

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
ALBERTO BITOSSO
IL DIREGENTE ESECUTORE DEL CONTRATTO
ANTONIO ROSSA

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



ITALFERR SPA

PROGETTO STRUTTURALE

RIMESSA GAVETTE

RELAZIONE TECNICA INTEGRATIVA

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Alessandro Peresso

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

E 2 1 D 0 6 D 1 0 R T F A 1 4 0 0 0 0 2 B

R	Descrizione	Redatto	Data	Verifica	Data	Approv	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P.Luciani 	08.04.22	B. Lipo	08.04.22	R.Lerra	08.04.22	A. Peresso
B	Emissione Esecutiva	P.Luciani 	18.05.22	B. Lipo	18.05.22	R.Lerra	18.05.22	

File: NOME FILE

n. Elab.:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>2 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	2 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	2 di 111								

Sommario

1	PREMESSA.....	6
2	INQUADRAMENTO.....	6
3	DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	8
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	11
5	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	13
6	DESCRIZIONE DELLO STATO DI CONSISTENZA DEL MURO.....	14
7	INTERVENTI DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO.....	20
7.1	RICUCITURA DI PORZIONI DI MURATURA DEGRADATE.....	20
7.2	RIPRISTINO DEL COPRIFERRO.....	24
8	INTERVENTI DI VARIANTE.....	24
8.1	OPERE PROVVISORIALI SCAVO IN FONDAZIONE.....	24
8.2	VASCHE DI LAMINAZIONE.....	28
9	MODELLAZIONE STRUTTURALE – MURO DI CONTENIMENTO.....	28
9.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	29
9.2	PARAMETRI SISMICI.....	31
9.3	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	33
9.4	ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO.....	34
9.4.1	<i>Sovraccarico permanente.....</i>	<i>34</i>
9.4.2	<i>Sovraccarico accidentale.....</i>	<i>34</i>
9.4.3	<i>Azioni sismiche.....</i>	<i>34</i>

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 3 di 111

9.5	CALCOLO DELLA SPINTA SUL MURO	37
9.5.1	<i>Valori caratteristici e valori di calcolo</i>	37
9.5.2	<i>Metodo di Culmann</i>	37
9.5.3	<i>Spinta in presenza di falda</i>	38
9.5.4	<i>Spinta in presenza di sisma</i>	39
9.6	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI TIPO GEOTECNICO (SLU-GEO)	40
9.6.1	<i>Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno</i>	40
9.6.2	<i>Verifica a scorrimento dell'opera lungo il piano di posa</i>	41
9.6.3	<i>Verifica a collasso per carico limite del complesso opera di sostegno-terreno</i>	42
9.6.4	<i>Verifica a ribaltamento dell'opera come corpo rigido</i>	44
9.7	ANALISI E VERIFICHE DEL MURO	46
9.8	VERIFICHE GEOTECNICHE	47
9.9	DICHIARAZIONE DECONDO NTC 2018 (§ 10.2)	61
10	MODELLAZIONE STRUTTURALE – VASCA DI LAMINAZIONE	63
10.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	63
10.1.1	<i>Calcestruzzo</i>	63
10.1.2	<i>Acciaio</i>	63
10.1.3	<i>Copriferri Minimi</i>	64
10.2	ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO	64
10.2.1	<i>Peso Proprio Degli Elementi Strutturali G1</i>	64
10.2.2	<i>Sovraccarichi Permanenti G2</i>	64

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 4 di 111

10.2.3	<i>Sovraccarichi Accidentali Q</i>	64
10.3	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	64
10.3.1	REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN PLANTA.....	65
10.3.2	REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA.....	65
10.3.3	<i>Stato Limite di Danno</i>	68
10.3.4	<i>Stato Limite di salvaguardia della Vita</i>	68
10.3.5	<i>Metodo di Analisi</i>	69
10.3.6	<i>Valutazione degli spostamenti</i>	70
10.3.7	<i>Combinazione delle componenti dell'azione sismica</i>	71
10.3.8	<i>Eccentricità accidentali</i>	71
10.4	COMBINAZIONI DI CARICO.....	72
10.4.1	<i>Stato Limite Di Esercizio</i>	73
10.4.2	<i>Stato Limite Ultimo</i>	74
10.5	CRITERI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI.....	75
10.5.1	<i>Verifiche agli stati limite di esercizio</i>	75
10.5.2	<i>Verifiche agli stati limite ultimi</i>	77
10.6	MODELLO STRUTTURALE.....	79
10.7	ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI.....	81
10.7.1	<i>Sollecitazioni</i>	81
10.8	VERIFICHE STRUTTURALI.....	86
10.8.1	<i>Verifiche a flessione</i>	86

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 5 di 111

10.8.2	<i>Verifiche a taglio</i>	87
10.8.3	<i>Verifiche a fessurazione</i>	88
10.8.4	<i>Verifica delle tensioni</i>	89
10.8.5	<i>Verifica deformabilità</i>	90
10.8.6	<i>Verifica a carico limite</i>	91
10.8.7	<i>Verifica dei cedimenti</i>	92
11	MODELLAZIONE STRUTTURALE – PARATIA DI PALI.....	94
11.1	MODELLAZIONE NUMERICA.....	94
11.1.1	<i>Programmi per l'analisi automatica</i>	94
11.1.2	<i>Modello di calcolo per la paratia</i>	94
11.2	ANALISI DEI CARICHI.....	97
11.2.1	<i>Condizioni di carico elementari</i>	97
11.2.2	<i>Peso Proprio</i>	97
11.2.3	<i>Spinta statica delle terre</i>	97
11.2.4	<i>Spinta da sovraccarico accidentale stradale</i>	99
11.2.5	<i>Azione sismica</i>	99
11.2.6	<i>Combinazioni di carico</i>	100
11.3	ANALISI DEI RISULTATI PARATIA.....	102
11.3.1	<i>Analisi delle sollecitazioni</i>	102
11.3.2	<i>Analisi degli spostamenti</i>	106
11.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	108

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>6 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	6 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	6 di 111								

1 PREMESSA

La presente relazione riguarda le valutazioni integrative eseguite sul progetto strutturale della rimessa e deposito Gavette a Genova. A corredo della documentazione consegnata in sede di progettazione definitiva si allegano le considerazioni e i calcoli strutturali eseguiti sul muro di contenimento adiacente alla struttura del Fabbricato Deposito e Parcheggio FA14A/B già indagata in precedenza.

Vengono di seguito elencati gli elaborati da rimettere a seguito dell'aggiornamento

N.	Disciplina	Titolo Elaborato	Codifica elaborato
-	STRUTTURE	RELAZIONE INTEGRATIVA	E21D06D10RTFA1400002B
118	STRUTTURE	PLANIMETRIA GENERALE	E21D06D10PAFA1400001D
119	STRUTTURE	UNIFILARE STRUTTURE UN ELEVAZIONE - RIMESSA E PALAZZINA C	E21D06D10PAFA1403001D
120	STRUTTURE	CARPENTERIA FONDAZIONI - RIMESSA E PALAZZINA C	E21D06D10PAFA1402002D
123	STRUTTURE	CARPENTERIA DI COPERTURA - RIMESSA 1 DI 2	E21D06D10PAFA1403003D
126	STRUTTURE	SEZIONI STRUTTURALI	E21D06D10WAF140X001D
128	STRUTTURE	PARTICOLARI COSTRUTTIVI	E21D06D10BCFA1400001D
-	STRUTTURE	RELAZIONE TECNICA RILIEVO STATO DI FATTO E INDAGINI ESEGUITE	E21D06D10RTFA1400003A

2 INQUADRAMENTO

Il lotto in esame si trova nel Comune di Genova, lungo il percorso del Torrente Bisagno, ubicato a valle di due profili collinari; sul fronte est dell'edificio si trova una zona libera da ostacoli delimitata dal torrente.

All'interno dell'area di progetto è stata rilevata la presenza di un muro di contenimento a gravità, di delimitazione con il retro della Scuola adiacente, posta ad una quota di +4.8m sopra il piano campagna del piazzale del deposito di progetto da realizzare.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 8 di 111

Figure 2 - Inquadramento Muro di contenimento

3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento in oggetto è costituito da tre edifici: il deposito, è costituito da una tettoia ospitante al piano terra la rimessa per i mezzi di trasporto pubblico e in copertura un'area sportiva attrezzata con campi da gioco e aiuole diffuse. Il corpo di fabbrica è formato da una struttura ad un piano intelaiata due livelli, in parte in calcestruzzo armato e in parte in carpenteria metallica. La struttura in acciaio accoglierà una copertura fotovoltaica.

La palazzina servizi FA01C è adiacente alla copertura in c.a. ed ha l'accesso diretto alla copertura della stessa, separata da essa per uno giunto di 20cm, il fabbricato si eleva per tre piani fuori terra e presenta anche un livello mezzanino a quota 1,5m; l'edificio ha una tamponatura in laterizio e cappotto termico, rivestito con un sistema a facciata continua in pannellature di alluminio.

La palazzina servizi FA01D è un edificio ad un solo piano fuori terra di ridotte dimensioni, con il piano terra a quota rialzata di 1,0m.

Nello stato di progetto l'edificio Deposito e Rimessa FA14A/B è posto in adiacenza al muro di contenimento oggetto della presente relazione, al fine di collegare il piano della copertura praticabile adibita a servizi ricreativi e pubblici, al piano strada della scuola antistante.



	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B

Figure 3 - Fotoinserimento Stato di Progetto

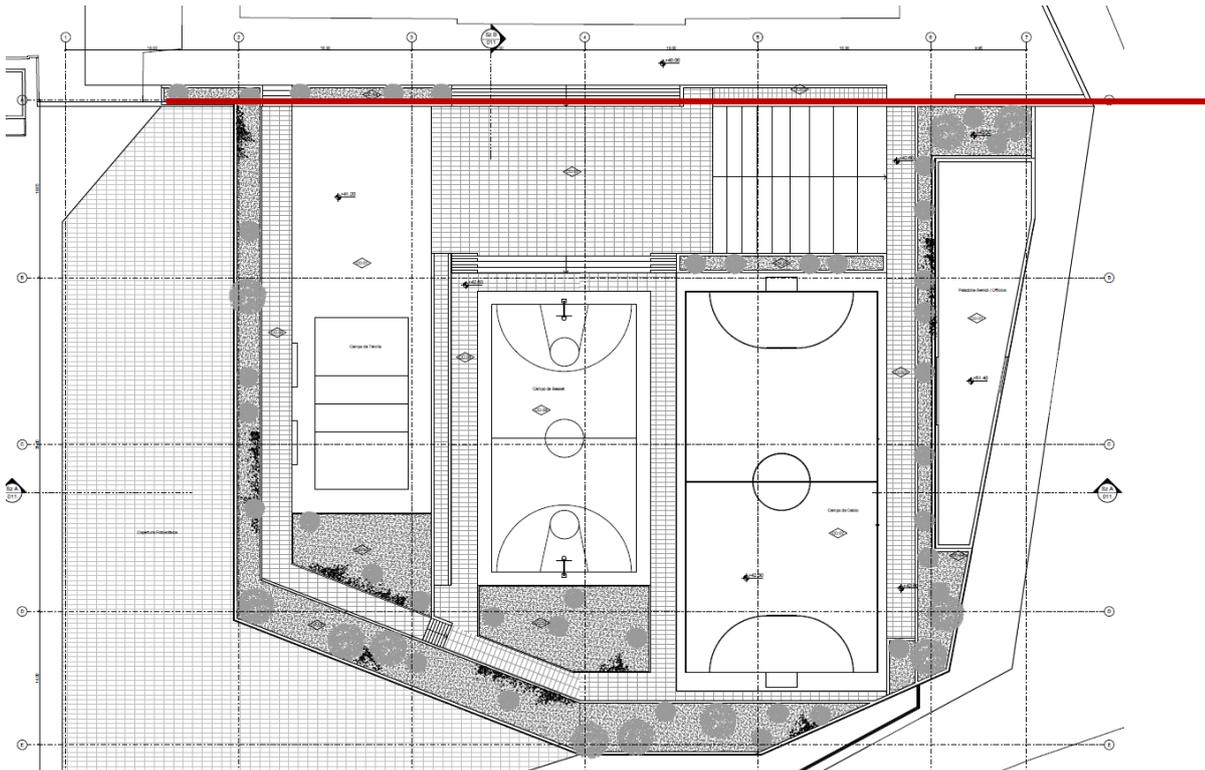


Figure 4 - Planimetria di copertura - Stato di Progetto Definitivo

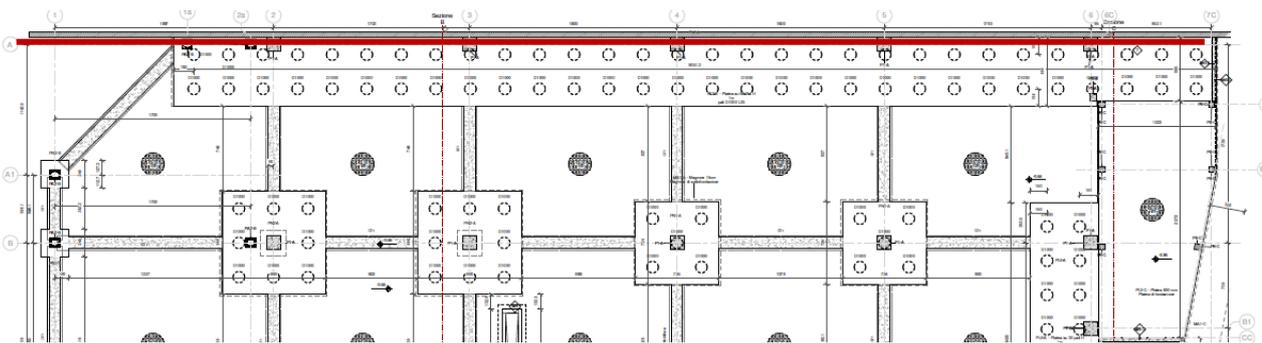
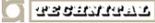


Figure 5: Stralcio della pianta delle fondazioni di progetto

Per gli interventi “di variante” esposti nella presente relazione, si rimanda al capitolo 7.

Confrontando il valore economico delle opere dedicate al risanamento e consolidamento del suddetto muro nel progetto definitivo e quello risultante dalle di seguito descritte misure di variante, si ottengono le

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>10 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	10 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	10 di 111								

seguenti conclusioni:

Valore Stimato opere di risanamento Progetto definitivo		
Voce di riferimento	Importo	Totale
VA.02.P85.T150.30	12121,20 €	
VA.02.P85.T050.10	206608,00 €	
		218.729,2 €

Valore Stimato opere di risanamento Progetto definitivo		
Voce di riferimento	Importo	Totale
Perforazione micropali subverticali ad incamicatura parziale in qualsiasi maniera D mm 190/240	28483,2 €	
Getto di micropali subverticali D mm 190/240	33106,2 €	
Posa in opera di armatura	19932,72 €	
Calcestruzzi opere di fondazione R25/30	1679,88 €	
Casseforme per calcestruzzo	3874,347 €	
Risanamento porzioni di calcestruzzo	120,6 €	
Restauro Cuci-scuci	185 €	
		87.381,95 €

Valore Stimato opere per Vasca di laminazione		
Voce di riferimento	Importo	Totale
Pali trivellati di grande diam mm 1000/2500	103.868 €	
Armatura in barre di acciaio	246.176 €	
Scavo comune con escavatore rocce sciolte. (1457,625 mc)	82.793,31 €	
Trasporto a discarica (1457,625 mc)	4.781 €	

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>11 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	11 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	11 di 111								

Acciaio in Barre	18.987,255 €	
Calcestruzzi opere di fondazione R32/40	68.580,39 €	
Casseforme per calcestruzzo	15.836,72 €	
		466.508,675

Si conclude che l'intervento avrà un impatto minore rispetto a quanto stimato nella fase precedente.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

A fronte delle indagini condotte in sito sia pregresse, sia eseguite nel 2021, si evince come sia principalmente presente un primo spessore costituito dalla presenza di un'alternanza di ghiaie sabbiose e limi argillosi corrispondenti ad una successione di depositi alluvionali del Torrente Bisagno e depositi eluvio-colluviali provenienti dal versante a Ovest; questi depositi si estendono fino al substrato roccioso in calcare alterato.

L'interpretazione delle indagini geognostiche disponibili condotte in sito e i risultati delle prove di laboratorio hanno consentito di definire l'andamento stratigrafico dei terreni dove sorgerà la nuova Rimessa Gavette. L'area è prevalentemente pianeggiante, ad una quota di circa 35m s.l.m.

La seguente figura riporta la pianta dell'area con indicata l'ubicazione delle prove in sito e gli edifici di nuova costruzione.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>12 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	12 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	12 di 111								

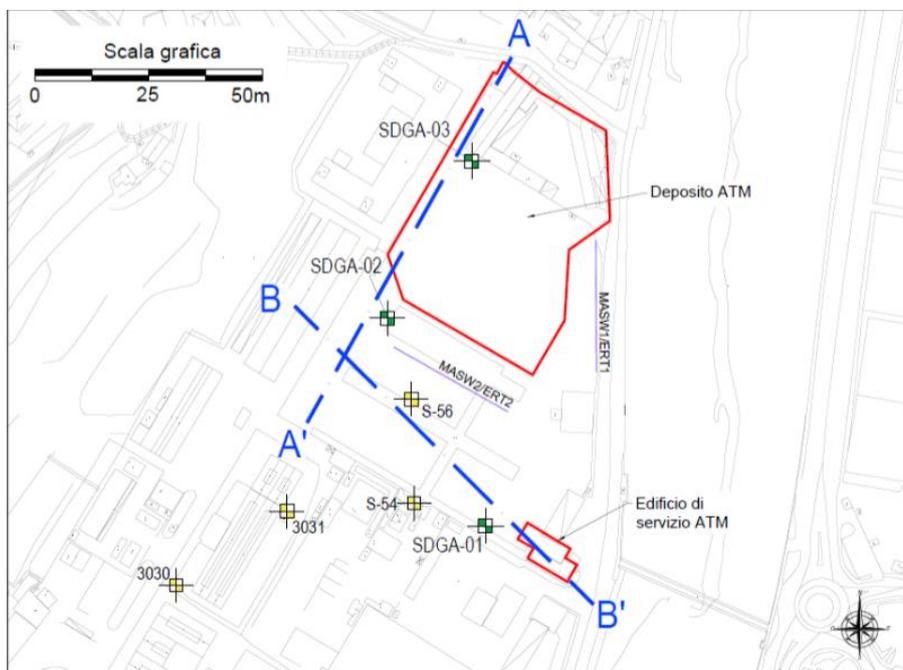


Figure 6 - Pianta su base topografica delle indagini a disposizione, dell'ingombro dei nuovi edificati. In blu la traccia dei profili geotecnici eseguiti.

L'acquifero trova sede nei depositi alluvionali grossolani dei primi metri e il suo livello può essere influenzato anche dal Fiume Bisagno. Il progetto non prevede opere interrato, ai fini del dimensionamento delle opere di fondazione potrà cautelativamente considerare una soggiacenza minima di 2-3m dal piano campagna.

Ai sensi dell'art.6.2.2. NTC 18, sono stati individuati n.2 modelli geotecnici di riferimento: uno associato all'edificio principale, l'altro, invece, associato all'edificio di servizio FA14D per l'adeguamento funzionale delle postazioni di lavoro/officina presenti nella rimessa.

Modello geotecnico del deposito FA140 e FA14C:

Ghiaia sabbiosa GS1 – spessore 4m; Limo – spessore 3m; Ghiaia sabbiosa GS2 – spessore 2m; Limo argilloso – spessore 1m; Calcere alterato – spessore 4,5m; Calcere – spessore 5,5m;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>13 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	13 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	13 di 111								

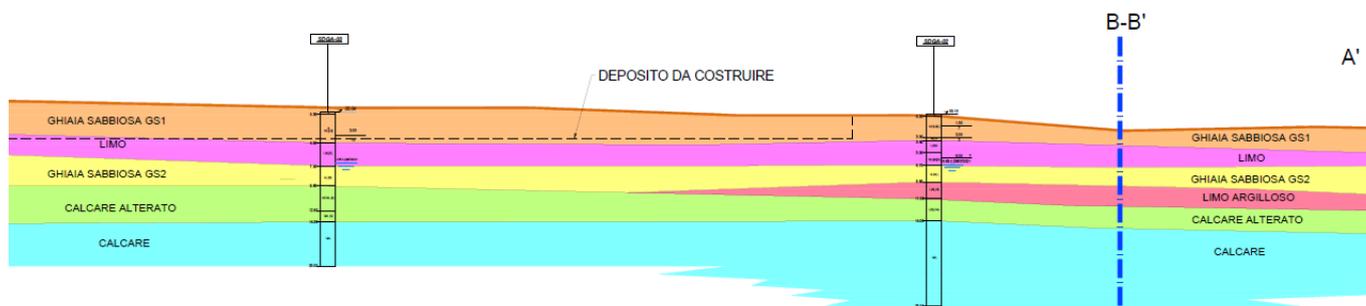


Figure 7 – Sezione A A

5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.M. Infrastrutture Min. Interni e Prot. Civile 17 Gennaio 2018 e allegate “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n°7 del 21 gennaio 2019 “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

- UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili.
- UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>14 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	14 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	14 di 111								

generale - Azioni del vento.

- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-1 – Marzo 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Legge 5-1-1971 n° 1086: “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64.: “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.

