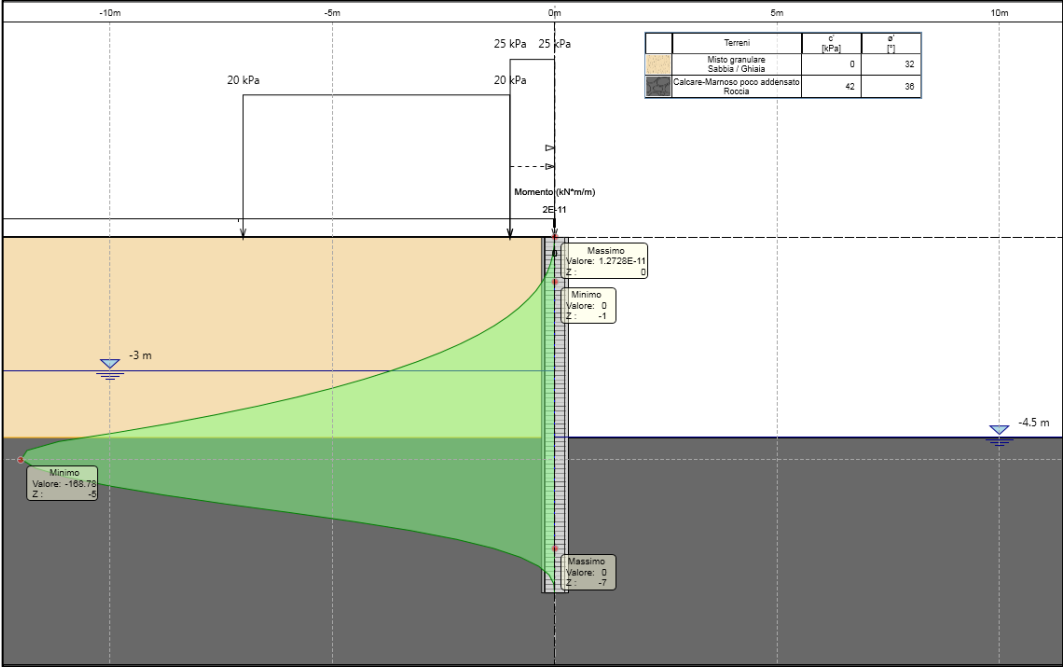


Fig. 9.6: Momento flettente SLE ($M_{max} = -160$ kN/m)

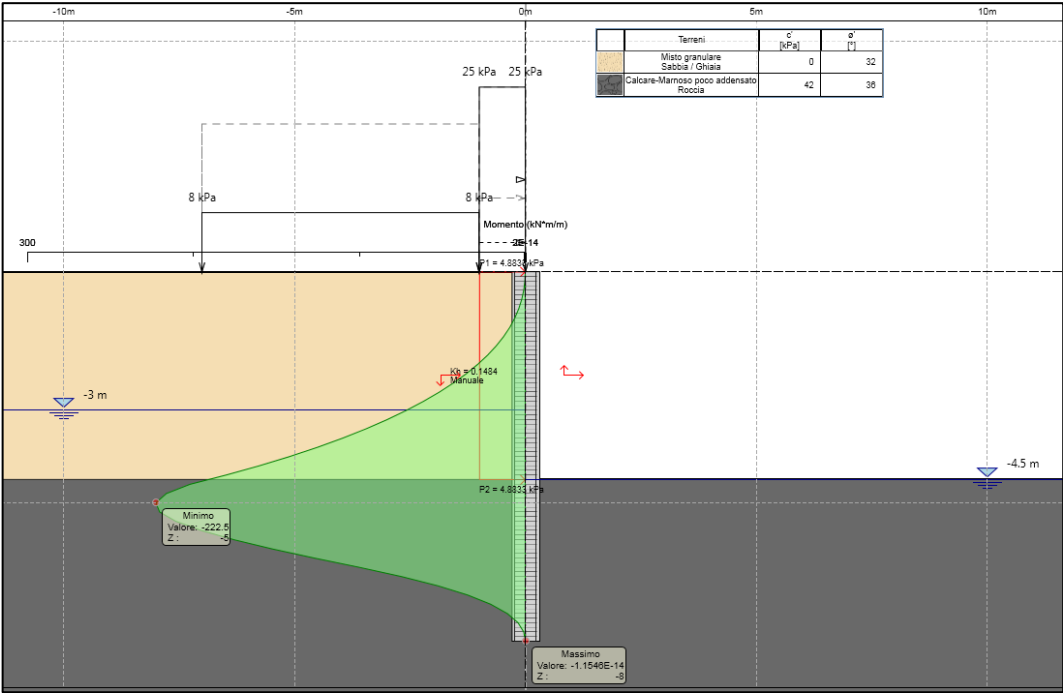


Fig. 9.7: Momento flettente SLV ($M_{max} = -200$ kN/m)

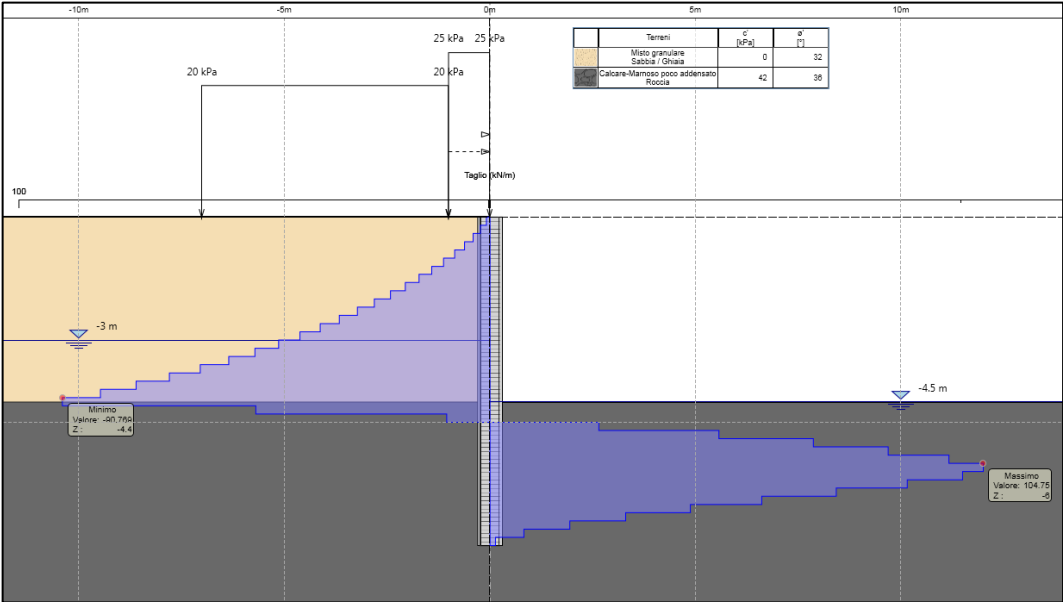


Fig. 9.8: Taglio SLE ($V_{max} = 101 \text{ kN}$)

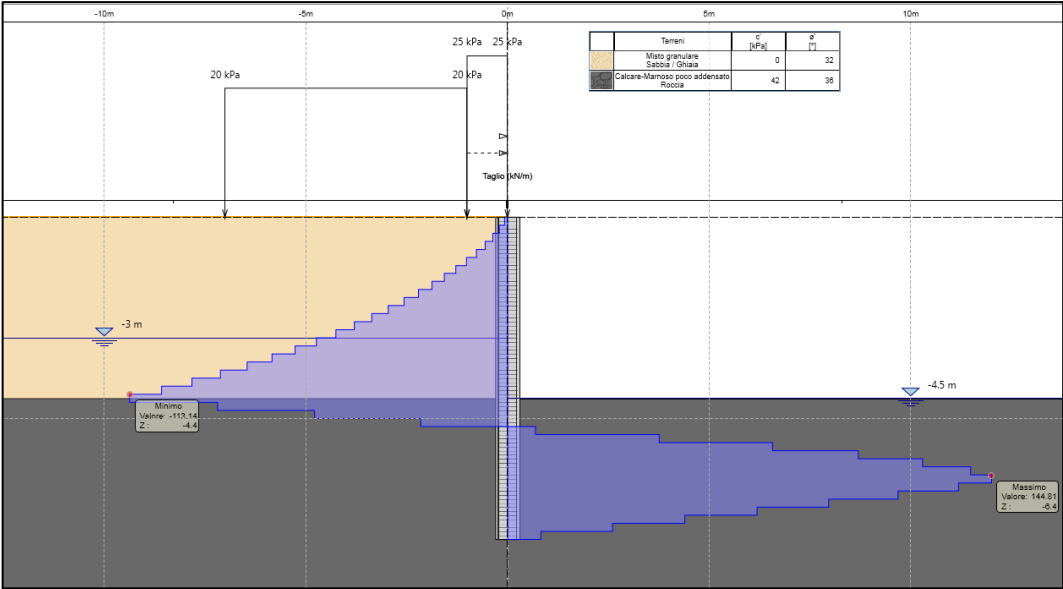


Fig. 9.9: Taglio SLU_A2+M2+R1 ($V_{max} = 132 \text{ kN}$)

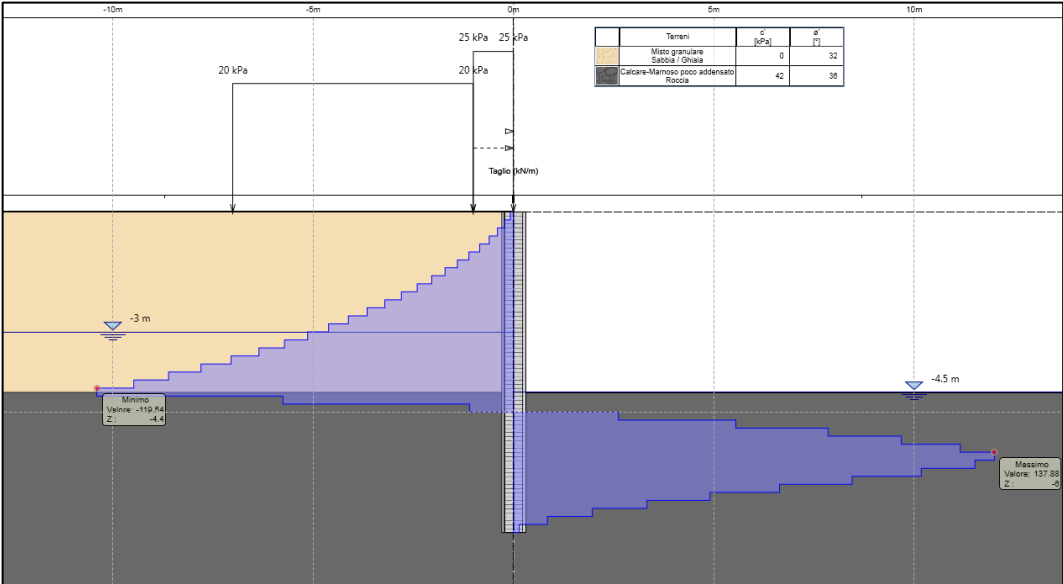


Fig. 9.10: Taglio SLU_A1+M1+R1 ($V_{max} = 134 \text{ kN}$)

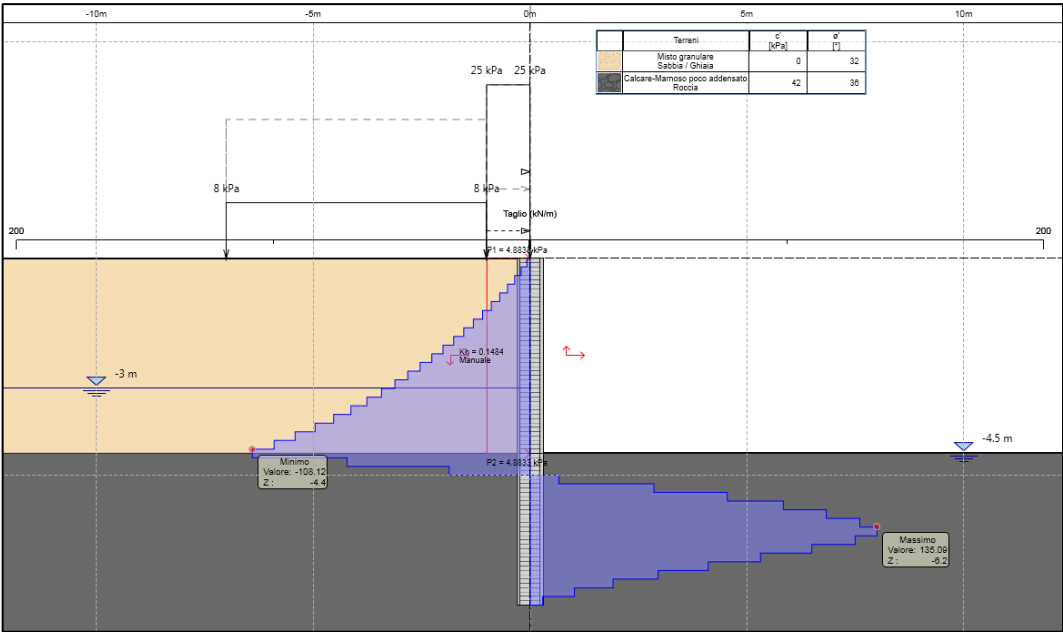


Fig. 9.11: Taglio SLV ($V_{max} = 124 \text{ kN}$)

A seguire si riporta la risultante delle spinte, per la SLU_A2+M2+R1 e per la SLV, in corrispondenza della massima altezza di scavo.

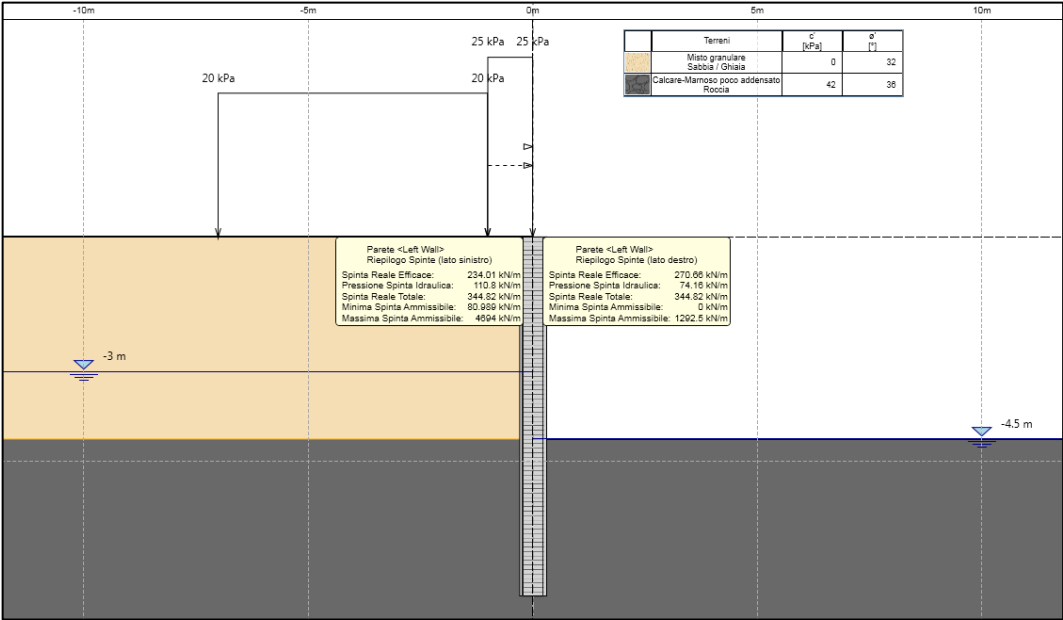


Fig. 9.12: Riepilogo Spinte SLU_A1+M1+R1

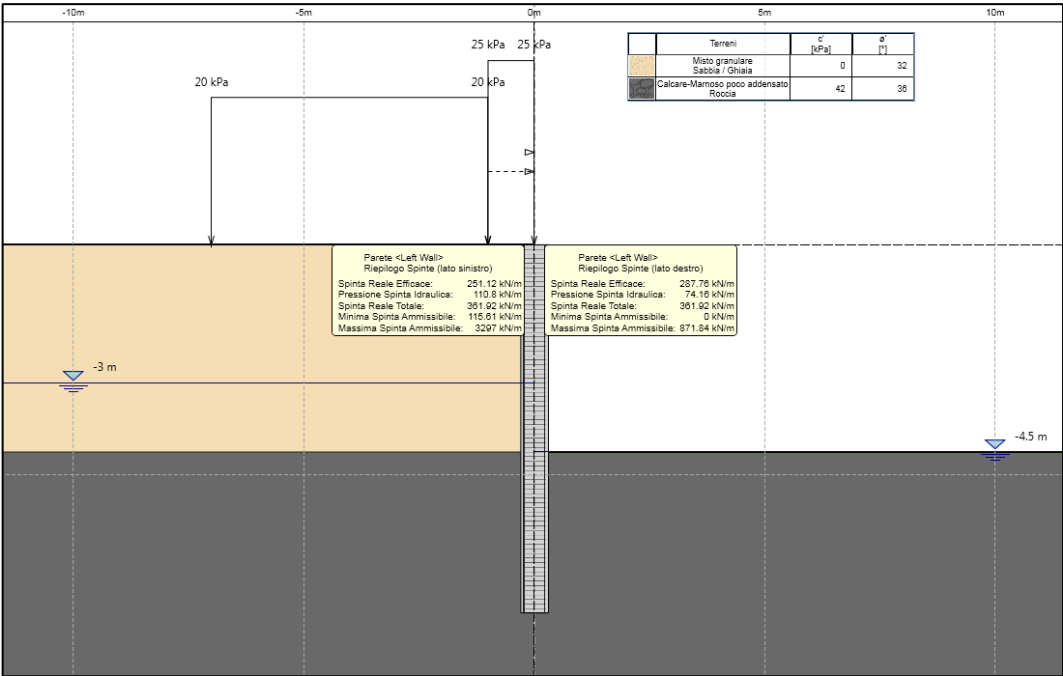


Fig. 9.13: Riepilogo Spinte SLU_A2+M2+R1

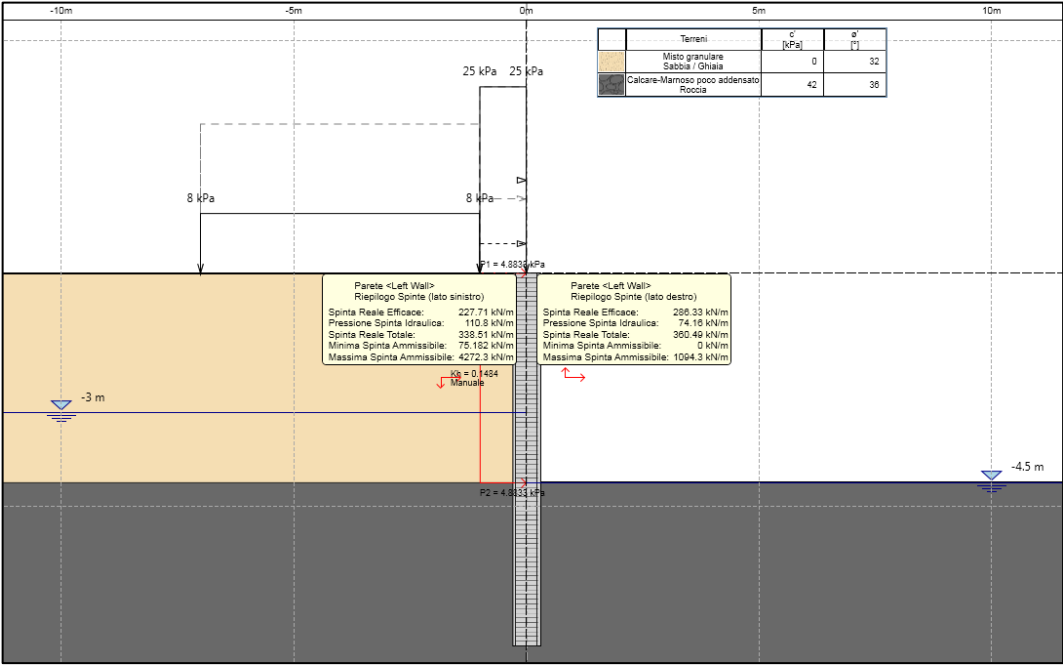


Fig. 9.14: Riepilogo Spinte SLV

A valle, la risultante delle spinte risulta minore della resistenza passiva di progetto.

I coefficienti parziali di sicurezza γ_M e γ_R che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto risultano implementati nelle sollecitazioni.

A seguire si riporta la verifica di stabilità globale.

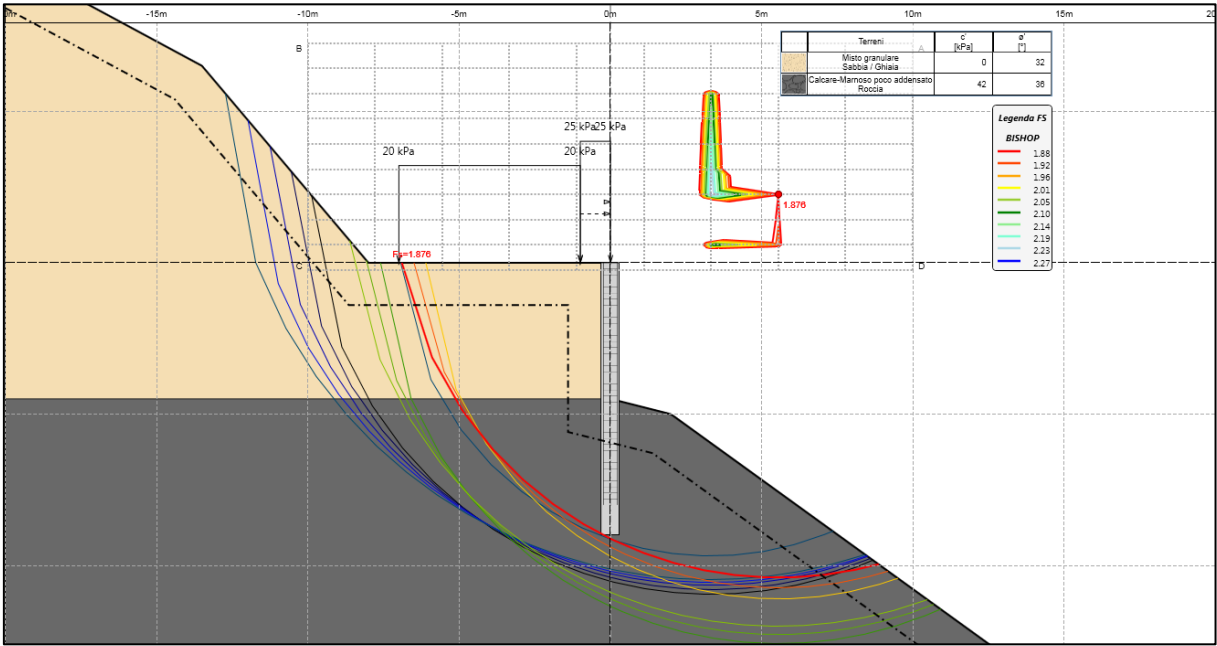


Fig. 9.15: Verifica di stabilità globale SLU_A2+M2+R2

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 66 di 159
--	--

Nel diagramma sono riportati i risultati delle analisi in termini di griglia dei centri di rotazione indagati con la rappresentazione delle isosfaliche (curve ad eguale fattore di sicurezza), di superficie critica e di associato coefficiente di sicurezza FS.

Si osserva che in condizioni statiche SLU_A2+M2+R2 il coefficiente di sicurezza risulta superiore ai minimi livelli di sicurezza prefissati dalla norma $FS_{adm} = \gamma_R = 1.1$.

9.3.3 Verifica di resistenza paratia

Il palo di lunghezza è armato con 16 ϕ 24 longitudinali ed una spirale ϕ 12/10.

9.3.3.1 Verifica a flessione SLU

Nella verifica di resistenza a flessione non si tiene conto a favore di sicurezza delle azioni assiali permanenti dovute al peso del palo alla quota in cui si massimizza il momento flettente sollecitante. Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il momento sollecitante ed il momento resistente con il relativo dominio di resistenza.

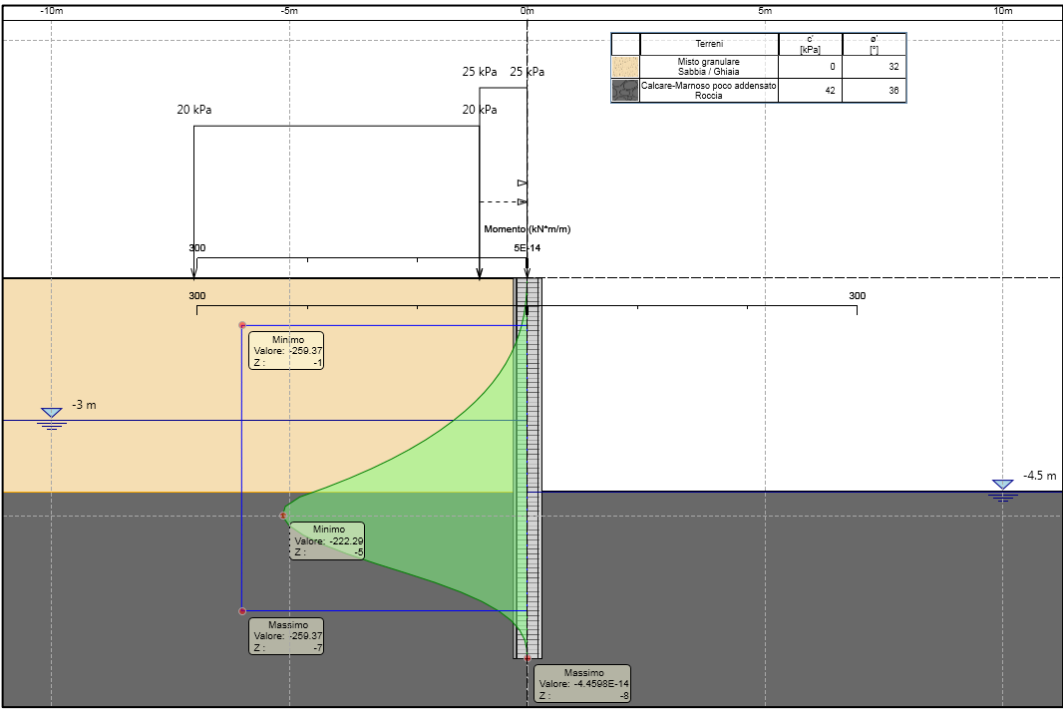


Fig. 9.16: Verifica a flessione retta SLU_A1+M1+R1

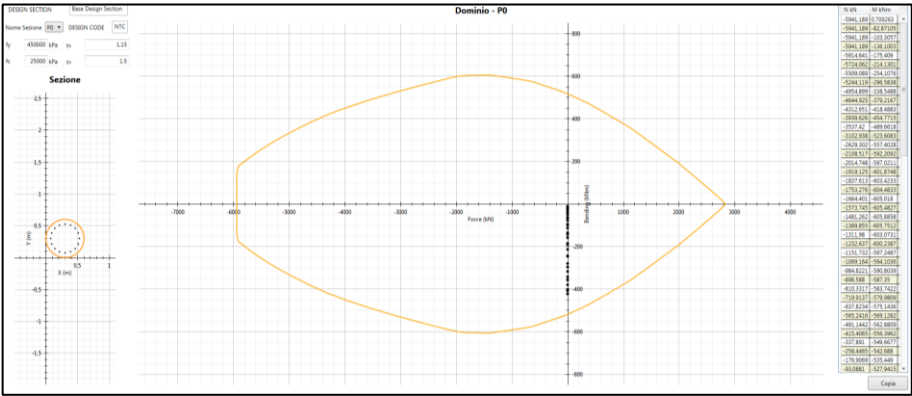


Fig. 9.17: Dominio di resistenza

Analogamente si riporta il confronto fra momento sollecitante e resistente nella SLV.

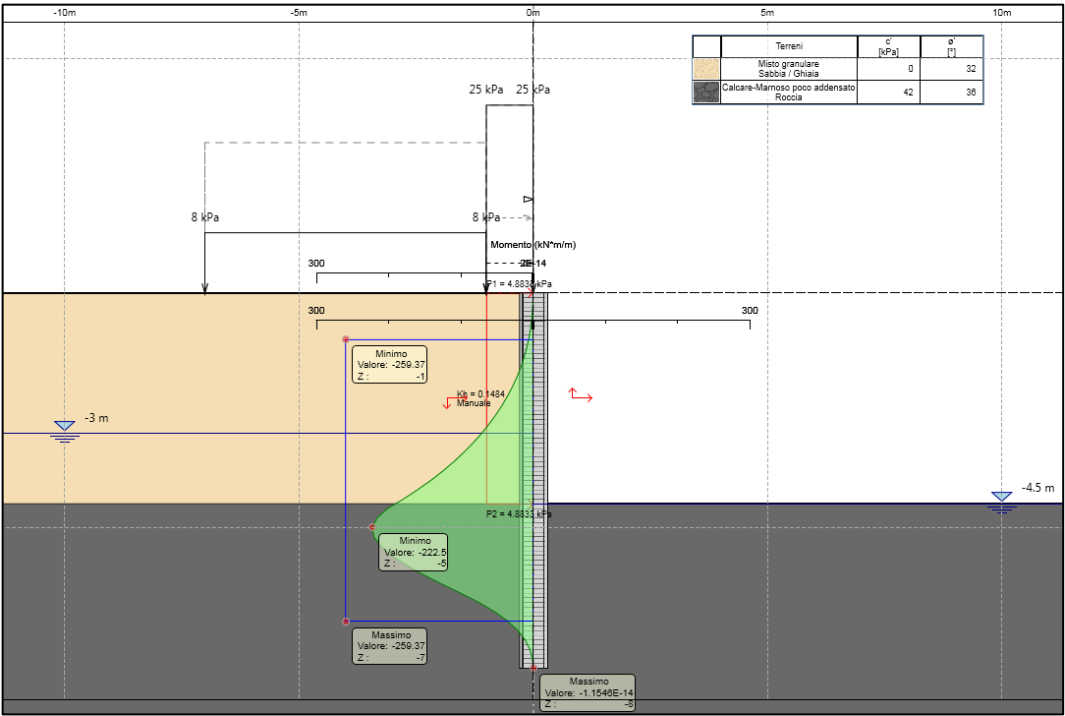


Fig. 9.18: Verifica a flessione retta SLV

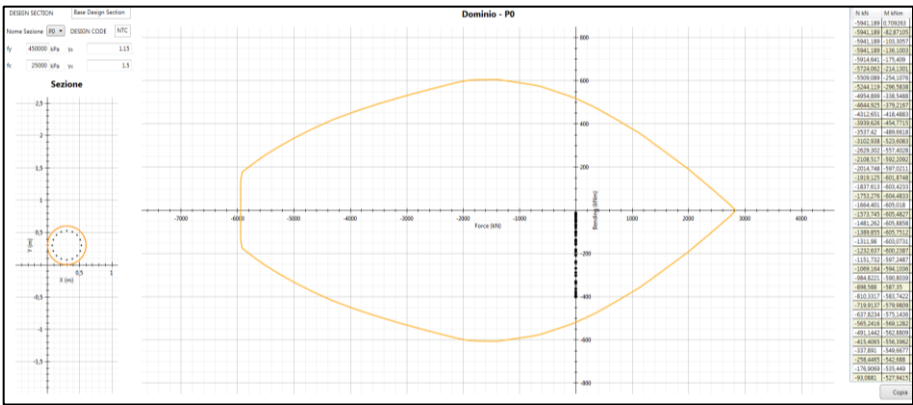


Fig. 9.19: Dominio di resistenza

Dal confronto fra massimo valore del momento flettente sollecitante ed il momento resistente di progetto, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

9.3.3.2 Verifica a taglio SLU

Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il taglio sollecitante e quello resistente.

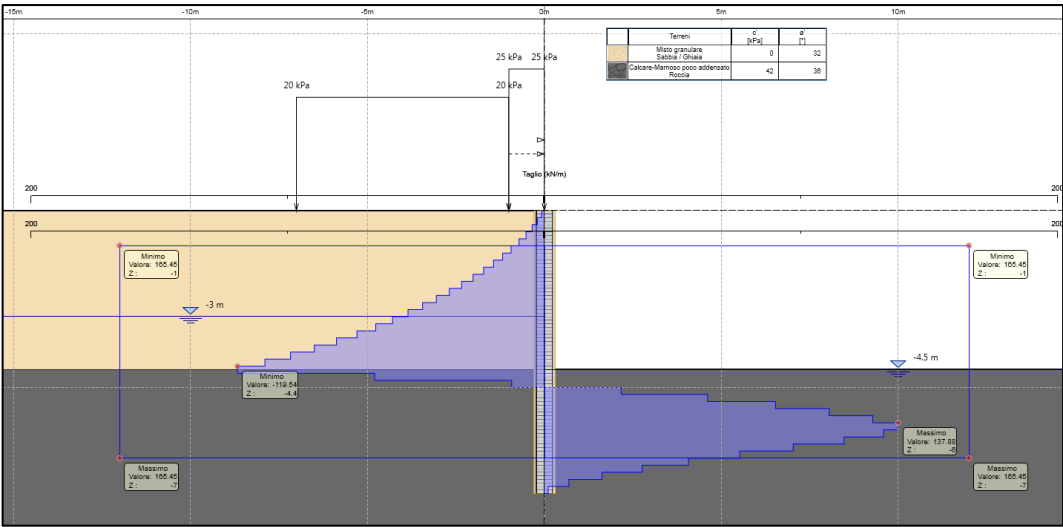


Fig. 9.20: Verifica a taglio SLU_A1+M1+R1

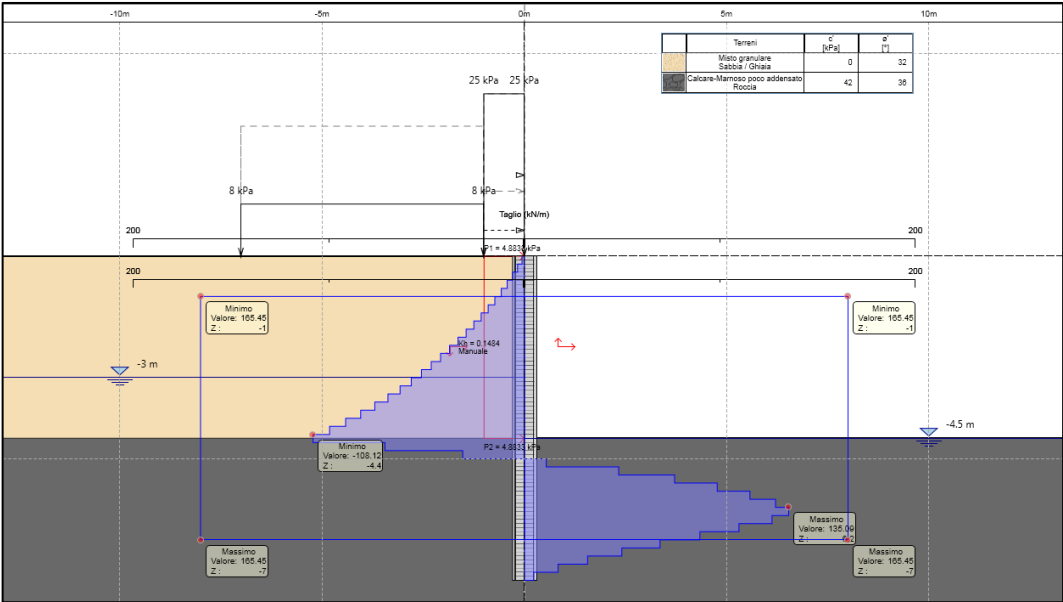


Fig. 9.21: Verifica a taglio SLV

Dal confronto fra massimo valore del taglio sollecitante e resistente, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 70 di 159
--	--

9.3.3.3 Verifiche SLE

Secondo quanto previsto dalle norme per le verifiche agli SLE andrà verificato che il valore della tensione massima nel calcestruzzo $\sigma_{c,max}$ soddisfi le relazioni $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$ (nella combinazione quasi permanente) e $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$ (nella combinazione rara) in cui f_{ck} è la resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 giorni.

Occorre verificare anche che la tensione massima nelle armature $\sigma_{s,max}$ soddisfi la relazione $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$ nella combinazione rara con f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Lo stato limite di fessurazione viene fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Dal punto di vista generale debbono prendersi in considerazione le combinazioni di carico allo SLE quasi permanenti e frequenti, rispetto alle quali NTC 2018 fissa i valori nominali limite di apertura delle fessure.

Nel caso delle paratie in oggetto, si considerano condizioni ambientali ordinarie.

Le paratie sono armate con armatura ordinaria, da considerarsi poco sensibile nei confronti della corrosione.

CONDIZIONI AMBIENTALI	COMBINAZIONE DI AZIONI	ARMATURA POCO SENSIBILE	
		STATO LIMITE	w_d
ORDINARIE XC2	FREQUENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_3 = 0.4mm$
ORDINARIE XC2	QUASI PERMANENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_2 = 0.3mm$

Tabella 9.2 – Stato limite di fessurazione SLE: criteri di scelta.

A seguire si riporta la verifica nella condizione più gravosa.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA'
DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI
Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione di calcolo delle opere di sostegno

P00_OS00_STR_RE01_
B - REL CALCOLO
Data: Giugno 2024
Pag. 71 di 159

Titolo: _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 16
Diametro barre: 2,4 [cm]
Copriferro (baric.): 7,4 [cm]

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 [kN]
M_{Ed}: 0 [kNm]
M_{yEd}: 0 [kNm]

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Materiali

B450C C30/37

ϵ_{su} : 67,5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391,3 N/mm² ϵ_{cu} : 3,5 ‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 17
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 ϵ_{syd} : 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 11,5
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0,6933
 τ_{c1} : 2,029

σ_c : -7,734 N/mm²
 σ_s : 160,6 N/mm²
 ϵ_s : 0,8029 ‰
d: 52,6 cm
x: 22,06 x/d: 0,4194
 δ : 0,9643

Vertici: 52
Verifica
N° iterazioni: 4
Precompresso

Dati	Verifica fessurazione sezione circolare	
σ_s	161 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R_{ck}	40,0 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_l	24 mm	Diametro barre longitudinali
ϕ_s	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	16	Numero ferri longitudinali
c	74 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	800 mm	Diametro
k_t	0,4	$k_t=0,6 ; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2=0,5 ; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_1	0,8	$k_1=0,8 ; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
w	0,3 mm	Valore limite apertura fessure
Dati		
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	119 mm	Interasse ferri longitudinali
A_ϕ	452 mm ²	Area barra longitudinale
E_s	210000,0 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33642,8 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
α_e	6,24	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{cm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ρ_{eff}	0,0222	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm1}	0,000464	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ϵ_{sm2}	0,000460	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ϵ_{sm}	0,000464	Deformazione unitaria media
k_3	3,4	Coefficiente
k_4	0,4	Coefficiente
Δs_{max}	435,6 mm	Distanza massima tra le fessure
w_d	0,202 mm	Valore di calcolo apertura fessure

La verifica risulta ottemperata, dato che il valore di calcolo di apertura delle fessure $w_d = 0.202mm$ è inferiore al valore nominale $w_3 = 0.3mm$.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 72 di 159</p>
---	--

9.3.4 Verifiche di resistenza trave di coronamento

Il cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni 120x70 cm realizzato con calcestruzzo in classe C32/40 per assicurare la perfetta installazione delle barriere bordo laterale tipo H2W5 come da schede tecniche, è armato con ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$.

La veletta di dimensioni 75x35 su cui è direttamente collegata la barriera presenta ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$; viene disposta un armatura verticale per il collegamento dei due elementi formata da $\phi 20/20$ opportunamente ancorati nel getto.

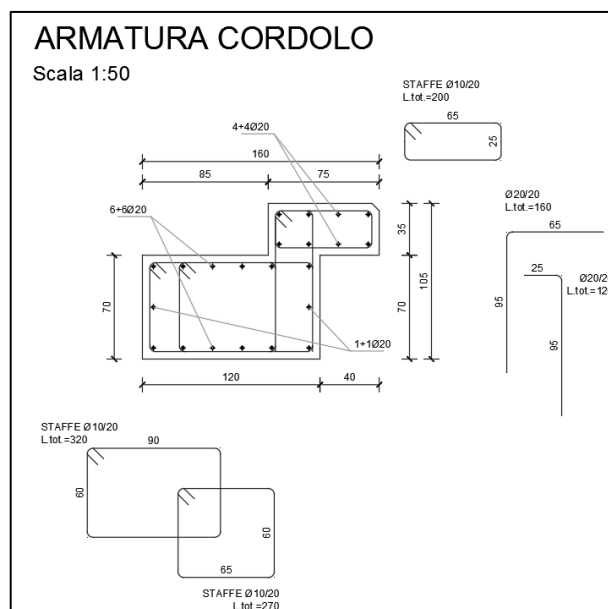


Fig. 9.22 – Armatura trave di coronamento

Per la verifiche strutturali si considerano le sollecitazioni derivanti dall'urto in combinazione eccezionale dovuto al traffico veicolare sopra i ponti (§3.6.3.3.2 DM2018):

“In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.”

In particolare dalla geometria della paratia e dato un interasse fra i montanti della barriera di 2.0 m si avranno le seguenti sollecitazioni al metro lineare:

$$M_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN} \cdot 1.0 \text{ m}}{2} = 100 \text{ kNm}$$

$$V_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN}}{2} = 100 \text{ kN}$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 73 di 159</p>
---	--

DEFINIZIONE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	32	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	40	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	3,0	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	2,1	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3,9	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	33346	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{cl}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	18,13	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,41	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19,2	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14,4	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0,001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0,01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,3	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	350	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	300	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2		[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2		[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	153,66	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 74 di 159</p>
---	--

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	100	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,82	[-]
		1,82	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0,005236	[-]
		0,005236	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

$V_{Rd,c}$ 167,33 [kN]

Resistenza minima del calcestruzzo teso

$V_{Rd,min}$ 145,42 [kN]

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

V_{Rd} 167,33 [kN]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[-]
Altezza utile della sezione	d'	300	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q,p}$	14,4	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	300	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 76 di 159</p>
---	---

[illegible]

RISULTATI

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = 448,5 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

9.3.6 Prove di carico su pali

PALO INTERVENTO B.1.1				
	h (m)	b (m)	ρ (kN/m ³)	kN/m ²
G₁ – pesi propri				
Palo Ø600 L=8.0	0.60		25.00	56.5
Cordolo di coronamento (L=i=2.0 m)	0.70	1.00	25.00	35.0
				91.5
G₂ – permanente portato				
Pavimentazione (L=i=2.0 m)	0.35		20.00	14.0
Barriera (L=i=2.0 m) (Peso=0.5 kN/ml)				1.0
				15.0
Q_k – variabile traffico				
Schema 2				200.0
				200.0

Il carico complessivo agli SLE rara sul singolo palo è pari a: **306.5 kN**

9.4 INTERVENTO B1.2 – PARATIA DI PALI A QUINCONCE (STRATIGRAFIA S5)

L'intervento in esame si colloca sulla stratigrafia S5 del modello geotecnico del sottosuolo.

Le paratie si presentano come un opera di natura permanente con pali con lunghezza effettiva pari a 14.30 m disposti a quinconce con interasse di 1.20 m.

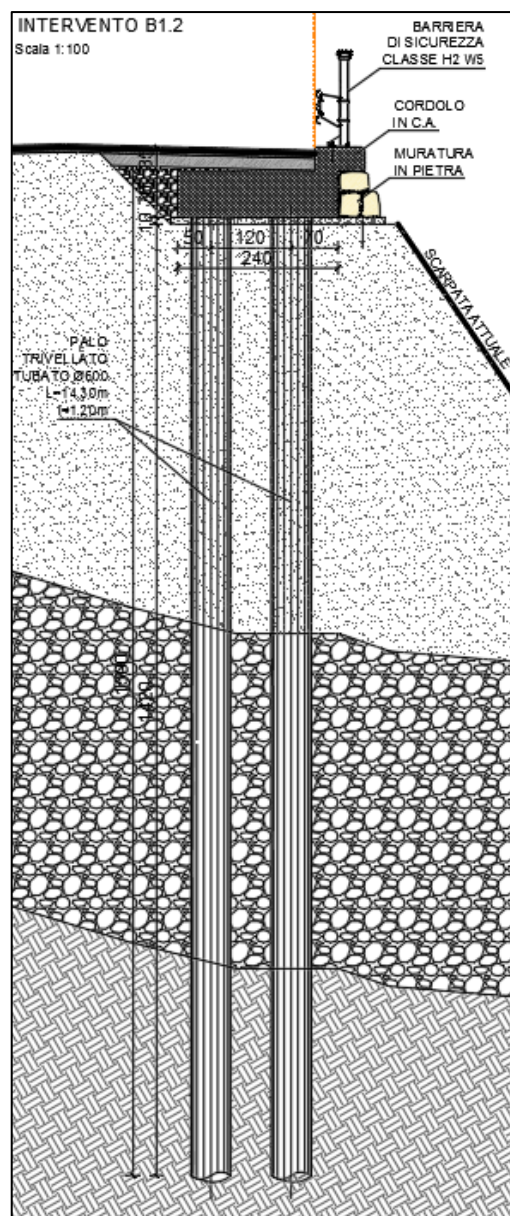


Fig. 9.23 - Sezione tipologica intervento B1.2

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 78 di 159
--	--

9.4.1 Sezioni di verifica

Le analisi di dimensionamento della paratie sono state eseguite in corrispondenza della condizione più sfavorevole.

Nell'intervento in esame, in cui a valle della paratia è presente un pendio naturale con pendenze elevate, a vantaggio di sicurezza, si ipotizza che a valle dell'opera sia presente una berma. Per determinare l'estradosso della berma (altezza dello scavo a valle) del modello di calcolo rappresentativo della sezione dimensionante, si attribuisce al valore di "B" l'altezza corrispondente allo spessore del rilevato stradale (Fleming et. al, 1992).

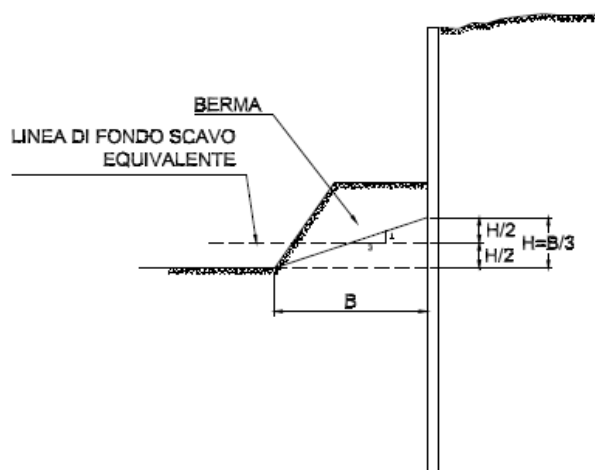


Figura 9.3 – Modellazione della gradonatura (Fleming et. al, 1992).

Nella tabelle seguente sono riportate le principali caratteristiche delle sezioni analizzate.

Le altezze di scavo considerate si intendono sempre da estradosso trave di coronamento.

SEZ.	ALTEZZA TOTALE PARATIA	LUNGHEZZA PALI	ALTEZZA FUORITERRA PARATIA	DIAMETRO PALI	INTERASSE	ARMATURA A FLESSIONE	ARMATURA A TAGLIO
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[m]	[-]	[-]
39-43	15.00	14.30	4.20	600	1.20	16 Ø24	Ø12/10

Tabella 9.3 – Caratteristiche della paratia di pali.

Le condizioni prese a riferimento nel modello di calcolo sono quelle complessivamente più critiche ai fini della sicurezza e della funzionalità dell'opera, dunque dimensionanti anche nei confronti delle sezioni non direttamente soggette a verifica, caratterizzate da altezze inferiori.

In particolare, nel modello di calcolo si assume la quota +0.00 in corrispondenza dell'estradosso della trave di coronamento. Il cordolo di testata in calcestruzzo armato non viene modellato ma se ne assume il carico permanente equivalente in testa alla paratia.

Sarà considerata inizialmente una prima fase in cui si riporta la condizione geostatica, coincidente con la configurazione a riposo nella quale viene riprodotto lo stato tensionale supposto esistente nel terreno prima di ogni intervento. In tale fase vengono eseguiti gli elementi verticali. Si suppone in pratica che l'inserimento della parete, prima dello scavo, perturbi di poco lo stato tensionale nel terreno.

9.4.2 Analisi dei risultati

Si riporta nelle figure seguenti un quadro di sintesi dei risultati ottenuti che sono riportati al metro lineare. È da tener debitamente in conto che, gli stati limite relativi al raggiungimento delle resistenze negli elementi strutturali (rottura per flessione/taglio) sono verifiche STR da svolgersi secondo la combinazione SLU A1+M1+R3. Pertanto, le verifiche strutturali verranno condotte con riferimento alle sollecitazioni desunte nella combinazione SLU A1+M1+R3, mentre le azioni derivanti dalle combinazioni GEO SLU A2+M2+R1/SLOPE A2+M2+R2 sono da ritenersi irrilevanti per tale scopo.

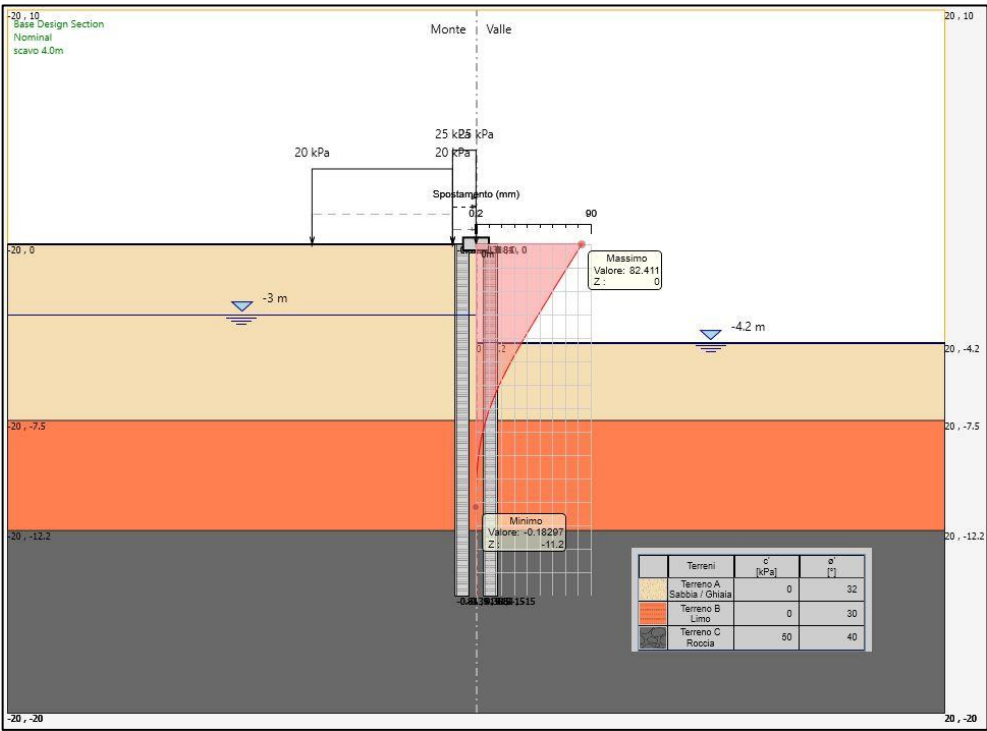


Fig. 9.24: Spostamenti SLE (s_{max} = 82.4 mm)

Base Design Section

NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)
scavo 4.0m

Monte Valle

25 kPa
20 kPa
20 kPa

Momento singolarità (kN*m/m)

300 10

-3 m -4.2 m

Minimo
Valore: -241.10
Z: -7.9

Massimo
Valore: 9.476
Z: -1.3

Terrani	c' [kPa]	φ° [°]
Terrano A Sabbia / Ghiaia	0	32
Terrano B Limo	0	30
Terrano C Roccia	50	40

Fig. 9.25: Momento flettente singola gamba SLU_A1+M1+R1 ($M_{max} = -241 \text{ kN/m}$)

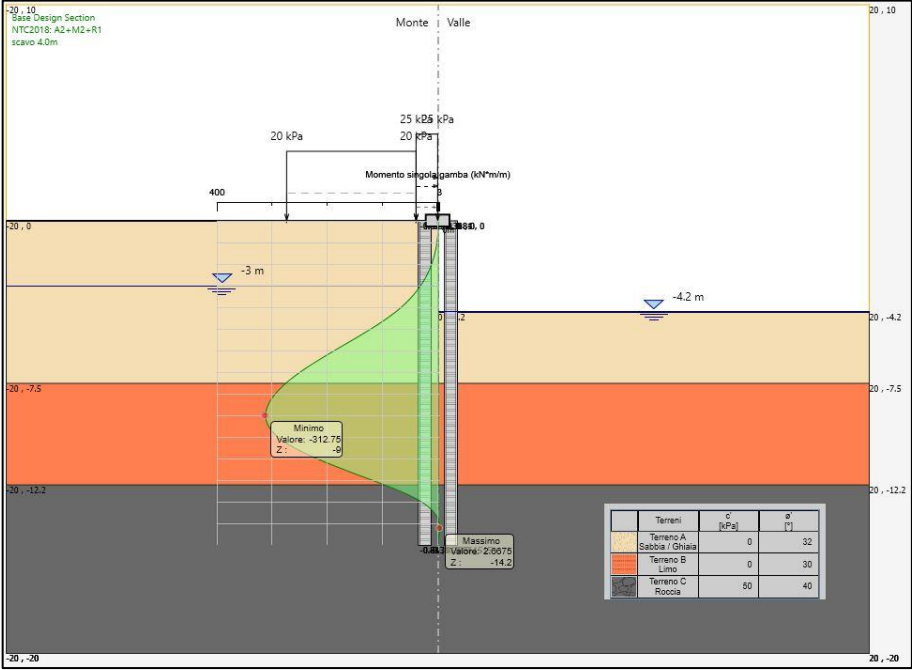


Fig. 9.26: Momento flettente singola gamba SLU_A2+M2+R1 ($M_{max} = -312$ kN/m)

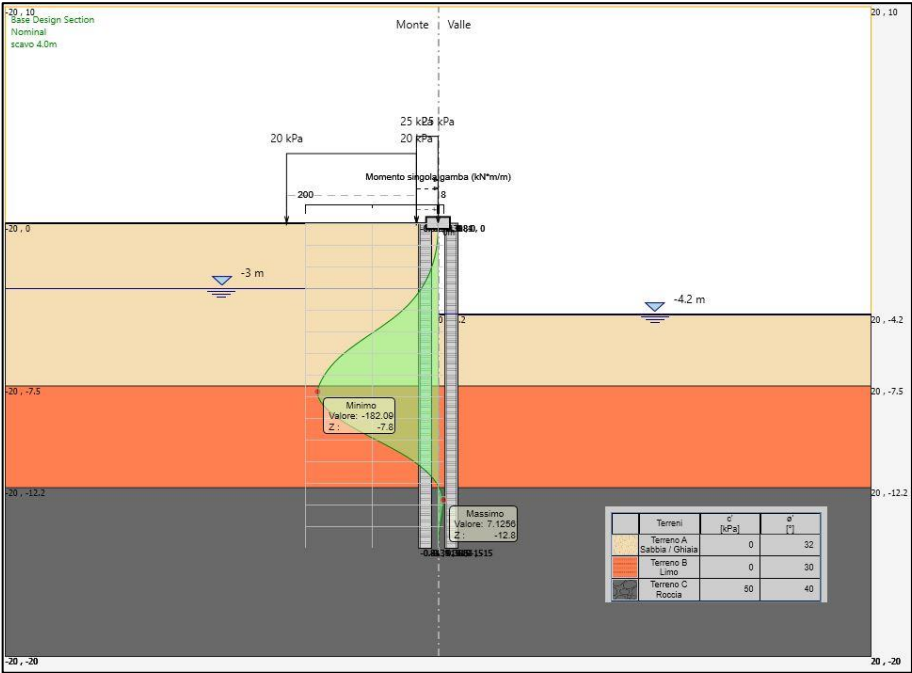


Fig. 9.27: Momento flettente singola gamba SLE ($M_{max} = -182$ kN/m)

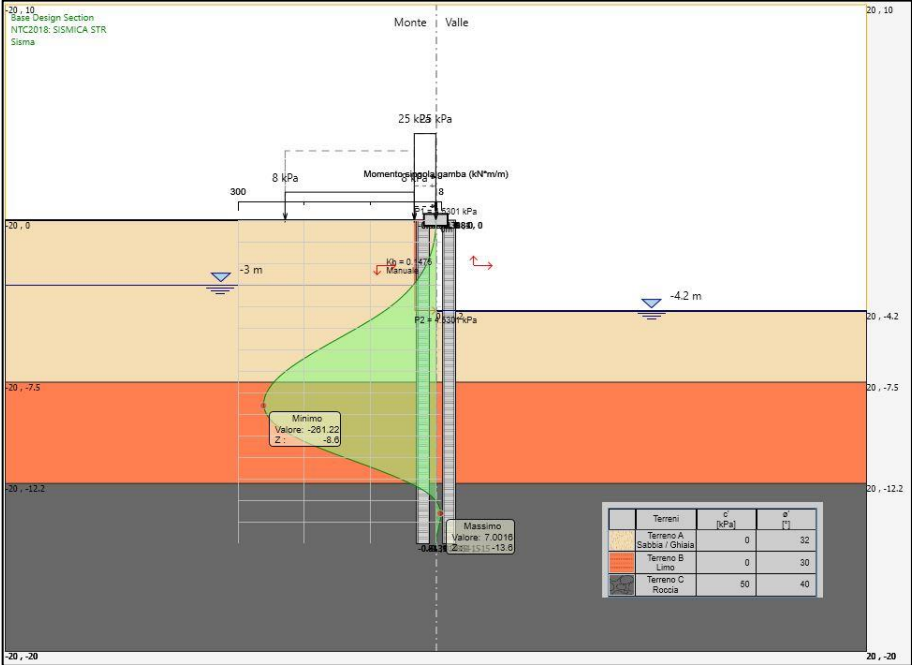


Fig. 9.28: Momento flettente singola gamba SLV ($M_{max} = -251 \text{ kN/m}$)

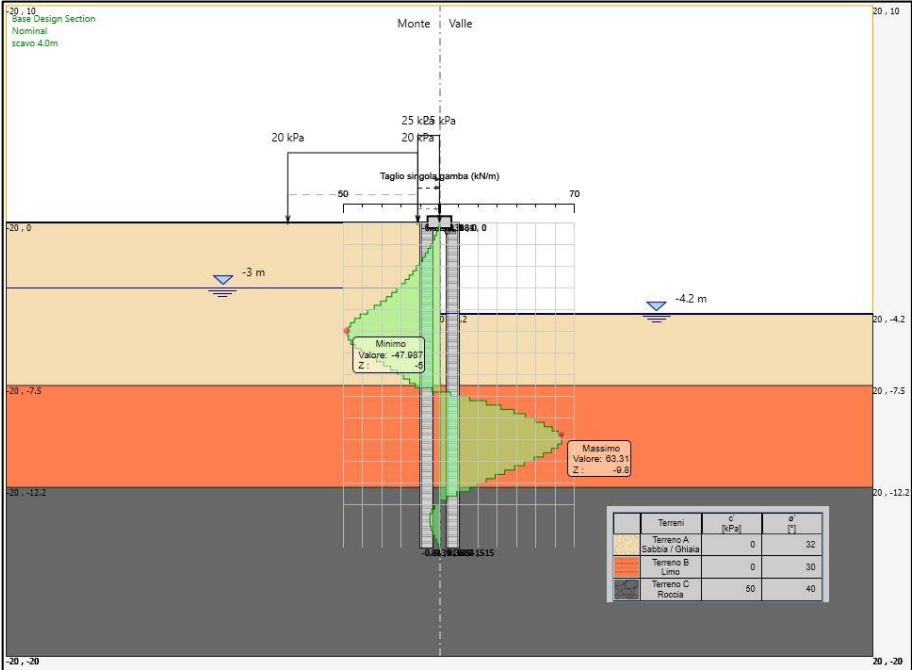
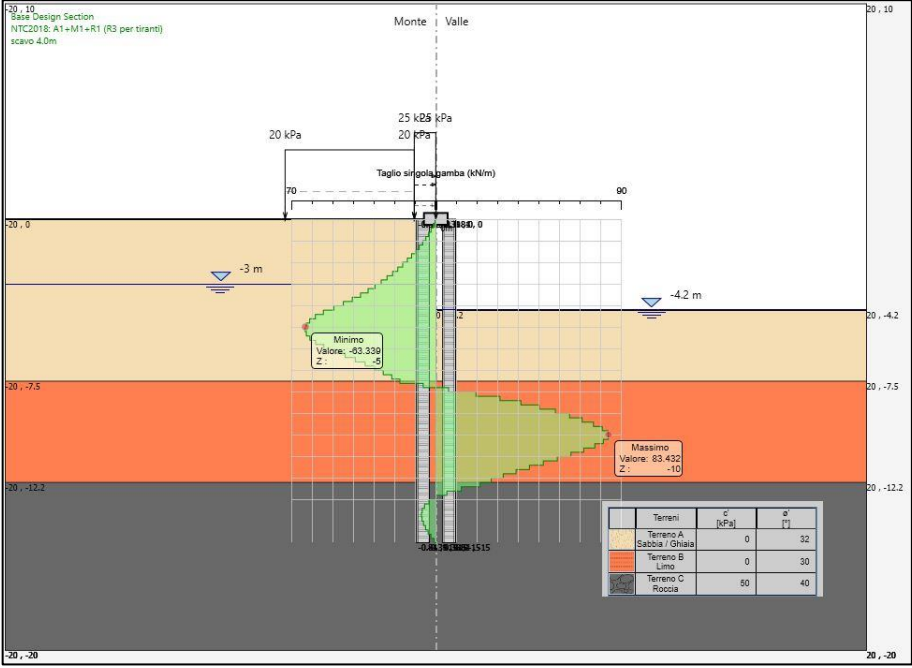
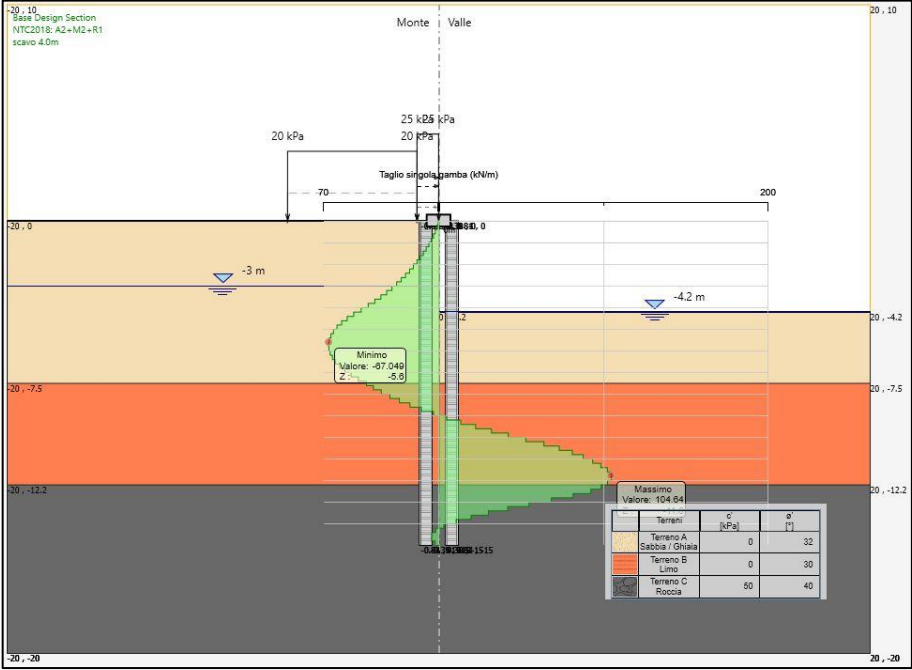


Fig. 9.29: Taglio singola gamba SLE ($V_{max} = 63.3 \text{ kN}$)



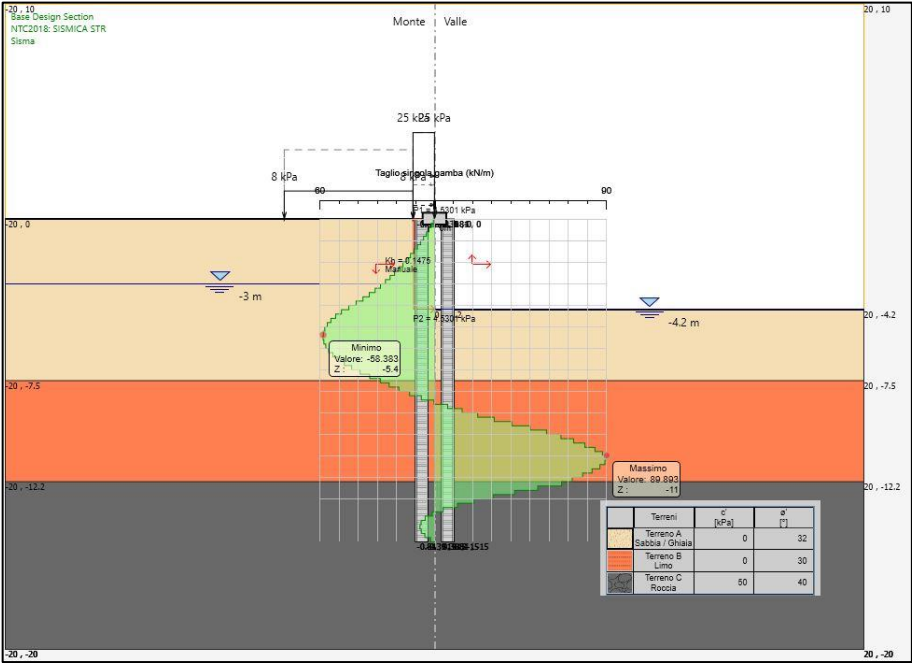


Fig. 9.32: Taglio singola gamba SLV ($V_{max} = 89.8 \text{ kN}$)

A seguire si riporta la risultante delle spinte, per la SLU_A2+M2+R1 e per la SLV, in corrispondenza della massima altezza di scavo.