6 DESCRIZIONE DELLO STATO DI CONSISTENZA DEL MURO

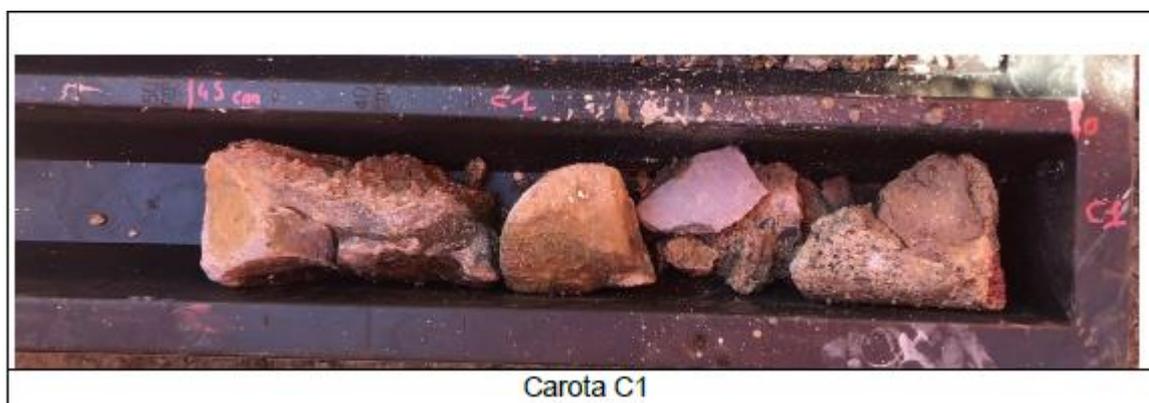
Ai fini di una indagine specialistica e conoscitiva sugli elementi strutturali del muro di confine tra il deposito AMT Gavette e l'istituto comprensivo Staglieno, sono state effettuate le seguenti prove:

- (N°3) Prelievo carote su muratura Ø100mm per prova a compressione;
- (N°1) Microcarotaggio per verificare lo spessore del muro;
- (N°3) Microcarotaggi per l'individuazione della geometria della fondazione;
- (N°6) Indagini sclerometriche sul cordolo sommitale in CLS del muro;
- (N°6) Indagine pacometriche;
- Individuazione quadro fessurativo del muro;

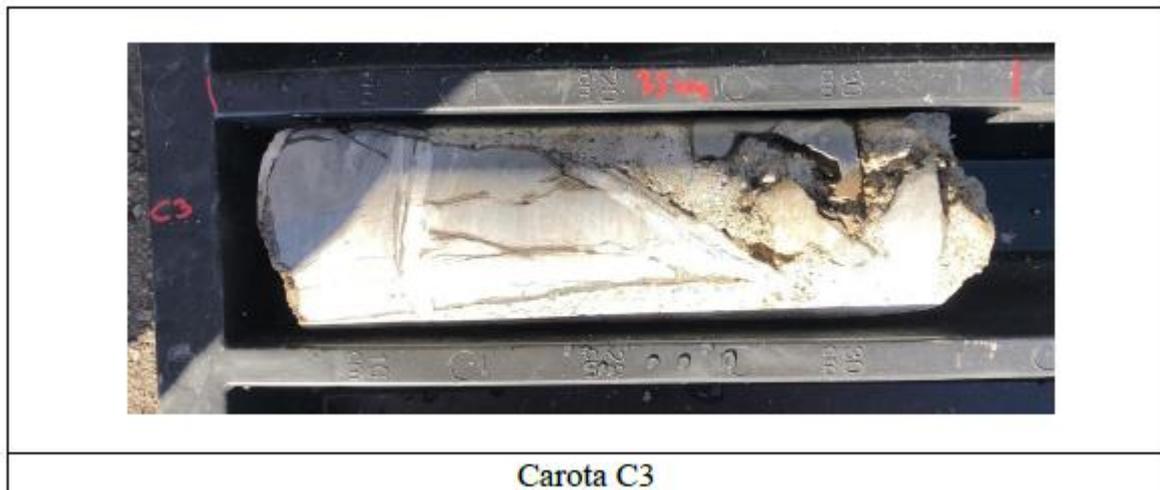
	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 15 di 111

- Rilievo topografico.

Al fine di definire la resistenza meccanica del muro, sono state prelevate numero tre carote sulla parete dello stesso. Delle tre carote, come si evince dalle **Foto C1, C2 e C3**, due non sono risultate testabili in quanto non è stato possibile estrarre campioni integri della componente malta/materiale lapideo, e su una non è stata possibile effettuare dovuta rettifica in quanto il materiale si è disgregato al solo contatto della sega meccanica.



	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>16 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	16 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	16 di 111								



L'ispezione visiva del muro, invece, ha reso possibile constatare alcune criticità. In particolare è stata rilevata una frattura nella parte sinistra del muro dal cordolo di testa muro. Tale frattura si estende per circa 1 metro verso il basso (si vedano figure successive “frattura F1”). Dalle foto di seguito mostrate si può notare invece l'assenza in alcuni punti dei blocchi lapidei costituenti il muro.

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	17 di 111



FRATTURA F1



FRATTURA F1

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	18 di 111



FRATTURA F1

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	19 di 111



M3



M4

Per maggiori dettagli riguardanti le indagini conoscitive e i risultati delle prove effettuate, si rimanda ai seguenti elaborati: “Relazione unica deposito Gavette”, “Allegato 1-sclerometrie”, “Allegato 2-microcarotaggi”.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>20 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	20 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	20 di 111								

7 INTERVENTI DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO

Come già esposto nel cap. 5 , sul muro esistente è presente una lesione che parte dal cordolo di sommità e si sviluppa lungo il paramento murario per circa 1,50 m. Nel presente capitolo verranno esposti gli interventi di ripristino e consolidamento relativi a tale criticità.

7.1 Ricucitura di porzioni di muratura degradate

Nella fattispecie si prevede un intervento di ricostruzione delle parti di paramento murario lesionato con la tecnica del “cuci e scuci”, mediante la fornitura e posa in opera di muratura di pietra calcarea e di legante idraulico resistente ai sali, esente da cemento, a base di calce ed Eco-Pozzolana, cariche di minerali fini, speciali additivi e microfibre. Si riportano di seguito le due fasi lavorative relative a tale intervento.

Fase 1

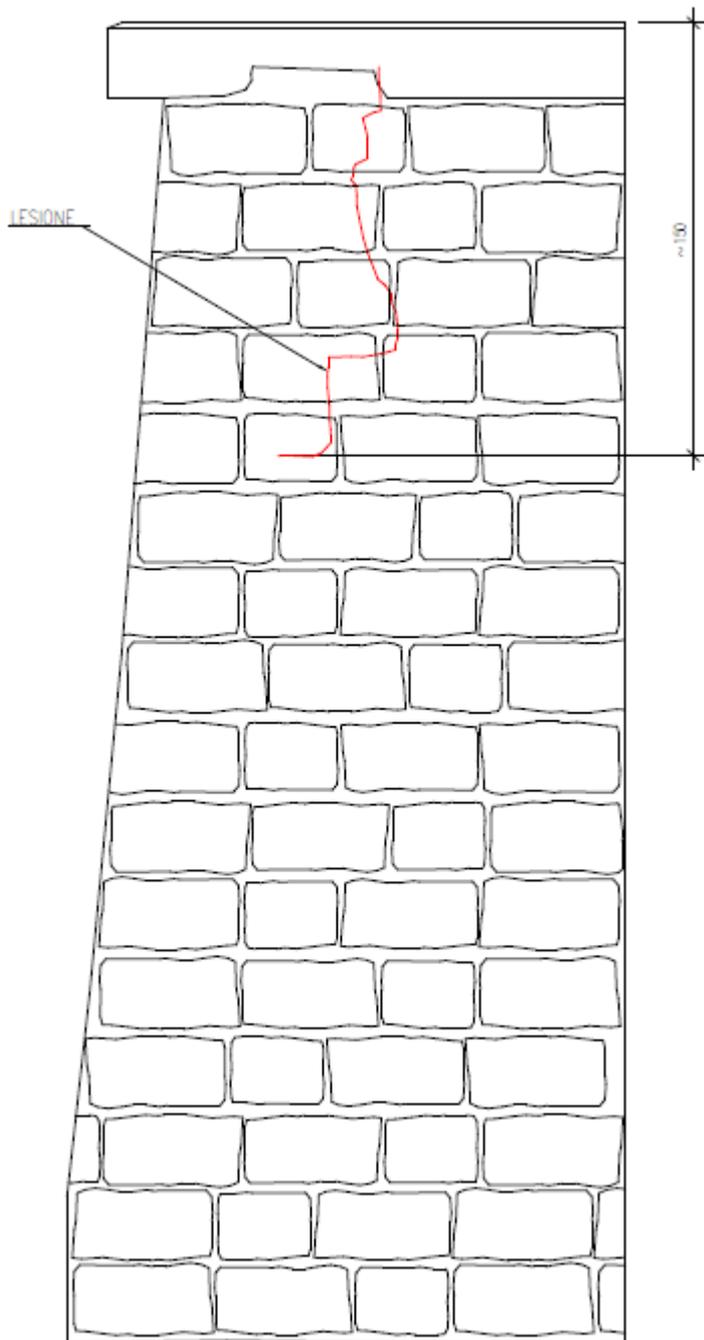
- 1) “scucitura” del paramento murario interessato dalla presenza di lesioni e discontinuità, eseguita partendo dall’alto verso il basso, mediante rimozione sia dei suoi elementi costruttivi particolarmente degradati e/o lesionati, sia della malta di allettamento esistente che non risulti più idonea, sia di tutto ciò che possa influire e pregiudicare la successiva rigenerazione della muratura, fino a lasciare, sulla muratura da ripristinare, un contorno frastagliato in modo da consentire la corretta “ammorsatura” delle nuove porzioni di muratura a quelle esistenti;
- 2) Pulitura dei piani di appoggio e di connessione, eseguita mediante l’idrolavaggio a bassa pressione per favorire un’adeguata adesione della malta al supporto.

Fase 2

- 3) Confezionamento di malte da muratura a consistenza plastico-tissotropica, mediante utilizzo di legante idraulico, resistenti alle aggressioni chimico-fisiche, in particolare alla presenza di sali solubili, ai cicli di gelo-disgelo e all’azione dilavante delle acque piovane;
- 4) Rigenerazione di paramenti murari tramite la tecnica del “cuci e scuci” e della “rincocciatura”, previa messa in sicurezza della struttura con idonee operazioni provvisoriale, mediante ricostituzione del paramento murario.

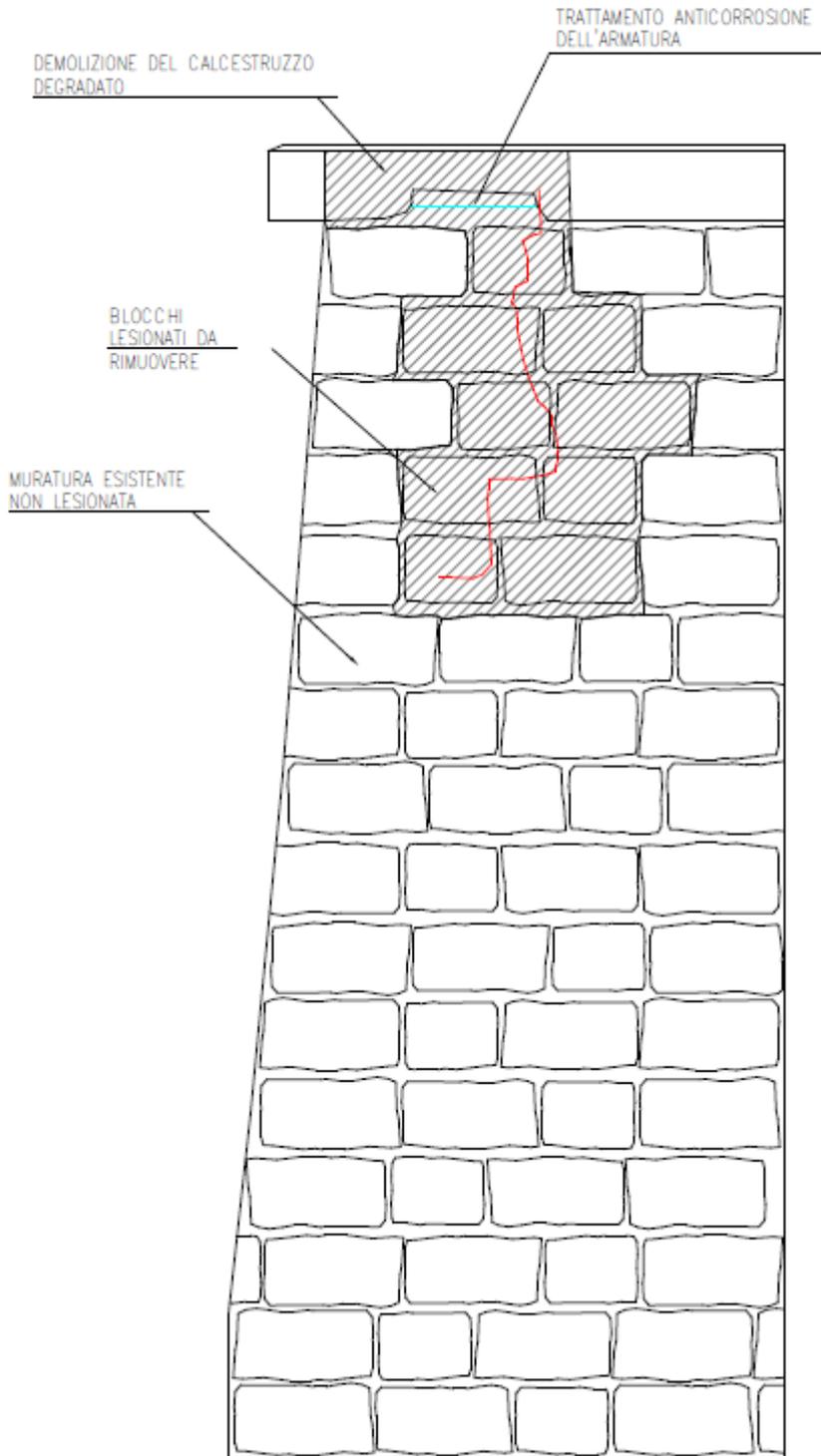
	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 21 di 111

Nelle immagini seguenti si riportano il rilievo della fessura esistente e dei relativi interventi di ripristino sopra descritti.



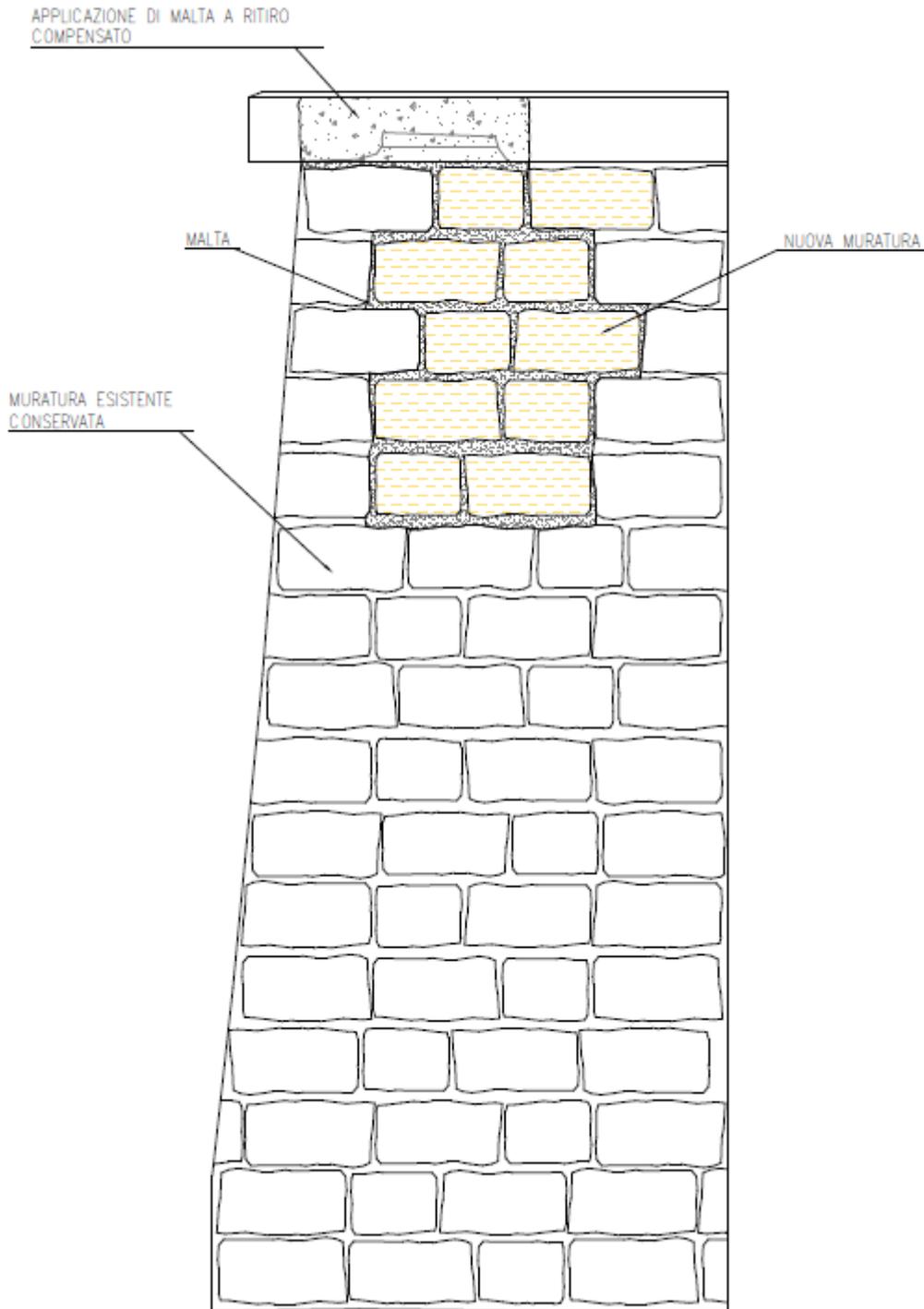
	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 22 di 111

Figure 8: Rilievo esistente



	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>23 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	23 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	23 di 111								

Figure 9: Dettaglio ricucitura Muro – Fase 1



	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 24 di 111

Figure 10: Dettaglio ricucitura Muro – Fase 2

7.2 Ripristino del copriferro

Sono previsti, inoltre, interventi di ripristino del copriferro di porzioni di elementi strutturali in calcestruzzo armato degradate, attraverso le seguenti fasi:

Fase 1

- 1) Rimozione di eventuali intonaci e parti in fase di distacco mediante scalpellatura, Pulizia delle superfici da boiacche, olii, polvere e sporco mediante idrolavaggio e carteggiatura; Pulizia dei ferri scoperti a metallo bianco dalle tracce di ruggine mediante spazzolatura o sabbatura;
- 2) Trattamento e protezione dei ferri d'armatura da ulteriori ossidazioni mediante applicazione di passivante per ferri anticorrosione.

Fase 2

- 1) Ripristino dello spessore di parti mancanti e del copriferro mediante l'applicazione di malta cementizia a ritiro compensato tixotropica, fibrorinforzata, classe R3-R4, per il ripristino strutturale, previa bagnatura a rifiuto del sottofondo prima dell'applicazione.
- 2) Regolarizzazione delle superfici con l'applicazione di malta rasante protettiva polimerica a protezione del calcestruzzo, prima dell'applicazione di pitture anticarbonatazione.

8 INTERVENTI DI VARIANTE

8.1 Opere Provvisorie Scavo in fondazione

Le strutture della Rimessa, e le relative fondazioni, erano state disposte in modo tale da garantire agli spazi di manovra dei mezzi pubblici, una luce libera di 20m al di sotto del piano copertura.

A seguito del rilievo geometrico e strutturale del muro in adiacenza, è stato possibile ipotizzare la probabile collisione tra il muro stesso e le strutture di fondazione. Di seguito si espongono le considerazioni e le evidenze dello stato di fatto che hanno portato alle conclusioni contenute nel presente aggiornamento.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>25 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	25 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	25 di 111								

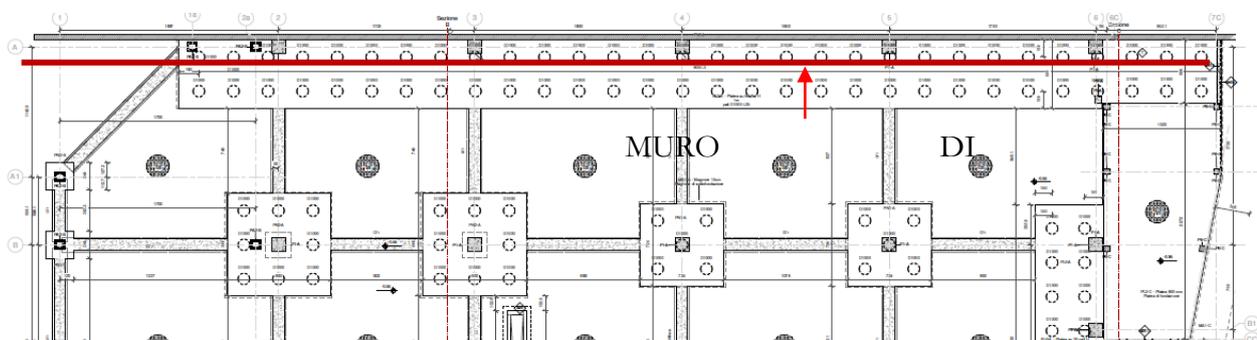


Figure 11 - Stralcio Pianta delle fondazioni di progetto

Dal rilievo della porzione di muro fuori terra è emersa una inclinazione del paramento del muro a gravità pari a circa 5° , ipotizzata verosimilmente costante anche per la porzione interrata del muro. Tale condizione porta dunque ad una traslazione dell'allineamento dei pilastri e della fondazione precedentemente ipotizzato. Si propone quindi lo spostamento dell'allineamento dei pilastri e della fondazione di 20cm, inserendo una protezione di pulizia con micropali di diametro 300 mm e profondità 3m (stessa profondità della fondazione rilevata del muro mediante microcarotaggio). Considerando anche il layout architettonico della copertura, si ipotizza una tolleranza di 20-25cm di spostamento della suddetta griglia in fase di scopritura della fondazione in fase di realizzazione dell'opera e dei micropali, previa valutazione a seconda del rilievo visivo-geometrico.