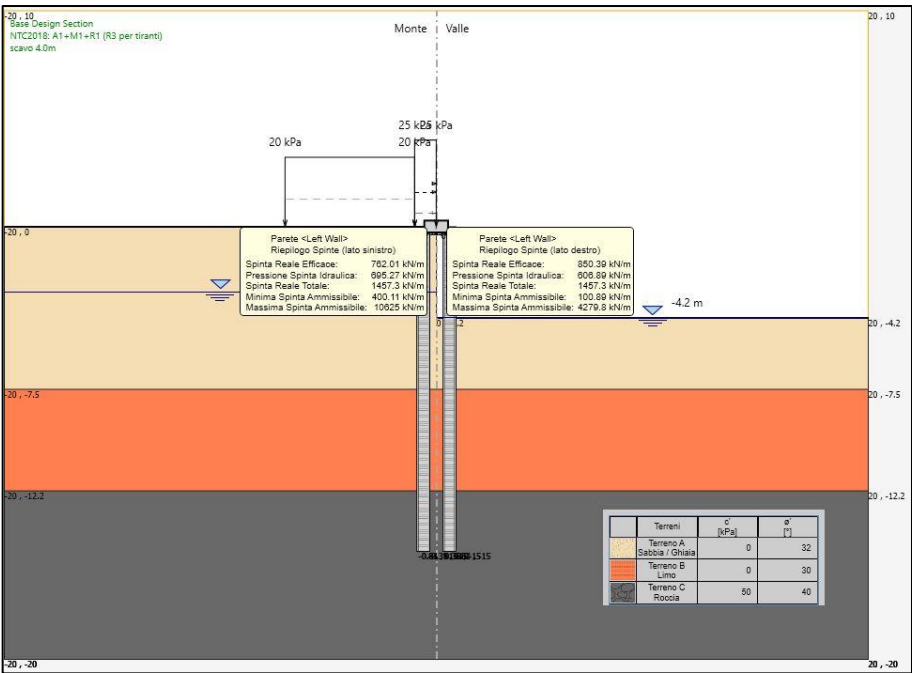


Fig. 9.33: Riepilogo Spinte SLU_A1+M1+R1

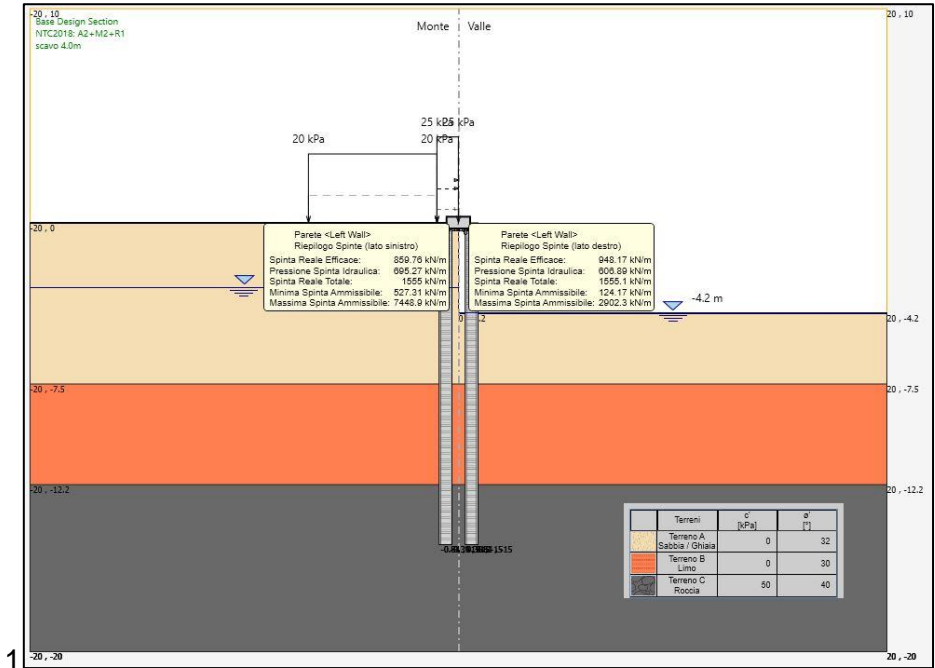


Fig. 9.34: Riepilogo Spinte SLU_A2+M2+R1

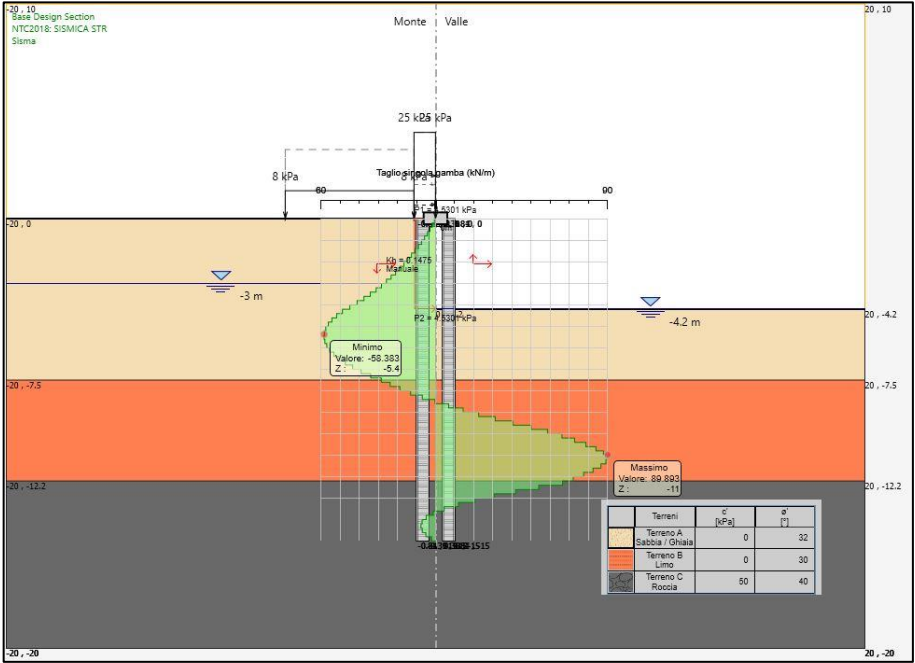


Fig. 9.35: Riepilogo Spinte SLV

A valle, la risultante delle spinte risulta minore della resistenza passiva di progetto.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 86 di 159
--	--

I coefficienti parziali di sicurezza γ_M e γ_R che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto risultano implementati nelle sollecitazioni.

30, 20
Base Design Section
Nominal
scavo 4.5m

Monte Valle

Legenda FS
BISHOP

Terreni	c' [kPa]	ϕ' [°]
Terreno A Sabbia / Ghiaia	0	32
Terreno B Sabbia / Ghiaia	0	30
Terreno C Roccia	50	40

30, 20
30, -7.5
30, -12.2

20 kPa
25 kPa
20 kPa

2.268

2.553

2.27
2.30
2.33
2.36
2.39
2.43
2.46
2.49
2.52
2.55

30, 20

Nel diagramma sono riportati i risultati delle analisi in termini di griglia dei centri di rotazione indagati con la rappresentazione delle isosfaliche (curve ad eguale fattore di sicurezza), di superficie critica e di associato coefficiente di sicurezza FS.

Si osserva che in condizioni statiche SLU_A2+M2+R2 il coefficiente di sicurezza risulta superiore ai minimi livelli di sicurezza prefissati dalla norma $FS_{adm} = \gamma_R = 1.1$.

9.4.3 Verifica di resistenza paratia

Il palo di lunghezza è armato con 16 ϕ 24 longitudinali ed una spirale ϕ 12/10.

9.4.3.1 Verifica a flessione SLU

Nella verifica di resistenza a flessione non si tiene conto a favore di sicurezza delle azioni assiali permanenti dovute al peso del palo alla quota in cui si massimizza il momento flettente sollecitante. Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il momento sollecitante ed il momento resistente con il relativo dominio di resistenza.

Titolo : Sezione circolare cava Raggio esterno: 30 [cm] Raggio interno: 0 [cm] N° barre uguali: 16 Diametro barre: 2,4 [cm] Copriferro (baric.): 7,4 [cm]		N° barre: 0 Zoom	Tipo Sezione <input type="radio"/> Rettan.re <input type="radio"/> Trapezi <input type="radio"/> a T <input checked="" type="radio"/> Circolare <input type="radio"/> Rettangoli <input type="radio"/> Coord.
Sollecitazioni S.L.U. <input checked="" type="radio"/> Metodo n N _{Ed} : 0 kN M _{xEd} : -241 kNm M _{yEd} : 0 kNm		P.to applicazione N <input checked="" type="radio"/> Centro <input type="radio"/> Baricentro cls <input type="radio"/> Coord.[cm] xN: 0 yN: 0	
Materiali B450C C30/37 E _{su} : 67,5 ‰ E _{c2} : 2 ‰ f _{yd} : 391,3 N/mm ² E _{cu} : 3,5 ‰ E _s : 200.000 N/mm ² f _{cd} : 17 ‰ E _s /E _c : 15 f _{cc} /f _{cd} : 0,8 E _{syd} : 1,957 ‰ σ _{c,adm} : 11,5 σ _{s,adm} : 255 N/mm ² τ _{co} : 0,6933 τ _{c1} : 2,029		Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato	
M _{xRd} : 533,9 kNm σ _c : -17 N/mm ² σ _s : 391,3 N/mm ² ε _c : 3,5 ‰ ε _s : 6,117 ‰ d: 52,6 cm x: 19,14 x/d: 0,3639 δ: 0,8949		Metodo di calcolo <input checked="" type="radio"/> S.L.U.+ <input type="radio"/> S.L.U.- <input type="radio"/> Metodo n	Tipo flessione <input checked="" type="radio"/> Retta <input type="radio"/> Deviata
Vertici: 52 N° rett.: 100 Calcola MRd Dominio M-N L ₀ : 0 cm Col. modello		<input type="checkbox"/> Precompresso	

Fig. 9.37: Verifica a flessione retta SLU_A1+M1+R1

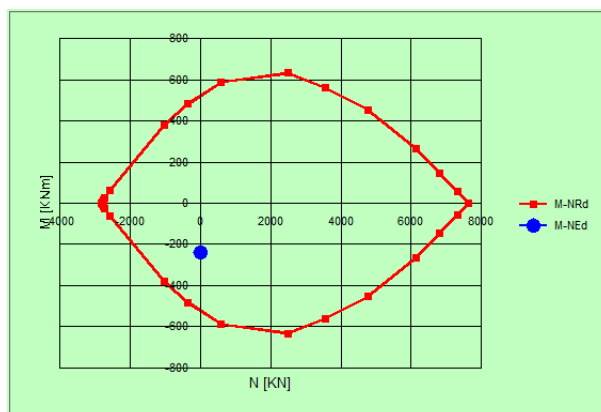


Fig. 9.38: Dominio di resistenza

Analogamente si riporta il confronto fra momento sollecitante e resistente nella SLV.

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 16
Diametro barre: 2,4 [cm]
Copri ferro (baric.): 7,4 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☒ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{xEd}: -251 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C30/37
ε_{su}: 67,5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰
f_{yd}: 391,3 N/mm² ε_{cu}: 3,5 ‰
E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 17 N/mm²
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8
ε_{syd}: 1,957 ‰ σ_{c,adm}: 11,5 N/mm²
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,6933
τ_{c1}: 2,029

M_{xRd}: 533,9 kN m
σ_c: -17 N/mm²
σ_s: 391,3 N/mm²
ε_c: 3,5 ‰
ε_s: 6,117 ‰
d: 52,6 cm
x: 19,14 x/d: 0,3639
δ: 0,8949

Metodo di calcolo
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀: 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Fig. 9.39: Verifica a flessione retta SLV

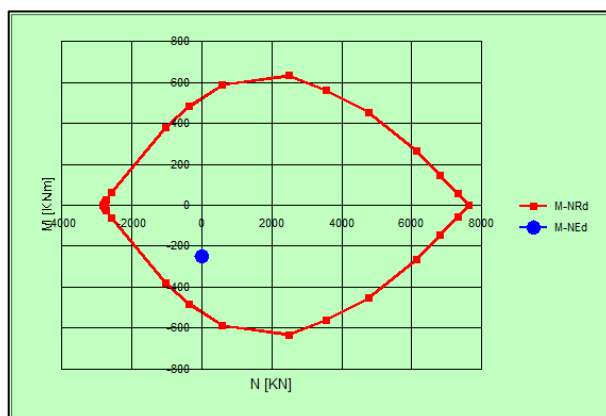


Fig. 9.40: Dominio di resistenza

Dal confronto fra massimo valore del momento flettente sollecitante ed il momento resistente di progetto, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

9.4.3.2 Verifica a taglio SLU

Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il taglio sollecitante e quello resistente.

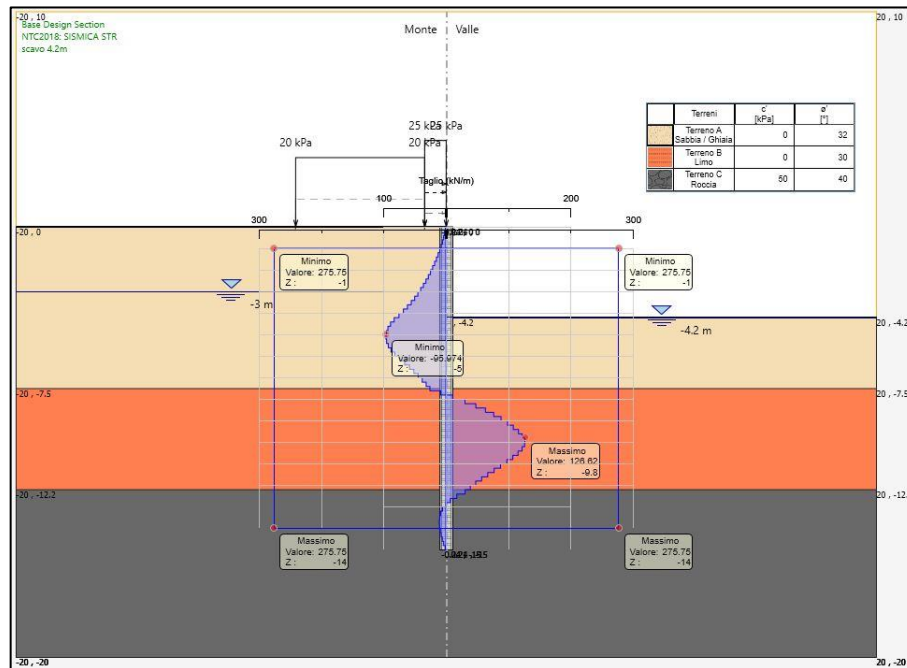


Fig. 9.41: Verifica a taglio SLU_A1+M1+R1

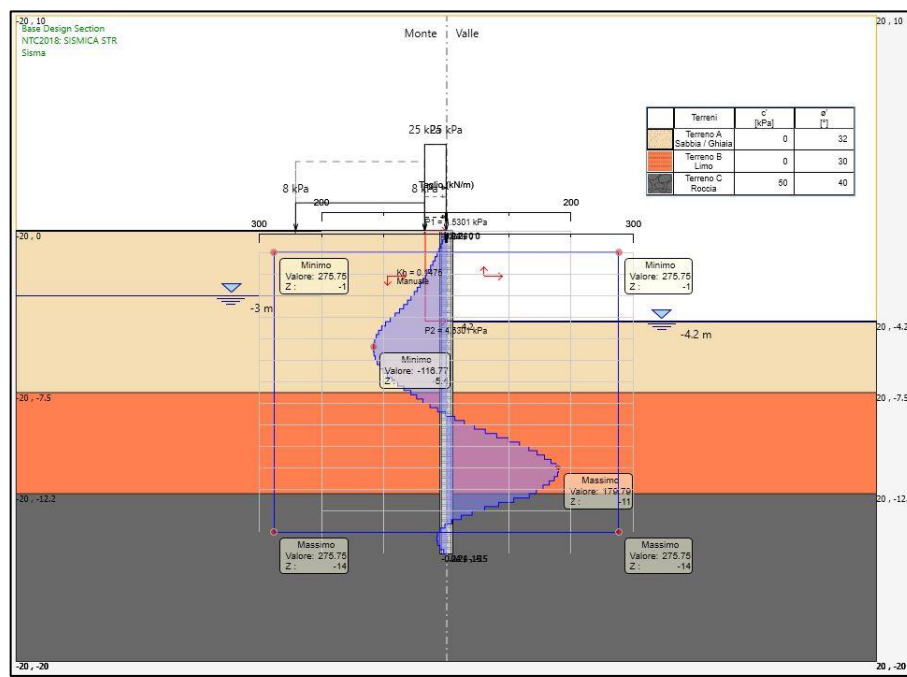


Fig. 9.42: Verifica a taglio SLV

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 91 di 159
--	--

Dal confronto fra massimo valore del taglio sollecitante e resistente, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

9.4.3.3 Verifiche SLE

Secondo quanto previsto dalle norme per le verifiche agli SLE andrà verificato che il valore della tensione massima nel calcestruzzo $\sigma_{c,max}$ soddisfi le relazioni $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$ (nella combinazione *quasi permanente*) e $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$ (nella combinazione *rara*) in cui f_{ck} è la resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 giorni.

Occorre verificare anche che la tensione massima nelle armature $\sigma_{s,max}$ soddisfi la relazione $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$ nella *combinazione rara* con f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Lo stato limite di fessurazione viene fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Dal punto di vista generale debbono prendersi in considerazione le combinazioni di carico allo SLE quasi permanenti e frequenti, rispetto alle quali NTC 2018 fissa i valori nominali limite di apertura delle fessure.

Nel caso delle paratie in oggetto, si considerano condizioni ambientali ordinarie.

Le paratie sono armate con armatura ordinaria, da considerarsi poco sensibile nei confronti della corrosione.

CONDIZIONI AMBIENTALI	COMBINAZIONE DI AZIONI	ARMATURA POCO SENSIBILE	
		STATO LIMITE	w_d
ORDINARIE XC2	FREQUENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_3 = 0.4mm$
ORDINARIE XC2	QUASI PERMAENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_2 = 0.3mm$

Tabella 9.4 – Stato limite di fessurazione SLE: criteri di scelta.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA'
DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI
Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione di calcolo delle opere di sostegno

P00_OS00_STR_RE01_
B - REL CALCOLO
Data: Giugno 2024
Pag. 92 di 159

A seguire si riporta la verifica nella condizione più gravosa.

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 16
Diametro barre: 2,4 [cm]
Copri ferro (baric.): 7,4 [cm]

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
M_{Ed}: 0 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Materiali

B450C C30/37

σ_{su} : 67,5 % σ_{c2} : 2 %
 f_{yd} : 391,3 N/mm² σ_{cu} : 3,5 %
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 17 %
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 σ_{syd} : 1.957 % $\sigma_{c,adm}$: 11,5
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0,6933
 τ_{c1} : 2,029

σ_c : -8,798 N/mm²
 σ_s : 182,7 N/mm²
 ε_s : 0,9133 %
d: 52,6 cm
x: 22,06 x/d: 0,4194
 δ : 0,9643

Vertici: 52
Verifica
N° iterazioni: 4
Precompresso

Dati	Verifica fessurazione sezione circolare	
σ_s	183 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R_{ck}	40,0 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_l	24 mm	Diametro barre longitudinali
ϕ_s	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	16	Numero ferri longitudinali
c	74 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	800 mm	Diametro
k_t	0,4	$kt=0,6 ; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k2=0,5 ; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_1	0,8	$k1=0,8 ; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
w	0,3 mm	Valore limite apertura fessure
Dati		
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	119 mm	Interasse ferri longitudinali
A_ϕ	452 mm ²	Area barra longitudinale
E_s	210000,0 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33642,8 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
α_e	6,24	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{cm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ρ_{eff}	0,0222	Rapporto area acciaio/area efficace
ε_{sm1}	0,000568	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ε_{sm2}	0,000523	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ε_{sm}	0,000568	Deformazione unitaria media
k_3	3,4	Coefficiente
k_4	0,4	Coefficiente
Δs_{max}	435,6 mm	Distanza massima tra le fessure
w_d	0,248 mm	Valore di calcolo apertura fessure

La verifica risulta ottemperata, dato che il valore di calcolo di apertura delle fessure $w_d = 0.248mm$ è inferiore al valore nominale $w_3 = 0.3mm$.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 93 di 159</p>
---	--

9.4.4 Verifiche di resistenza trave di coronamento

Il cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni 240x70 cm realizzato con calcestruzzo in classe C32/40 per assicurare la perfetta installazione delle barriere bordo laterale tipo H2W5 come da schede tecniche, è armato con ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$.

La veletta di dimensioni 75x35 su cui è direttamente collegata la barriera presenta ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$; viene disposta un armatura verticale per il collegamento dei due elementi formata da $\phi 20/20$ opportunamente ancorati nel getto.

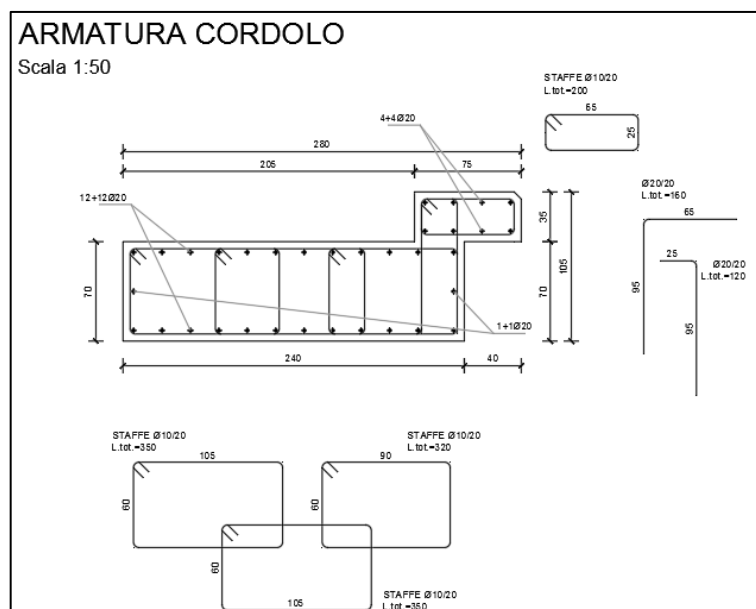


Fig. 9.43 – Armatura trave di coronamento

Per la verifiche strutturali si considerano le sollecitazioni derivanti dall'urto in combinazione eccezionale dovuto al traffico veicolare sopra i ponti (§3.6.3.3.2 DM2018):

“In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.”

In particolare dalla geometria della paratia e dato un interasse fra i montanti della barriera di 2.0 m si avranno le seguenti sollecitazioni al metro lineare:

$$M_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN} \cdot 1.0 \text{ m}}{2} = 100 \text{ kNm}$$

$$V_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN}}{2} = 100 \text{ kN}$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 94 di 159</p>
---	--

DEFINIZIONE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	32	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	40	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	3,0	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	2,1	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3,9	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	33346	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{cl}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	18,13	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,41	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19,2	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14,4	[MPa]
Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0,001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0,01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,3	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	350	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	300	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2		[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2		[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	153,66	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 95 di 159</p>
---	--

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	100	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,82	[-]
		1,82	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0,005236	[-]
		0,005236	[-]

figura	6.3	Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)	
Legenda			
A Sezione considerata			
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	167,33	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	145,42	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	167,33	[kN]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[-]
Altezza utile della sezione	d'	300	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q,p}$	14,4	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	300	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

9.4.5 Verifica portanza palo

Di seguito si riporta la verifica a carico limite verticale del palo assumendo i carichi seguenti opportunamente amplificati in combinazione SLU:

- G_1 peso proprio palo $\varnothing 600$ $L=8.0m$ comprensivo di $\gamma_{G1}=1.50$
- G_2 cordolo di coronamento $L=2.0m$ pari all'interasse dei pali ($i=2.0m$) e permanenti portati (pavimentazione 0.35 m e barriera) con $\gamma=1.50$ e $\rho=25kN/m^3$ a favore di sicurezza
- Q_k da schema di carico 2 ($=200kN$) considerato agente direttamente sulla testa del palo a favore di sicurezza

Nd= Nstr+Wd		
Nstr	300	Carico strutturale già amplificato (γ/G)
Wd	287,837	Peso proprio Palo già amplificato (γ/G)
TOT	588	

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI MEDIO DIAMETRO

CANTIERE:

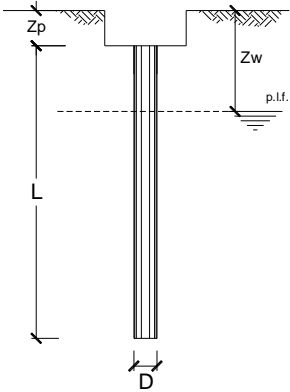
OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	0.60	(m)	Area del Palo (A_p):	0.283	(m ²)
Quota testa Palo dal p.c. (z_p):	0.00	(m)	Quota falda dal p.c. (z_w):	3.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	588	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		Lpalo =	15.00	(m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo			permanent	variabili	γ_b	γ_s	$\gamma_{s\text{ traz}}$
SLU	A1+M1+R1	○	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	○	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	○	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	○	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DMB8		○	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		●	1,00	1,00	1,30	1,15	1,25

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ_{sk}	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ_{sk}	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00



PARAMETRI MEDI						
Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	C' med (kPa)	Φ' med (°)	C _u med (kPa)
1	7.50	Terreno A	19,50	0,0	32,0	
2	4.70	Terreno B	20,00	0,0	30,0	
3	2.80	Terreno C	25,00	50,0	40,0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
	0,62		
	0,58		
	0,84		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 97 di 159</p>
---	---

[illegible]

RISULTATI

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = 587,8 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

9.4.6 Prove di carico su pali

PALO INTERVENTO B.1.1				
	h (m)	b (m)	ρ (kN/m ³)	kN/m ²
G₁ – pesi propri				
Palo Ø600 L=15.0	0.60		25.00	106.0
Cordolo di coronamento (L=i=2.0 m)	0.70	1.00	25.00	35.0
				141.0
G₂ – permanente portato				
Pavimentazione (L=i=2.0 m)	0.35		20.00	14.0
Barriera (L=i=2.0 m) (Peso=0.5 kN/ml)				1.0
				15.0
Q_k – variabile traffico				
Schema 2				200.0
				200.0

Il carico complessivo agli SLE rara sul singolo palo è pari a: **356.0 kN**

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 98 di 159</p>
---	--

9.5 INTERVENTO B2.1 – PARATIA DI PALI A MONTE DEI MURI ESISTENTI (STRATIGRAFIA S4)

L'intervento in esame si colloca sulla stratigrafia S4 del modello geotecnico del sottosuolo.

Le paratie si presentano come un opera di natura permanente con pali con lunghezza effettiva pari a 7.30 m ed interasse di 2.0 m.

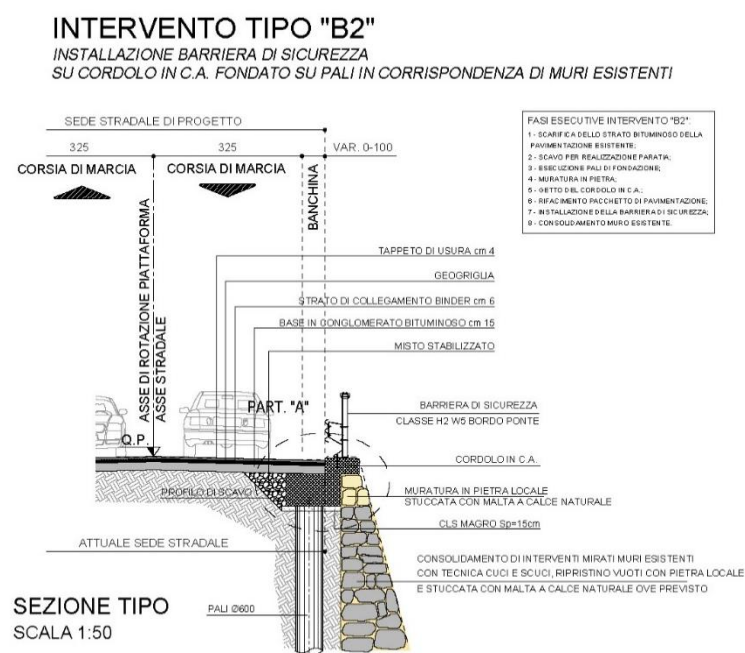


Fig. 9.44 – Sezione tipologica intervento B2

9.5.1 Sezioni di verifica

Le analisi di dimensionamento della paratie sono state eseguite in corrispondenza della condizione più sfavorevole.

Nella sezione tipologica che presenta muratura in blocchi di pietra a valle, non si considera il contributo di sostegno di tale opera; pertanto la fase finale del modello di calcolo mostra uno scavo a valle dell'opera di sostegno pari all'altezza totale del muro.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le principali caratteristiche delle sezioni.

Le altezze di scavo considerate si intendono sempre da estradosso trave di coronamento.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 99 di 159
--	--

SEZ.	ALTEZZA TOTALE PARATIA	LUNGHEZZA PALI	ALTEZZA FUORITERRA PARATIA	DIAMETRO PALI	INTERASSE	ARMATURA A FLESSIONE	ARMATURA A TAGLIO
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[m]	[-]	[-]
14-15	8.00	7.30	2.00	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10
25-27	8.00	7.30	4.15	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10
31-32	8.00	7.30	2.05	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10
33-34	8.00	7.30	2.55	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10
36-38	8.00	7.30	4.00	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10
55-60	8.00	7.30	2.90	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10
62-67	8.00	7.30	2.00	600	2.0	16 Ø24	Ø12/10

Tabella 9.5 – Caratteristiche della paratia di pali.

Le condizioni prese a riferimento nel modello di calcolo sono quelle complessivamente più critiche ai fini della sicurezza e della funzionalità dell'opera, dunque dimensionanti anche nei confronti delle sezioni non direttamente soggette a verifica, caratterizzate da altezze inferiori. In particolare, nel modello di calcolo si assume la quota +0.00 in corrispondenza dell'estradosso della trave di coronamento. Il cordolo di testata in calcestruzzo armato non viene modellato ma se ne assume il carico permanente equivalente in testa alla paratia.

Sarà considerata inizialmente una prima fase in cui si riporta la condizione geostatica, coincidente con la configurazione a riposo nella quale viene riprodotto lo stato tensionale supposto esistente nel terreno prima di ogni intervento. In tale fase vengono eseguiti gli elementi verticali. Si suppone in pratica che l'inserimento della parete, prima dello scavo, perturbi di poco lo stato tensionale nel terreno.

9.5.2 Analisi dei risultati

Si riporta nelle figure seguenti un quadro di sintesi dei risultati ottenuti che sono riportati al metro lineare. È da tener debitamente in conto che, gli stati limite relativi al raggiungimento delle resistenze negli elementi strutturali (rottura per flessione/taglio) sono verifiche STR da svolgersi secondo la combinazione SLU A1+M1+R3. Pertanto, le verifiche strutturali verranno condotte con riferimento alle sollecitazioni desunte nella combinazione SLU A1+M1+R3, mentre le azioni derivanti dalle combinazioni GEO SLU A2+M2+R1/SLOPE A2+M2+R2 sono da ritenersi irrilevanti per tale scopo.

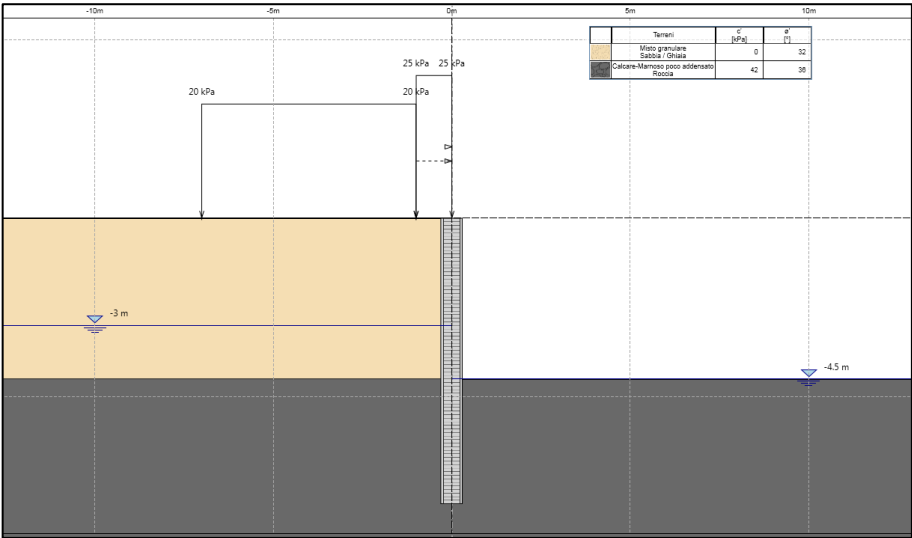


Fig. 9.45: Modello di calcolo

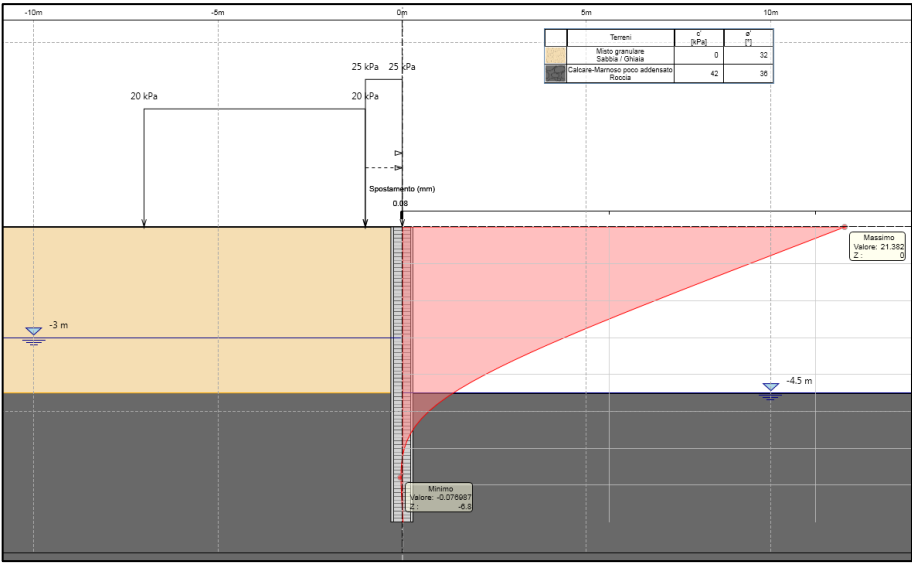


Fig. 9.46: Spostamenti SLE ($s_{max} = 21.4 \text{ mm}$)

Dal diagramma degli spostamenti agli SLE sono stati ottenuti i valori massimi in testa all'opera. Tali valori risultano limitati e opportunamente distanti dalla soglia massima che possono produrre il raggiungimento delle condizioni di stato limite d'esercizio per le strutture.

Salvo casi particolari (edifici particolari come le centrali nucleari) cedimenti e spostamenti orizzontali immediatamente a tergo dell'opera di sostegno inferiori all'1.0% dell'altezza di

scavo per di più immediati perché in terreni granulari, sono comunemente ritenuti ampiamente accettabili (fuori terra della paratia, Peck, 1969; Clough & O'Rourke, 1990).
I valori dedotti numericamente per gli spostamenti, trascurabili, risultano idonei a garantire adeguati livelli di funzionalità.

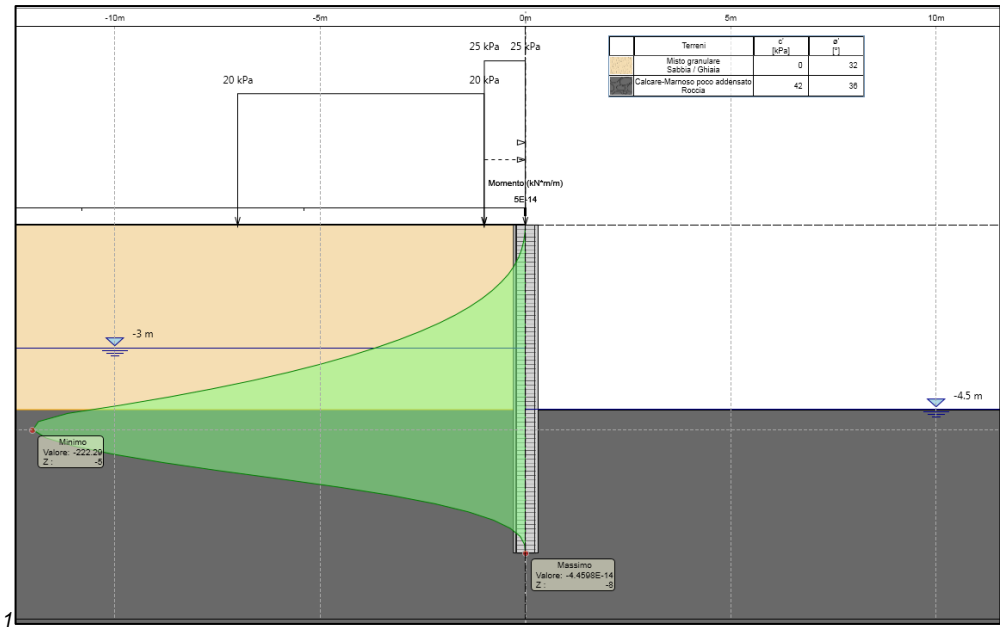


Fig. 9.47: Momento flettente SLU_A1+M1+R1 ($M_{max} = -211$ kN/m)

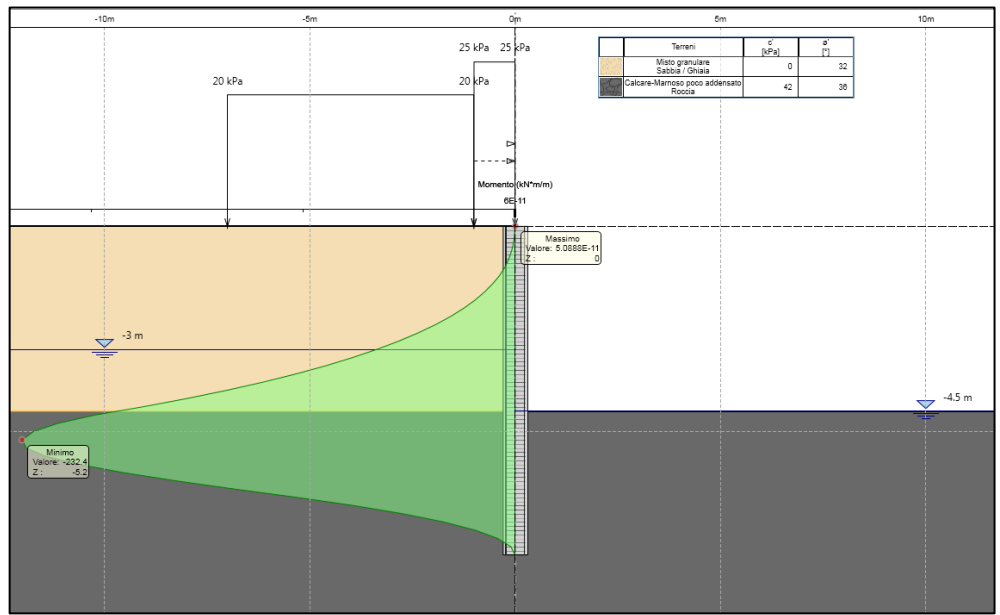


Fig. 9.48: Momento flettente SLU_A2+M2+R1 ($M_{max} = -218$ kN/m)

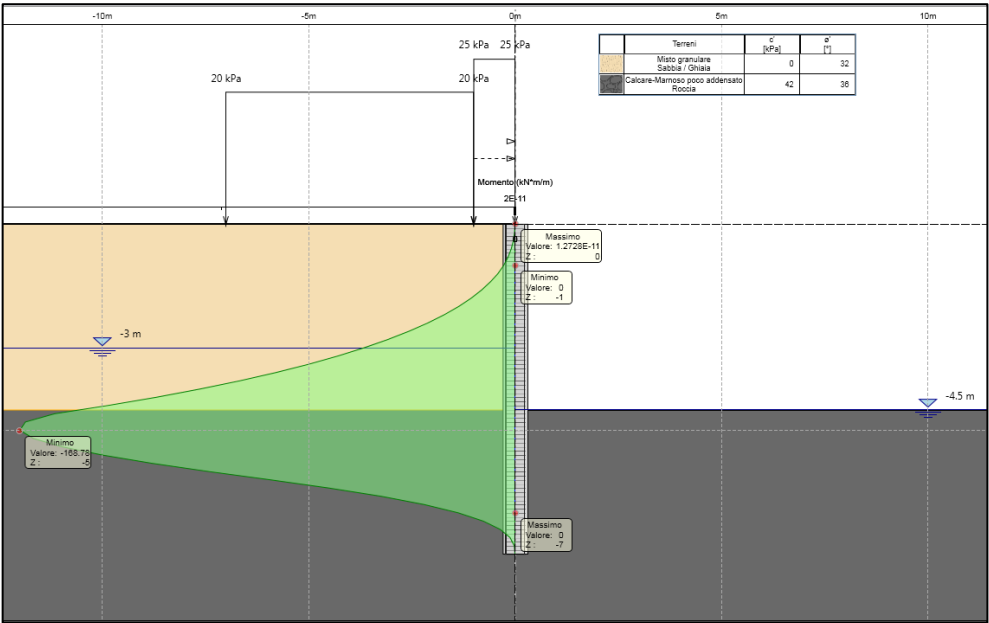


Fig. 9.49: Momento flettente SLE ($M_{max} = -160 \text{ kN/m}$)

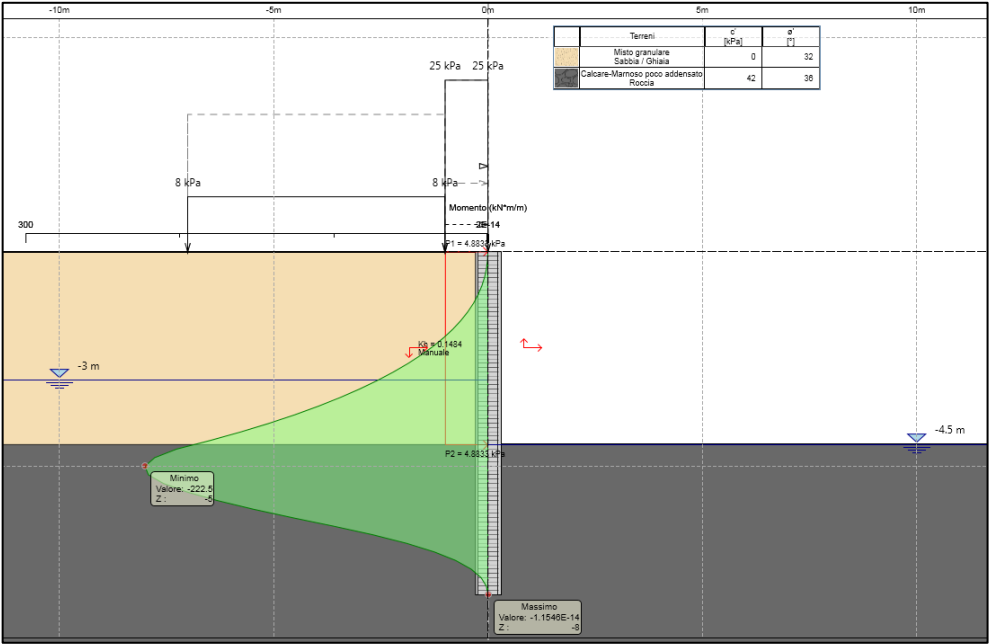


Fig. 9.50: Momento flettente SLV ($M_{max} = -200 \text{ kN/m}$)

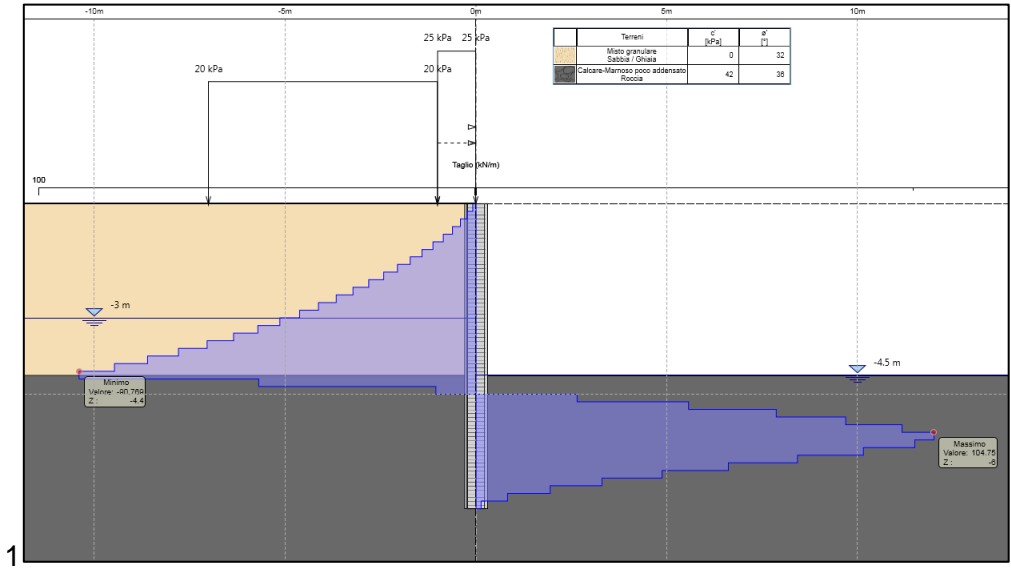


Fig. 9.51: Taglio SLE ($V_{max} = 101 \text{ kN}$)

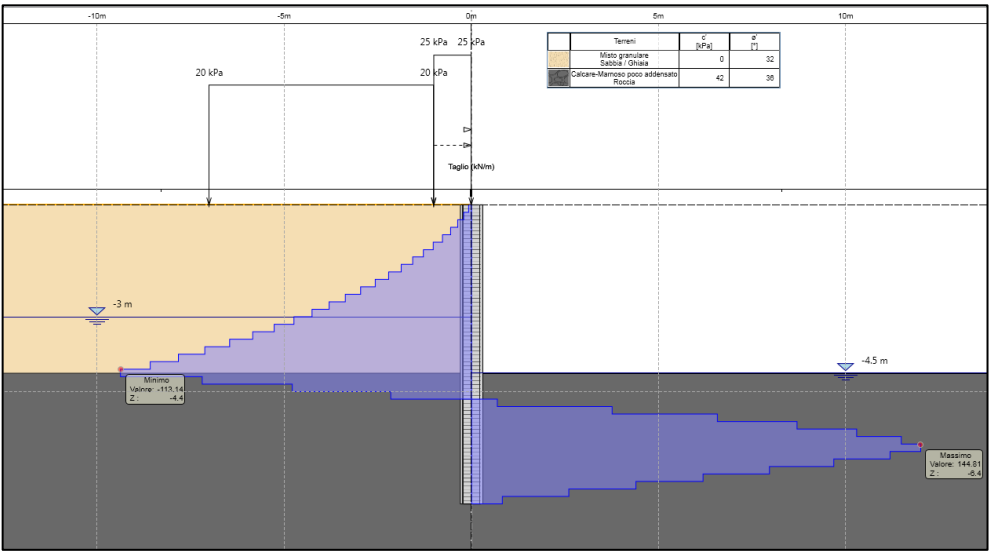


Fig. 9.52: Taglio SLU_A2+M2+R1 ($V_{max} = 132 \text{ kN}$)

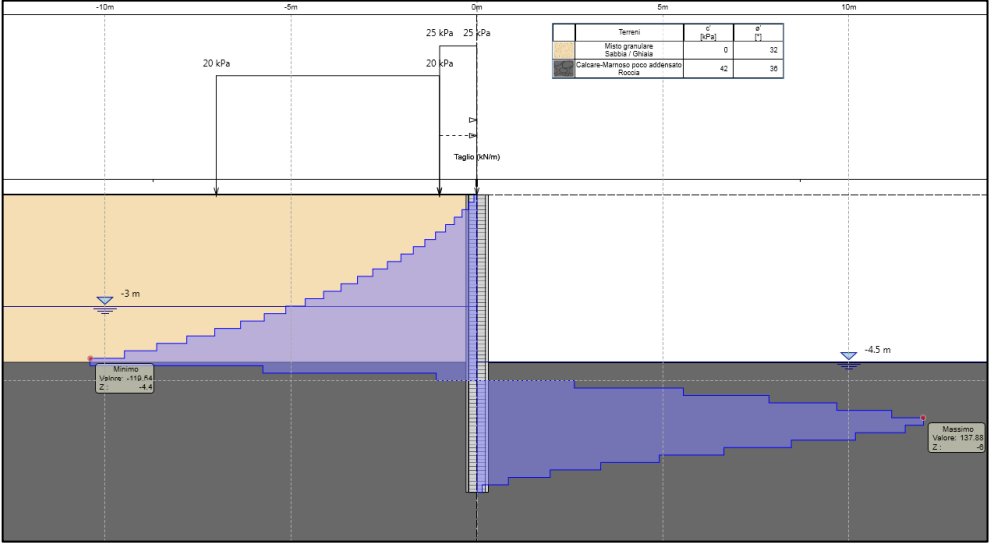


Fig. 9.53: Taglio SLU_A1+M1+R1 ($V_{max} = 134 \text{ kN}$)

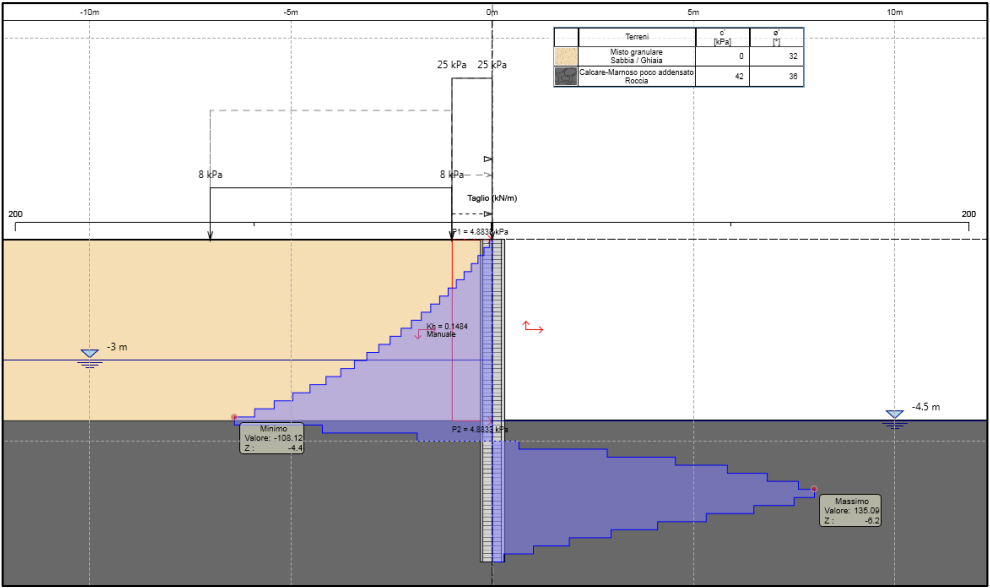


Fig. 9.54: Taglio SLV ($V_{max} = 124 \text{ kN}$)

A seguire si riporta la risultante delle spinte, per la SLU_A2+M2+R1 e per la SLV, in corrispondenza della massima altezza di scavo.

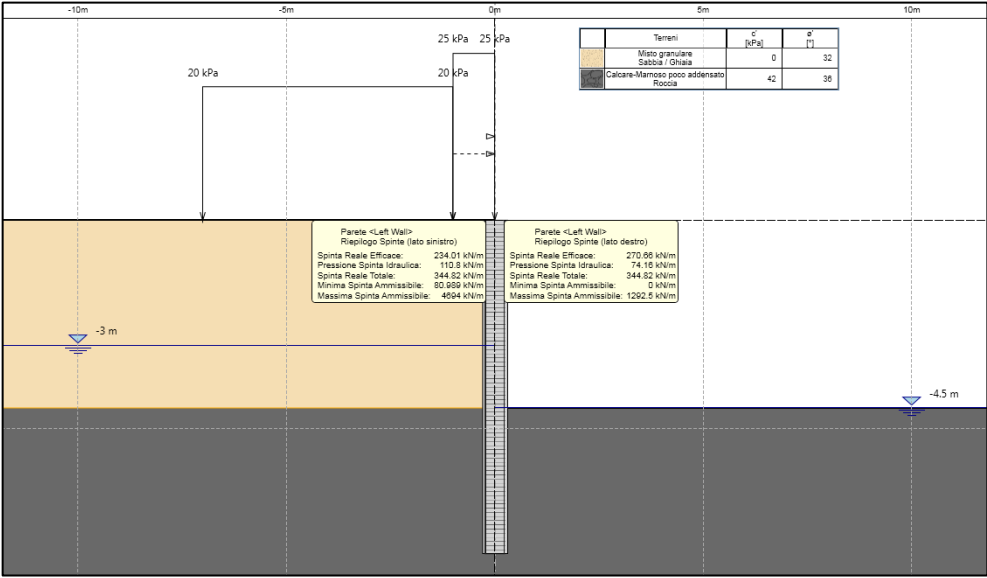


Fig. 9.55: Riepilogo Spinte SLU_A1+M1+R1

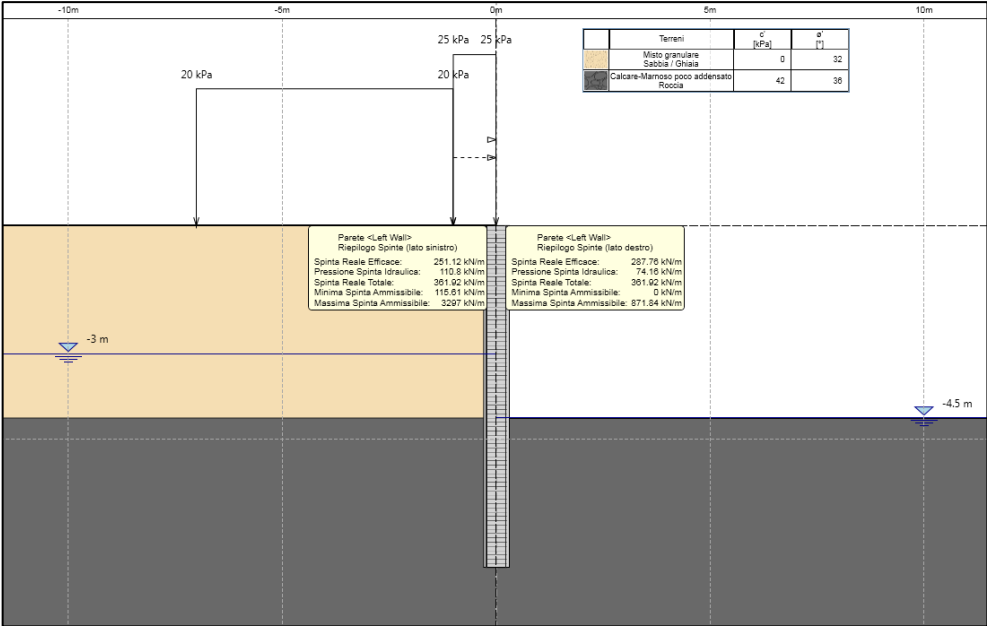


Fig. 9.56: Riepilogo Spinte SLU_A2+M2+R1

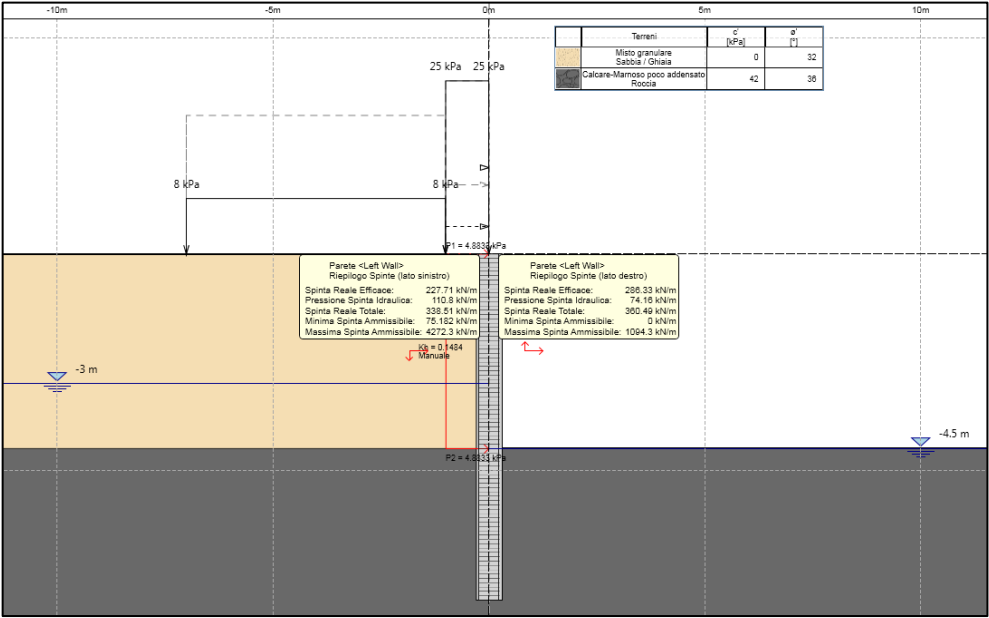


Fig. 9.57: Riepilogo Spinte SLV

A valle, la risultante delle spinte risulta minore della resistenza passiva di progetto.

I coefficienti parziali di sicurezza γ_M e γ_R che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto risultano implementati nelle sollecitazioni.

A seguire si riporta la verifica di stabilità globale.

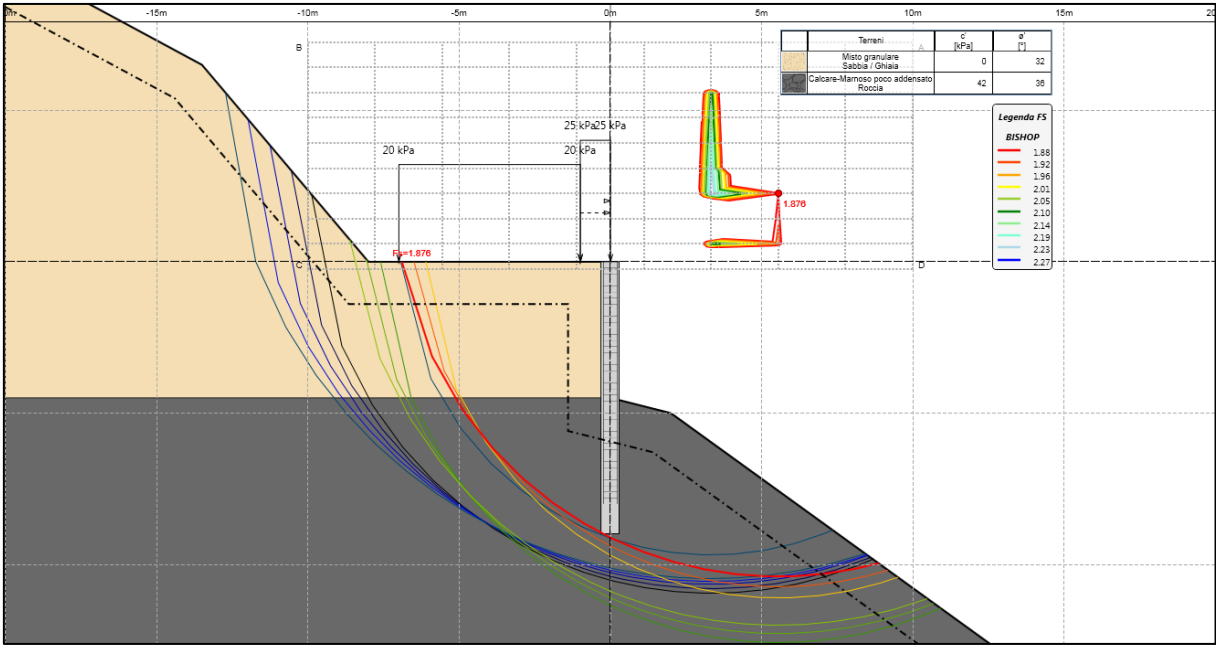


Fig. 9.58: Verifica di stabilità globale SLU_A2+M2+R2

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 107 di 159
--	---

Nel diagramma sono riportati i risultati delle analisi in termini di griglia dei centri di rotazione indagati con la rappresentazione delle isosfaliche (curve ad eguale fattore di sicurezza), di superficie critica e di associato coefficiente di sicurezza FS.

Si osserva che in condizioni statiche SLU_A2+M2+R2 il coefficiente di sicurezza risulta superiore ai minimi livelli di sicurezza prefissati dalla norma $FS_{adm} = \gamma_R = 1.1$.