Si riporta di seguito l'intervento sopra descritto.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)				
Relazione Tecnica Integrativa		COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. FOGLIO B 26 di 111



Figure 12: Confronto tra soluzione progettuale precedente (linee tratteggiate di colore rosso) e soluzione di variante proposta

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOLOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>27 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	27 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	27 di 111								

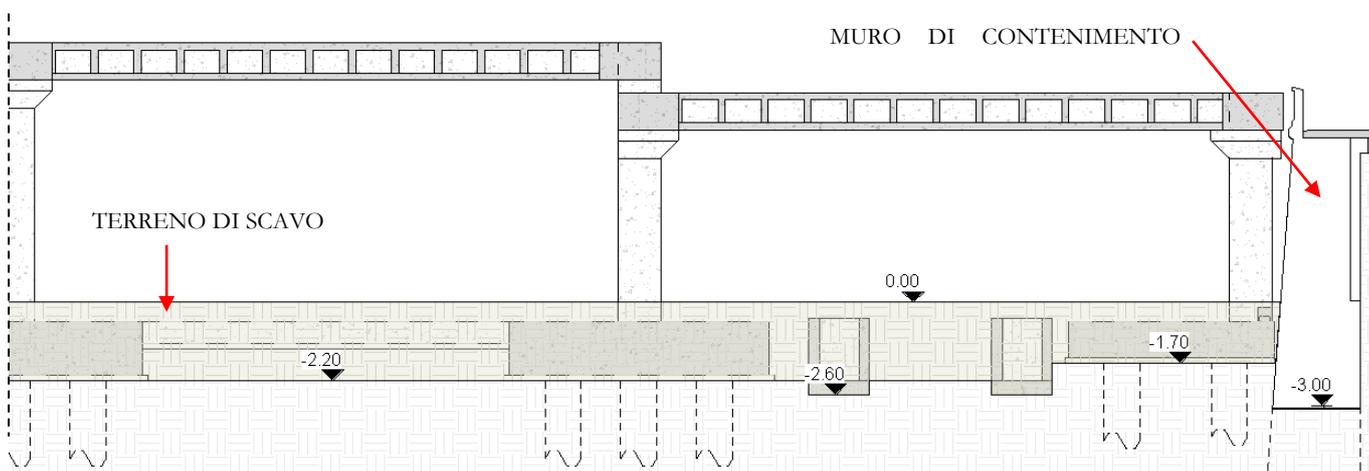
L'intervento sopra descritto rende quindi possibile la realizzazione delle strutture di fondazione in sicurezza. I micropali hanno la funzione di contenimento dello scavo di profondità 3m da realizzare mentre la nuova fondazione a platea su pali sostituirà lo strato di terreno precedentemente presente.

Le fasi realizzative dell'opera saranno le seguenti:

- Fase 1
 - 3) Esecuzione di saggi visivi in fondazione per la verifica geometrica reale della fondazione del muro esistente
 - 4) Infissione dei micropali mantenendo l'allineamento con il filo esterno della fondazione esistente precedentemente indagata
- Fase 2
 - 3) Scavo fino alla profondità di 1.7m dal p.c. locale (quota 33.3 m s.l.m. di imposta della platea da realizzare)
 - 4) Realizzazione della platea su pali

SCAVI E MOVIMENTI TERRA

Per quanto riguarda gli scavi in fondazione, essi avranno una profondità massima di 2,60 di profondità, in corrispondenza delle fosse di visita. In corrispondenza del muro indagato nella presente relazione, lo scavo raggiunge un'altezza di 1,70m, mentre in corrispondenza dei plinti su pali lo scavo raggiunge la quota di 2,20m.



	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOLOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>28 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	28 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	28 di 111								

Figure 13 - Stralcio Pianta delle fondazioni di progetto

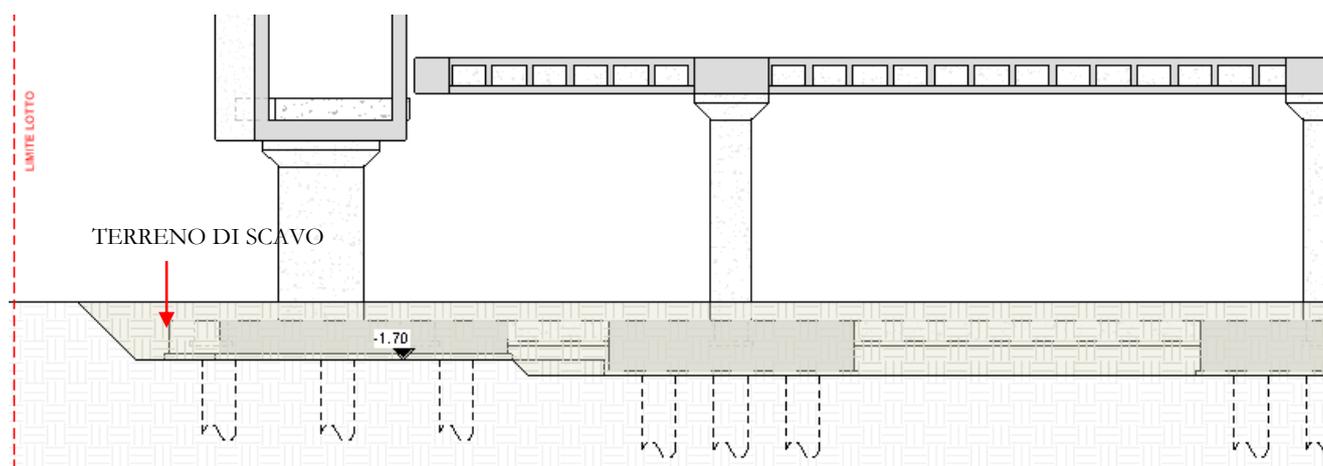


Figure 14 - Stralcio Pianta delle fondazioni di progetto

In totale la quantità di terreno scavato per l'intera piazza è pari a 10'000,00 mc, comprese le aree di fondazione dei fabbricati accessori.

8.2 Vasche di Laminazione

L'intervento prevede inoltre l'inserimento di vasche di laminazione all'interno del piazzale, come riportato nella planimetria generale.

La vasca di laminazione si trova in prossimità del ciglio della strada carrabile al confine con il lotto di intervento, in adiacenza all'area rifornimento; le dimensioni della vasca sono pari a 11,7mx19,5m per una profondità di fondo vasca pari a -5,4m al di sotto del piano campagna, fino alla quota di fondo vasca pari a 29,60m s.l.m

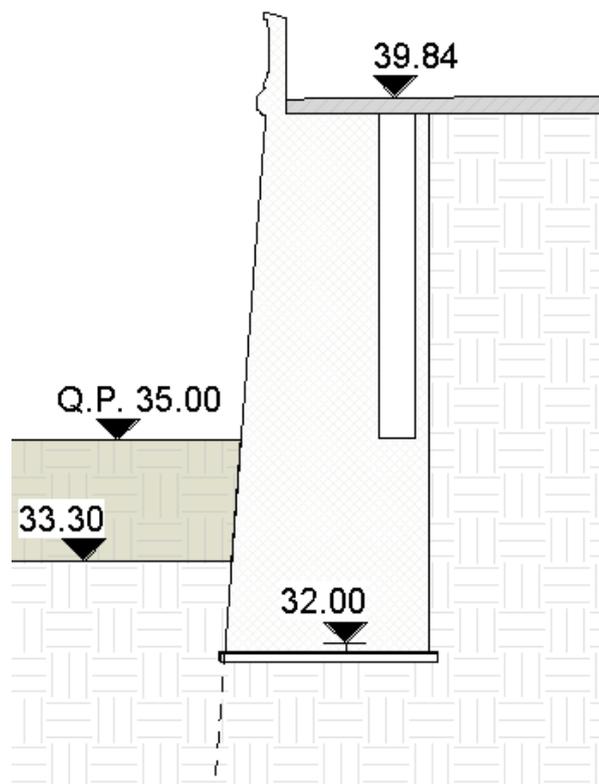
Lo scavo relativo alla realizzazione della vasca sarà realizzato mediante paratia provvisoria di pali di diametro 1000mm, posti ad interasse 1.2m,

Di seguito al capitolo 10 si riportano i calcoli relativi alla stabilità strutturale della vasca.

9 MODELLAZIONE STRUTTURALE – MURO DI CONTENIMENTO

Nel presente capitolo verranno illustrate le verifiche geotecniche e strutturali relative al muro esistente in esame, nella condizione maggiormente gravosa di raggiungimento del fondo scavo a valle dello stesso per la realizzazione della platea di fondazione, previa realizzazione della paratia di micropali. La quota di fondo scavo si trova a circa 33.3 m s.l.m.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>29 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	29 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	29 di 111								



Sezione quote di scavo di progetto

9.1 Caratteristiche dei materiali

Come già descritto nel cap. 5, non è stato possibile effettuare prove di resistenza sul muro a causa della non integrità dei campioni prelevati. Ne consegue che il livello di conoscenza adottato nei calcoli è LC1 (Livello di conoscenza basso) a cui corrisponde un fattore di confidenza $FC=1.35$.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO E21D 06 D 10 RG FA140 001 B 30 di 111

NORMATIVA

D.M. 1988 + D.M. 1996 Tens. Amm N.T.C. 2008 - Approccio 1 N.T.C. 2018
 D.M. 1988 + D.M. 1996 Stato Limite N.T.C. 2008 - Approccio 2

Livello di conoscenza per strutture esistenti

LC1 (Livello di conoscenza basso) LC2 (Livello di conoscenza medio) LC3 (Livello di conoscenza alto)

Fattori di Confidenza

FC

Figure 15: Definizione nel modello di calcolo del livello di conoscenza per il muro esistente

Dall'esame visivo del tipo di materiale costituente il muro, è stato possibile ricondurre lo stesso alla tipologia "muratura a blocchi lapidei squadrati" con riferimento alla Tabella C8.5.I della Circolare del 21 gennaio 2019 riportata di seguito.

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	(N/mm ²)	(kN/m ³)				
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>31 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	31 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	31 di 111								

Come riportato dal par. C8.5.4.1 della Circolare 21 Gennaio 2019, in corrispondenza del Livello di conoscenza 1 (LC1), vanno considerati i valori minimi delle resistenze a compressione della precedente tabella ed i valori medi dei moduli elastici. Si ha pertanto:

$f=5,8 \text{ N/mm}^2$ Resistenza media a compressione

$E= 2850 \text{ N/mm}^2$ Valore medio del modulo di elasticità normale

$w= 22 \text{ kN/m}^3$ Peso di volume del materiale

9.2 Parametri sismici

Il periodo di riferimento per l'azione sismica dipende dal tipo di opera e dalla classe d'uso. I tipi d'opera sono quelli previsti alla tabella 2.4.I delle NTC2018 e sono riportati nella "Tabella 1".

Tabella 1 – Vita nominale in funzione dei tipi di costruzione

Tipi di costruzione		Vita nominale VN in anni
1	Opere provvisorie -Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva (*)	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni	> 100

Il DM 17.01.2018 attribuisce alle costruzioni, in funzione della loro destinazione d'uso e quindi delle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in conseguenza di un evento sismico, diverse classi d'uso; a ciascuna classe corrisponde un coefficiente d'uso CU. Per la definizione della classe d'uso si fa riferimento a quanto indicato al §2.5.1.1 del MdP RFI: "Con riferimento alla classificazione di cui al punto 2.4.2 del DM 17.01.2018, la classe d'uso delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella"

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [CU]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,00
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,50
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,00

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>32 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	32 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	32 di 111								

Si adottano una Classe d'uso pari a **III** e quindi con un coefficiente $C_U = 1.5$.

Il periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi stati limite, risulta definito dall'espressione: $T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR})$, essendo P_{VR} la probabilità di superamento nel periodo di riferimento e definita in 81% (SLO), 63% (SLD), 10% (SLV) e 5% (SLC).

Per la determinazione delle azioni sismiche si è fatto riferimento al comune di Genova. Il calcolo viene condotto nel rispetto delle "Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018" e s.m.i.. Per definire le caratteristiche del moto sismico atteso sul sito di riferimento alle citate coordinate sono associati, per ciascun tempo di ritorno T_R di riferimento, i valori di 3 parametri che definiscono uno spettro elastico di risposta: a_g (accelerazione massima al sito), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale). Tali parametri relativi alla rimessa di Gavette, le cui coordinate geografiche sono circa Lat. 44.4370° e Long. 8.8913°, sono stati ricavati attraverso l'applicativo "Spettri" elaborato dal M.LL.PP e vengono riportati nella seguente tabella.

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C _U]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,00
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,50
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,00

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,025	2,513	0,192
50	0,031	2,529	0,210
72	0,036	2,547	0,223
101	0,041	2,545	0,251
140	0,047	2,506	0,264
201	0,054	2,534	0,268
475	0,074	2,526	0,283
975	0,097	2,504	0,291
2475	0,135	2,489	0,297

Le azioni sismiche attese vengono valutate in relazione al periodo di riferimento VR:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,5 = 75 \text{ anni}$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>33 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	33 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	33 di 111								

La norma vigente definisce un tempo di ritorno T_R e la terna di parametri a_g , F_0 e T_C^* , per ciascun stato limite a cui sono associate delle probabilità di superamento PVR valutate nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dell'accelerazione orizzontale di sito su suolo rigido (Tabella 2).

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,030	2,526	0,207
SLD	75	0,037	2,547	0,227
SLV	712	0,086	2,514	0,288
SLC	1462	0,112	2,498	0,294

Tabella 2: valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* e T_R associati a ciascun Stato Limite (Spettri NTC)

L'accelerazione orizzontale massima a_g attesa su sito di riferimento rigido, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), risulta pari a 0.086g. L'accelerazione di riferimento a_g così ottenuta deve essere variata per tener conto sia delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali che della morfologia del sito; l'accelerazione massima orizzontale di riferimento a_{max} si ottiene con la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t$$

dove S_s è un coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_t di amplificazione topografica. La definizione della categoria dei terreni di fondazione, alle quali le NTC18 associano un apposito coefficiente di amplificazione S_s , dipende dalla velocità equivalente $V_{s,eq}$ definita nel paragrafo 3.2.2 delle NTC18. I terreni di fondazione appartengono alla categoria B caratterizzata da $S_s=1.2$. La morfologia dell'area è prevalentemente pianeggiante e quindi la categoria topografica dell'area è T1 ("Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$ "), caratterizzata da $S_t=1.0$. Con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), si ha:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.086g \times 1.2 \times 1.0 = 0.1032g$$

9.3 Caratterizzazione geotecnica

Si riportano di seguito le caratteristiche geotecniche relative al terreno della tratta in cui ricade l'opera di sostegno in esame, desunte dagli esiti delle indagini disponibili. La stratigrafia sotto riportata è riferita al piano campagna locale a valle del muro. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla "Relazione geotecnica Rimessa Gavette".

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO E21D 06 D 10 RG FA140 001 B 34 di 111

Unità	Profond	Sp. strato		c'		E'
-	m	m	kN/m ³	kPa	°	kPa
Ghiaia sabbiosa GS1	0-4.0	4.0	19	0	30	25000
Limo	4.0-7.0	3.0	19	5	27	15000
Ghiaia sabbiosa GS2	7.0-9.0	2.0	19	0	35	60000
Limo argilloso	9.0-10.0	1.0	19	5	27	25000
Calcere alterato	10.0-	4.50	22		33	80000
Calcere	14.5-20	5.50	25		40	

La falda si trova a circa 2.5m di profondità dal piano campagna locale a valle muro.

Per il rilevato stradale a tergo del muro sono stati assunti i seguenti parametri:

$\gamma = 19.00 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
 $\varphi' = 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0.00 \text{ kPa}$ coesione efficace

9.4 Analisi Dei Carichi E Condizioni Di Carico

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

9.4.1 Sovraccarico permanente

Si considera il rilevato stradale a tergo del muro mediante una distribuzione reale del carico, considerando un peso di volume pari a 19 kN/m^3 . Il peso del cordolo di sommità è stato portato in conto mediante l'applicazione del peso proprio a cui è stato applicato l'effetto inerziale causato dal sisma.

9.4.2 Sovraccarico accidentale

Si considera la presenza di azioni variabili dovuto al traffico stradale mediante un carico uniformemente distribuito pari a 20 kPa .

9.4.3 Azioni sismiche

L'analisi in condizione sismica è eseguita con il metodo pseudo-statico, definendo l'azione sismica mediante una forza statica equivalente pari al prodotto delle masse per il coefficiente sismico.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>35 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	35 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	35 di 111								

Il coefficiente sismico orizzontale per il tipo di opera in esame (par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018) risulta pari:

$$k_h = \beta_m a_g \cdot S$$

in cui:

a_g è la massima accelerazione dello spettro orizzontale elastico del sito, calcolata per il 10% di probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR assegnato;

S è il coefficiente di sottosuolo pari al prodotto del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e del coefficiente di amplificazione topografica ST (§ 3.2.3 delle NTC 2018).

β_m è un coefficiente che tiene conto della possibilità di spostamento del muro rispetto al terreno. Per il muro in esame il parametro β_m assume valore pari a **0.38** nelle verifiche SLV e 0.47 nelle verifiche SLD, come riportato dal par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018.

9.4.3.1 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche strutturali sono effettuate secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite di esercizio (SLE) e agli stati limite ultimi (SLU), in accordo con la normativa vigente (NTC 2018). Sono state considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, impiegata per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU):

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

- Combinazione caratteristica (rara), impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

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

- Combinazione quasi permanente, impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

In accordo con quanto prescritto al par. 6.5.3.1.2 del DM 17.1.2018, la verifica di stabilità globale

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 36 di 111

dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: **(A2+M2+R2)**

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I. delle NTC 2018, riportate a seguire.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Figura 9-1: valori dei coefficienti parziali di combinazione per le azioni o per l'effetto delle azioni

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Figura 9-2: Valori dei coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 37 di 111

Figura 9-3: Valori dei coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo

In condizioni sismiche, i coefficienti A1, A2, M1 ed M2 assumono valori unitari.

Per la tipologia strutturale di opera in esame, si riportano a seguire le principali verifiche strutturali (STR) e geotecniche (GEO) che verranno eseguite:

SLU di tipo strutturale (STR):

- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

SLU di tipo geotecnico (GEO):

- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa delle fondazioni;
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- collasso per ribaltamento attorno al piede dell'opera.

9.4.3.2 CRITERI DI CALCOLO

La modellazione e l'analisi sono state eseguite con il programma MAX versione 15 della "AZTEC informatica".

9.5 CALCOLO DELLA SPINTA SUL MURO

9.5.1 Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.

I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali. In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo A1-M1 nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo A2-M2 nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi.

Operando in tal modo si ottengono valori delle spinte (azioni) maggiorate e valori di resistenza ridotti e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari.

9.5.2 Metodo di Culmann

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>38 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	38 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	38 di 111								

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea. passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb. Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

9.5.3 Spinta in presenza di falda

Nel caso in cui a monte del muro sia presente la falda il diagramma delle pressioni sul muro risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume di galleggiamento

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>39 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	39 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	39 di 111								

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione idrostatica esercitata dall'acqua.

9.5.4 Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ϵ l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

dove $\theta = \arctg(kh/(1 \pm kv))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h .

In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctan\left(\frac{\gamma}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2 \beta \cos \theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 40 di 111

θ.

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1. Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico. Come riportato dal par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018, nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede come per il caso in esame, 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.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma.

Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

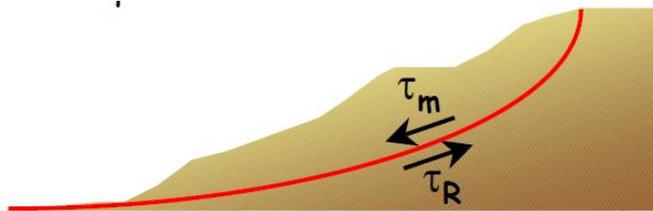
9.6 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI TIPO GEOTECNICO (SLU-GEO)

9.6.1 Verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno

Per l'analisi di stabilità globale presentate nel seguito del presente documento, si è fatto riferimento ai metodi dell'equilibrio limite, messi a punto da diversi autori tra cui, Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, ecc.

In generale, ciascuno metodo va alla ricerca del potenziali superfici di scivolamento, generalmente di forma circolare, in qualche caso anche di forma diversa, rispetto a cui effettuare un equilibrio alla rotazione (o roto-traslazione) della potenziale massa di terreno coinvolta nel possibile movimento e quindi alla determinazione di un coefficiente di sicurezza coefficiente di sicurezza disponibile, espresso in via generale tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie, ovvero:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 41 di 111



$$\eta = \frac{\int_S \tau_{\text{rott}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

Si procede generalmente suddividendo la massa di terreno coinvolta nella verifica in una serie di conci di dimensione b , interessati da azioni taglianti e normali sulle superfici di delimitazione dello stesso come di seguito rappresentato.

Nel caso in esame, è stata utilizzato in particolare il metodo di Bishop, di cui nel seguito si riporta la relativa trattazione teorica.

Il coefficiente di sicurezza si esprime mediante la relazione:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{b_i c_i + W_i \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

con

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i ed α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia. L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η .

Quindi essa va risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare fino a quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

9.6.2 Verifica a scorrimento dell'opera lungo il piano di posa

La verifica allo scorrimento sul piano di posa dell'opera di sostegno è condotta rispetto alle combinazioni riportate nel paragrafo 9 della presente relazione di calcolo; in particolare è stato verificato il rispetto della seguente condizione:

$$F_s = (c' * B + N * \tan \delta) / H > 1.0$$

dove:

N = risultante delle azioni ortogonali al piano di scorrimento;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 42 di 111

H = risultante delle azioni parallele al piano di scorrimento;

c' = coesione efficace, posta generalmente pari a zero, salvo particolari condizioni che ne consentano di tenerne conto;

B = dimensione della Fondazione sul piano di scorrimento;

δ = coefficiente di attrito fondazione - terreno , posto pari a $0.6 \phi'$.

9.6.3 Verifica a collasso per carico limite del complesso opera di sostegno-terreno

Per la valutazione del carico limite delle fondazioni dirette si utilizza il criterio di Brinch-Hansen di cui nel seguito si riporta la relativa trattazione teorica.

Dette:

c = coesione del terreno;

c_a = adesione lungo la base della fondazione ($c_a \leq c$);

V = azione tagliante;

ϕ' = angolo d'attrito;

δ = angolo di attrito opera di sostegno – terreno;

γ = peso specifico del terreno;

k_p = coefficiente di spinta passiva espresso da $k_p = \tan^2(45^\circ + \phi'/2)$;

B = larghezza della fondazione;

L = lunghezza della fondazione;

D = profondità del piano di posa della fondazione;

η = inclinazione piano posa della fondazione;

P = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

q_{ult} = carico ultimo della fondazione.