Fig. 9.60: Dominio di resistenza

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 109 di 159</p>
---	---

Analogamente si riporta il confronto fra momento sollecitante e resistente nella SLV.

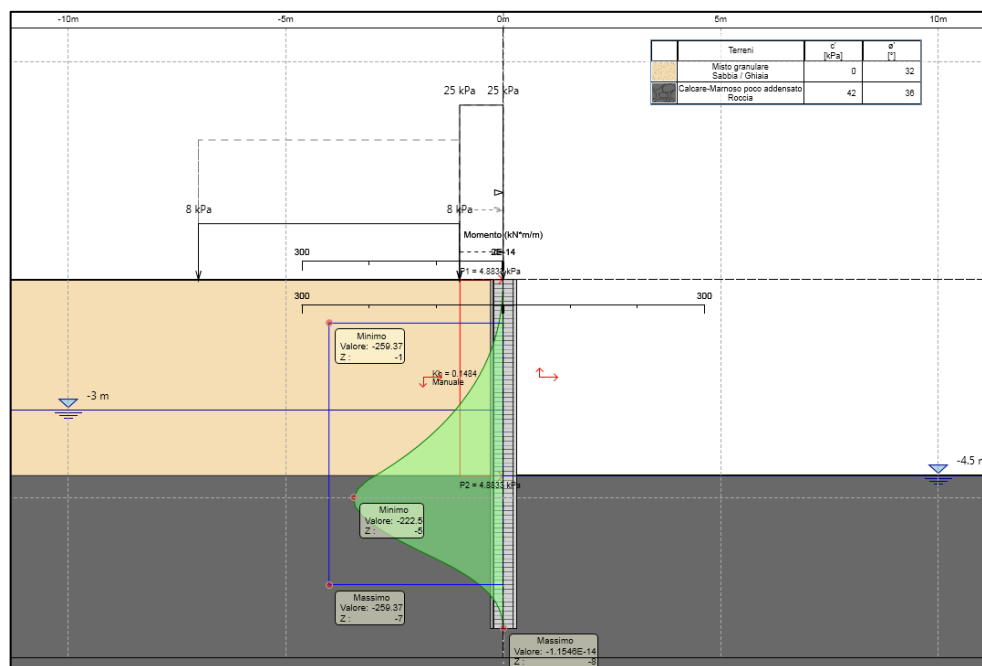


Fig. 9.61: Verifica a flessione retta SLV

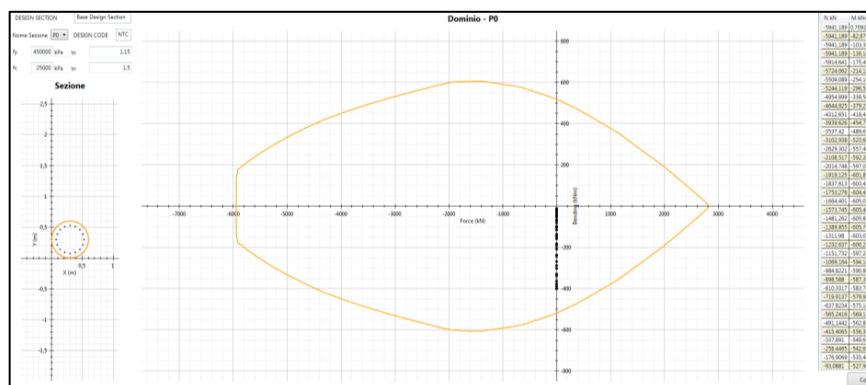


Fig. 9.62: Dominio di resistenza

Dal confronto fra massimo valore del momento flettente sollecitante ed il momento resistente di progetto, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

9.5.3.2 Verifica a taglio SLU

Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il taglio sollecitante e quello resistente.

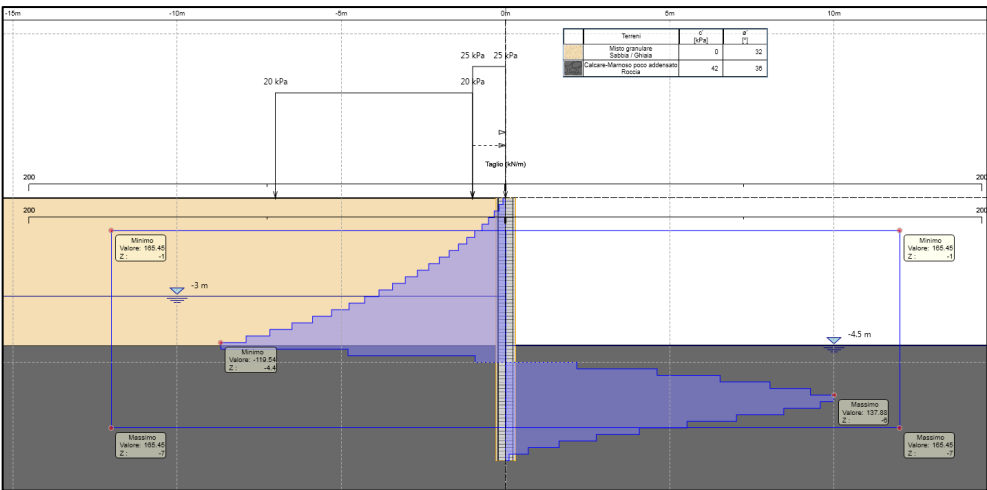


Fig. 9.63: Verifica a taglio SLU_A1+M1+R1

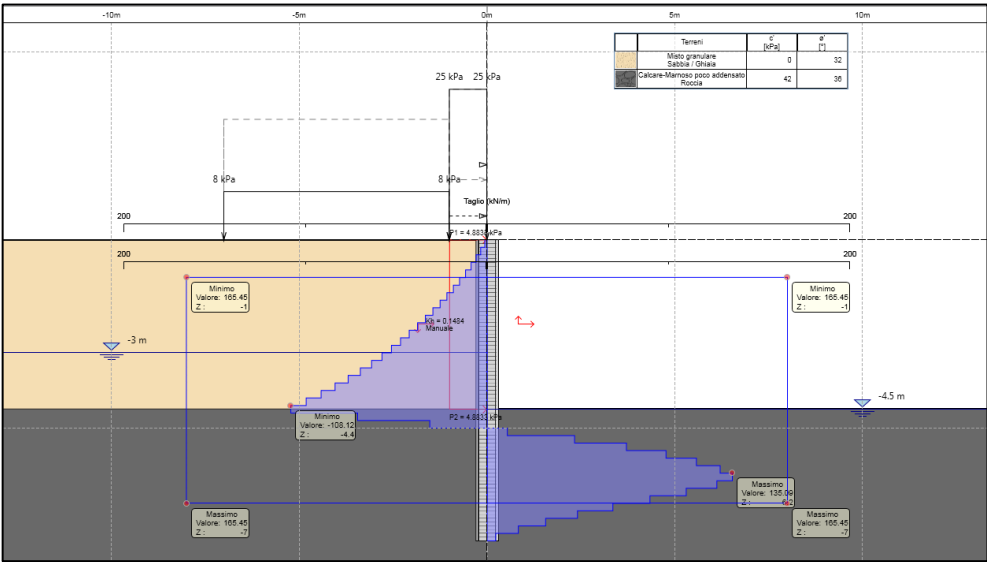


Fig. 9.64: Verifica a taglio SLV

Dal confronto fra massimo valore del taglio sollecitante e resistente, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 111 di 159
--	---

9.5.3.3 Verifiche SLE

Secondo quanto previsto dalle norme per le verifiche agli SLE andrà verificato che il valore della tensione massima nel calcestruzzo $\sigma_{c,max}$ soddisfi le relazioni $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$ (nella combinazione quasi permanente) e $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$ (nella combinazione rara) in cui f_{ck} è la resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 giorni.

Occorre verificare anche che la tensione massima nelle armature $\sigma_{s,max}$ soddisfi la relazione $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$ nella combinazione rara con f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Lo stato limite di fessurazione viene fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Dal punto di vista generale debbono prendersi in considerazione le combinazioni di carico allo SLE quasi permanenti e frequenti, rispetto alle quali NTC 2018 fissa i valori nominali limite di apertura delle fessure.

Nel caso delle paratie in oggetto, si considerano condizioni ambientali ordinarie.

Le paratie sono armate con armatura ordinaria, da considerarsi poco sensibile nei confronti della corrosione.

CONDIZIONI AMBIENTALI	COMBINAZIONE DI AZIONI	ARMATURA POCO SENSIBILE	
		STATO LIMITE	w_d
ORDINARIE XC2	FREQUENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_3 = 0.4mm$
ORDINARIE XC2	QUASI PERMANENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_2 = 0.3mm$

Tabella 9.6 – Stato limite di fessurazione SLE: criteri di scelta.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA'
DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI
Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione di calcolo delle opere di sostegno

P00_OS00_STR_RE01_
B - REL CALCOLO
Data: Giugno 2024
Pag. 112 di 159

A seguire si riporta la verifica nella condizione più gravosa.

Titolo: _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 16
Diametro barre: 2,4 [cm]
Copri ferro (baric.): 7,4 [cm]

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 [kN]
M_{Ed}: 0 [kNm]
M_{Ed}: -160 [kNm]
M_{Ed}: 0 [kNm]

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Materiali

B450C C30/37

E_{su}: 67,5 % E_{c2}: 2 %
f_{yd}: 391,3 N/mm² E_{cu}: 3,5 %
E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 17
E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8
E_{syd}: 1,957 % σ_{c,adm}: 11,5
σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,6933
τ_{c1}: 2,029

σ_c: -7,734 N/mm²
σ_s: 160,6 N/mm²
ε_s: 0,8029 %
d: 52,6 cm
x: 22,06 x/d: 0,4194
δ: 0,9643

Vertici: 52
N° iterazioni: 4
Precompresso

Dati	Verifica fessurazione sezione circolare	
σ _s	161 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R _{ck}	40,0 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
φ _l	24 mm	Diametro barre longitudinali
φ _s	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	16	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	800 mm	Diametro
k ₁	0,4	kt=0,6 ; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k ₂	0,5	k2=0,5 ; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k ₁	0,8	k1=0,8 ; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,3 mm	Valore limite apertura fessure
Dati		
f _{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	128 mm	Interasse ferri longitudinali
A _φ	452 mm ²	Area barra longitudinale
E _s	210000,0 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a
f _{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E _{cm}	33642,8 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
α _e	6,24	Rapporto Es/Ecm
f _{cm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ρ _{eff}	0,0285	Rapporto area acciaio/area efficace
ε _{sm1}	0,000523	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ε _{sm2}	0,000460	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ε _{sm}	0,000523	Deformazione unitaria media
k ₃	3,4	Coefficiente
k ₄	0,4	Coefficiente
Δsmax	313,2 mm	Distanza massima tra le fessure
w _d	0,164 mm	Valore di calcolo apertura fessure

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 113 di 159
--	---

La verifica risulta ottemperata, dato che il valore di calcolo di apertura delle fessure $w_d = 0.164mm$ è inferiore al valore nominale $w_3 = 0.3mm$.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 114 di 159</p>
---	---

9.5.4 Verifiche di resistenza trave di coronamento

Il cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni 120x70 cm realizzato con calcestruzzo in classe C32/40 per assicurare la perfetta installazione delle barriere bordo laterale tipo H2W5 come da schede tecniche, è armato con ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$.

La veletta di dimensioni 75x35 su cui è direttamente collegata la barriera presenta ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$; viene disposta un armatura verticale per il collegamento dei due elementi formata da $\phi 20/20$ opportunamente ancorati nel getto.

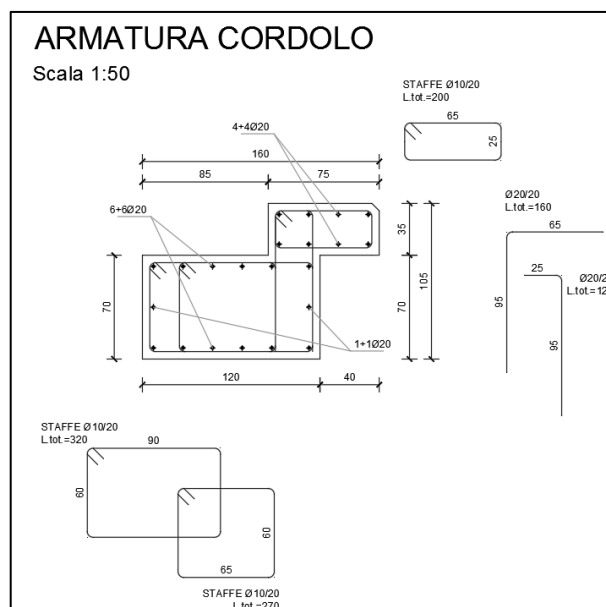


Fig. 9.65 – Armatura trave di coronamento

Per la verifiche strutturali si considerano le sollecitazioni derivanti dall'urto in combinazione eccezionale dovuto al traffico veicolare sopra i ponti (§3.6.3.3.2 DM2018):

“In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.”

In particolare dalla geometria della paratia e dato un interasse fra i montanti della barriera di 2.0 m si avranno le seguenti sollecitazioni al metro lineare:

$$M_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN} \cdot 1.0 \text{ m}}{2} = 100 \text{ kNm}$$

$$V_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN}}{2} = 100 \text{ kN}$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 115 di 159</p>
---	---

DEFINIZIONE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	32	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	40	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	3,0	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	2,1	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3,9	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	33346	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{cl}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	18,13	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,41	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19,2	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14,4	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0,001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0,01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,3	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	350	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	300	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2		[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2		[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	153,66	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 116 di 159</p>
---	---

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	100	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,82	[-]
		1,82	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0,005236	[-]
		0,005236	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

$V_{Rd,c}$ 167,33 [kN]

Resistenza minima del calcestruzzo teso

$V_{Rd,min}$ 145,42 [kN]

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

V_{Rd} 167,33 [kN]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[-]
Altezza utile della sezione	d'	300	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q,p}$	14,4	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	300	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

PALO INTERVENTO B.1.1				
	h (m)	b (m)	ρ (kN/m ³)	kN/m ²
G₁ – pesi propri				
Palo Ø600 L=8.0	0.60		25.00	56.5
Cordolo di coronamento (L=i=2.0 m)	0.70	1.00	25.00	35.0
				91.5
G₂ – permanente portato				
Pavimentazione (L=i=2.0 m)	0.35		20.00	14.0
Barriera (L=i=2.0 m) (Peso=0.5 kN/ml)				1.0
				15.0
Q_k – variabile traffico				
Schema 2				200.0
				200.0

9.6 INTERVENTO B2.2 – PARATIA DI PALI ACCOSTATI (STRATIGRAFIA S5)

L'intervento in esame si colloca sulla stratigrafia S5 del modello geotecnico del sottosuolo.

Le paratie si presentano come un opera di natura permanente con pali con lunghezza effettiva pari a 14.30 m disposti con interasse di 0.80 m.

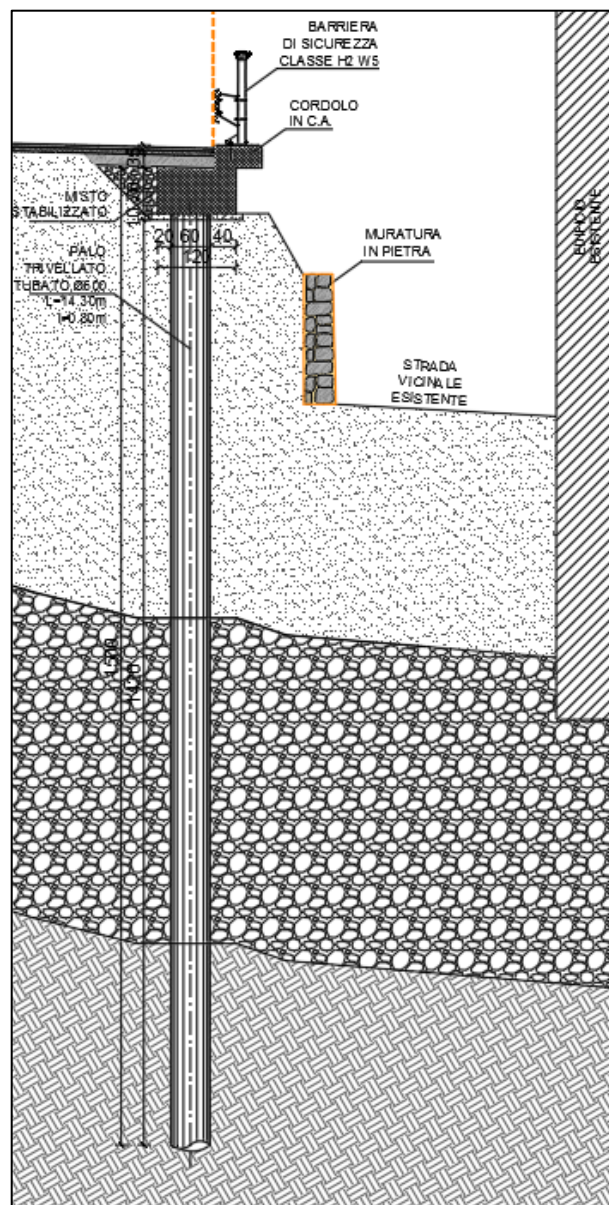


Fig. 9.66 - Sezione tipologica intervento B2.2

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 120 di 159
--	---

9.6.1 Sezioni di verifica

Le analisi di dimensionamento della paratie sono state eseguite in corrispondenza della condizione più sfavorevole.

Nella sezione tipologica che presenta muratura in blocchi di pietra a valle, non si considera il contributo di sostegno di tale opera; pertanto la fase finale del modello di calcolo mostra uno scavo a valle dell'opera di sostegno pari all'altezza totale del muro.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le principali caratteristiche delle sezioni.

Le altezze di scavo considerate si intendono sempre da estradosso trave di coronamento.

SEZ.	ALTEZZA TOTALE PARATIA	LUNGHEZZA PALI	ALTEZZA FUORITERRA PARATIA	DIAMETRO PALI	INTERASSE	ARMATURA A FLESSIONE	ARMATURA A TAGLIO
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[m]	[-]	[-]
43-46	15.00	14.30	4.00	600	0.8	16 Ø24	Ø12/10

Tabella 9.7 – Caratteristiche della paratia di pali.

Le condizioni prese a riferimento nel modello di calcolo sono quelle complessivamente più critiche ai fini della sicurezza e della funzionalità dell'opera, dunque dimensionanti anche nei confronti delle sezioni non direttamente soggette a verifica, caratterizzate da altezze inferiori.

In particolare, nel modello di calcolo si assume la quota +0.00 in corrispondenza dell'estradosso della trave di coronamento. Il cordolo di testata in calcestruzzo armato non viene modellato ma se ne assume il carico permanente equivalente in testa alla paratia.

Sarà considerata inizialmente una prima fase in cui si riporta la condizione geostatica, coincidente con la configurazione a riposo nella quale viene riprodotto lo stato tensionale supposto esistente nel terreno prima di ogni intervento. In tale fase vengono eseguiti gli elementi verticali. Si suppone in pratica che l'inserimento della parete, prima dello scavo, perturbi di poco lo stato tensionale nel terreno.

.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 121 di 159</p>
---	---

9.6.2 Analisi dei risultati

Si riporta nelle figure seguenti un quadro di sintesi dei risultati ottenuti che sono riportati al metro lineare. È da tener debitamente in conto che, gli stati limite relativi al raggiungimento delle resistenze negli elementi strutturali (rottura per flessione/taglio) sono verifiche STR da svolgersi secondo la combinazione SLU A1+M1+R3. Pertanto, le verifiche strutturali verranno condotte con riferimento alle sollecitazioni desunte nella combinazione SLU A1+M1+R3, mentre le azioni derivanti dalle combinazioni GEO SLU A2+M2+R1/SLOPE A2+M2+R2 sono da ritenersi irrilevanti per tale scopo.

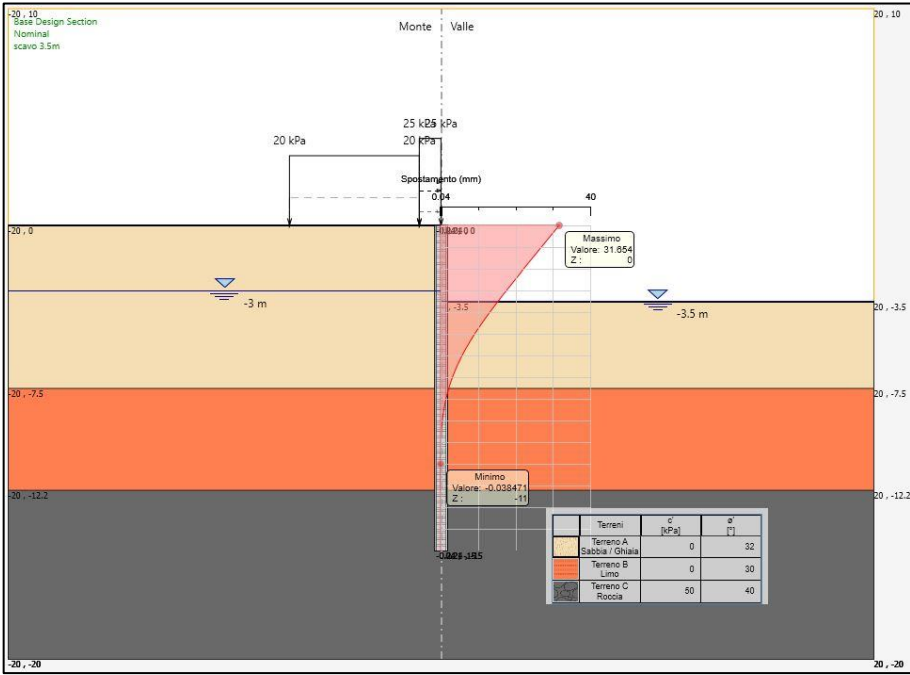


Fig. 9.67: Spostamenti SLE ($s_{max} = 31.6 \text{ mm}$)

Dal diagramma degli spostamenti agli SLE sono stati ottenuti i valori massimi in testa all'opera. Tali valori risultano limitati e opportunamente distanti dalla soglia massima che possono produrre il raggiungimento delle condizioni di stato limite d'esercizio per le strutture.

Salvo casi particolari (edifici particolari come le centrali nucleari) cedimenti e spostamenti orizzontali immediatamente a tergo dell'opera di sostegno inferiori all'1.0% dell'altezza di scavo per di più immediati perché in terreni granulari, sono comunemente ritenuti ampiamente accettabili (fuori terra della paratia, Peck, 1969; Clough & O'Rourke, 1990).

In tale situazione i valori dedotti numericamente per gli spostamenti risultano trascurabili in quanto lo scavo è stato schematizzato per valutare le sollecitazioni sulla paratia ed effettuare

le verifiche di sicurezza sia geotecniche che statiche e nella realtà a tergo dell'opera è comunque presente il terreno.

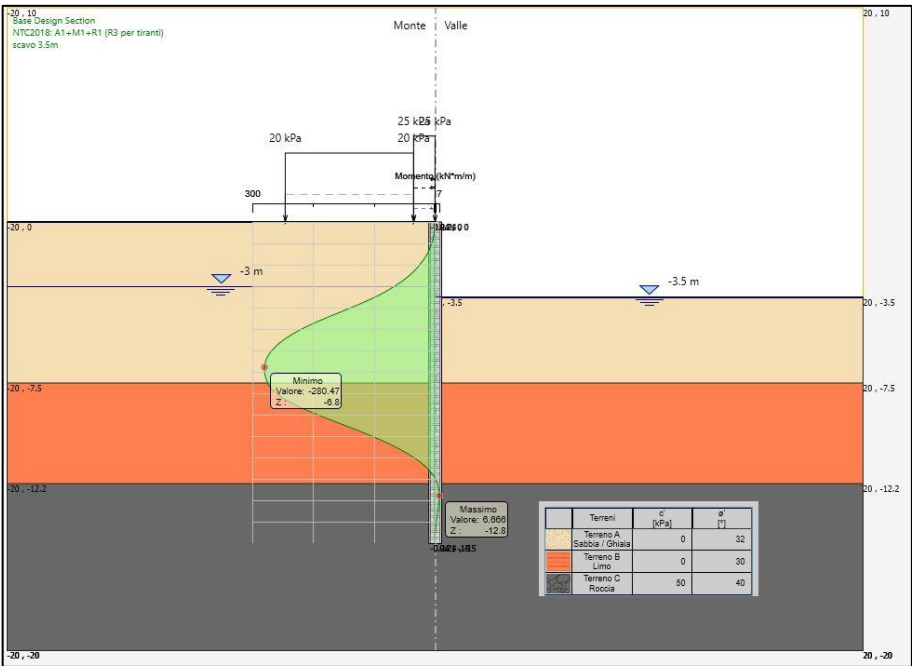


Fig. 9.68: Momento flettente SLU_A1+M1+R1 ($M_{max} = -280 \text{ kN/m}$)

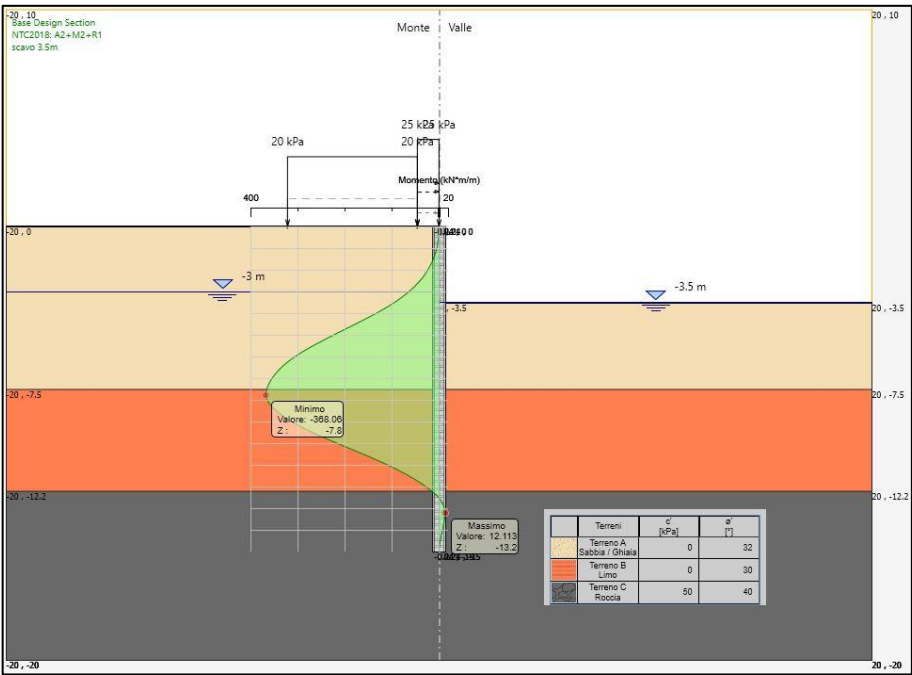


Fig. 9.69: Momento flettente SLU_A2+M2+R1 ($M_{max} = -358 \text{ kN/m}$)

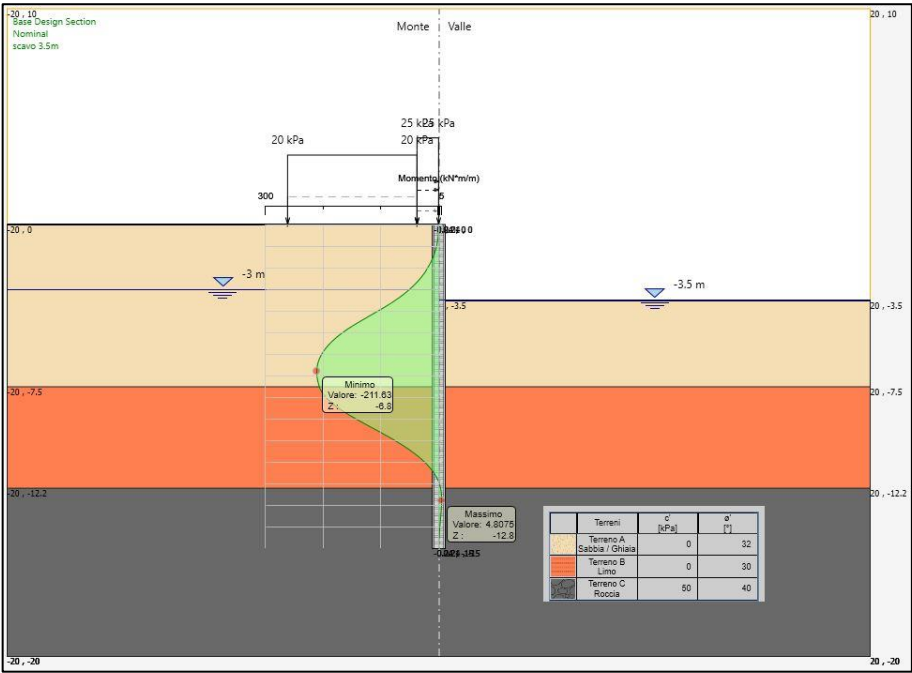


Fig. 9.70: Momento flettente SLE ($M_{max} = -212$ kN/m)

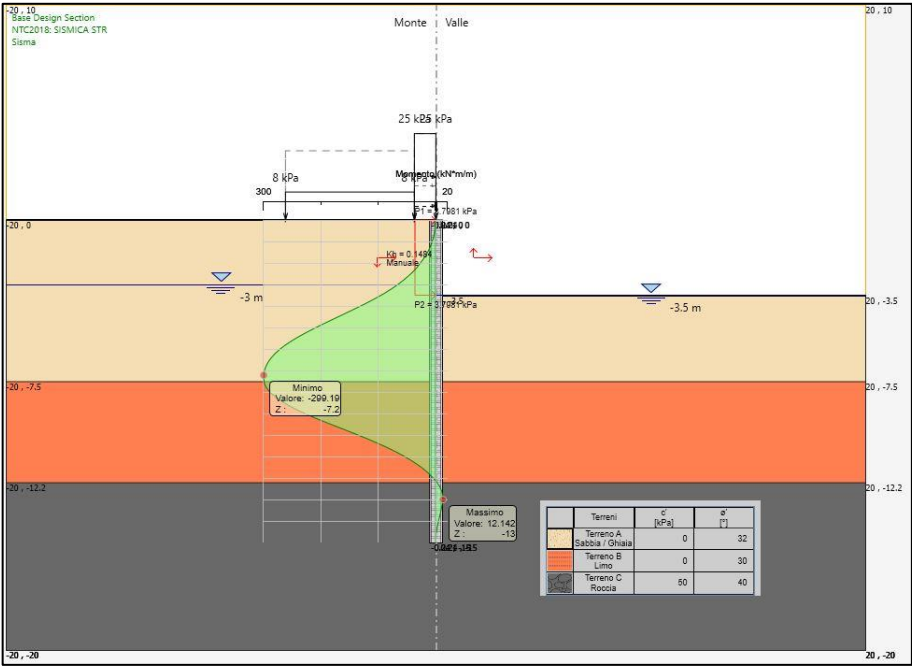


Fig. 9.71: Momento flettente SLV ($M_{max} = -299$ kN/m)