Risulta:

Caso generale

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi = 0$

$$q_{ult} = 5.14 \cdot c \cdot (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 43 di 111

in cui d_c , d_q e d_y sono i fattori di profondità, s_c , s_q e s_y sono i fattori di forma, i_c , i_q e i_y sono i fattori di inclinazione del carico, b_c , b_q e b_y sono i fattori di inclinazione del piano di posa e g_c , g_q e g_y sono fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori di capacità portante N_c , N_q , N_y sono espressi come:

$$N_q = Kp e^{\pi tg\phi}$$

$$N_c = (N_q - 1)ctg\phi$$

$$N_y = 1.5(N_q - 1)tg\phi$$

Fattori di forma

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$s_c = 0.2 \frac{B}{L}$	$s_c = 1 + \frac{N_q B}{N_c L}$ $s_q = 1 + \frac{B}{L} tg\phi$ $s_y = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$

Fattori di profondità

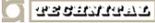
$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} > 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Indicando con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_f = B' * L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B, L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2 e_B$ ed $L' = L - 2 e_L$) con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta = 0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOLOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>44 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	44 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	44 di 111								

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$i_c = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}} \right)$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$
	$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$
	Per $\eta = 0$ $i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$
	Per $\eta > 0$ $i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ)H}{V + A_f c_a \cot \phi} \right)^5$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$	$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$ $b_q = e^{-2\eta \phi}$ $b_\gamma = e^{-2.7\eta \phi}$

Fattori di inclinazione del terreno

per $\phi = 0$	per $\phi > 0$
$g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$ $g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \text{tg} \beta)^\beta$

Per poter applicare la formula di Brinch-Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \text{tg}(\delta) + A_f c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

9.6.4 Verifica a ribaltamento dell'opera come corpo rigido

La verifica al ribaltamento rispetto al vertice esterno della fondazione è viene trattata secondo la normativa come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i relativi coefficienti sulle azioni di

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 45 di 111

cui alla Tabella 9.1 (Tab.5.2.V NTC 2018), adoperando i coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.

Nella fattispecie, per ciascuna delle combinazioni di verifica allo SLU statico e sismico rispetto alle quali è prescritta la verifica al ribaltamento, è stata verificata il rispetto della seguente condizione:

essendo:

MRIB = risultante dei momenti ribaltanti

MSTA = risultante dei momenti stabilizzanti

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>46 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	46 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	46 di 111								

9.7 ANALISI E VERIFICHE DEL MURO

Si riporta di seguito la geometria del muro in esame, avendo ipotizzato cautelativamente come quota di posa massima di paramento la quota più profonda indagata, ovvero a 3.0m dal piano campagna locale. L'inclinazione del paramento è stata ipotizzata come la stessa della porzione fuori terra e risulta pari a circa 5°.

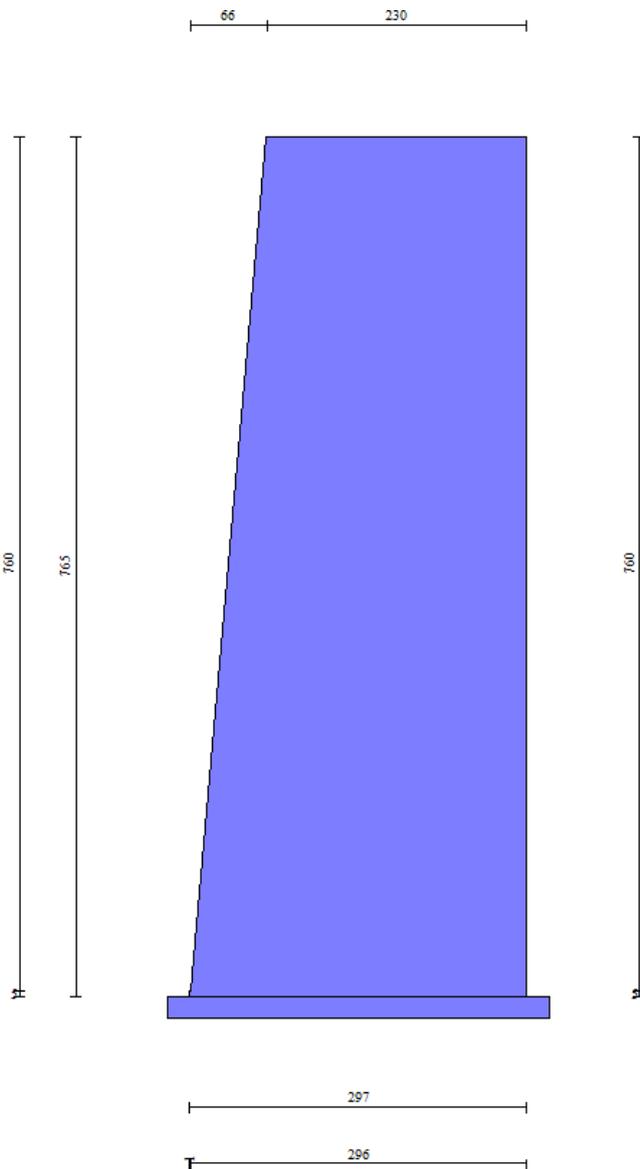


Figure 16: Geometria del muro esistente

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B

Si riporta di seguito il modello di calcolo implementato.

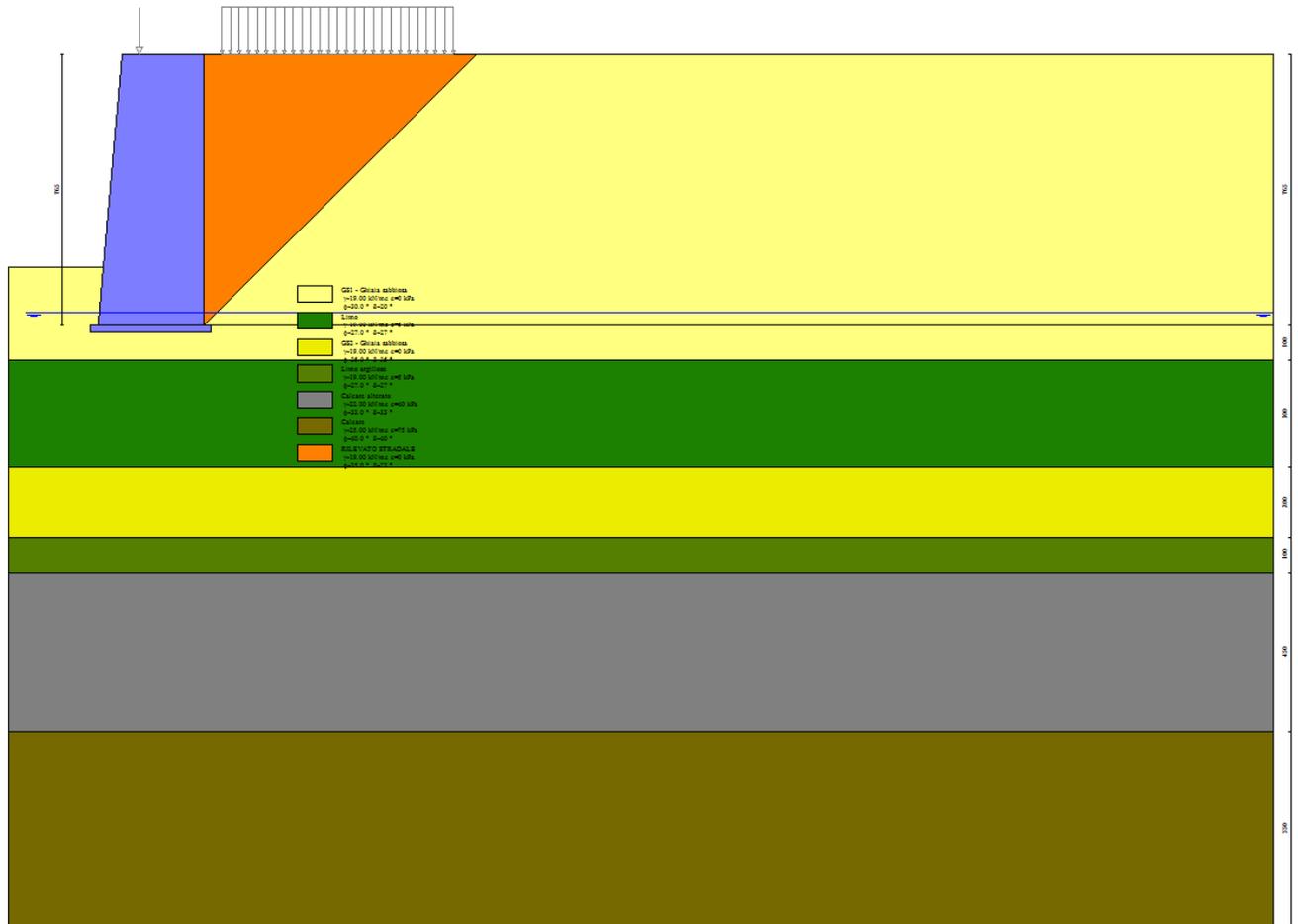


Figure 17: Modello di calcolo del muro a gravità

Di seguito sono riassunte le verifiche geotecniche e strutturali effettuate sull'opera in esame. Si riportano i risultati delle combinazioni di carico più gravose per ogni stato limite esaminato.

9.8 VERIFICHE GEOTECNICHE

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B

Spinta e forze

Simbologia adottata

Ic Indice della combinazione

A Tipo azione

I Inclinazione della spinta, espressa in [°]

V Valore dell'azione, espressa in [kN]

C_x, C_y Componente in direzione X ed Y dell'azione, espressa in [kN]

P_x, P_y Coordinata X ed Y del punto di applicazione dell'azione, espressa in [m]

Ic	A	V	I	C _x	C _y	P _x	P _y
		[kN]	[°]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
1	Spinta statica	221.48	23.33	203.37	87.71	0.00	-4.92
	Peso/Inerzia muro			0.00	443.42/0.00	-1.32	-3.99
	Peso/Inerzia terreno sulla fondazione di valle			0.00	0.27	-2.97	-6.80
	Spinta falda da monte			0.78		0.00	-7.53
	Spinta falda da valle			0.60		-2.97	-7.53
	Sottostinta della falda				13.27	-1.49	-7.65
	Peso dell'acqua sulla fondazione di valle				0.03	-2.97	-7.53
	Resistenza passiva terreno antistante			-34.55			
	Risultante forze sul muro			0.00	13.13	--	--

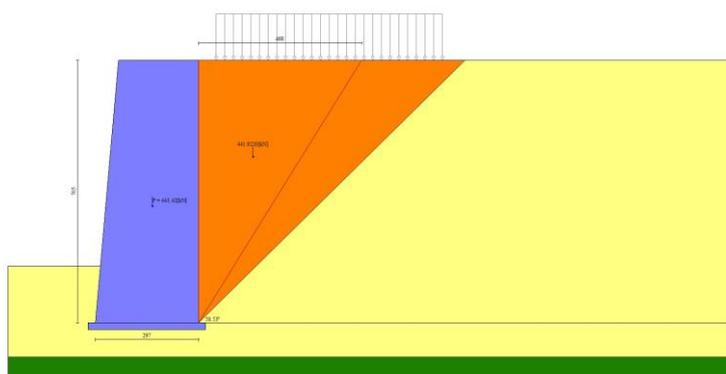


Figure 18: Cuneo di spinta combinazione statica

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B

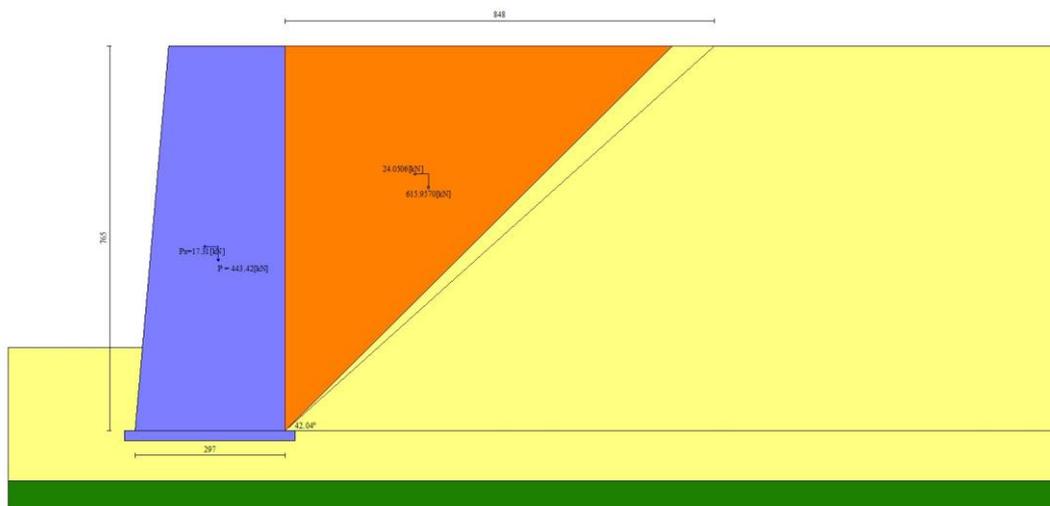


Figure 19: Cuneo di spinta in condizioni sismiche

Risultanti globali

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione

N Componente normale al piano di posa, espressa in [kN]

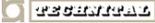
T Componente parallela al piano di posa, espressa in [kN]

M_r Momento ribaltante, espresso in [kNm]

M_s Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

ecc Eccentricità risultante, espressa in [m]

Ic	N [kN]	T [kN]	M_r [kNm]	M_s [kNm]	ecc [m]
1 - STR (A1-M1-R3)	531.29	203.55	575.99	1008.28	0.674
2 - STR (A1-M1-R3)	513.85	160.51	446.22	941.29	0.524
3 - STR (A1-M1-R3)	494.50	155.77	448.42	920.92	0.532
4 - GEO (A2-M2-R2)	517.28	213.51	587.09	962.94	0.761
5 - GEO (A2-M2-R2)	513.85	160.51	446.22	941.29	0.524
6 - GEO (A2-M2-R2)	494.50	155.77	448.42	920.92	0.532
7 - EQU (A1-M1-R3)	531.29	203.55	575.99	1008.28	0.674
8 - EQU (A1-M1-R3)	528.58	193.48	540.92	979.37	0.658
9 - EQU (A1-M1-R3)	499.13	185.42	541.79	947.59	0.674
10 - SLER	510.57	155.26	438.98	943.00	0.500
11 - SLEF	507.27	147.59	412.47	933.16	0.461

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO E21D 06 D 10 RG FA140 001 B 50 di 111

Ic	N [kN]	T [kN]	M_r [kNm]	M_s [kNm]	ecc [m]
12 - SLEQ	497.36	124.62	333.42	903.68	0.341

Verifiche geotecniche

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione

S Sisma (H: componente orizzontale, V: componente verticale)

FS_{SCO} Coeff. di sicurezza allo scorrimento

FS_{RIB} Coeff. di sicurezza al ribaltamento

FS_{QLIM} Coeff. di sicurezza a carico limite

FS_{STAB} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

FS_{HYD} Coeff. di sicurezza a sifonamento

FS_{UPL} Coeff. di sicurezza a sollevamento

Cmb	Sismica	FS_{SCO}	FS_{RIB}	FS_{QLIM}	FS_{STAB}	FS_{HYD}	FS_{UPL}
1 - STR (A1-M1-R3)		1.12		1.528			
2 - STR (A1-M1-R3)	H + V	1.379		2.015			
3 - STR (A1-M1-R3)	H - V	1.376		2.075			
4 - GEO (A2-M2-R2)					1.235		
5 - GEO (A2-M2-R2)	H + V				1.572		
6 - GEO (A2-M2-R2)	H - V				1.562		
7 - EQU (A1-M1-R3)			1.751				
8 - EQU (A1-M1-R3)	H + V		1.811				
9 - EQU (A1-M1-R3)	H - V		1.749				

Verifica a scorrimento fondazione

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Rsa Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kN]

Rpt Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kN]

Rps Resistenza passiva sperone, espresso in [kN]

Rp Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kN]

Rt Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kN]

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO E21D 06 D 10 RG FA140 001 B 51 di 111

R Resistenza allo scorrimento (somma di $R_{sa}+R_{pt}+R_{ps}+R_p$), espresso in [kN]

T Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kN]

FS Fattore di sicurezza (rapporto R/T)

n°	R_{sa} [kN]	R_{pt} [kN]	R_{ps} [kN]	R_p [kN]	R_t [kN]	R [kN]	T [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	193.97	34.55	0.00	--	--	228.52	204.15	1.119
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	187.63	34.55	0.00	--	--	222.18	161.11	1.379
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	180.58	34.55	0.00	--	--	215.13	156.37	1.376

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

N Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN]

Qu carico limite del terreno, espresso in [kN]

Qd Portanza di progetto, espresso in [kN]

FS Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limite e carico agente al piano di posa)

n°	N [kN]	Qu [kN]	Qd [kN]	FS
1 - STR (A1-M1-R3)	531.29	811.96	579.97	1.528
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	513.85	1035.21	862.68	2.015
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	494.50	1026.32	855.27	2.075

Dettagli calcolo portanza

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

N_c, N_q, N_g Fattori di capacità portante

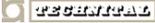
i_c, i_q, i_g Fattori di inclinazione del carico

d_c, d_q, d_g Fattori di profondità del piano di posa

g_c, g_q, g_g Fattori di inclinazione del profilo topografico

b_c, b_q, b_g Fattori di inclinazione del piano di posa

s_c, s_q, s_g Fattori di forma della fondazione

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>52 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	52 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	52 di 111								

pc, pq, pg Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic

Re Fattore di riduzione capacità portante per eccentricità secondo Meyerhof

Ir, Irc Indici di rigidezza per punzonamento secondo Vesic

rg Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia $0.5B_g N_g$ viene moltiplicato per questo fattore

D Affondamento del piano di posa, espresso in [m]

B' Larghezza fondazione ridotta, espresso in [m]

H Altezza del cuneo di rottura, espresso in [m]

g Peso di volume del terreno medio, espresso in [kN/mc]

f Angolo di attrito del terreno medio, espresso in [°]

c Coesione del terreno medio, espresso in [kPa]

n°	Nc Nq N _γ	ic iq i _γ	dc dq d _γ	gc gq g _γ	bc bq b _γ	sc sq s _γ	pc pq p _γ	Ir	Irc	Re	r _γ
1	26.214	0.338	1.222	1.000	1.000	--	--	--	--	--	0.957
	15.061	0.382	1.165	1.000	1.000	--	--	--	--	--	
	17.229	0.236	1.000	1.000	1.000	--	--	--	--	--	
2	26.214	0.437	1.222	1.000	1.000	--	--	--	--	--	0.957
	15.061	0.475	1.165	1.000	1.000	--	--	--	--	--	
	17.229	0.326	1.000	1.000	1.000	--	--	--	--	--	
3	26.214	0.433	1.222	1.000	1.000	--	--	--	--	--	0.957
	15.061	0.471	1.165	1.000	1.000	--	--	--	--	--	
	17.229	0.323	1.000	1.000	1.000	--	--	--	--	--	

n°	D [m]	B' [m]	H [m]	γ [°]	φ [kN/m c]	c [kPa]
1	1.65	2.97	2.49	9.19	28.21	3
2	1.65	2.97	2.49	9.19	28.21	3
3	1.65	2.97	2.49	9.19	28.21	3

Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

n° Indice combinazione

Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]

Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>53 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	53 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	53 di 111								

FS Fattore di sicurezza (rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante)

La verifica viene eseguita rispetto allo spigolo inferiore esterno della fondazione

n°	Ms [kNm]	Mr [kNm]	FS
7 - EQU (A1-M1-R3)	1008.28	575.99	1.751
8 - EQU (A1-M1-R3) H + V	979.37	540.92	1.811
9 - EQU (A1-M1-R3) H - V	947.59	541.79	1.749

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic Indice/Tipo combinazione

C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]

R Raggio, espresso in [m]

FS Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
4 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 1.00	9.54	1.235
5 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-4.50; 2.00	10.66	1.572
6 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4.50; 2.00	10.66	1.562

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B

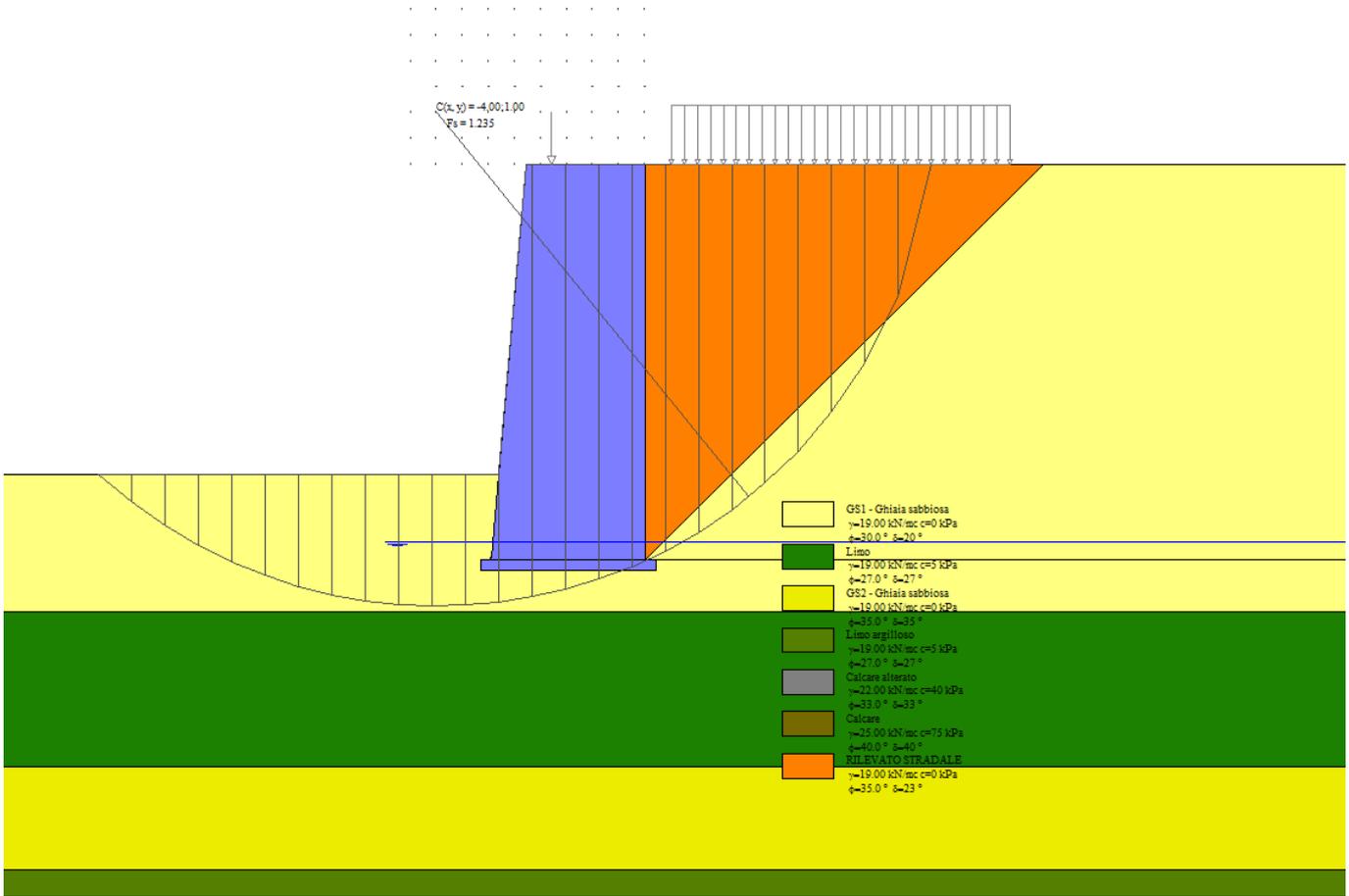


Figure 20: Superficie di scorrimento critica – Verifica di stabilità globale

Si riporta di seguito l'involuppo delle sollecitazioni nel paramento:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 55 di 111

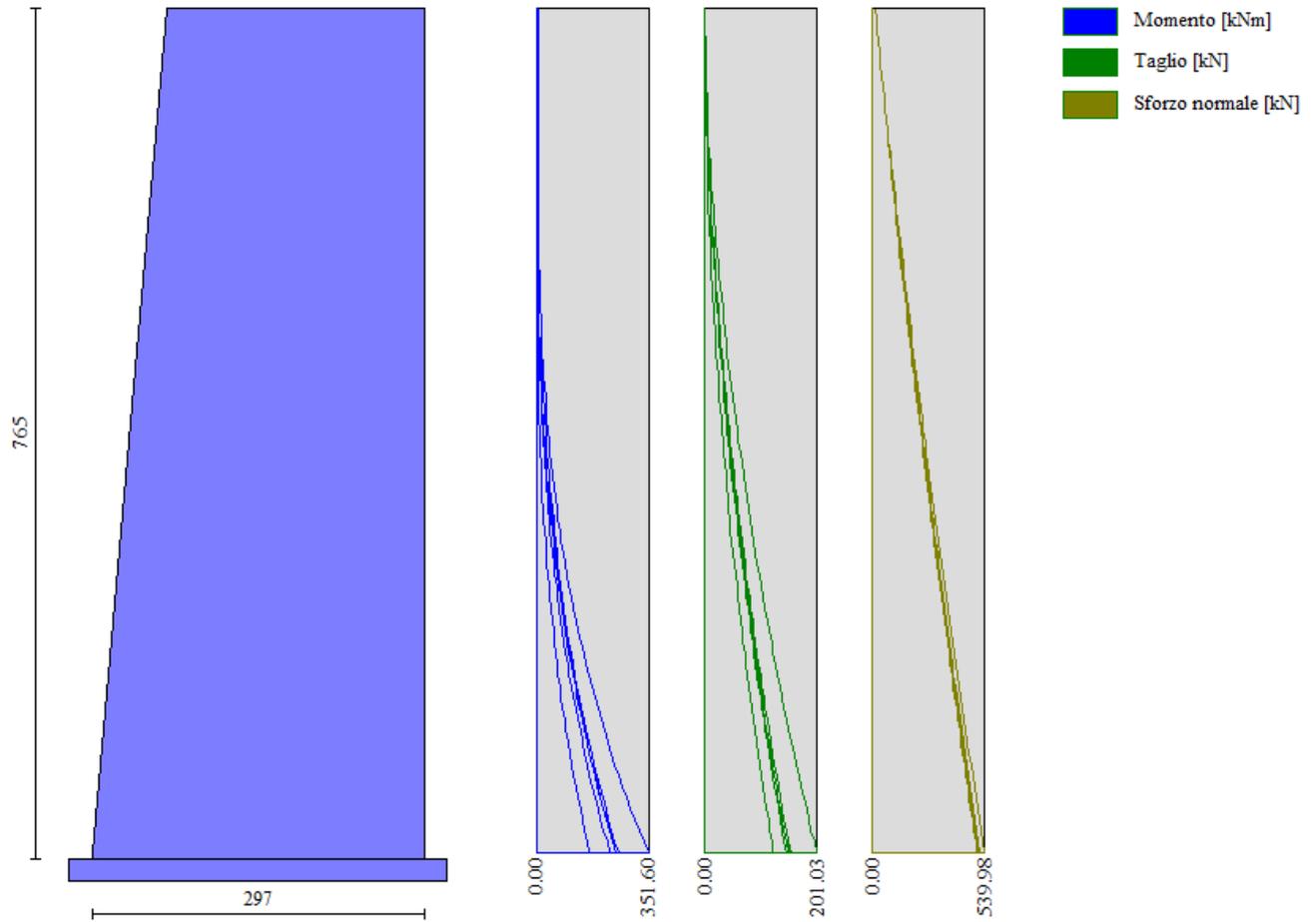
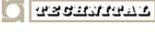


Figure 21: Distribuzione delle sollecitazioni nel muro (Inviluppo SLU/SLV)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>56 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	56 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	56 di 111								

Verifiche strutturali

Paramento in pietra

Simbologia adottata

n° indice sezione

Y ordinata sezione espressa in [m]

A_s area sezione reagente espresso in [cmq]

e eccentricità espresso in [cm]

s tensione espressa in [kPa]

R_t resistenza ai carichi orizzontali espressa in [kN]

E_t Azione orizzontale espressa in [kN]

F_{Ssc} fattore di sicurezza allo scorrimento (R_t/E_t)

M_s momento stabilizzante espresso in [kNm]

M_r momento ribaltante espresso in [kNm]

F_{Srib} fattore di sicurezza a ribaltamento (M_s/M_r)

Si riportano a seguire i risultati delle verifiche strutturali effettuate per ogni sezione del muro nelle condizioni di involucro SLU(SLV).

n°	Y	A_s	e	σ	R_t	E_t	F_{Ssc}	M_s	M_r	F_{Srib}
	[m]	[cmq]	[cm]	[kPa]	[kN]	[kN]		[kNm]	[kNm]	
1	0.00	15000	65.00	18	10.1000	0.5915	17.074	23.6340	0.0000	100.000
2	-0.10	20707	46.41	18	15.1805	0.9137	16.615	24.0684	0.0748	321.635
3	-0.20	23175	35.68	19	20.3020	1.2873	15.770	30.0963	0.1845	163.166
4	-0.30	23262	28.61	21	25.4642	1.7120	14.874	36.2640	0.3340	108.575
5	-0.40	23350	23.54	23	30.6670	2.1872	14.021	42.5719	0.5285	80.547
6	-0.50	23437	19.67	25	35.9104	2.7130	13.236	49.0211	0.7731	63.407
7	-0.60	23525	16.55	27	41.1946	3.2899	12.521	55.6129	1.0728	51.837
8	-0.70	23612	14.06	29	46.5195	3.9178		62.3481	1.4328	43.515

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 57 di 111
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

n°	Y	As	e	σ	Rt	Et	FSsc o	Ms	Mr	FSrib
	[m]	[cmq]	[cm]	[kPa]	[kN]	[kN]		[kNm]	[kNm]	
							11.874			
9	-0.80	23700	12.65	30	51.8852	4.5967	11.287	69.2276	1.8581	37.257
10	-0.90	23787	11.53	32	57.2917	5.3266	10.756	76.2524	2.3539	32.395
11	-1.00	23875	10.63	34	62.7389	6.1076	10.272	83.4233	2.9251	28.519
12	-1.10	23962	9.92	36	68.2269	6.9395	9.832	90.7412	3.5771	25.367
13	-1.20	24050	9.35	38	73.7556	7.8224	9.429	98.2070	4.3147	22.761
14	-1.30	24137	8.91	40	79.3251	8.7563	9.059	105.8217	5.1433	20.575
15	-1.40	24225	8.56	42	84.9354	9.7413	8.719	113.5861	6.0677	18.720
16	-1.50	24312	8.31	44	90.5864	10.7772	8.405	121.5011	7.0932	17.129
17	-1.60	24400	8.14	46	96.2782	11.8642	8.115	129.5677	8.2249	15.753
18	-1.70	24487	8.05	49	102.0107	13.0021	7.846	137.7867	9.4677	14.553
19	-1.80	24575	8.02	51	113.9182	15.2800	7.455	146.1591	10.8270	13.500
20	-1.90	24662	8.06	54	120.0246	16.8805	7.110	154.6857	12.3077	12.568
21	-2.00	24750	8.15	56	126.1756	18.5399	6.806	163.3675	13.9149	11.740
22	-2.10	24837	8.29	59	132.3710	20.2576	6.534	172.2052	15.6538	11.001
23	-2.20	24925	8.48	62	138.6106	22.0333	6.291	181.2000	17.5294	10.337
24	-2.30	25012	8.71	65	144.8943	23.8665	6.071	190.3526	19.5469	9.738
25	-2.40	25100	8.98	68	151.2220	25.7571	5.871	199.6639	21.7113	9.196
26	-2.50	25187	9.30	71	157.5936	27.7047	5.688	209.1349	24.0278	8.704
27	-2.60	25275	9.65	74	164.0089	29.7092	5.520	218.7664	26.5014	8.255
28	-2.70	25362	10.04	78	170.4680	31.7705	5.366	228.5594	29.1373	7.844
29	-2.80	25450	10.46	81	176.9707	33.8883	5.222	238.5148	31.9405	7.467
30	-2.90	25537	10.92	85	183.5169	36.0625	5.089	248.6334	34.9162	7.121
31	-3.00	25625	11.41	89	190.1068	38.2931	4.965	258.9161	38.0695	6.801
32	-3.10	25712	11.93	92	196.7401	40.5799		269.3639	41.4053	6.506

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 58 di 111
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

n°	Y	As	e	σ	Rt	Et	FSsc o	Ms	Mr	FSrib
	[m]	[cmq]	[cm]	[kPa]	[kN]	[kN]		[kNm]	[kNm]	
							4.848			
33	-3.20	25800	12.48	96	203.4169	42.9229	4.739	279.9777	44.9290	6.232
34	-3.30	25887	13.06	101	210.1371	45.3220	4.637	316.4886	52.9512	5.977
35	-3.40	25975	13.67	105	216.9008	47.7771	4.540	328.3840	57.6057	5.701
36	-3.50	26062	14.31	109	223.7078	50.2882	4.449	340.4609	62.5085	5.447
37	-3.60	26150	14.98	114	230.5582	52.8552	4.362	352.7200	67.6652	5.213
38	-3.70	26237	15.67	119	237.4520	55.4781	4.280	365.1625	73.0814	4.997
39	-3.80	26325	16.39	123	244.3891	58.1568	4.202	377.7891	78.7626	4.797
40	-3.90	26412	17.13	128	251.3695	60.8913	4.128	390.6009	84.7146	4.611
41	-4.00	26500	17.90	134	258.3932	63.6816	4.058	403.5987	90.9428	4.438
42	-4.10	26587	18.69	139	265.4602	66.5277	3.990	416.7835	97.4528	4.277
43	-4.20	26675	19.51	144	272.5705	69.4295	3.926	430.1563	104.2502	4.126
44	-4.30	26762	20.35	150	279.7240	72.3870	3.864	443.7179	111.3405	3.985
45	-4.40	26850	21.22	156	286.9208	75.4001	3.805	457.4693	118.7294	3.853
46	-4.50	26937	22.11	161	294.1609	78.4689	3.749	471.4115	126.4224	3.729
47	-4.60	27024	23.02	167	301.4442	81.5934	3.694	485.5454	134.4251	3.612
48	-4.70	27112	23.95	174	308.7707	84.7735	3.642	499.8720	142.7429	3.502
49	-4.80	27199	24.90	180	316.1405	88.0092	3.592	514.3921	151.3816	3.398
50	-4.90	27287	26.00	186	323.5535	91.3006	3.544	529.1069	160.3466	3.300
51	-5.00	27374	27.19	193	331.0098	94.6475	3.497	544.0171	169.6436	3.207
52	-5.10	27462	28.41	200	338.5092	98.0500	3.452	559.1238	179.2780	3.119
53	-5.20	27549	29.65	207	346.0519	101.5080	3.409	574.4280	189.2554	3.035
54	-5.30	27637	30.91	214	353.6378	105.0217	3.367	589.9305	199.5814	2.956
55	-5.40	27724	32.19	221	361.2669	108.5909	3.327	605.6323	210.2616	2.880
56	-5.50	27812	33.49	229	368.9392	112.2156	3.288	621.5344	221.3015	2.809
57	-5.60	27899	34.81	236	376.6547	115.8959	3.250	637.6378	232.7066	2.740
58	-5.70	27987	36.16	244	384.4134	119.6317		653.9434	244.4825	2.675

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 59 di 111
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

n°	Y	As	e	σ	Rt	Et	FSsc o	Ms	Mr	FSrib
	[m]	[cmq]	[cm]	[kPa]	[kN]	[kN]		[kNm]	[kNm]	
59	-5.80	28074	37.52	252	392.2153	123.4230	3.213	670.4521	256.6348	2.612
60	-5.90	28162	38.90	260	400.0604	127.2699	3.178	687.1650	269.1689	2.553
61	-6.00	28249	40.30	268	407.9486	131.1722	3.143	704.0830	282.0906	2.496
62	-6.10	28337	41.72	276	415.8801	135.1301	3.110	721.2069	295.4052	2.441
63	-6.20	28424	43.16	285	423.8548	139.1435	3.078	738.5379	309.1185	2.389
64	-6.30	28512	44.61	294	431.8726	143.2124	3.046	756.0769	323.2358	2.339
65	-6.40	28599	46.09	303	439.9336	147.3368	3.016	773.8247	337.7628	2.291
66	-6.50	28687	47.58	312	448.0378	151.5167	2.986	791.7825	352.7050	2.245
67	-6.60	28436	49.09	321	456.1852	155.7521	2.957	809.9510	368.0680	2.201
68	-6.70	28109	50.61	330	464.3758	160.0430	2.929	828.3314	383.8573	2.158
69	-6.80	27777	52.16	340	472.6095	164.3893	2.902	846.9246	400.0784	2.117
70	-6.90	27440	53.72	350	480.8865	168.7912	2.875	865.7314	416.7370	2.077
71	-7.00	27098	55.29	361	489.2066	173.2485	2.849	884.7530	433.8385	2.039
72	-7.10	26751	56.89	372	497.5694	177.7604	2.824	903.9890	451.3885	2.003
73	-7.20	26399	58.50	383	505.9747	182.3260	2.799	923.4395	469.3924	1.967
74	-7.30	26042	60.13	395	514.4197	186.9391	2.775	943.0972	487.8553	1.933
75	-7.40	25680	61.77	407	522.9017	191.5933	2.752	962.9574	506.7837	1.900
76	-7.50	25312	63.43	420	531.4207	196.2887	2.729	983.0314	526.1923	1.868
77	-7.60	24940	65.11	433	539.9767	201.0252	2.707	1003.3328	546.0981	1.837
							2.686			

Si riporta di seguito il riepilogo delle verifiche strutturali locali nel muro in termini di tasso di sfruttamento

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>60 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	60 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	60 di 111								

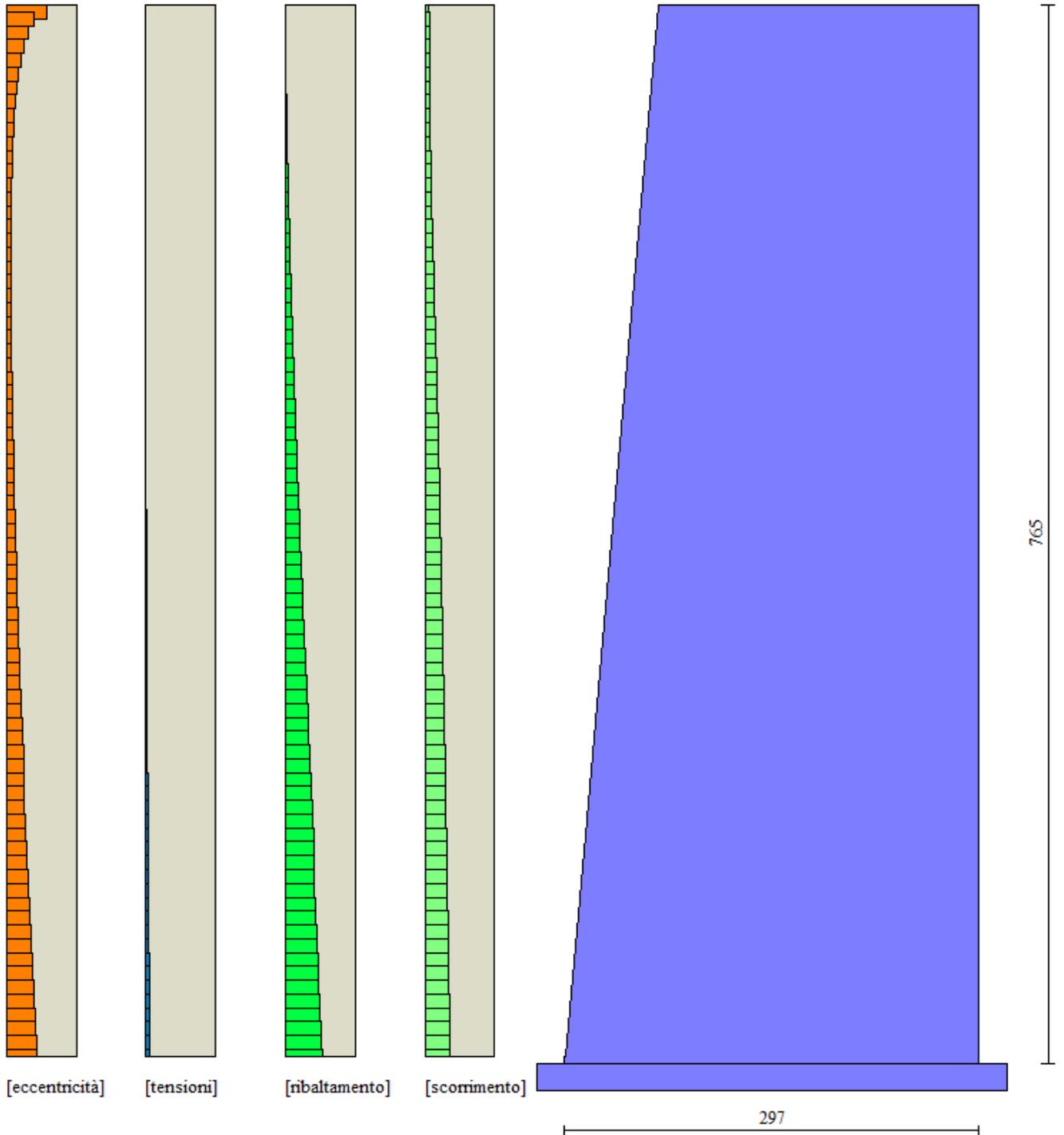


Figure 22: Riepilogo delle verifiche strutturali locali nel muro

In definitiva, tutte le verifiche strutturali e geotecniche risultano soddisfatte.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>61 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	61 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	61 di 111								

9.9 **DICHIARAZIONE DECONDO NTC 2018 (§ 10.2)**

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo delle sollecitazioni è stato condotto attraverso un'analisi agli elementi finiti.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi pseudostatica secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018. La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Lo stato tenso-deformativo dei sottostrutture è stato investigato mediante il software di calcolo Max di Aztec informatica srl.

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 62 di 111

in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>63 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	63 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	63 di 111								

10 MODELLAZIONE STRUTTURALE – VASCA DI LAMINAZIONE

10.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali impiegati, ricavate con riferimento alle indicazioni contenute D.M.14 gennaio 2018. Le classi di esposizione dei calcestruzzi sono coerenti con la UNI EN 206-1-2001.

10.1.1 Calcestruzzo

PALI

Per il getto in opera degli elementi di Pali trivellati si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C25/30 $f_{ck} \geq 25$ MPa $R_{ck} \geq 30$ MPa

Classe minima di consistenza: S4-S5

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck} 30 N/mm ²	
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83R_{ck}$	24,9 N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32,9 N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	f_{cd} (Breve durata) = $f_{ck} / 1.5$	16,60
N/mm ²		
Resistenza di calcolo lunga durata	f_{cd} (Lungo durata) = $0,85 f_{cd}$	14,11
N/mm ²		
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	2,56 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} (5\%) = 0.7 f_{ctm}$	1,79 N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,07 N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} (5\%) / 1.5$	1,19 N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447,16 N/mm ²

10.1.2 Acciaio

ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

Classe acciaio per armature ordinarie

B450C

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>64 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	64 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	64 di 111								

Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di rottura	$f_t \geq 540 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità	$E_a = 210000 \text{ MPa}$

10.1.3 Copriferrini Minimi

Si Riportano Di Seguito I Copriferrini Minimi Per Le Strutture In Calcestruzzo Armato:

Strutture Di Fondazione 3,5 Cm

10.2 ANALISI DEI CARICHI E CONDIZIONI DI CARICO

Si considerano sulla struttura le azioni elementari elencate di seguito:

- peso proprio della struttura e della costruzione;
- sovraccarichi permanenti;
- sovraccarichi accidentali: carico dovuto alla copertura carrabile

10.2.1 Peso Proprio Degli Elementi Strutturali G1

I pesi propri strutturali sono stati aggiunti come carichi lineari nel modello. Il peso specifico del calcestruzzo è assunto pari a 25kN/m³.