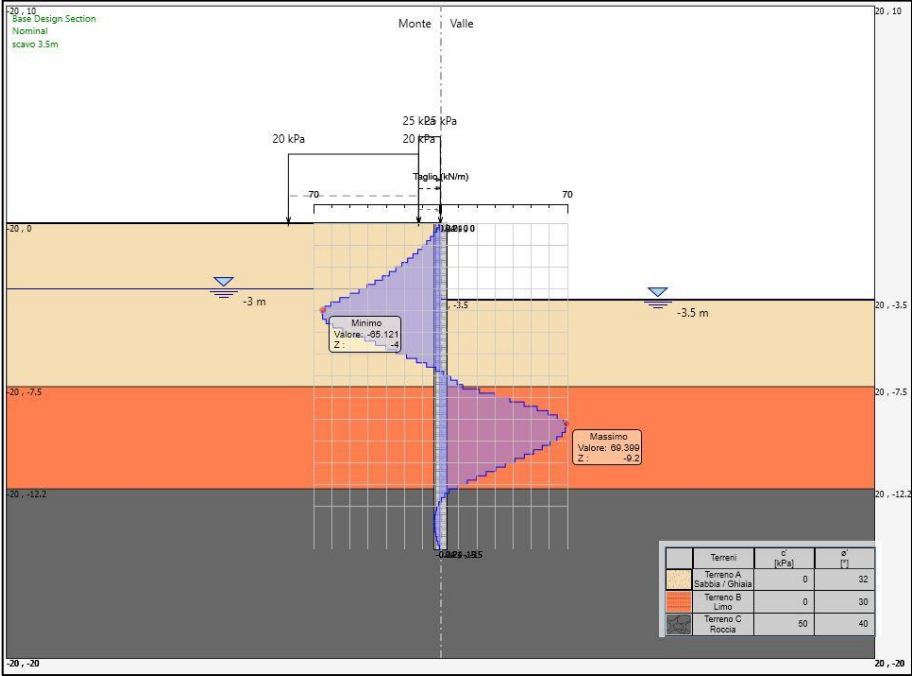


Fig. 9.72: Taglio SLE (V_{max} = 69 kN)

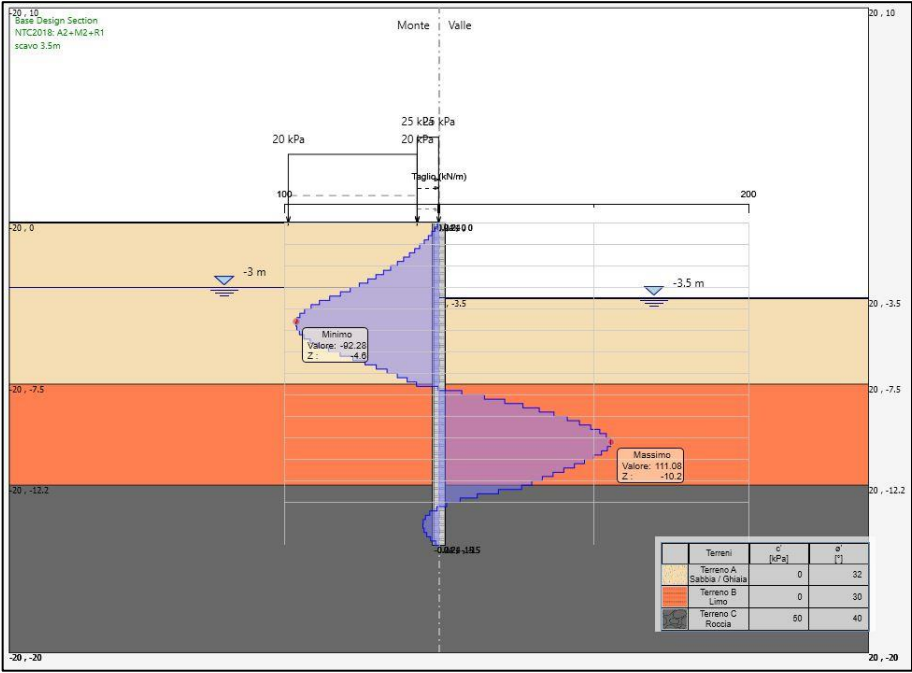


Fig. 9.73: Taglio SLU_A2+M2+R1 (V_{max} = 111 kN)

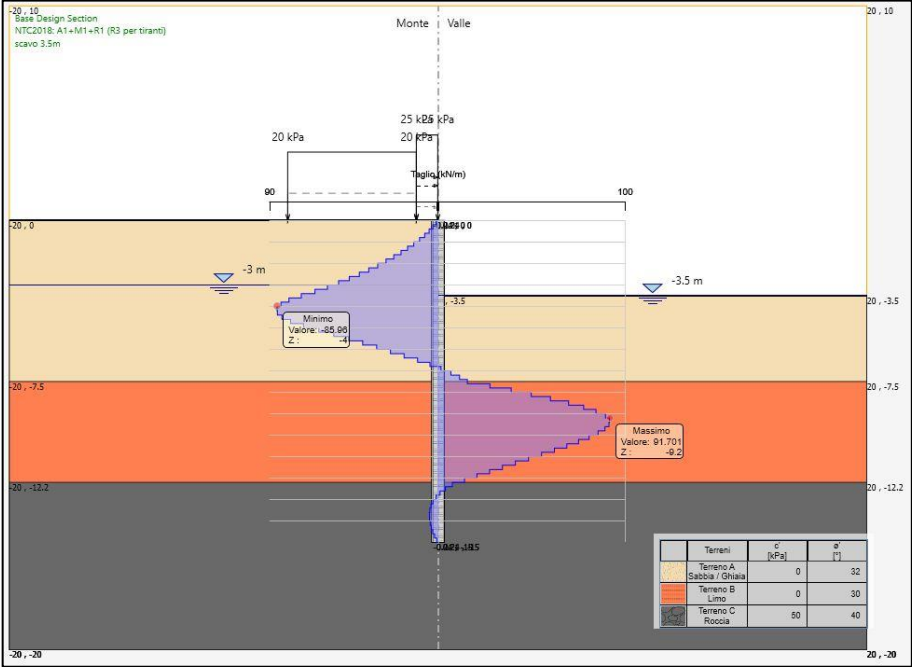


Fig. 9.74: Taglio SLU_A1+M1+R1 ($V_{max} = 91 \text{ kN}$)

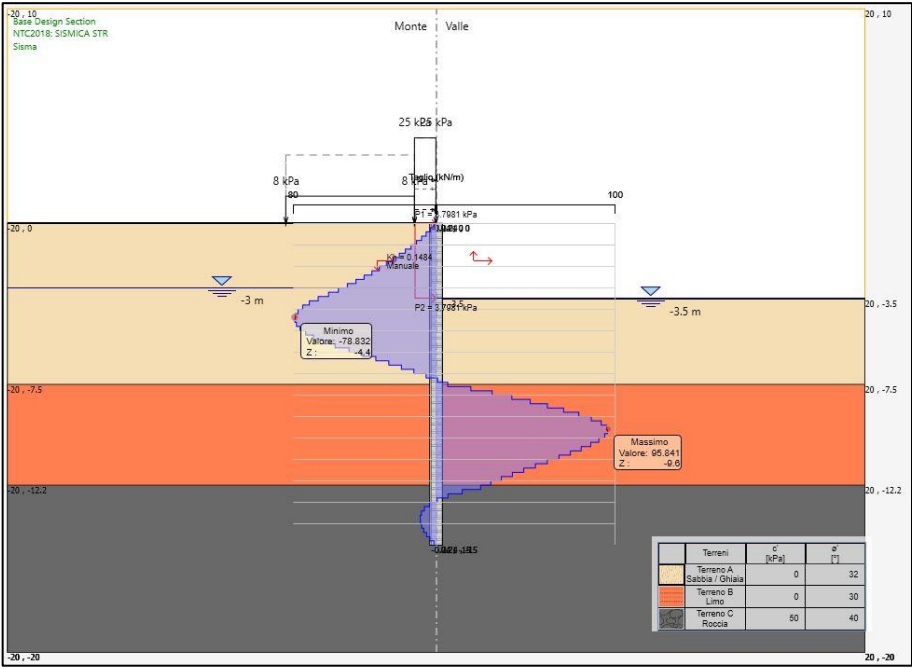


Fig. 9.75: Taglio SLV ($V_{max} = 95 \text{ kN}$)

A seguire si riporta la risultante delle spinte, per la SLU_A2+M2+R1 e per la SLV, in corrispondenza della massima altezza di scavo.

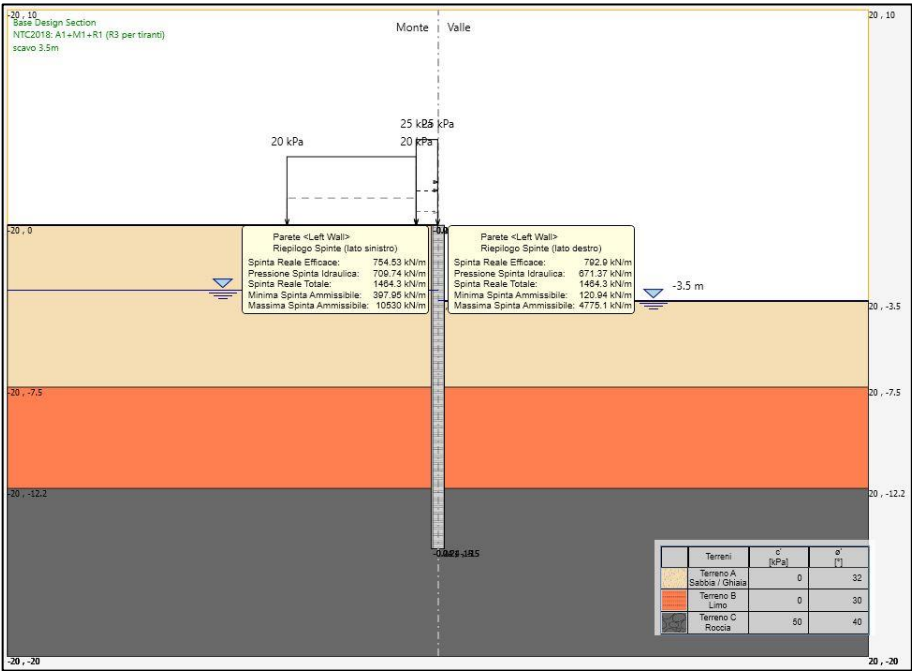


Fig. 9.76: Riepilogo Spinte SLU_A1+M1+R1

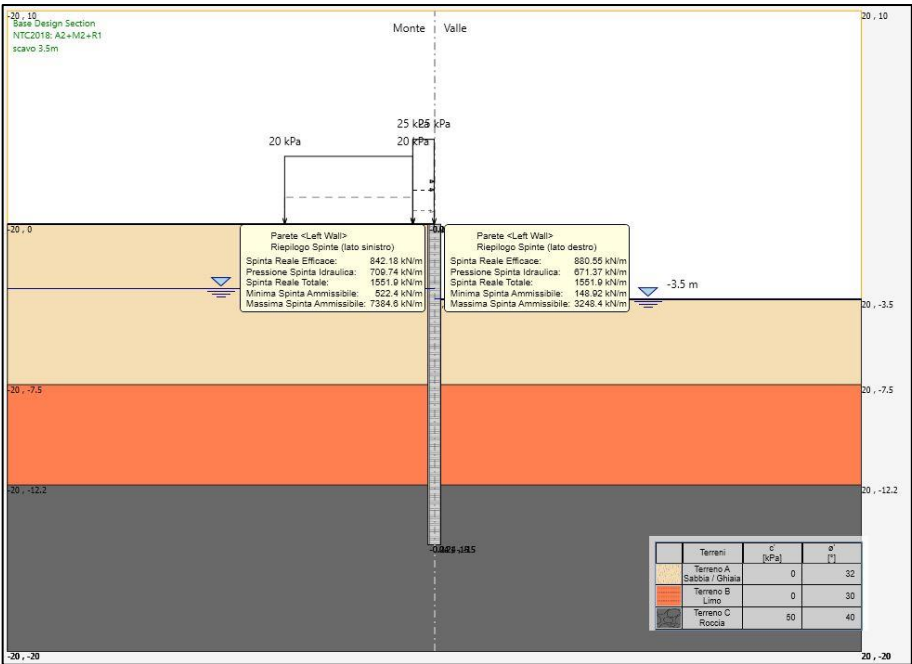


Fig. 9.77: Riepilogo Spinte SLU_A2+M2+R1

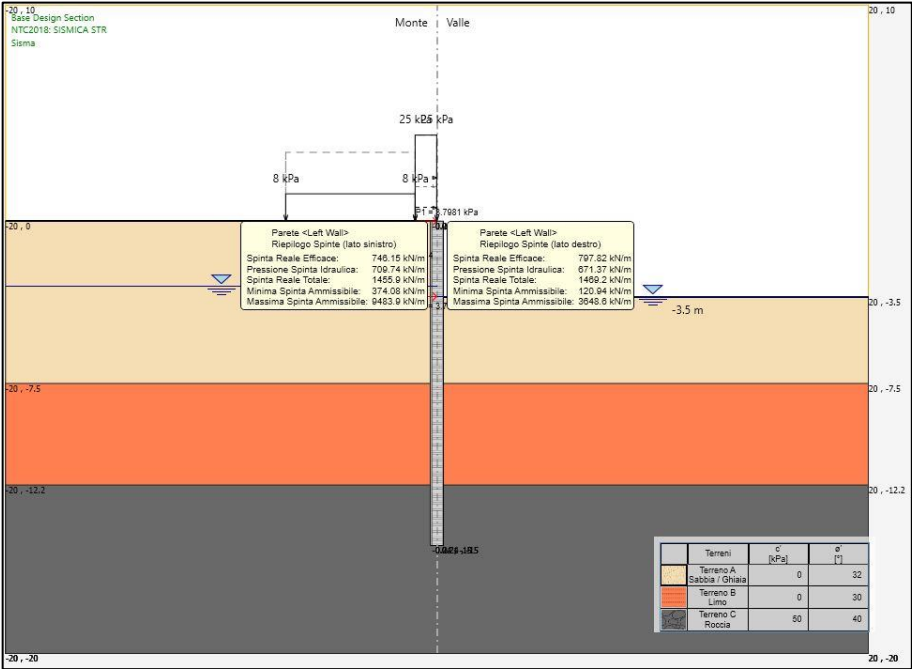


Fig. 9.78: Riepilogo Spinte SLV

A valle, la risultante delle spinte risulta minore della resistenza passiva di progetto.

I coefficienti parziali di sicurezza γ_M e γ_R che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto risultano implementati nelle sollecitazioni.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 128 di 159</p>
---	---

A seguire si riporta la verifica di stabilità globale.

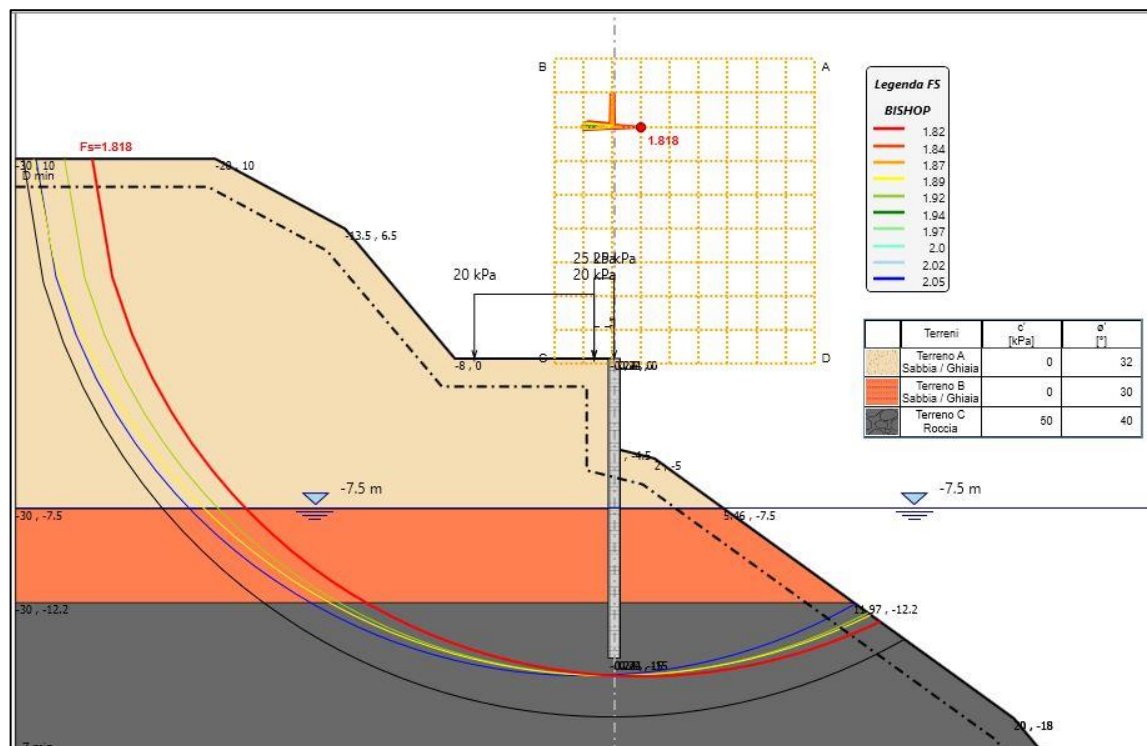


Fig. 9.79: Verifica di stabilità globale SLU_A2+M2+R2

Nel diagramma sono riportati i risultati delle analisi in termini di griglia dei centri di rotazione indagati con la rappresentazione delle isofaliche (curve ad eguale fattore di sicurezza), di superficie critica e di associato coefficiente di sicurezza FS.

Si osserva che in condizioni statiche SLU_A2+M2+R2 il coefficiente di sicurezza risulta superiore ai minimi livelli di sicurezza prefissati dalla norma $FS_{adm} = \gamma_R = 1.1$.

9.6.3 Verifica di resistenza paratia

Il palo di lunghezza è armato con 16 ϕ 24 longitudinali ed una spirale ϕ 12/10.

9.6.3.1 Verifica a flessione SLU

Nella verifica di resistenza a flessione non si tiene conto a favore di sicurezza delle azioni assiali permanenti dovute al peso del palo alla quota in cui si massimizza il momento flettente sollecitante. Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il momento sollecitante ed il momento resistente con il relativo dominio di resistenza.

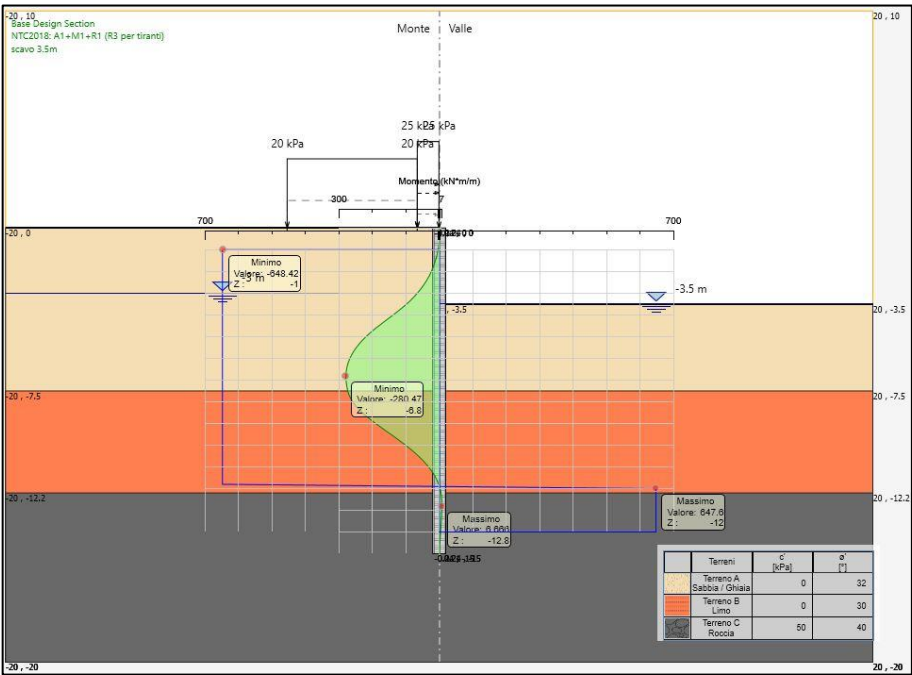


Fig. 9.80: Verifica a flessione retta SLU_A1+M1+R1

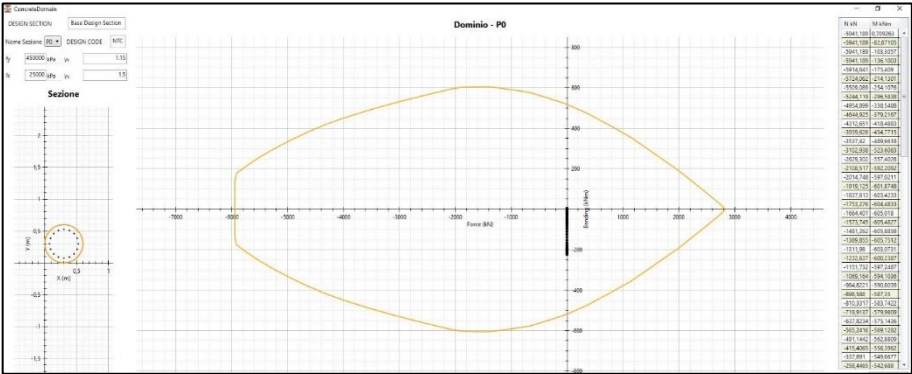


Fig. 9.81: Dominio di resistenza

Analogamente si riporta il confronto fra momento sollecitante e resistente nella SLV.

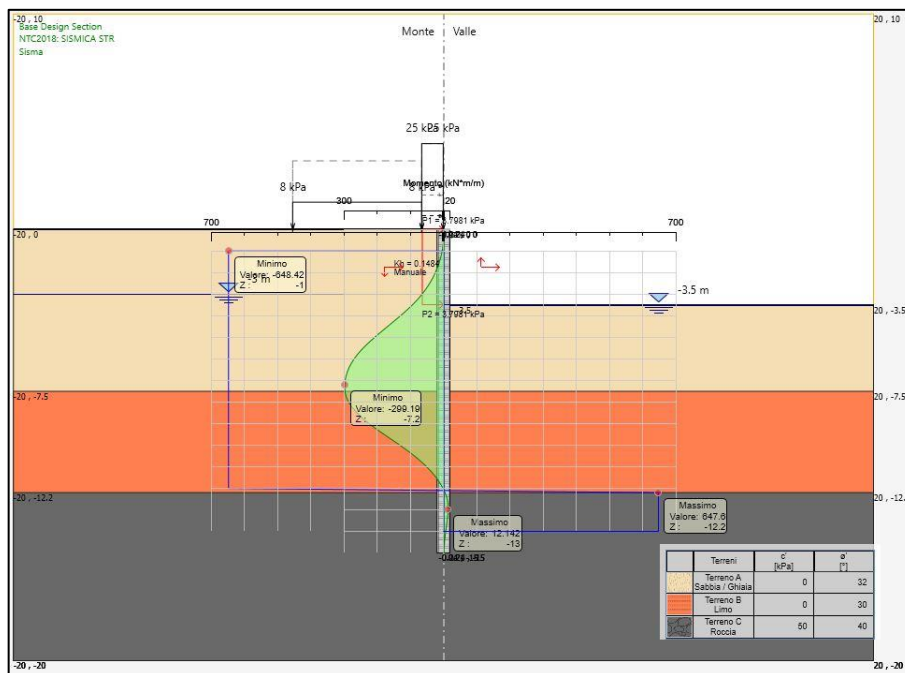


Fig. 9.82: Verifica a flessione retta SLV

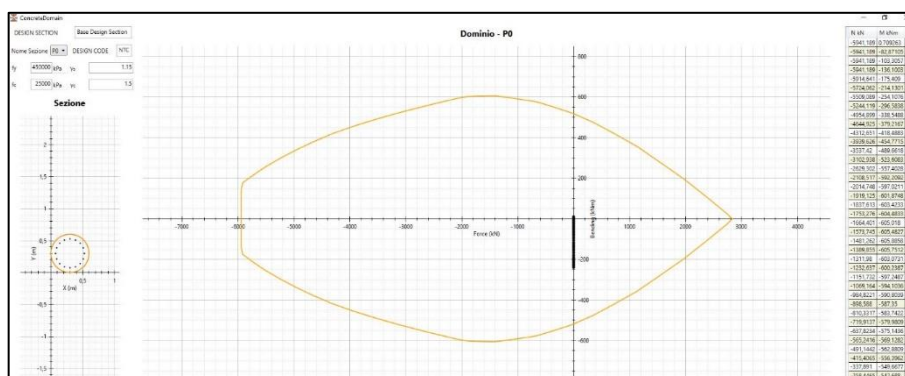


Fig. 9.83: Dominio di resistenza

Dal confronto fra massimo valore del momento flettente sollecitante ed il momento resistente di progetto, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

9.6.3.2 Verifica a taglio SLU

Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il taglio sollecitante e quello resistente.

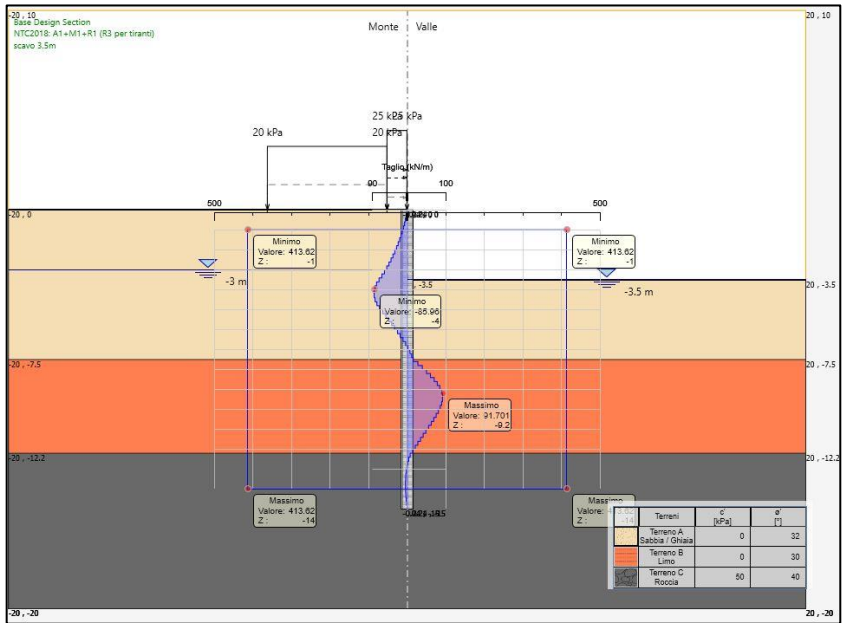


Fig. 9.84: Verifica a taglio SLU_A1+M1+R1

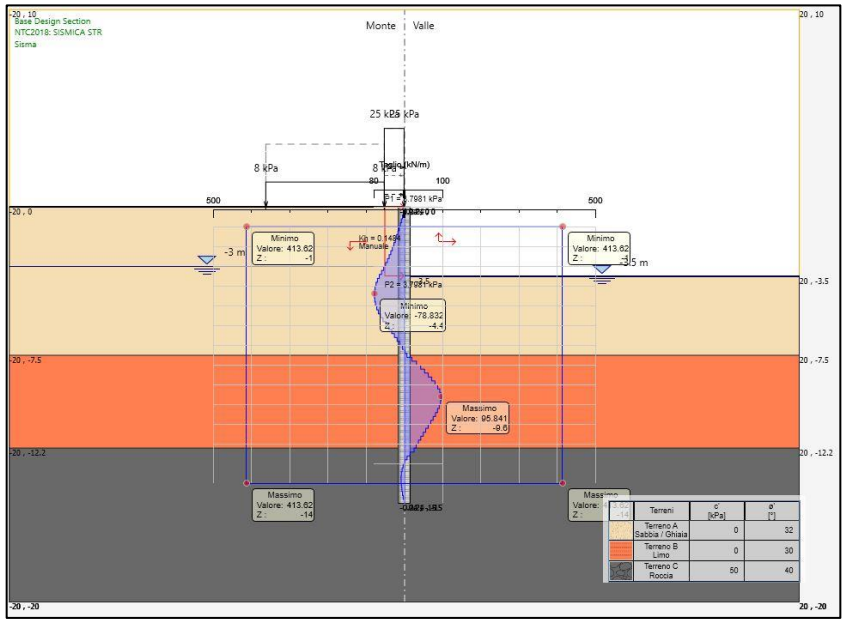


Fig. 9.85: Verifica a taglio SLV

Dal confronto fra massimo valore del taglio sollecitante e resistente, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 132 di 159
--	---

9.6.3.3 Verifiche SLE

Secondo quanto previsto dalle norme per le verifiche agli SLE andrà verificato che il valore della tensione massima nel calcestruzzo $\sigma_{c,max}$ soddisfi le relazioni $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$ (nella combinazione quasi permanente) e $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$ (nella combinazione rara) in cui f_{ck} è la resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 giorni.

Occorre verificare anche che la tensione massima nelle armature $\sigma_{s,max}$ soddisfi la relazione $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$ nella combinazione rara con f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Lo stato limite di fessurazione viene fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Dal punto di vista generale debbono prendersi in considerazione le combinazioni di carico allo SLE quasi permanenti e frequenti, rispetto alle quali NTC 2018 fissa i valori nominali limite di apertura delle fessure.

Nel caso delle paratie in oggetto, si considerano condizioni ambientali ordinarie.

Le paratie sono armate con armatura ordinaria, da considerarsi poco sensibile nei confronti della corrosione.

CONDIZIONI AMBIENTALI	COMBINAZIONE DI AZIONI	ARMATURA POCO SENSIBILE	
		STATO LIMITE	w_d
ORDINARIE XC2	FREQUENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_3 = 0.4mm$
ORDINARIE XC2	QUASI PERMANENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_2 = 0.3mm$

Tabella 9.8 – Stato limite di fessurazione SLE: criteri di scelta.

A seguire si riporta la verifica nella condizione più gravosa.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA'
DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS
TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI
Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone
CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione di calcolo delle opere di sostegno

P00_OS00_STR_RE01_
B - REL CALCOLO
Data: Giugno 2024
Pag. 133 di 159

Titolo: _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 16
Diametro barre: 2,4 [cm]
Copri ferro (baric.): 7,4 [cm]

N° barre: 0 **Zoom:** _____

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
S.L.U. ☒ Metodo n

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. ☐ S.L.U. ☐ Metodo n

Materiali
B450C C30/37
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 17 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,9
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11,5 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6933
 τ_{c1} 2,029

σ_c -10,25 N/mm²
 σ_s 212,8 N/mm²
 ϵ_s 1,064 ‰
d 52,6 cm
x 22,06 x/d 0,4194
 δ 0,9643

Vertici: 52
Verifica
N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

Dati	Verifica fessurazione sezione circolare	
σ_s	212 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R_{ck}	40,0 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_l	24 mm	Diametro barre longitudinali
ϕ_s	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	16	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	800 mm	Diametro
k_t	0,4	$kt=0,6 ; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k2=0,5 ; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_1	0,8	$k1=0,8 ; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
w	0,3 mm	Valore limite apertura fessure
Dati		
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	128 mm	Interasse ferri longitudinali
A_ϕ	452 mm ²	Area barra longitudinale
E_s	210000,0 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33642,8 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
α_e	6,24	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{cm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ρ_{eff}	0,0285	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm1}	0,000766	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ϵ_{sm2}	0,000606	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ϵ_{sm}	0,000766	Deformazione unitaria media
k_3	3,4	Coefficiente
k_4	0,4	Coefficiente
Δs_{max}	313,2 mm	Distanza massima tra le fessure
w_d	0,240 mm	Valore di calcolo apertura fessure

La verifica risulta ottemperata, dato che il valore di calcolo di apertura delle fessure $w_d = 0.164mm$ è inferiore al valore nominale $w_3 = 0.3mm$.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 134 di 159</p>
---	---

9.6.4 Verifiche di resistenza trave di coronamento

Il cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni 120x70 cm realizzato con calcestruzzo in classe C32/40 per assicurare la perfetta installazione delle barriere bordo laterale tipo H2W5 come da schede tecniche, è armato con ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$.

La veletta di dimensioni 75x35 su cui è direttamente collegata la barriera presenta ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$; viene disposta un armatura verticale per il collegamento dei due elementi formata da $\phi 20/20$ opportunamente ancorati nel getto.