10.2.2 Sovraccarichi Permanenti G2

Sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione.

Il calcolo del peso proprio degli elementi non strutturali gravante sul solaio di copertura è di 10 kN/m²

10.2.3 Sovraccarichi Accidentali Q

Di seguito si riportano i carichi variabili di superficie uniformemente distribuiti q_k .

- **Carico per rimesse e aree per traffico** (Cat F-G par.3.1.4-DM 14.1.2018):

Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi	5 kN/m ²
--	---------------------

10.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al §3.2 del D.M. 2018. particolare il

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>65 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	65 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	65 di 111								

procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche è stato il seguente:

- definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica;
- individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_0 e T^*c per tutti e quattro gli Stati Limite previsti (SLO, SLD, SLV e SLC); l'individuazione è stata effettuata interpolando tra i 4 punti più vicini al punto di riferimento dell'edificio;
- determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica;
- calcolo del periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli Spettri di Progetto nelle verifiche agli Stati Limite considerate.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum ED50:

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
44.438465	8.962367	38

6.1 Verifiche di regolarità

Sia per la scelta del metodo di calcolo, sia per la valutazione del fattore di comportamento adottato, deve essere effettuato il controllo della regolarità della struttura. tabella seguente riepiloga, per la struttura in esame, le condizioni di regolarità in pianta ed in altezza soddisfatte.

10.3.1 REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN PIANTA	
La distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento	NO
Il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4	SI
Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione	SI

10.3.2 REGOLARITÀ DELLA STRUTTURA IN ALTEZZA	
Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio	SI

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>66 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	66 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	66 di 111								

Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base	SI
Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti	SI
Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento	SI

La rigidezza è calcolata come rapporto fra il taglio complessivamente agente al piano e d , spostamento relativo di piano (il taglio di piano è la sommatoria delle azioni orizzontali agenti al di sopra del piano considerato). i valori calcolati ed utilizzati per le verifiche sono riportati nei “Tabulati di calcolo” nella relativa sezione.

La struttura è pertanto:

in pianta	in altezza
NON REGOLARE	REGOLARE

6.2 Classe di duttilità

La classe di duttilità è rappresentativa della capacità dell'edificio di dissipare energia in campo anelastico per azioni cicliche ripetute. deformazioni anelastiche devono essere distribuite nel maggior numero di elementi duttili, in particolare le travi, salvaguardando in tal modo i pilastri e soprattutto i nodi travi pilastro che sono gli elementi più fragili. D.M. 2018 definisce due tipi di comportamento strutturale:

- comportamento strutturale non-dissipativo;
- comportamento strutturale dissipativo.

Per strutture con comportamento strutturale dissipativo si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD).

- CD “A” (Alta);
- CD “B” (Media).

La differenza tra le due classi risiede nell'entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>67 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	67 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	67 di 111								

progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

La struttura in esame è stata progettata in classe di duttilità "NON DISSIPATIVA".

6.3 Spettri di Progetto per S.L.U. e S.L.D.

L'edificio è stato progettato per una Vita Nominale pari a 50 e per Classe d'Uso pari a 3.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il suolo di fondazione di categoria B, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

Stato Limite	a_g/g	F_0	Parametri di pericolosità sismica					
			T^*_c	C_c	T_B	T_c	T_D	S_s
			[s]		[s]	[s]	[s]	
SLO	0.0298	2.528	0.206	1.51	0.104	0.311	1.719	1.20
SLD	0.0365	2.546	0.223	1.48	0.111	0.332	1.746	1.20
SLV	0.0857	2.515	0.288	1.41	0.135	0.406	1.943	1.20
SLC	0.1109	2.499	0.296	1.40	0.138	0.415	2.043	1.20

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre all'accelerazione (a_g) al suolo (dipendente dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il Fattore di Comportamento (q).

Il Fattore di comportamento q è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttilità e dalla regolarità in altezza.

Si è inoltre assunto il Coefficiente di Amplificazione Topografica (ST) pari a 1.00.

Tali succitate caratteristiche sono riportate negli allegati "Tabulati di calcolo" al punto "DATI GENERALI

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 68 di 111

ANALISI SISMICA”.

Per la struttura in esame sono stati utilizzati i seguenti valori:

10.3.3 Stato Limite di Danno

Fattore di Comportamento (q_x) per sisma orizzontale in direzione X: **1.00;**

Fattore di Comportamento (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y: **1.00;**

Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale: **1.00** (se richiesto).

10.3.4 Stato Limite di salvaguardia della Vita

Fattore di Comportamento (q_x) per sisma orizzontale in direzione X: **1.00 ;**

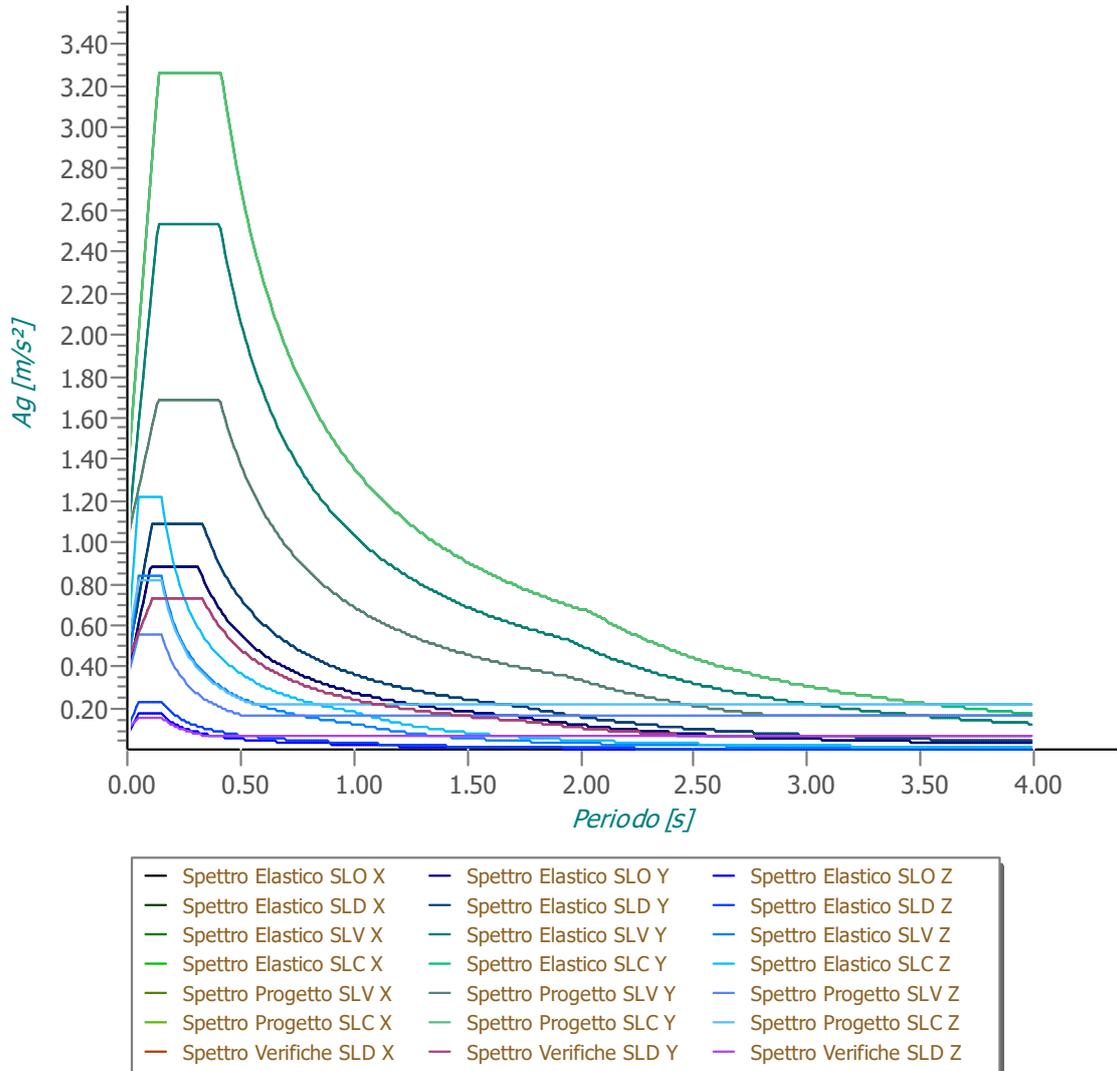
Fattore di Comportamento (q_y) per sisma orizzontale in direzione Y: **1.00 ;**

Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale: **1.50** (se richiesto).

Gli spettri utilizzati sono riportati nella successiva figura.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 69 di 111

Grafico degli Spettri di Risposta



10.3.5 Metodo di Analisi

Il calcolo delle azioni sismiche è stato eseguito in analisi dinamica modale, considerando il comportamento della struttura in regime elastico lineare.

Per valutare la risposta massima complessiva di una generica caratteristica E, conseguente alla sovrapposizione dei modi, si è utilizzata una tecnica di combinazione probabilistica definita CQC (*Complete*

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 70 di 111

Quadratic Combination - Combinazione Quadratica Completa):

$$E = \sqrt{\sum_{i,j=1,n} \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j} \quad \rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij})^2} \quad \beta_{ij} = \frac{T_j}{T_i}$$

dove:

- n è il numero di modi di vibrazione considerati;
- x è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale;
- β_{ij} è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia i-j di modi di vibrazione.

Le sollecitazioni derivanti da tali azioni sono state composte poi con quelle derivanti da carichi verticali, orizzontali non sismici secondo le varie combinazioni di carico probabilistiche. Il calcolo è stato effettuato mediante un programma agli elementi finiti le cui caratteristiche verranno descritte nel seguito.

Il calcolo degli effetti dell'azione sismica è stato eseguito con riferimento alla struttura spaziale, tenendo conto degli elementi interagenti fra loro secondo l'effettiva realizzazione escludendo i tamponamenti. Non ci sono approssimazioni su tetti inclinati, piani sfalsati o scale, solette, pareti irrigidenti e nuclei.

Si è tenuto conto delle deformabilità taglianti e flessionali degli elementi monodimensionali; muri, pareti, setti, solette sono stati correttamente schematizzati tramite elementi finiti a tre/quattro nodi con comportamento a guscio (sia a piastra che a lastra).

Sono stati considerati sei gradi di libertà per nodo; in ogni nodo della struttura sono state applicate le forze sismiche derivanti dalle masse circostanti.

Le sollecitazioni derivanti da tali forze sono state poi combinate con quelle derivanti dagli altri carichi come prima specificato.

10.3.6 Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV sono stati ottenuti moltiplicando per il fattore μ_d i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

dove

$$\begin{aligned} \mu_d &= q && \text{se } T_1 \geq T_C; \\ \mu_d &= 1 + (q-1) \cdot T_C / T_1 && \text{se } T_1 < T_C. \end{aligned}$$

In ogni caso $\mu_d \leq 5q - 4$.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>71 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	71 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	71 di 111								

10.3.7 Combinazione delle componenti dell'azione sismica

Le azioni orizzontali dovute al sisma sulla struttura vengono convenzionalmente determinate come agenti separatamente in due direzioni tra loro ortogonali prefissate. In generale, però, le componenti orizzontali del sisma devono essere considerate come agenti simultaneamente. A tale scopo, la combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali dell'azione sismica sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY} \qquad E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX}$$

dove:

E_{EdX} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale X scelto della struttura;

E_{EdY} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale Y scelto della struttura.

L'azione sismica verticale deve essere considerata in presenza di: elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi pressoché orizzontali precompressi, elementi a sbalzo pressoché orizzontali con luce maggiore di 5 m, travi che sostengono colonne, strutture isolate.

La combinazione della componente verticale del sisma, qualora portata in conto, con quelle orizzontali è stata tenuta in conto come segue:

- gli effetti delle azioni dovuti alla combinazione delle componenti orizzontali e verticali del sisma sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY} \pm 0,30E_{EdZ} \qquad E_{EdY} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdZ} \qquad E_{EdZ} \pm 0,30E_{EdX} \pm 0,30E_{EdY}$$

dove:

E_{EdX} e E_{EdY} sono gli effetti dell'azione sismica nelle direzioni orizzontali prima definite;

E_{EdZ} rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione della componente verticale dell'azione sismica di progetto.

10.3.8 Eccentricità accidentali

Per valutare le eccentricità accidentali, previste in aggiunta all'eccentricità effettiva sono state considerate condizioni di carico aggiuntive ottenute applicando l'azione sismica nelle posizioni del centro di massa di ogni piano ottenute traslando gli stessi, in ogni direzione considerata, di una distanza pari a +/- 5% della

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 72 di 111

dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica. Si noti che la distanza precedente, nel caso di distribuzione degli elementi non strutturali fortemente irregolare in pianta, viene raddoppiata ai sensi del § 7.2.3 del D.M. 2018.

10.4 **COMBINAZIONI DI CARICO**

Le masse strutturali sono calcolate in automatico dal software di calcolo utilizzato considerando le masse sismiche provenienti dai carichi superficiali, dai carichi lineari, dal peso proprio degli elementi strutturali.

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

I carichi accidentali sono stati considerati ai fini del peso sismico secondo i seguenti coefficienti di combinazione, Ψ_{2j} (da tab. 2.5.I NTC-2018):

- Carico neve: 0
- Carico vento: 0
- Categoria H - Coperture: 0
- Variazione termiche: 0

La componente sismica E è stata calcolata separatamente per ciascuna delle tre componenti ed è stata poi combinata con gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale della componente stessa, utilizzando la radice quadrata della somma dei quadrati. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z$$

Gli effetti della torsione accidentale sono presi in considerazione applicando ad ogni piano i momenti $M_i = e_{ai} F_i$, con $e_{ai} = \pm 5\%$ della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica.

Le combinazioni delle azioni sono state definite in accordo con quanto riportato al par. 2.5.3 del DM 14.1.2018:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>73 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	73 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	73 di 111								

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

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

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

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

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

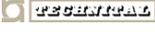
Sulla base dei criteri esposti sopra, si riportano nei prospetti di seguito i coefficienti dedotti per ciascuna delle combinazioni di carico adottate nell'analisi strutturale, per i diversi stati limite. Si evidenzia che cautelativamente i carichi permanenti/accidentali del piano terra favorevoli per le verifiche strutturali non sono stati considerati ai fini dell'analisi strutturale.

10.4.1 Stato Limite Di Esercizio

Combinazione caratteristica

<u>SLE Rara</u>	<u>Peso Proprio</u>	<u>Permanenti</u>	<u>Var. Cop.</u>	<u>Neve</u>	<u>Vento</u>	<u>Aerod.</u>	<u>Var. Term.</u>
Comb. 1	1,00	1,00	1,00	0,50	0,60	0,80	0,60
Comb. 2	1,00	1,00		1,00	0,60	0,80	0,60
Comb. 3	1,00	1,00		0,50	1,00	0,80	0,60
Comb. 4	1,00	1,00		0,50	0,60	1,00	0,60
Comb. 5	1,00	1,00		0,50	0,60	0,80	1,00

Combinazione frequente

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO E21D 06 D 10 RG FA140 001 B 74 di 111

<u>SLE frequenti</u>	<u>Peso Proprio</u>	<u>Permanenti</u>	<u>Var. Cop.</u>	<u>Neve</u>	<u>Vento</u>	<u>Aerod.</u>	<u>Var. Term.</u>
Comb. 1	1,00	1,00					
Comb. 2	1,00	1,00		0,20			
Comb. 3	1,00	1,00			0,20		
Comb. 4	1,00	1,00				0,50	
Comb. 5	1,00	1,00					0,50

Combinazione quasi permanente

<u>SLE q.p.</u>	<u>Peso Proprio</u>	<u>Permanenti</u>	<u>Var. Cop.</u>	<u>Neve</u>	<u>Vento</u>	<u>Aerod.</u>	<u>Var. Term.</u>
Comb. 1	1,00	1,00					

10.4.2 Stato Limite Ultimo

Combinazione fondamentale

<u>SLU</u>	<u>Peso Proprio</u>	<u>Permanenti</u>	<u>Var. Cop.</u>	<u>Neve</u>	<u>Vento</u>	<u>Aerod.</u>	<u>Var. Term.</u>
Comb. 1	1,3	1,3	1,5	0,75	0,9	1,2	0,9
Comb. 2	1,3	1,3		1,5	0,9	1,2	0,9
Comb. 3	1,3	1,3		0,75	1,5	1,2	0,9
Comb. 4	1,3	1,3		0,75	0,9	1,5	0,9
Comb. 5	1,3	1,3		0,75	0,9	1,2	1,5

Combinazione sismica

<u>SLD</u>	<u>Peso Proprio</u>	<u>Perm.</u>	<u>SismaX_SLD</u>	<u>SismaY_SLD</u>	<u>Ecc.acc.</u>	<u>Var.</u>	<u>Neve</u>	<u>Vento</u>	<u>Aerod.</u>	<u>Var. Term.</u>
Comb. 1	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb. 2	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<u>SLV</u>	<u>Peso Proprio</u>	<u>Perm.</u>	<u>SismaX_SLV</u>	<u>SismaY_SLV</u>	<u>Ecc.acc.</u>	<u>Var.</u>	<u>Neve</u>	<u>Vento</u>	<u>Aerod.</u>	<u>Var. Term.</u>
Comb. 1	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

			PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 75 di 111

Comb. 2	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SLO	Peso Proprio	Perm.	SismaX_SLO	SismaY_SLO	Ecc.acc.	Var.	Neve	Vento	Aerod.	Var. Term.
Comb. 1	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb. 2	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

10.5 CRITERI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate sulla base dei criteri definiti nelle vigenti norme tecniche - “Norme tecniche per le costruzioni” - DM 14.1.2018 -.

In particolare vengono effettuate le verifiche agli stati limite di servizio ed allo stato limite ultimo. Le combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche sono quelle indicate nei precedenti paragrafi.

Si espongono di seguito i criteri di verifica adottati per le verifiche degli elementi strutturali.

10.5.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

Verifica a fessurazione

Le verifiche a fessurazione sono eseguite adottando i criteri definiti nel paragrafo 4.1.2.2.4.5 del DM 14.1.2018,

Con riferimento alle classi di esposizione delle varie parti della struttura (si veda il paragrafo relativo alle caratteristiche dei materiali impiegati), alle corrispondenti condizioni ambientali ed alla sensibilità delle armature alla corrosione (armature sensibili per gli acciai da precompresso; poco sensibili per gli acciai ordinari), si individua lo stato limite di fessurazione per assicurare la funzionalità e la durata delle strutture, in accordo con il DM 14.1.2018:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 1: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione - Tabella 4.1.IV del DM 14.1.2018

Nella Tabella sopra riportata, $w_1=0.2\text{mm}$, $w_2=0.3\text{mm}$; $w_3=0.4\text{mm}$.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 76 di 111

Più restrittivi risultano i limiti di apertura delle fessure riportati nel “Manuale di progettazione delle opere civili”. L’apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, deve risultare:

- a) $\delta_f \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- b) $\delta_f \leq w_2$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 14.1.2008.

Si assume pertanto per tutti gli elementi strutturali analizzati nel presente documento:

- Stato limite di fessurazione: $w_d \leq w_1 = 0.2$ mm - combinazione di carico rara

In accordo con la vigente normativa, il valore di calcolo di apertura delle fessure w_d è dato da:

$$w_d = 1,7 w_m$$

dove w_m rappresenta l’ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d’armatura ϵ_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \epsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ϵ_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati i criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

Verifica delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si verifica che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti, di seguito riportati.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,55 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c < 0,40 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.}$$

Per l’acciaio ordinario, la tensione massima σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 77 di 111

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk}$$

dove f_{yk} per armatura ordinaria è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

10.5.2 Verifiche agli stati limite ultimi

Sollecitazioni Flettenti

La verifica di resistenza (SLU) è stata condotta attraverso il calcolo dei domini di interazione N-M, ovvero il luogo dei punti rappresentativi di sollecitazioni che portano in crisi la sezione di verifica secondo i criteri di resistenza da normativa.

Nel calcolo dei domini sono state mantenute le consuete ipotesi, tra cui:

- conservazione delle sezioni piane;
- legame costitutivo del calcestruzzo parabolo-rettangolo non reagente a trazione, con plateau ad una deformazione pari a 0.002 e a rottura pari a 0.0035 ($\sigma_{max} = 0.85 \times 0.83 \times R_{ck} / 1.5$);
- legame costitutivo dell'armatura d'acciaio elastico-perfettamente plastico con deformazione limite di rottura a 0.01 ($\sigma_{max} = f_{yk} / 1.15$)

Sollecitazioni taglianti

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi sprovvisti di specifica armatura è stata calcolata sulla base della resistenza a trazione del calcestruzzo.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove:

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 78 di 111

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \times d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 f_{cd}$);

b_w è la larghezza minima della sezione (in mm).

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" è stata calcolata con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" è stata calcolata con:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

In cui:

d è l'altezza utile della sezione;

b_w è la larghezza minima della sezione;

σ_{cp} è la tensione media di compressione della sezione;

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 79 di 111

- A_{sw} è l'area dell'armatura trasversale;
 S è interasse tra due armature trasversali consecutive;
 θ è l'angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
 f_{cd} è la resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f_{cd}=0.5f_{cd}$);
 α è un coefficiente maggiorativo, pari ad 1 per membrature non compresse

10.6 MODELLO STRUTTURALE

Per la modellazione ad elementi finiti della struttura in esame è stato utilizzato il programma "EdiLus ACCA".

Si è scelto di sviluppare la modellazione soltanto per uno dei tre corpi giuntati che compongono il fabbricato, selezionando il corpo centrale, il quale riflette lo schema globale della struttura e presenta la configurazione più sfavorevole per carichi e luci di calcolo.