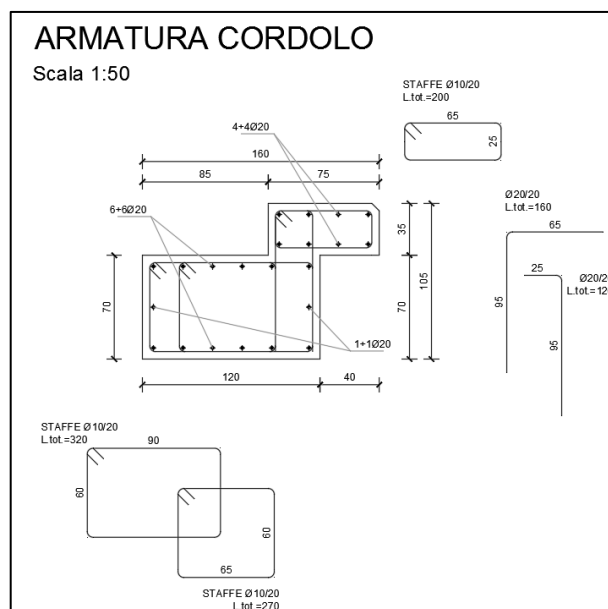


Fig. 9.86 – Armatura trave di coronamento

Per la verifiche strutturali si considerano le sollecitazioni derivanti dall'urto in combinazione eccezionale dovuto al traffico veicolare sopra i ponti (§3.6.3.3.2 DM2018):

“In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.”

In particolare dalla geometria della paratia e dato un interasse fra i montanti della barriera di 2.0 m si avranno le seguenti sollecitazioni al metro lineare:

$$M_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN} \cdot 1.0 \text{ m}}{2} = 100 \text{ kNm}$$

$$V_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN}}{2} = 100 \text{ kN}$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 135 di 159</p>
---	---

DEFINIZIONE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	32	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	40	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	3,0	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	2,1	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3,9	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	33346	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{cl}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	18,13	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,41	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19,2	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14,4	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0,001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0,01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,3	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	350	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	300	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2		[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2		[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	153,66	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 136 di 159
---	---

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	100	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,82	[-]
		1,82	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0,005236	[-]
		0,005236	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

$V_{Rd,c}$ 167,33 [kN]

Resistenza minima del calcestruzzo teso

$V_{Rd,min}$ 145,42 [kN]

Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso

V_{Rd} 167,33 [kN]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[-]
Altezza utile della sezione	d'	300	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q,p}$	14,4	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	300	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

$$F_s = 7,47$$

9.7 INTERVENTO B2.3 – PARATIA DI PALI A MONTE DEI MURI DI SOSTEGNO (STRATIGRAFIA S5)

L'intervento in esame si colloca sulla stratigrafia S5 del modello geotecnico del sottosuolo.

Le paratie si presentano come un opera di natura permanente con pali con lunghezza effettiva pari a 14.30 m disposti a quinconce con interasse di 1.20 m.

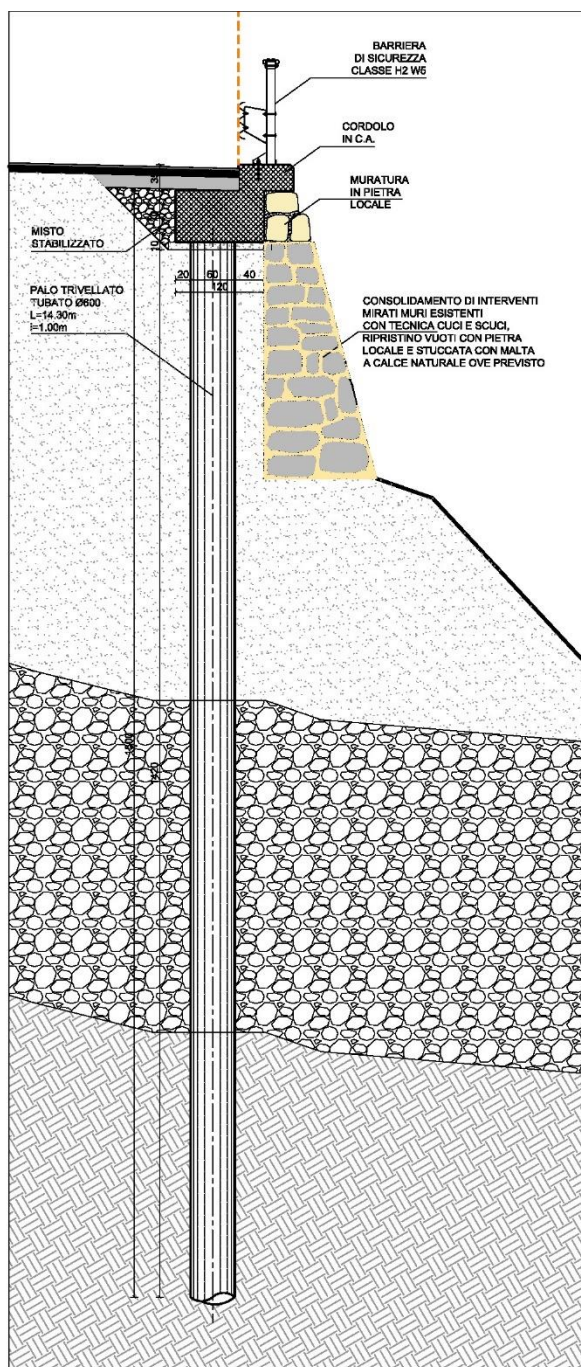


Fig. 9.87 - Sezione tipologica intervento B2.3

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 140 di 159</p>
---	---

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 141 di 159
--	---

9.7.1 Sezioni di verifica

Le analisi di dimensionamento della paratie sono state eseguite in corrispondenza della condizione più sfavorevole.

Nella sezione tipologica che presenta muratura in blocchi di pietra a valle, non si considera il contributo di sostegno di tale opera; pertanto la fase finale del modello di calcolo mostra uno scavo a valle dell'opera di sostegno pari all'altezza totale del muro.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le principali caratteristiche delle sezioni.

Le altezze di scavo considerate si intendono sempre da estradosso trave di coronamento.

SEZ.	ALTEZZA TOTALE PARATIA	LUNGHEZZA PALI	ALTEZZA FUORITERRA PARATIA	DIAMETRO PALI	INTERASSE	ARMATURA A FLESSIONE	ARMATURA A TAGLIO
[-]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[m]	[-]	[-]
75-76	15.00	14.30	3.20	600	1.0	16 Ø24	Ø12/10

Tabella 9.9 – Caratteristiche della paratia di pali.

Le condizioni prese a riferimento nel modello di calcolo sono quelle complessivamente più critiche ai fini della sicurezza e della funzionalità dell'opera, dunque dimensionanti anche nei confronti delle sezioni non direttamente soggette a verifica, caratterizzate da altezze inferiori. In particolare, nel modello di calcolo si assume la quota +0.00 in corrispondenza dell'estradosso della trave di coronamento. Il cordolo di testata in calcestruzzo armato non viene modellato ma se ne assume il carico permanente equivalente in testa alla paratia.

Sarà considerata inizialmente una prima fase in cui si riporta la condizione geostatica, coincidente con la configurazione a riposo nella quale viene riprodotto lo stato tensionale supposto esistente nel terreno prima di ogni intervento. In tale fase vengono eseguiti gli elementi verticali. Si suppone in pratica che l'inserimento della parete, prima dello scavo, perturbi di poco lo stato tensionale nel terreno.

9.7.2 Analisi dei risultati

Si riporta nelle figure seguenti un quadro di sintesi dei risultati ottenuti che sono riportati al metro lineare. È da tener debitamente in conto che, gli stati limite relativi al raggiungimento delle resistenze negli elementi strutturali (rottura per flessione/taglio) sono verifiche STR da svolgersi secondo la combinazione SLU A1+M1+R3. Pertanto, le verifiche strutturali verranno condotte con riferimento alle sollecitazioni desunte nella combinazione SLU A1+M1+R3,

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 142 di 159</p>
---	---

mentre le azioni derivanti dalle combinazioni GEO SLU A2+M2+R1/SLOPE A2+M2+R2 sono da ritenersi irrilevanti per tale scopo.

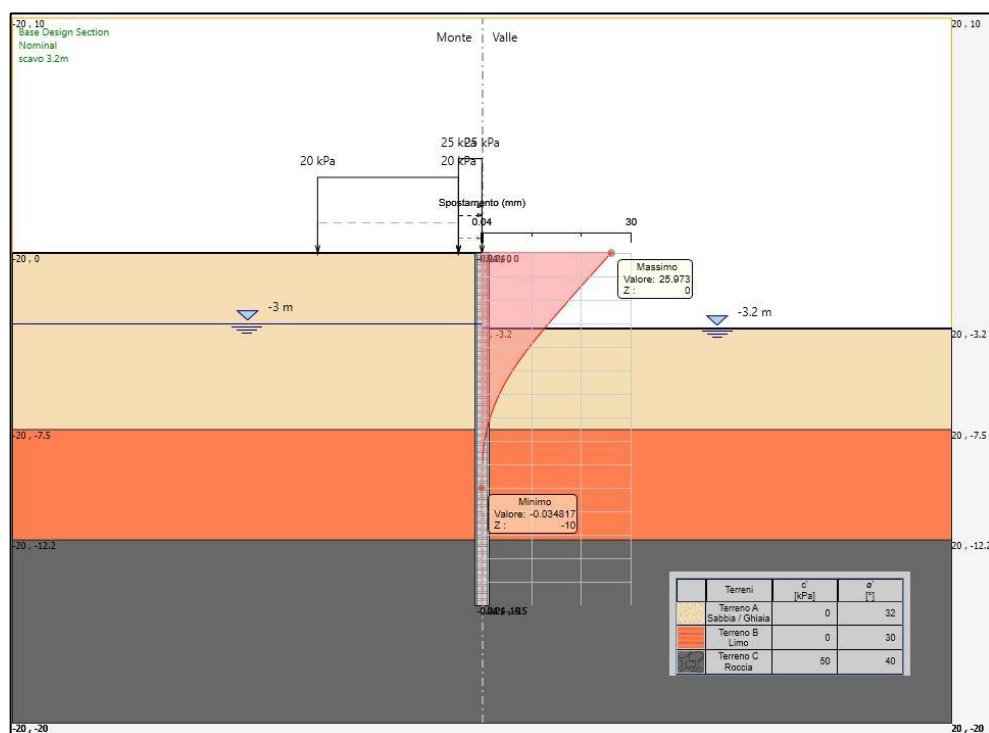


Fig. 9.88: Spostamenti SLE ($s_{max} = 25.9 \text{ mm}$)

Dal diagramma degli spostamenti agli SLE sono stati ottenuti i valori massimi in testa all'opera. Tali valori risultano limitati e opportunamente distanti dalla soglia massima che possono produrre il raggiungimento delle condizioni di stato limite d'esercizio per le strutture.

Salvo casi particolari (edifici particolari come le centrali nucleari) cedimenti e spostamenti orizzontali immediatamente a tergo dell'opera di sostegno inferiori all'1.0% dell'altezza di scavo per di più immediati perché in terreni granulari, sono comunemente ritenuti ampiamente accettabili (fuori terra della paratia, Peck, 1969; Clough & O'Rourke, 1990).

In tale situazione i valori dedotti numericamente per gli spostamenti risultano trascurabili in quanto lo scavo è stato schematizzato per valutare le sollecitazioni sulla paratia ed effettuare le verifiche di sicurezza sia geotecniche che statiche e nella realtà a tergo dell'opera è comunque presente il terreno.

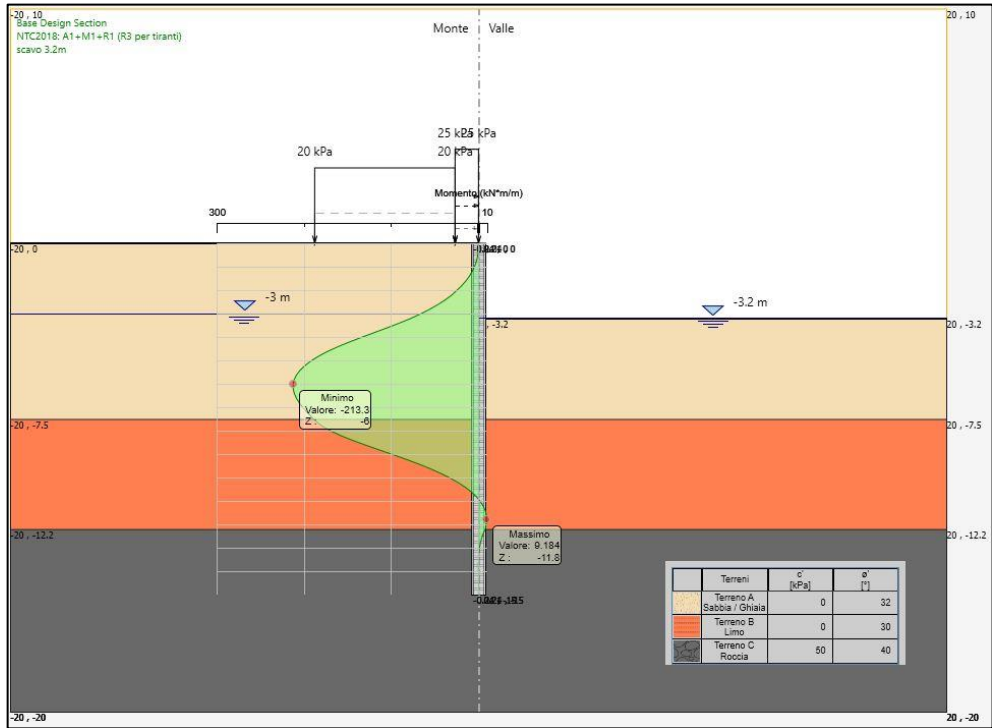


Fig. 9.89: Momento flettente SLU_A1+M1+R1 ($M_{max} = -213 \text{ kN/m}$)

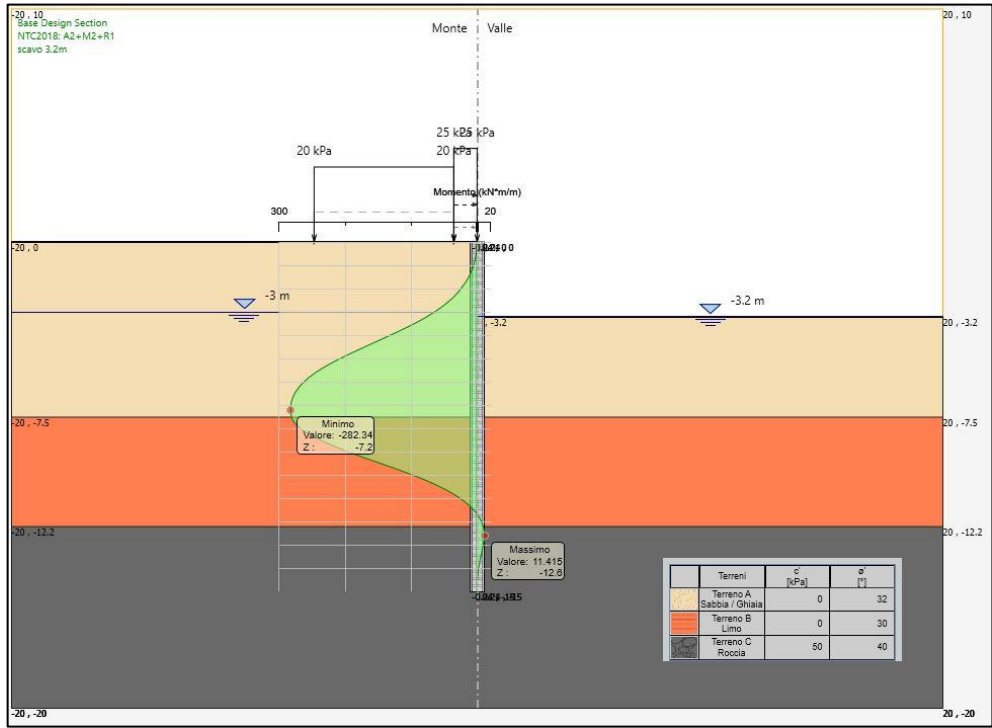


Fig. 9.90: Momento flettente SLU_A2+M2+R1 ($M_{max} = -283.3 \text{ kN/m}$)

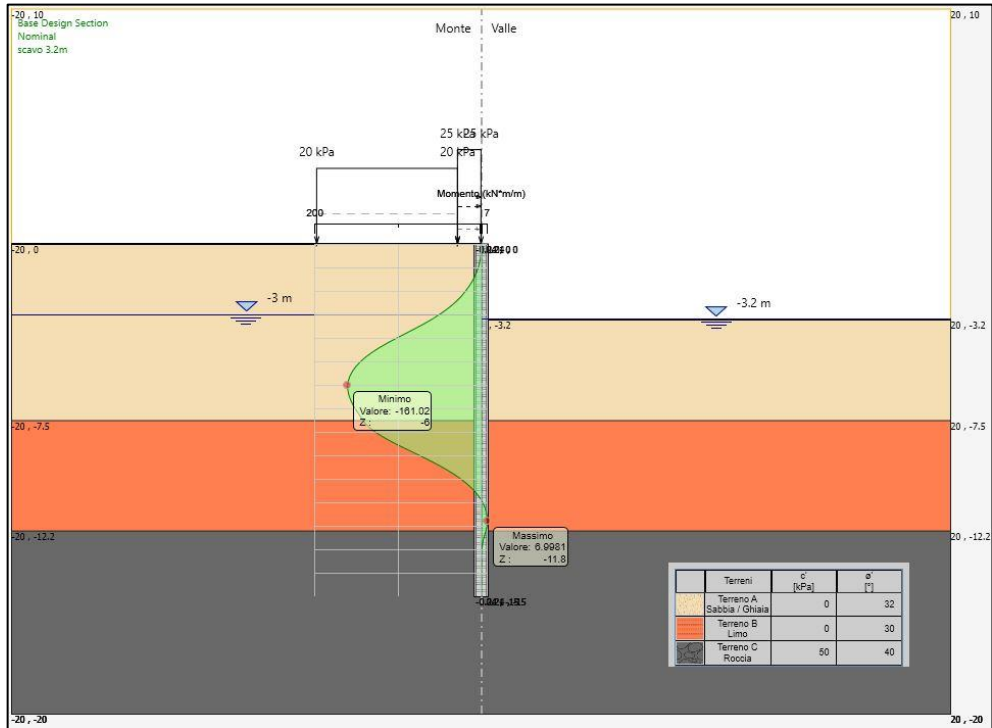


Fig. 9.91: Momento flettente SLE ($M_{max} = -161 \text{ kN/m}$)

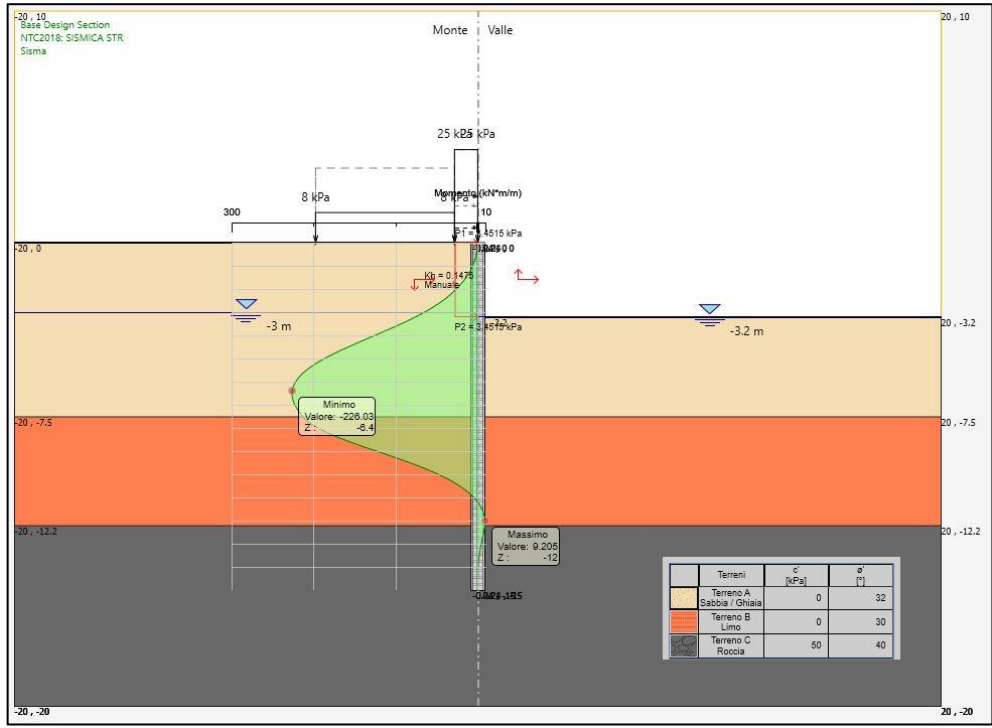


Fig. 9.92: Momento flettente SLV ($M_{max} = -226 \text{ kN/m}$)

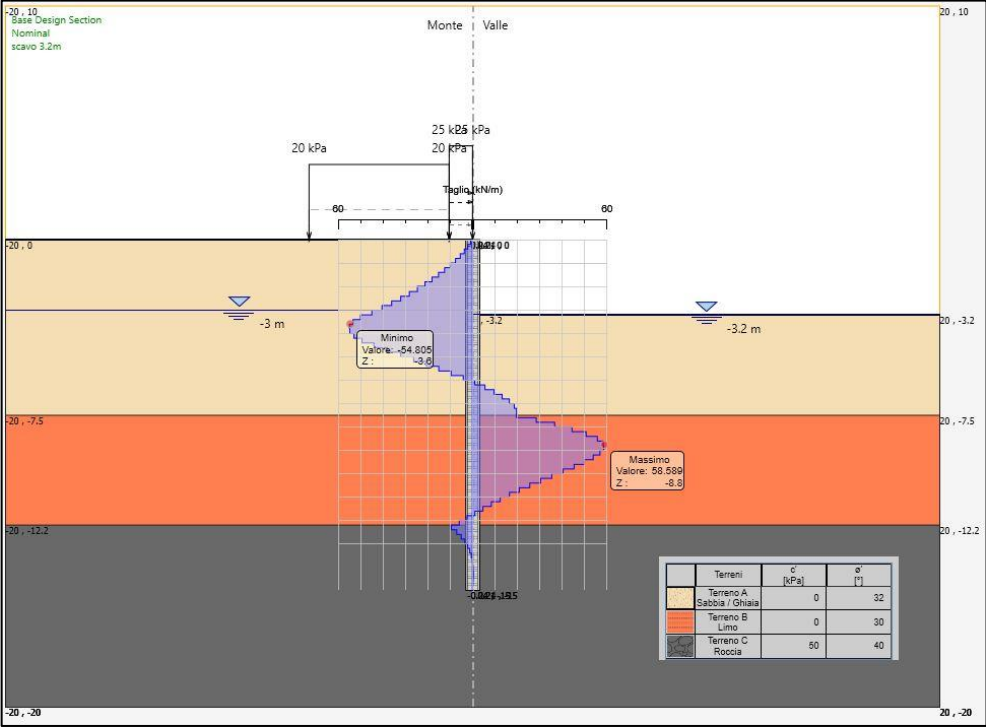


Fig. 9.93: Taglio SLE ($V_{max} = 58.6 \text{ kN}$)

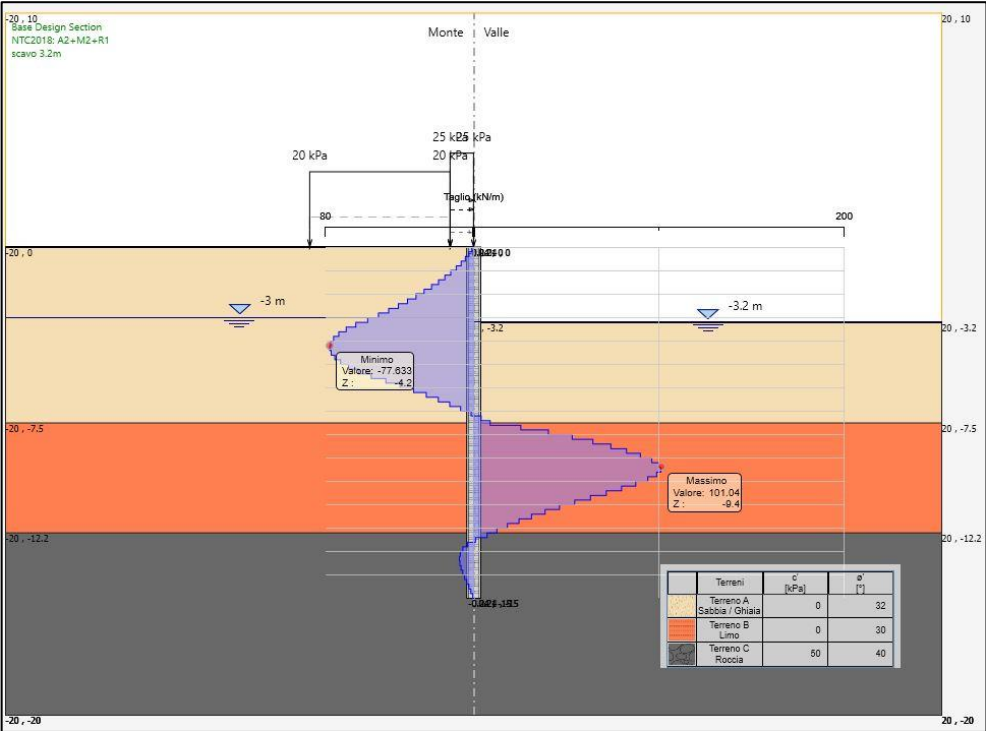
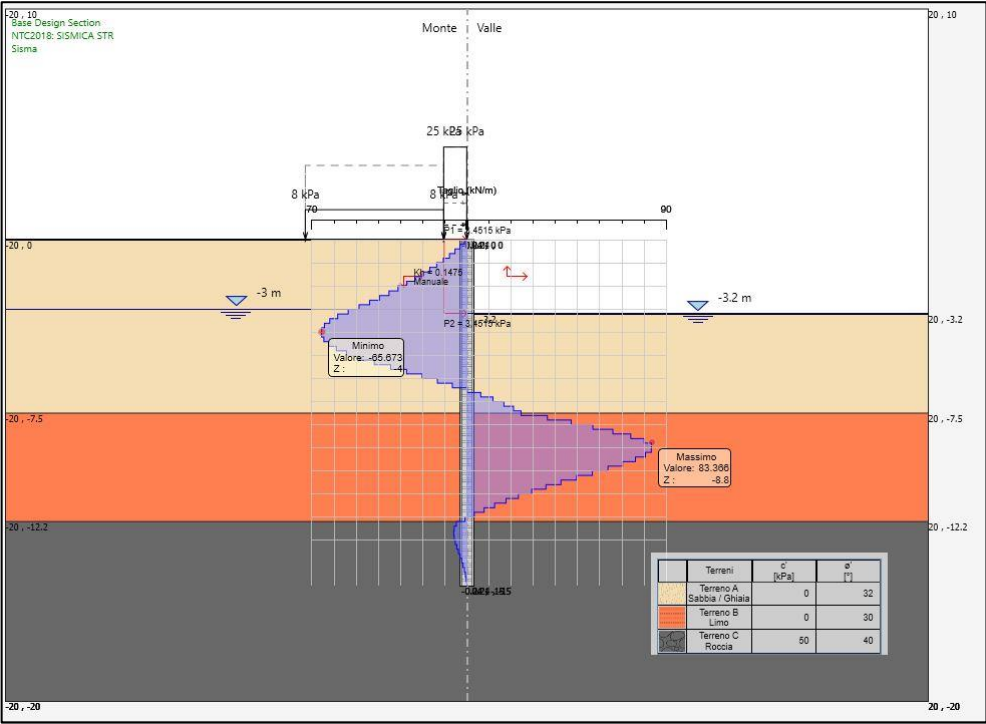
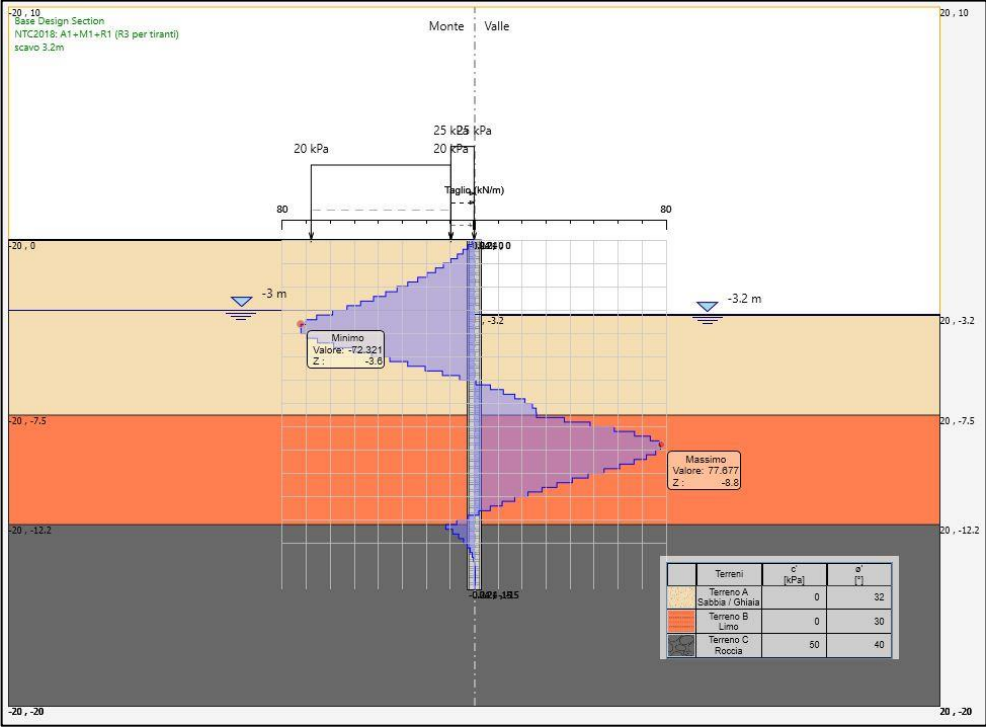


Fig. 9.94: Taglio SLU_A2+M2+R1 ($V_{max} = 101 \text{ kN}$)



A seguire si riporta la risultante delle spinte, per la SLU_A2+M2+R1 e per la SLV, in corrispondenza della massima altezza di scavo.