È stata eseguita un'analisi dinamica modale.

Viene definita un'opportuna numerazione degli elementi (nodi, aste, shell) costituenti il modello, al fine di individuare univocamente ciascun elemento nei tabulati di calcolo.

Qui di seguito è fornita una rappresentazione grafica della discretizzazione operata, con evidenziazione dei nodi e degli elementi. Si riportano inoltre le viste assonometriche corrispondenti agli schemi statici forniti, per consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 80 di 111

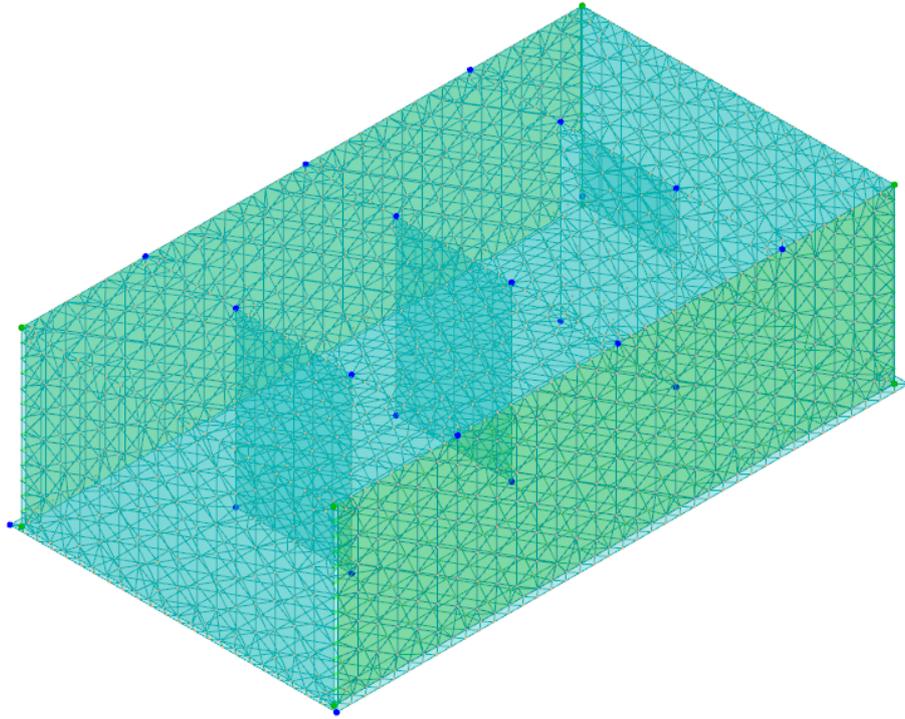


Figura 4: Schema statico di riferimento del modello di analisi

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 81 di 111

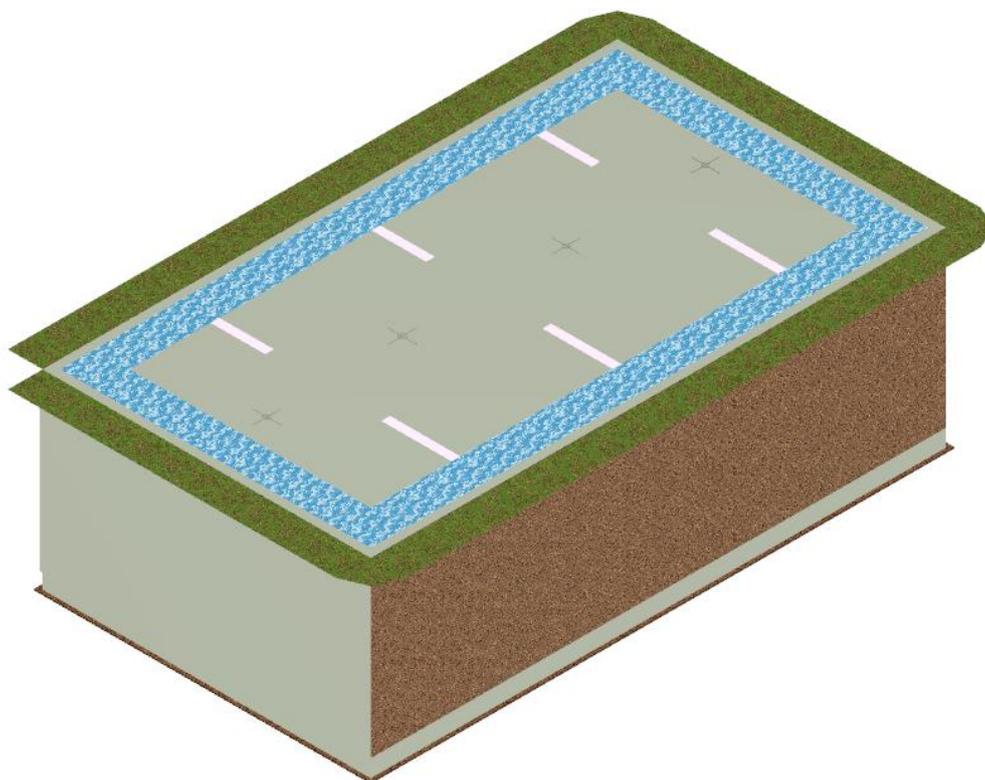


Figura 5: Vista assometriche di riferimento del modello di analisi

10.7 ANALISI DEI RISULTATI: SOLLECITAZIONI

Si esibiscono di seguito i risultati dell'analisi strutturale condotta sul modello globale della struttura, per mezzo del software di calcolo descritto in precedenza.

10.7.1 Sollecitazioni

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi in termini di sollecitazioni degli elementi strutturali per soli carichi statici, estrapolati dal modello nella combinazione di carico con coefficienti moltiplicativi unitari.

Sollecitazioni ai carichi statici

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>82 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	82 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	82 di 111								

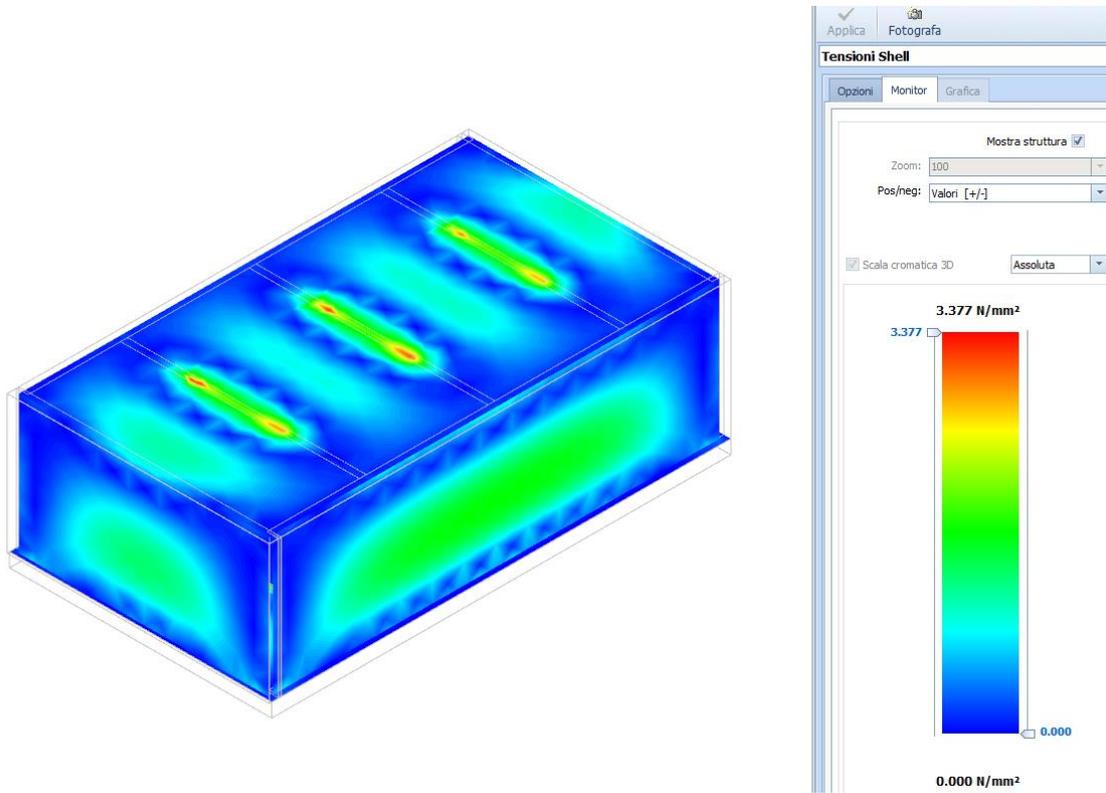


Figura 6: Tensione Normale

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>83 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	83 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	83 di 111								

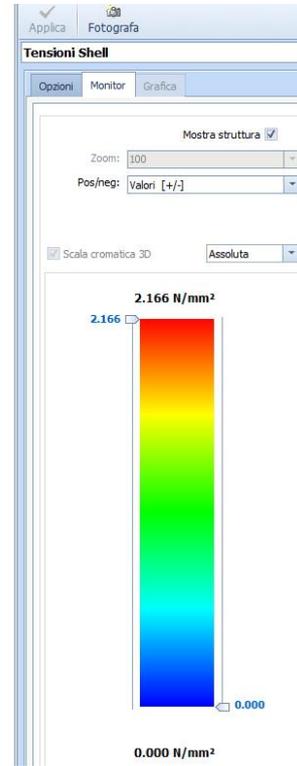
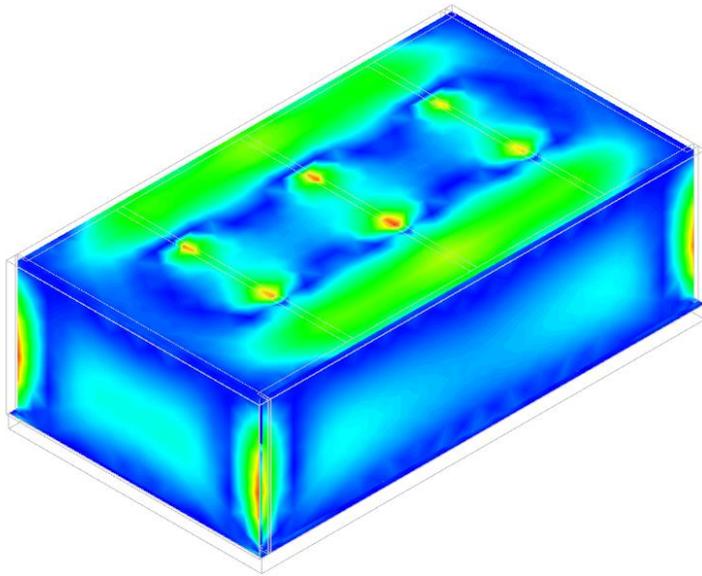


Figura 7: Tensione Normale

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>84 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	84 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	84 di 111								

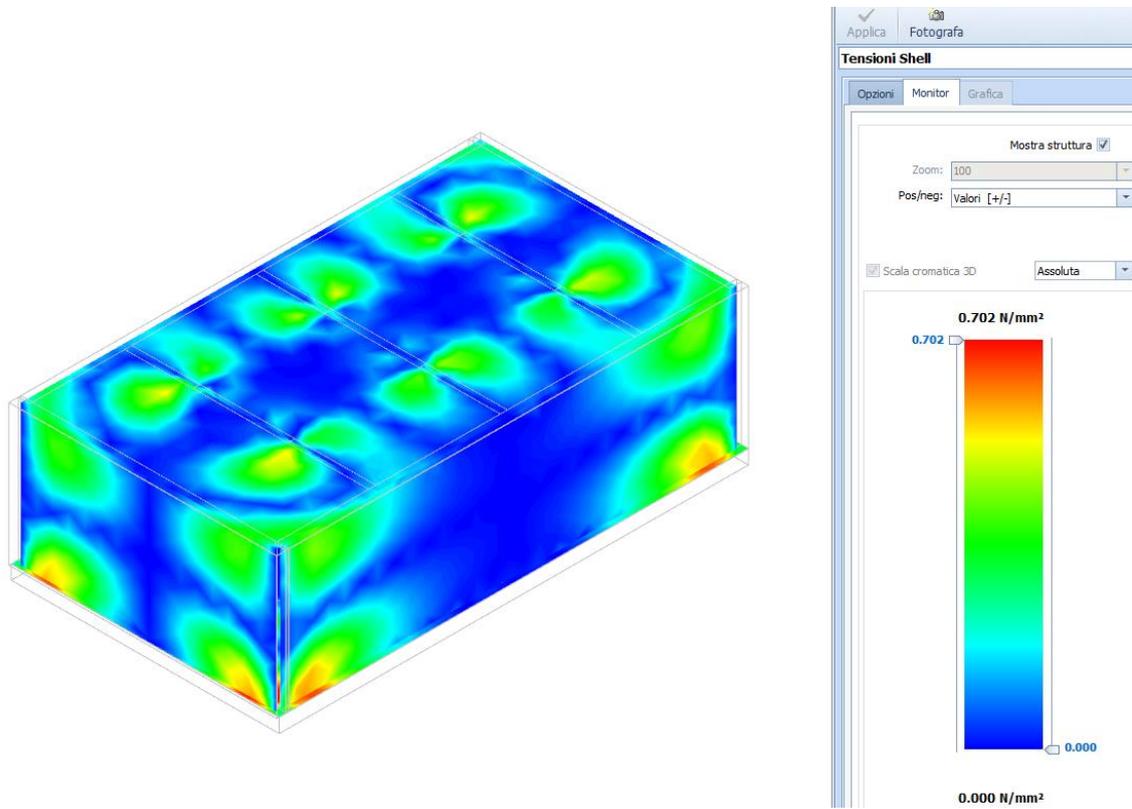


Figura 8: Tensione tangenziali

Sollecitazioni ai carichi per effetto del sisma

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>85 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	85 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	85 di 111								

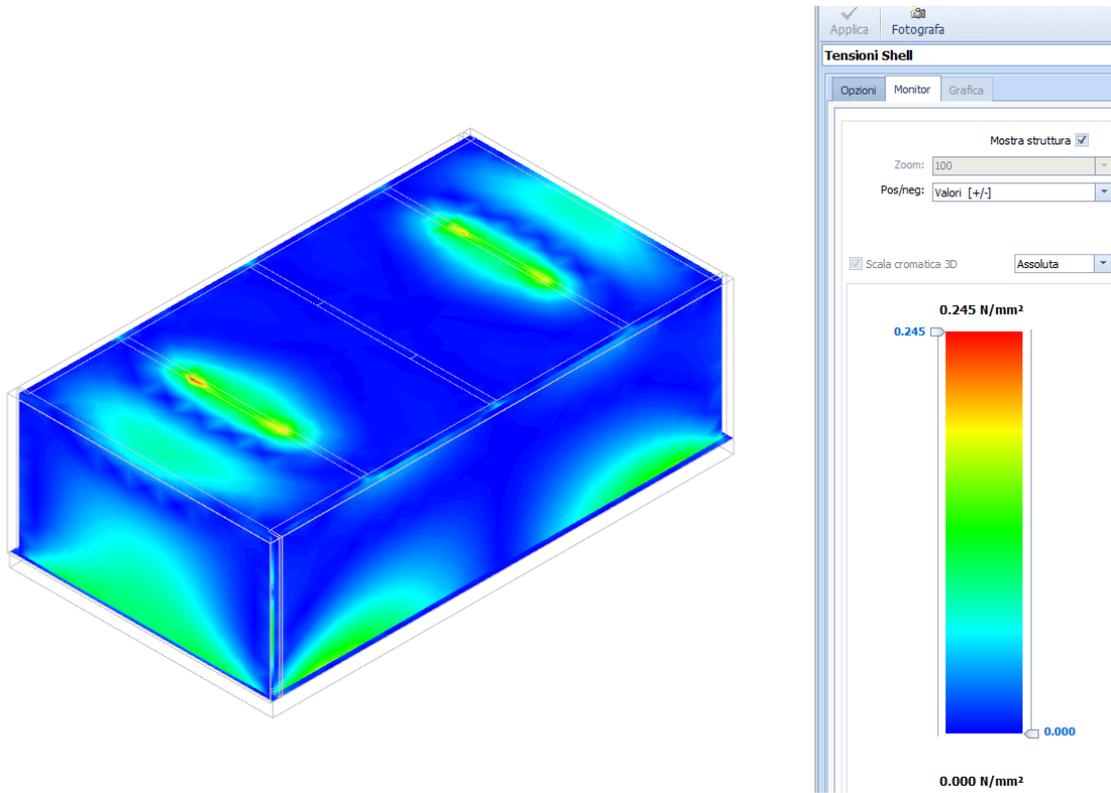
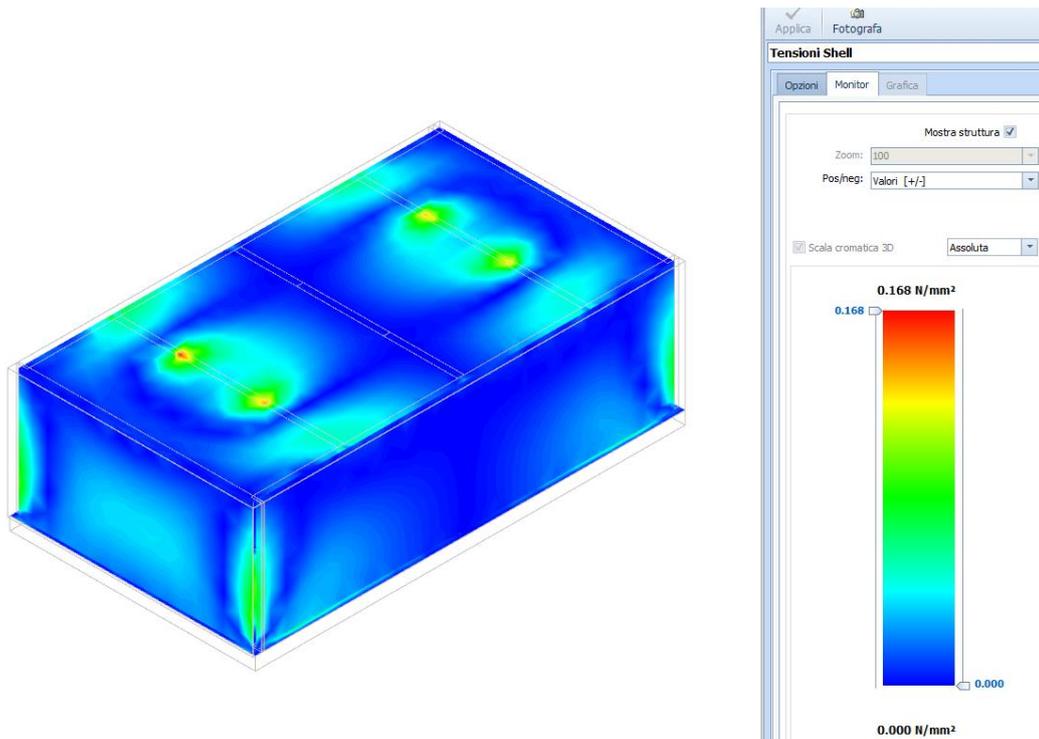


Figura 9: Tensione Normale



	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>86 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	86 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	86 di 111								

Figura 10: Tensione Normale

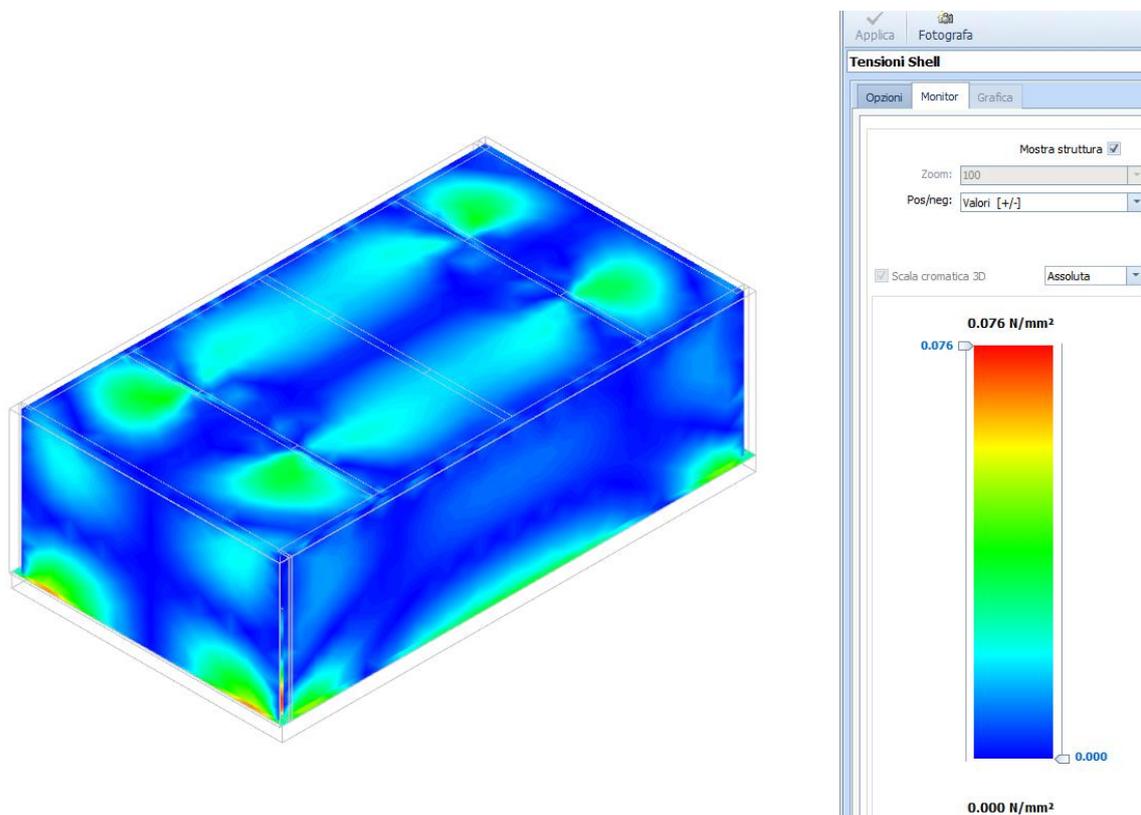


Figura 11: Tensione tangenziali

10.8 VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito si riportano le verifiche strutturali significative e rappresentative in forma grafica