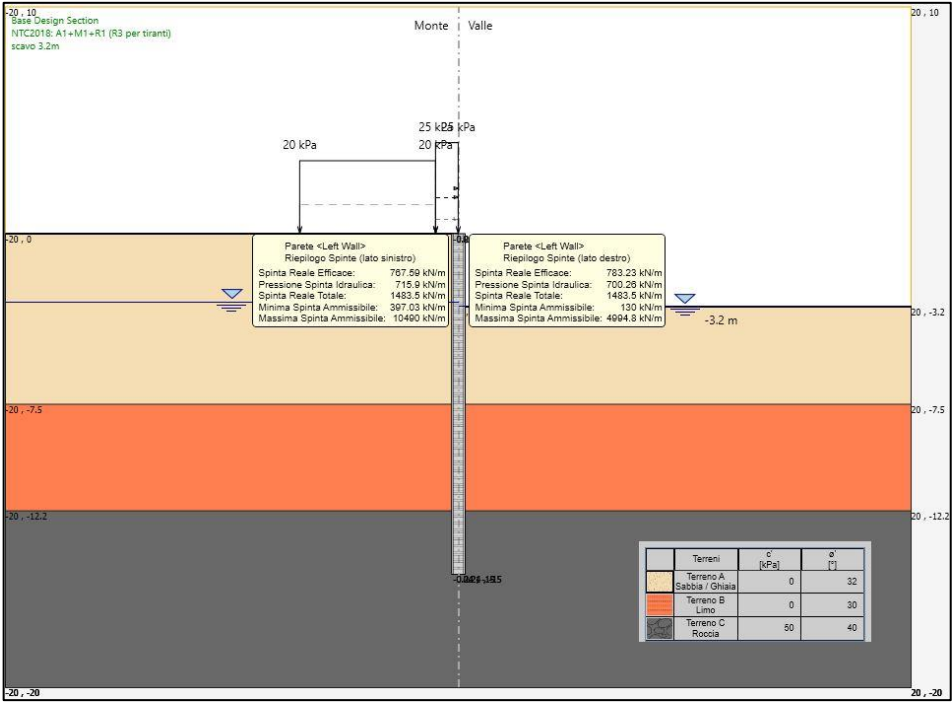


Fig. 9.97: Riepilogo Spinte SLU_A1+M1+R1

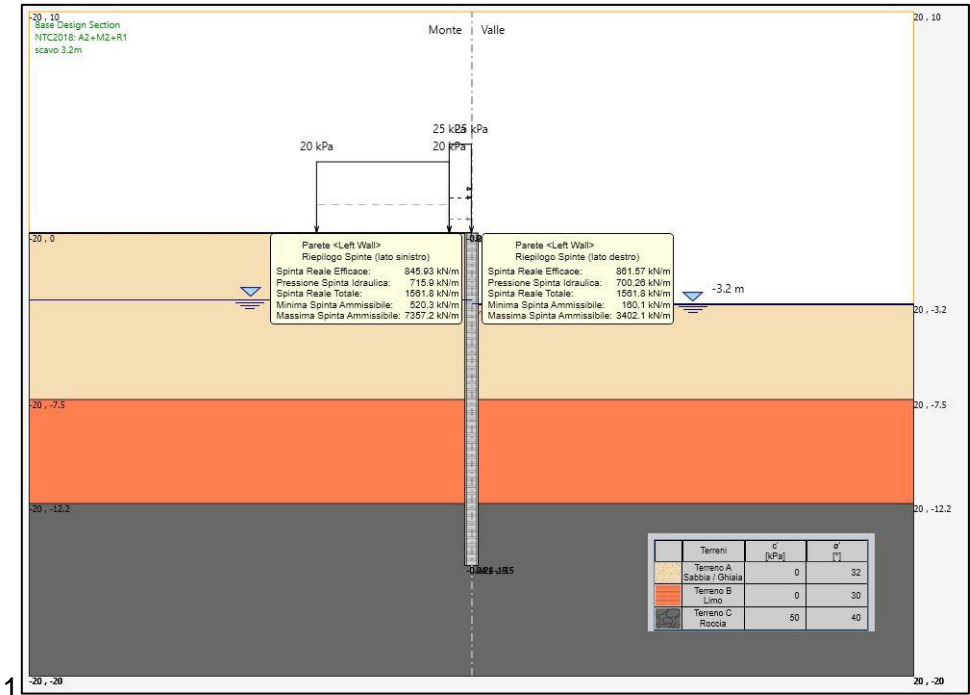


Fig. 9.98: Riepilogo Spinte SLU_A2+M2+R1

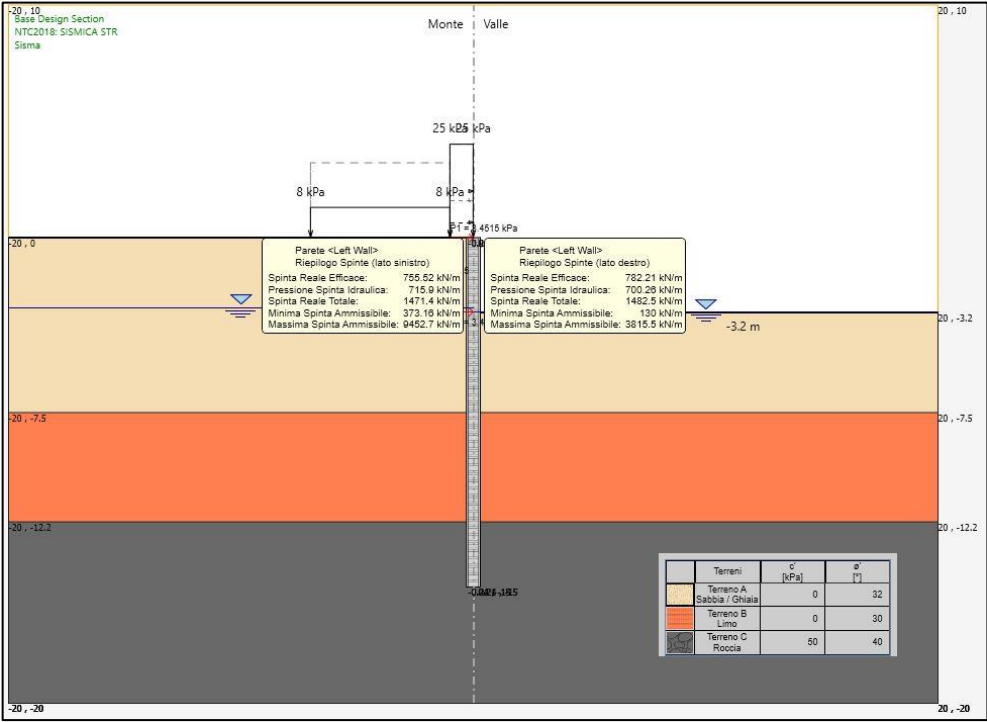


Fig. 9.99: Riepilogo Spinte SLV

A valle, la risultante delle spinte risulta minore della resistenza passiva di progetto.

I coefficienti parziali di sicurezza γ_M e γ_R che si riferiscono all'approccio di calcolo prescelto risultano implementati nelle sollecitazioni.

A seguire si riporta la verifica di stabilità globale.

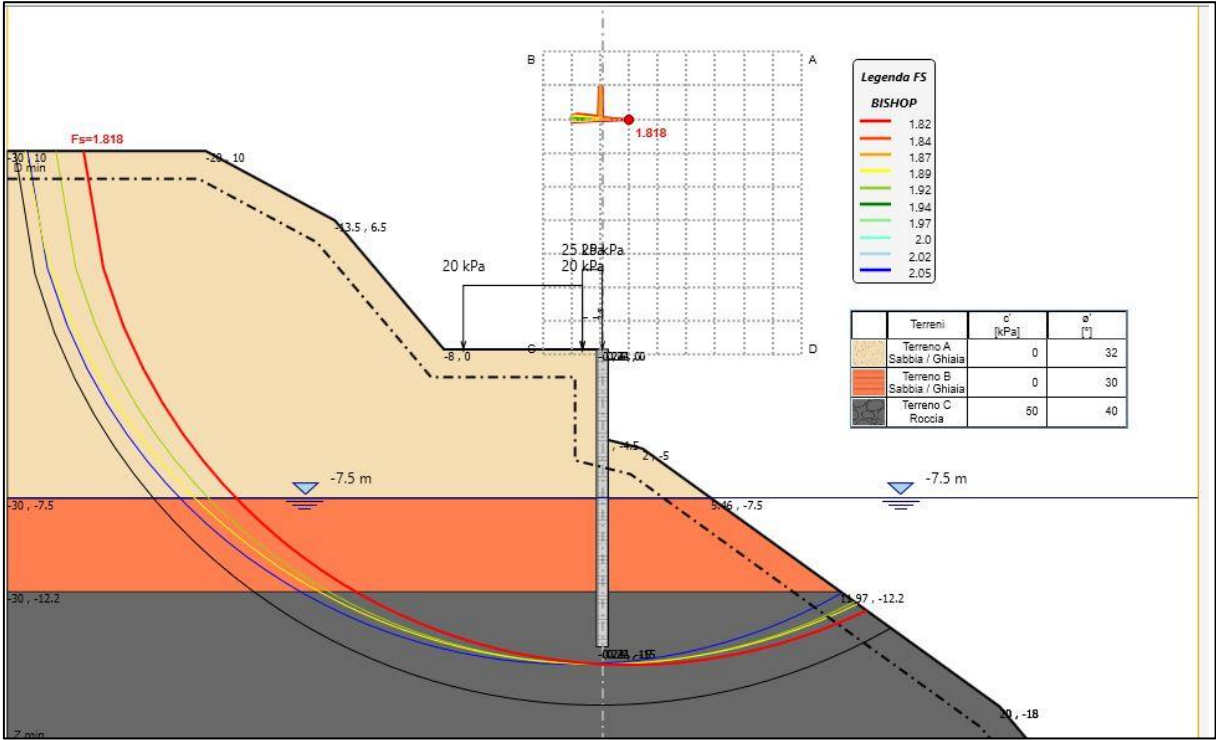


Fig. 9.100: Verifica di stabilità globale SLU_A2+M2+R2

Nel diagramma sono riportati i risultati delle analisi in termini di griglia dei centri di rotazione indagati con la rappresentazione delle isosfaliche (curve ad eguale fattore di sicurezza), di superficie critica e di associato coefficiente di sicurezza FS.

Si osserva che in condizioni statiche SLU_A2+M2+R2 il coefficiente di sicurezza risulta superiore ai minimi livelli di sicurezza prefissati dalla norma $FS_{adm} = \gamma_R = 1.1$.

9.7.3 Verifica di resistenza paratia

Il palo di lunghezza è armato con 16 ϕ 24 longitudinali ed una spirale ϕ 12/10.

9.7.3.1 Verifica a flessione SLU

Nella verifica di resistenza a flessione non si tiene conto a favore di sicurezza delle azioni assiali permanenti dovute al peso del palo alla quota in cui si massimizza il momento flettente sollecitante. Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il momento sollecitante ed il momento resistente con il relativo dominio di resistenza.

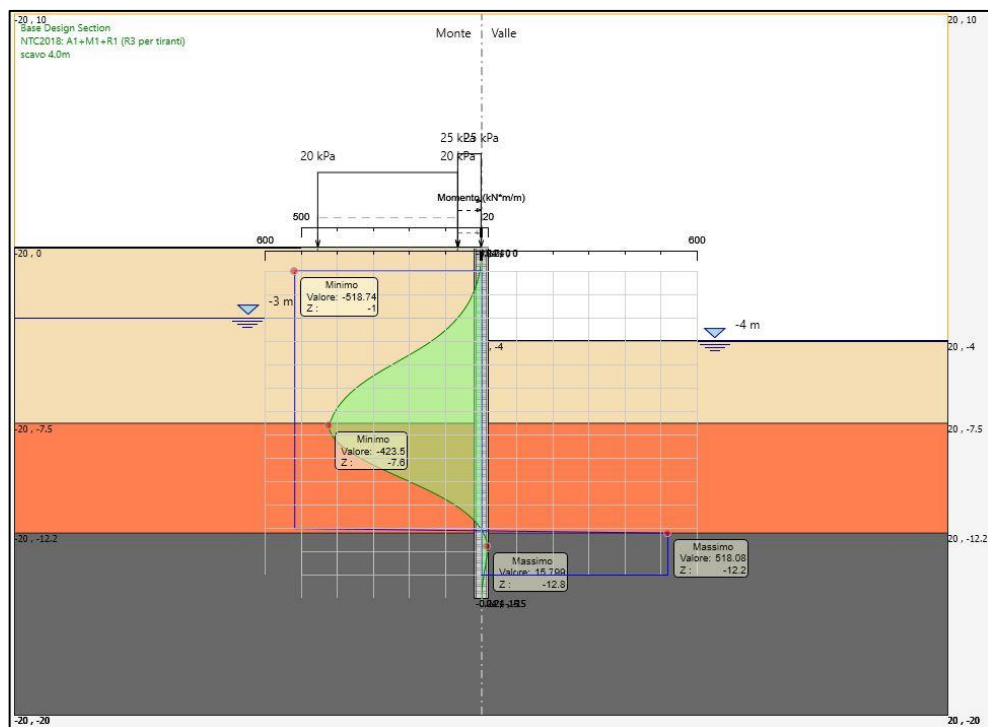


Fig. 9.101: Verifica a flessione retta SLU_A1+M1+R1

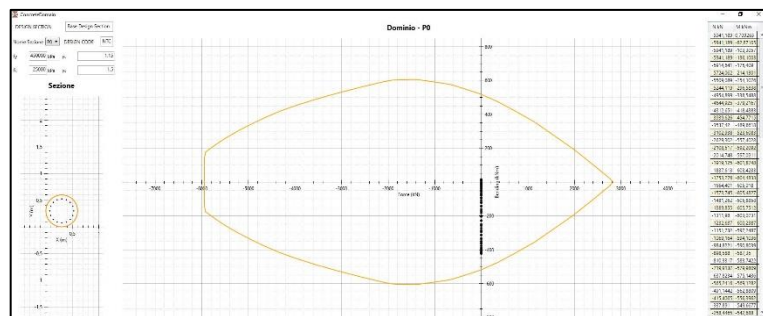


Fig. 9.102: Dominio di resistenza

Analogamente si riporta il confronto fra momento sollecitante e resistente nella SLV.

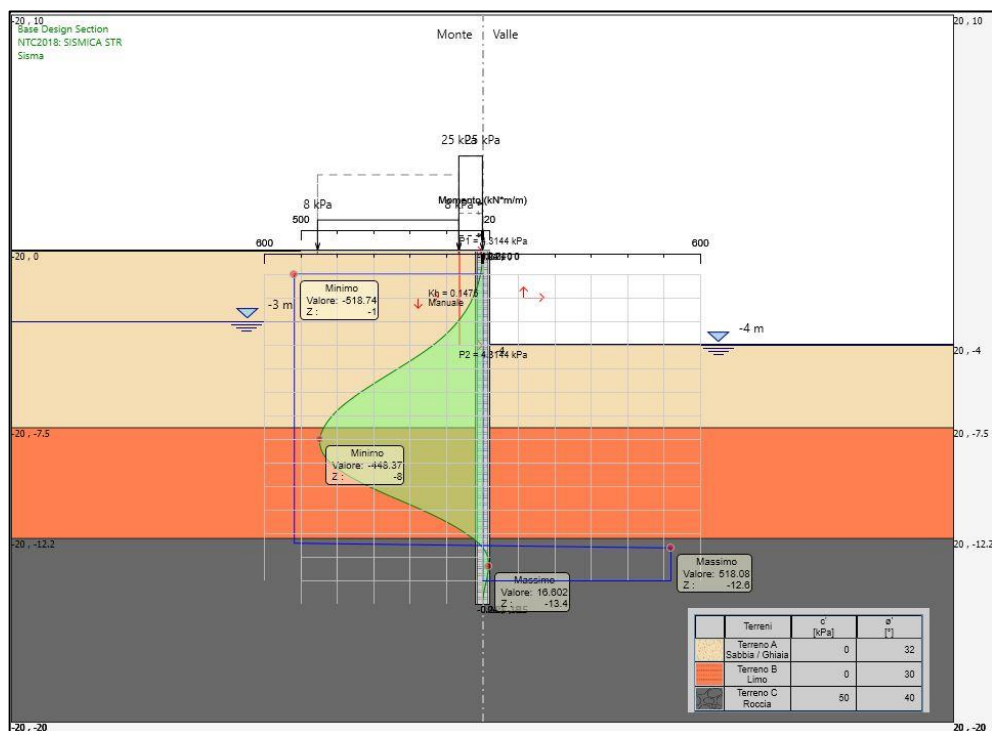


Fig. 9.103: Verifica a flessione retta SLV

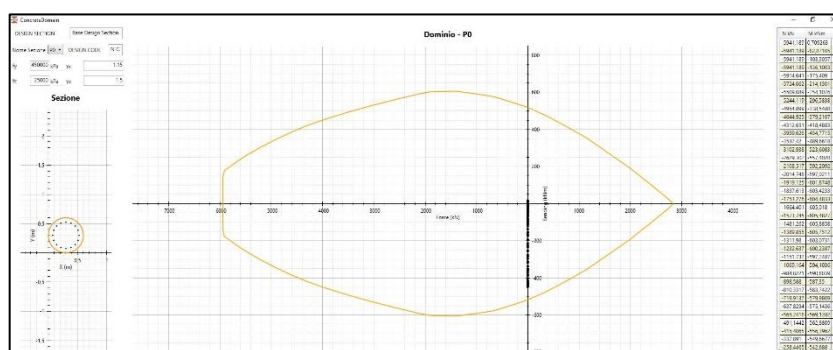


Fig. 9.104: Dominio di resistenza

Dal confronto fra massimo valore del momento flettente sollecitante ed il momento resistente di progetto, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

9.7.3.2 Verifica a taglio SLU

Nel diagramma a seguire è riportato per la combinazione SLU_A1+M1+R1 il taglio sollecitante e quello resistente.

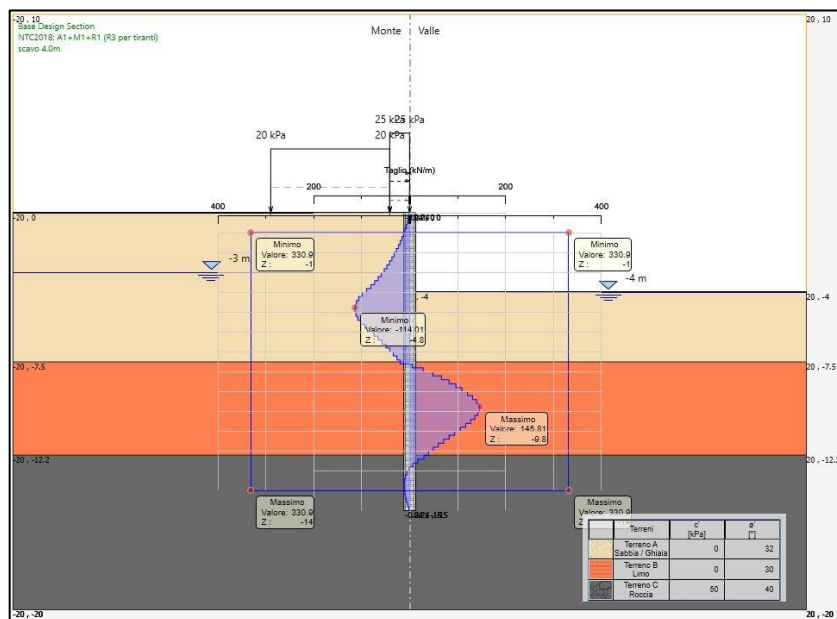


Fig. 9.105: Verifica a taglio SLU_A1+M1+R1

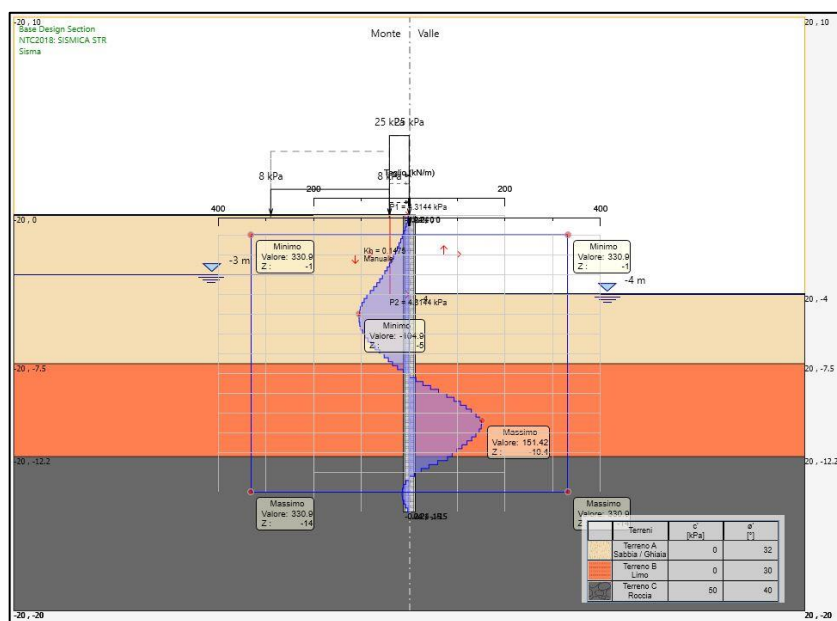


Fig. 9.106: Verifica a taglio SLV

Dal confronto fra massimo valore del taglio sollecitante e resistente, si evince il rispetto della condizione. La verifica a flessione risulta soddisfatta.

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 153 di 159
--	---

9.7.3.3 Verifiche SLE

Secondo quanto previsto dalle norme per le verifiche agli SLE andrà verificato che il valore della tensione massima nel calcestruzzo $\sigma_{c,max}$ soddisfi le relazioni $\sigma_{c,max} \leq 0.45 f_{ck}$ (nella combinazione quasi permanente) e $\sigma_{c,max} \leq 0.60 f_{ck}$ (nella combinazione rara) in cui f_{ck} è la resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 giorni.

Occorre verificare anche che la tensione massima nelle armature $\sigma_{s,max}$ soddisfi la relazione $\sigma_{s,max} \leq 0.80 f_{yk}$ nella combinazione rara con f_{yk} tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

Per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Lo stato limite di fessurazione viene fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Dal punto di vista generale debbono prendersi in considerazione le combinazioni di carico allo SLE quasi permanenti e frequenti, rispetto alle quali NTC 2018 fissa i valori nominali limite di apertura delle fessure.

Nel caso delle paratie in oggetto, si considerano condizioni ambientali ordinarie.

Le paratie sono armate con armatura ordinaria, da considerarsi poco sensibile nei confronti della corrosione.

CONDIZIONI AMBIENTALI	COMBINAZIONE DI AZIONI	ARMATURA POCO SENSIBILE	
		STATO LIMITE	w_d
ORDINARIE XC2	FREQUENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_3 = 0.4mm$
ORDINARIE XC2	QUASI PERMANENTE	APERTURA FESSURE	$\leq w_2 = 0.3mm$

Tabella 9.10 – Stato limite di fessurazione SLE: criteri di scelta.

A seguire si riporta la verifica nella condizione più gravosa.

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 30 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 16
Diametro barre: 2,4 [cm]
Copriferro (baric.): 7,4 [cm]

N° barre: 0 **Zoom:** _____

Tipo Sezione:
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
S.L.U. ☒ Metodo n

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo:
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Materiali

B450C
 σ_{su} : 67,5 %
 f_{yd} : 391,3 N/mm²
 E_s : 200.000 N/mm²
 E_s/E_c : 15
 $\sigma_{s,adm}$: 1,957 %
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm²

C30/37
 σ_{c2} : 2 %
 σ_{cu} : 3,5
 f_{cd} : 17
 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 $\sigma_{c,adm}$: 11,5
 τ_{co} : 0,6933
 τ_{c1} : 2,029

σ_c : -7,783 N/mm²
 σ_s : 161,6 N/mm²
 ϵ_s : 0,8079 %
d: 52,6 cm
x: 22,06 x/d: 0,4194
 δ : 0,9643

Vertici: 52
Verifica
N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

Dati	Verifica fessurazione sezione circolare	
σ_s	161 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
R_{ck}	40,0 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
φ_l	24 mm	Diametro barre longitudinali
φ_s	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	16	Numero ferri longitudinali
c	74 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
D	800 mm	Diametro
k_1	0,4	$kt=0,6 ; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k2=0,5 ; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_1	0,8	$k1=0,8 ; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
w	0,3 mm	Valore limite apertura fessure
Dati		
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
i	119 mm	Interasse ferri longitudinali
A_φ	452 mm ²	Area barra longitudinale
E_s	210000,0 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33642,8 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
α_e	6,24	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{cm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ρ_{eff}	0,0222	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm1}	0,000464	Deformazione unitaria media barre di calcolo
ϵ_{sm2}	0,000460	Deformazione unitaria media barre valore minimo
ϵ_{sm}	0,000464	Deformazione unitaria media
k_3	3,4	Coefficiente
k_4	0,4	Coefficiente
Δs_{max}	435,6 mm	Distanza massima tra le fessure
w_d	0,202 mm	Valore di calcolo apertura fessure

La verifica risulta ottemperata, dato che il valore di calcolo di apertura delle fessure $w_d = 0.202mm$ è inferiore al valore nominale $w_3 = 0.3mm$.

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 155 di 159</p>
---	---

9.7.4 Verifiche di resistenza trave di coronamento

Il cordolo di coronamento in c.a. di dimensioni 120x70 cm realizzato con calcestruzzo in classe C32/40 per assicurare la perfetta installazione delle barriere bordo laterale tipo H2W5 come da schede tecniche, è armato con ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$.

La veletta di dimensioni 75x35 su cui è direttamente collegata la barriera presenta ferri longitudinali $\phi 20/20$ e staffe $\phi 10/20$; viene disposta un armatura verticale per il collegamento dei due elementi formata da $\phi 20/20$ opportunamente ancorati nel getto.

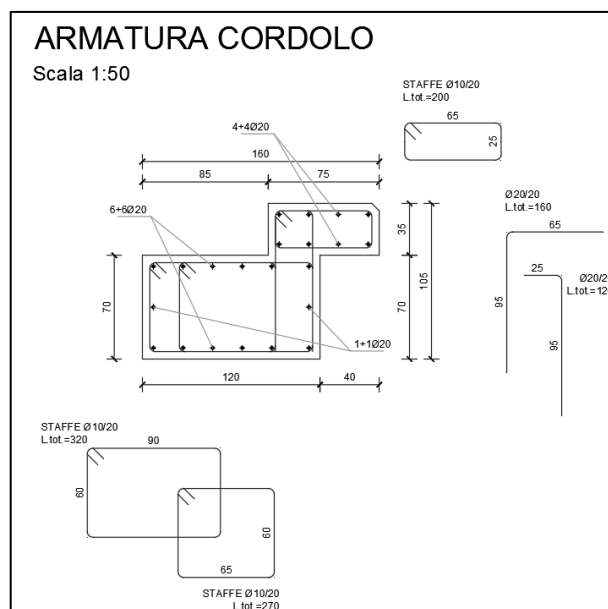


Fig. 9.107 – Armatura trave di coronamento

Per la verifiche strutturali si considerano le sollecitazioni derivanti dall'urto in combinazione eccezionale dovuto al traffico veicolare sopra i ponti (§3.6.3.3.2 DM2018):

“In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione pari a 100 kN. Essa rappresenta l'effetto dell'impatto da trasmettere ai vincoli e deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità dell'elemento o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.”

In particolare dalla geometria della paratia e dato un interasse fra i montanti della barriera di 2.0 m si avranno le seguenti sollecitazioni al metro lineare:

$$M_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN} \cdot 1.0 \text{ m}}{2} = 100 \text{ kNm}$$

$$V_{x,Ed} = \frac{200 \text{ kN}}{2} = 100 \text{ kN}$$

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 156 di 159</p>
---	---

DEFINIZIONE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40	[MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	32	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1,5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0,85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	40	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	3,0	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk0,05}$	2,1	[MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk0,95}$	3,9	[MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	33346	[MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{cl}	0,0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0,0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	18,13	[MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1,41	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19,2	[MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14,4	[MPa]

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005			
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1,15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000	[MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0,001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0,01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391,3	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	350	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[mm]
Copriferro	d'	50	[mm]
Altezza utile della sezione	d	300	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2		[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	20	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	5	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2		[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2		[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1571	[mm ²]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	153,66	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 157 di 159
---	---

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	100	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,82	[-]
		1,82	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0,005236	[-]
		0,005236	[-]

figura	6.3	Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)	
Legenda			
A Sezione considerata			
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	167,33	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	145,42	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	167,33	[kN]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[-]
Altezza utile della sezione	d'	300	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q,p}$	14,4	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Frequente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	100,0	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	350	[MPa]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	1000	[-]
Copriferro	d'	50	[kNm]
Altezza utile della sezione	d'	300	[kNm]
Area dell'armatura tesa	A_s	1571	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A_s'	1571	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	89,68	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	1319766568	[mm ⁴]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	6,79	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	239,05	[MPa]

LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno	P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 158 di 159
---	---

9.7.5 Verifica portanza palo

Di seguito si riporta la verifica a carico limite verticale del palo assumendo i carichi seguenti opportunamente amplificati in combinazione SLU:

- G_1 peso proprio palo $\varnothing 600$ $L=8.0$ m comprensivo di $\gamma_{G1}=1.50$
- G_2 cordolo di coronamento $L=2.0$ m pari all'interasse dei pali ($i=2.0$ m) e permanenti portati (pavimentazione 0.35 m e barriera) con $\gamma=1.50$ e $\rho=25\text{kN/m}^3$ a favore di sicurezza
- Q_k da schema di carico 2 ($=200\text{kN}$) considerato agente direttamente sulla testa del palo a favore di sicurezza

Nd= Nstr+Wd		
Nstr	300	Carico strutturale già amplificato (γ/G)
Wd	287,837	Peso proprio Palo già amplificato (γ/G)
TOT	588	

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI MEDIO DIAMETRO

CANTIERE:

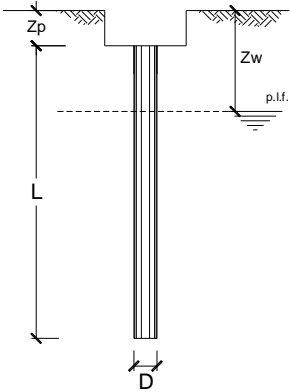
OPERA:

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	0.60	(m)	Area del Palo (A_p):	0.283	(m^2)
Quota testa Palo dal p.c. (z_p):	0.00	(m)	Quota falda dal p.c. (z_w):	3.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	588	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		Lpalo =	15.00	(m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_b	γ_s	$\gamma_{s\text{ traz}}$
SLU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	○	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DMB8		○	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		●	1.00	1.00	1.30	1.15	1.25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	T.A.	prog.
ξ_{sk}	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_{sk}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00



PARAMETRI MEDI					
Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno		
			γ (kN/m^3)	c'_{med} (kPa)	ϕ'_{med} ($^\circ$)
1	7.50	Terreno A	19.50	0.0	32.0
2	4.70	Terreno B	20.00	0.0	30.0
3	2.80	Terreno C	25.00	50.0	40.0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
	0.62		
	0.58		
	0.84		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

<p>LAVORI DI RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITA' DELLA VIABILITA' ALTERNATIVA ALL'ITINERARIO S.S.3 BIS TRA PIEVE SANTO STEFANO NORD E CANILI Lotto 1 Stralcio 1 per l'esecuzione dei lavori sul tratto di 1,2 Km a nord di Valsavignone CUP I27H23000190001 CUI L80000610511202400013 PROGETTO ESECUTIVO Relazione di calcolo delle opere di sostegno</p>	<p>P00_OS00_STR_RE01_ B - REL CALCOLO Data: Giugno 2024 Pag. 159 di 159</p>
---	--

[illegible]

RISULTATI

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 587,8 \text{ (kN)}$$

base	$R_{b;cal\ med}$	=	9709,9 (kN)
laterale	$R_{s;cal\ med}$	=	,0 (kN)
totale	$R_{c;cal\ med}$	=	9709,9 (kN)

base	$R_{b;cal\ min} =$	9709,9 (kN)
laterale	$R_{s;cal\ min} =$,0 (kN)
totale	$R_{c;cal\ min} =$	9709,9 (kN)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal \text{ med}}/\xi_3; R_{b,cal \text{ min}}/\xi_4) = 5711,7 \text{ (kN)}$$
$$R_{C,d} = 4393,6 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 7,47$$

9.7.6 Prove di carico su pali

PALO INTERVENTO B.1.1				
	h (m)	b (m)	p (kN/m ³)	kN/m ²
G₁ – pesi propri				
Palo Ø600 L=15.0	0.60		25.00	106.0
Cordolo di coronamento (L=i=2.0 m)	0.70	1.00	25.00	35.0
				141.0
G₂ – permanente portato				
Pavimentazione (L=i=2.0 m)	0.35		20.00	14.0
Barriera (L=i=2.0 m) (Peso=0.5 kN/ml)				1.0
				15.0
Q_k – variabile traffico				
Schema 2				200.0
				200.0

Il carico complessivo agli SLE rara sul singolo palo è pari a: **356.0 kN**