10.8.1 Verifiche a flessione

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>87 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	87 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	87 di 111								

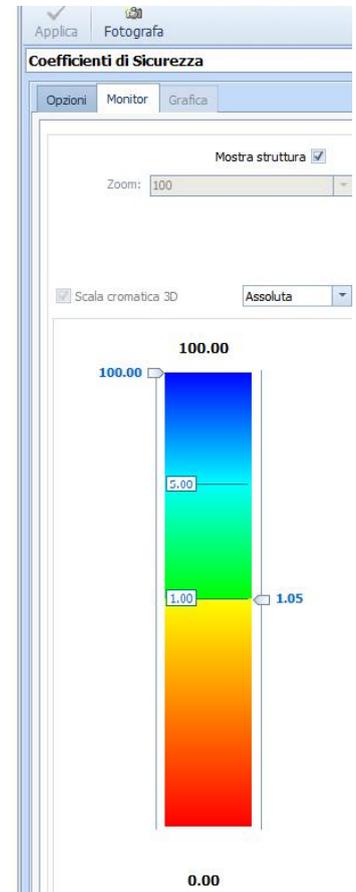
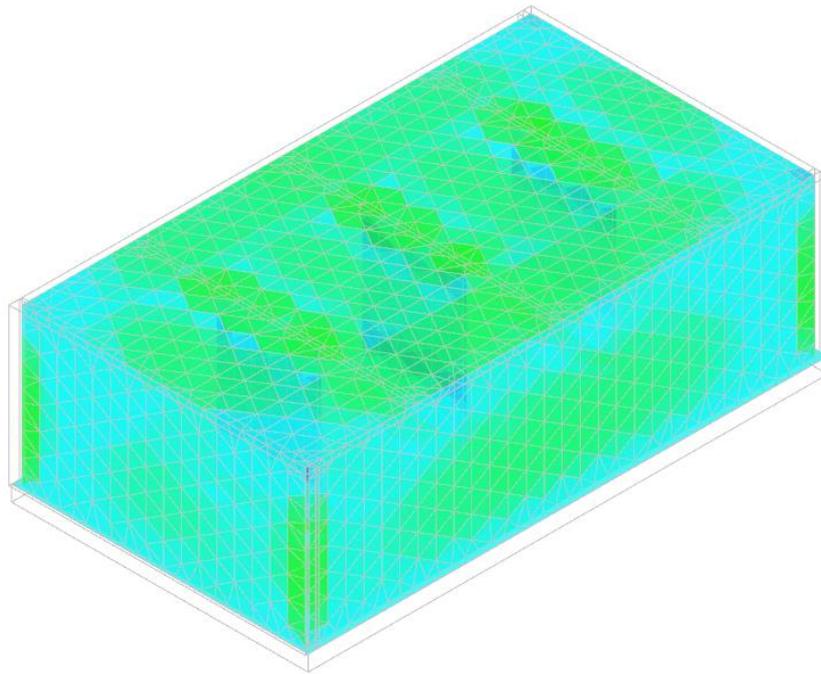


Figura 12: Verifica a flessione

10.8.2 Verifiche a taglio

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>88 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	88 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	88 di 111								

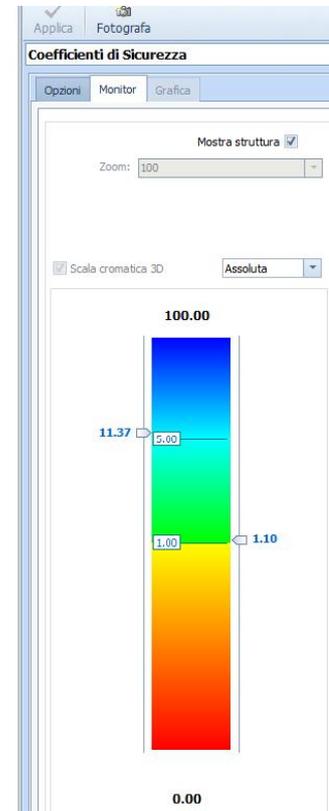
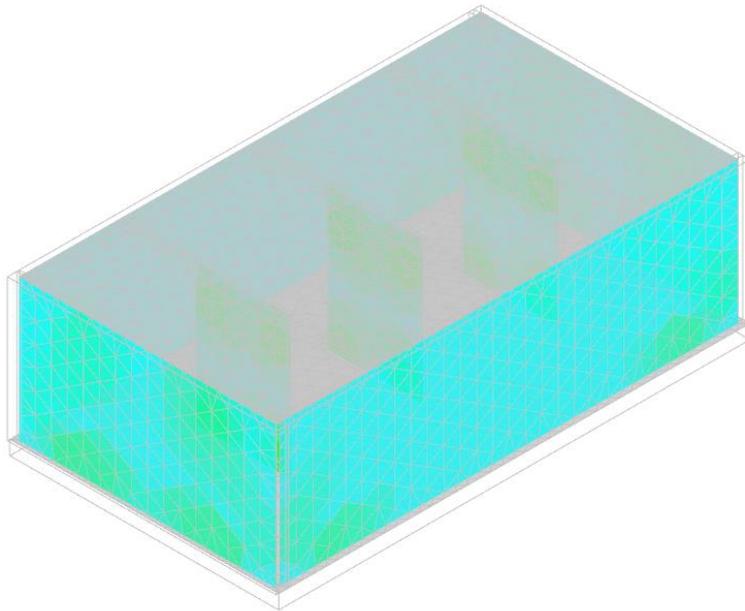


Figura 13: Verifica a taglio

10.8.3 Verifiche a fessurazione

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>89 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	89 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	89 di 111								

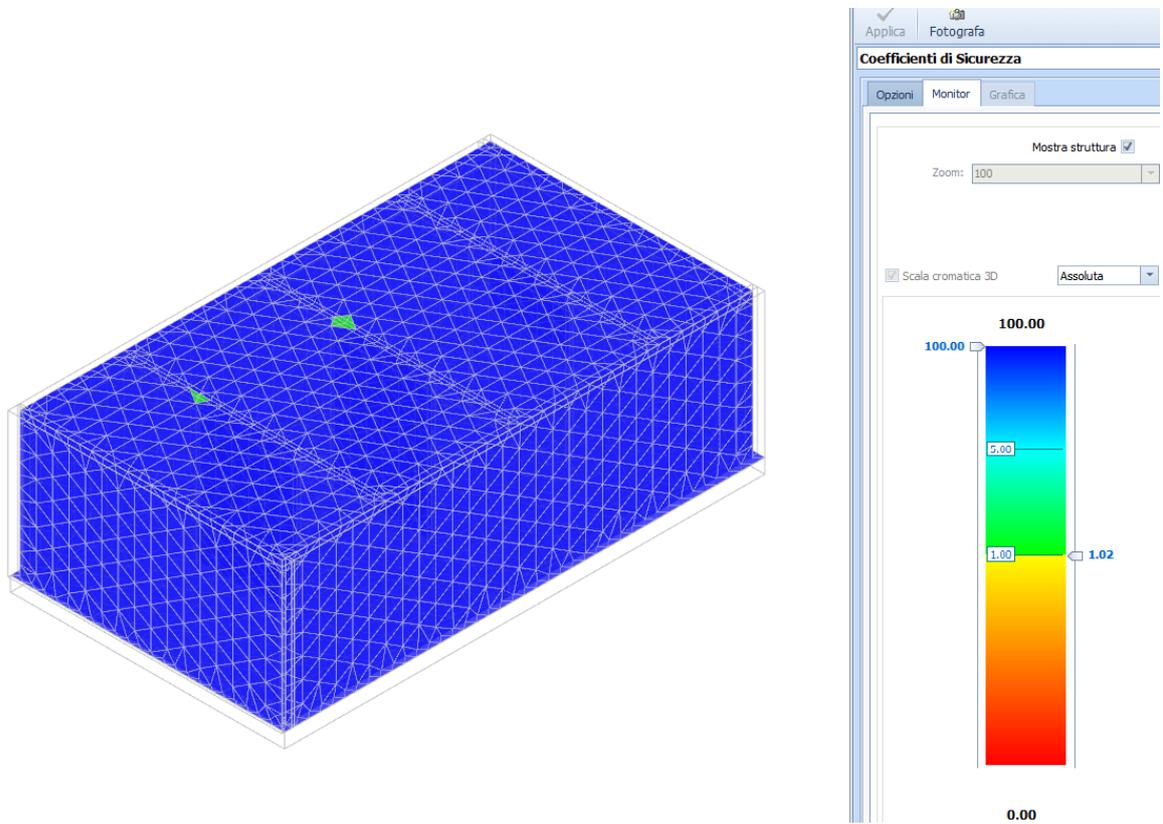


Figura 14: Verifica a fessurazione

10.8.4 Verifica delle tensioni

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>90 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	90 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	90 di 111								

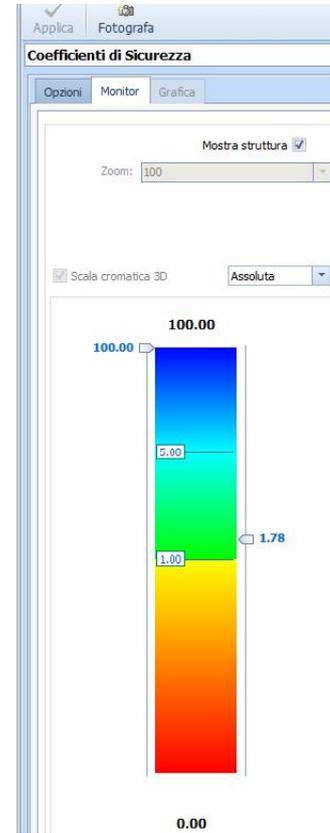
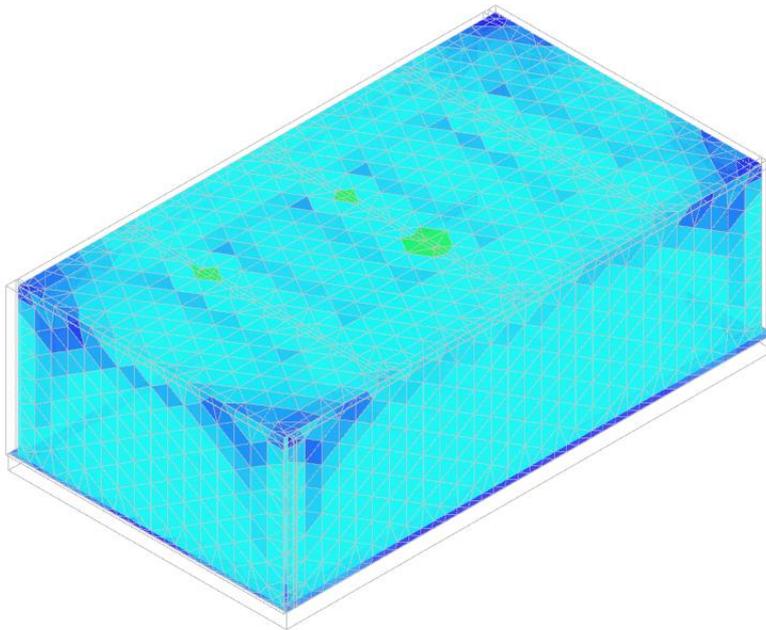


Figura 15: Verifica delle tensioni

10.8.5 Verifica deformabilità

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>91 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	91 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	91 di 111								

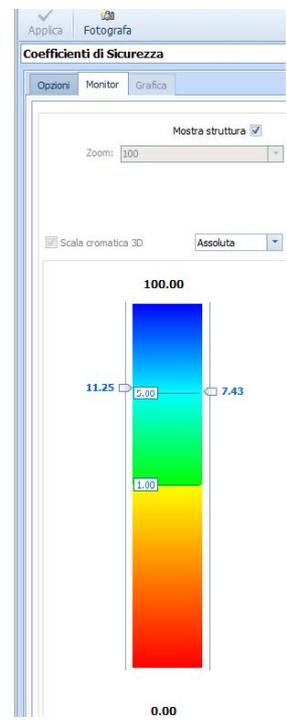
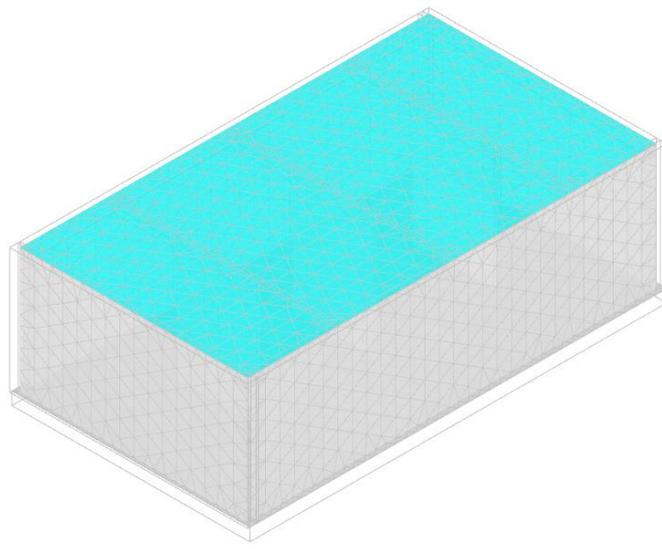


Figura 16: Verifica deformabilità

10.8.6 Verifica a carico limite

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>92 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	92 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	92 di 111								

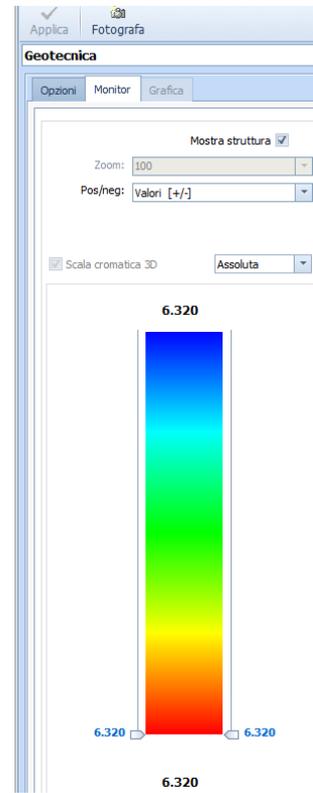
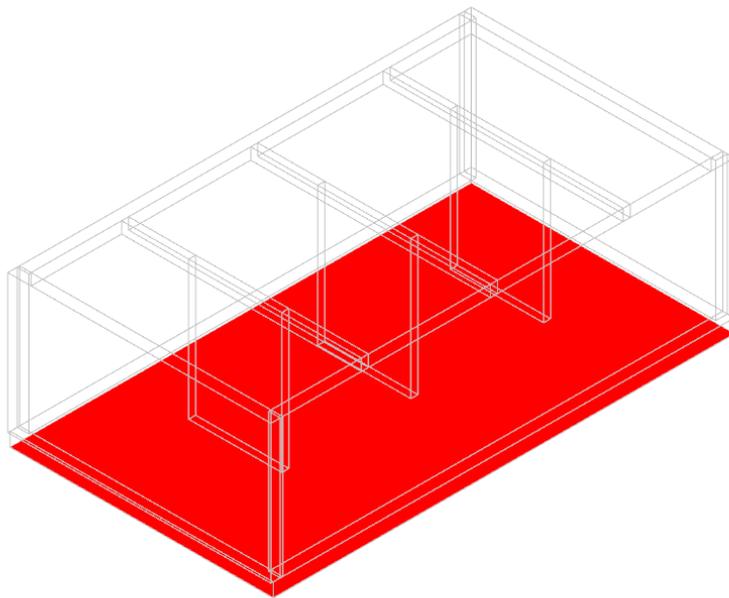


Figura 17: Verifica a carico limite

10.8.7 Verifica dei cedimenti

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>93 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	93 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	93 di 111								

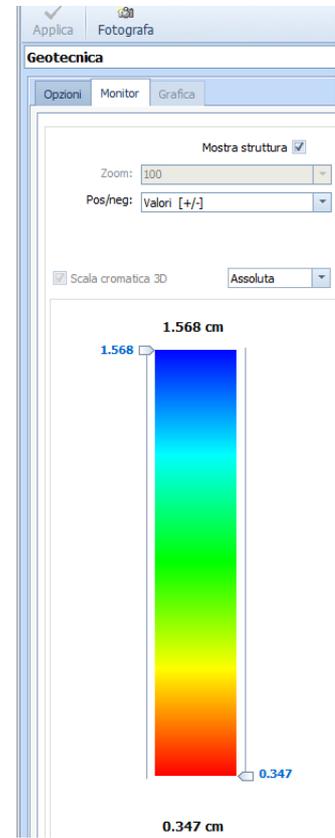
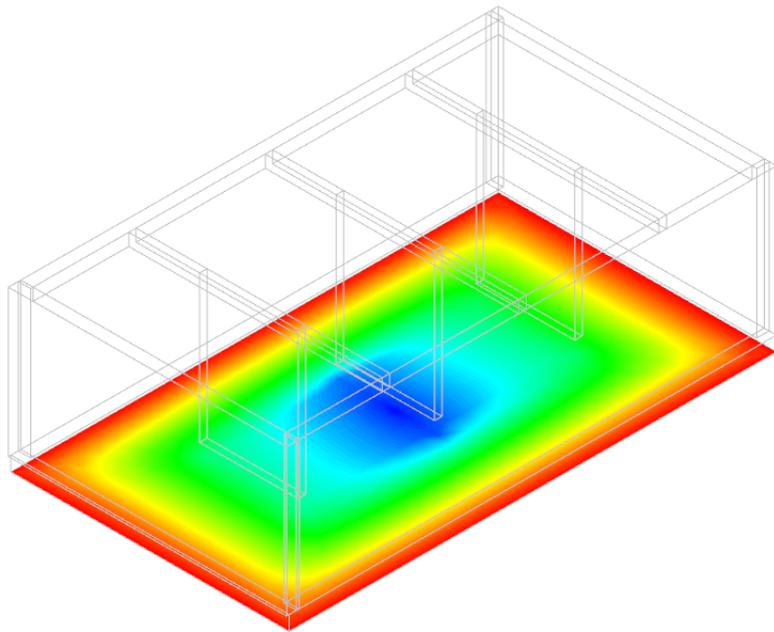


Figura 18: Verifica cedimenti

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>94 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	94 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	94 di 111								

11 MODELLAZIONE STRUTTURALE – PARATIA DI PALI

Nel presente capitolo viene studiata la paratia di pali che servirà da sostegno per lo scavo della vasca di laminazione. I pali sono realizzati con un diametro 1000 mm con lunghezza 20m, posti ad interasse di 1,20m.

11.1 MODELLAZIONE NUMERICA

11.1.1 Programmi per l'analisi automatica

Lo stato tenso-deformativo della paratia è stato investigato mediante il software di calcolo “PARATIE PLUS 22.0”, programma non lineare agli elementi finiti per l'analisi di strutture di sostegno flessibili.

11.1.2 Modello di calcolo per la paratia

Si è considerato un comportamento piano nelle deformazioni, analizzando una striscia di larghezza unitaria. La quota di fondo scavo, pari a circa 6.00 m, è stata opportunamente approfondita di 0.50 m come riportato dal par. § 6.5.2.2 delle NTC 2018.

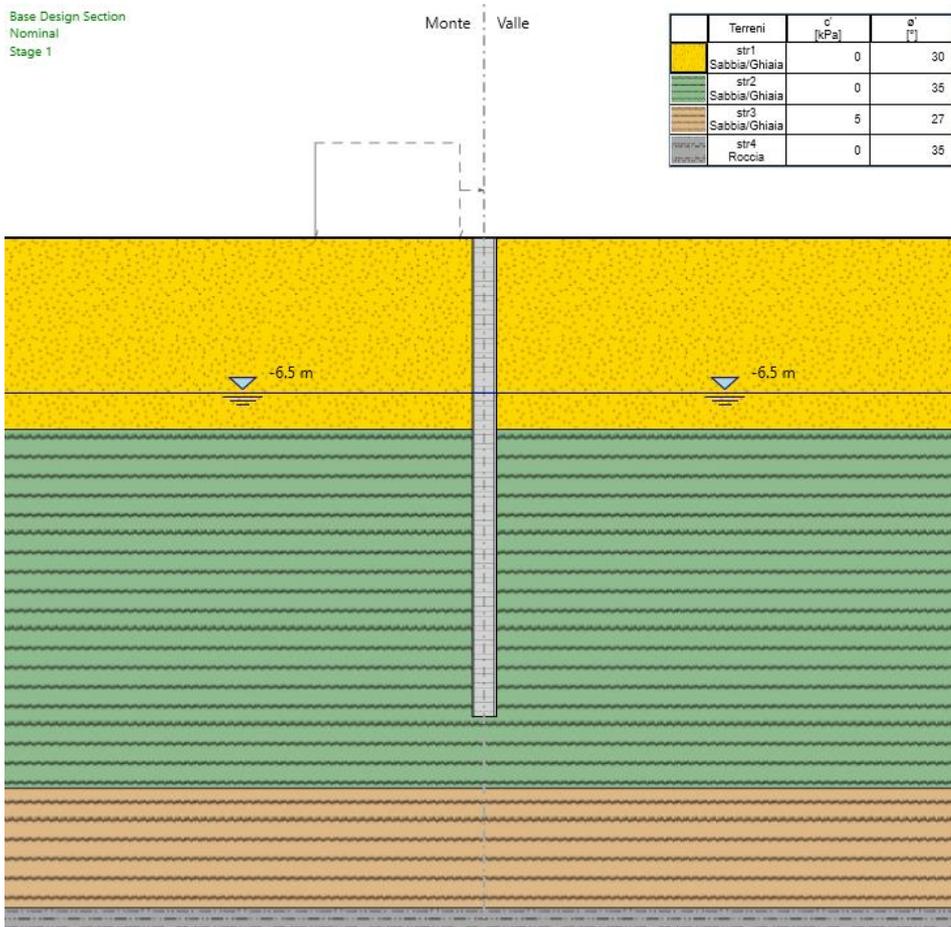
Nella modellazione è stata implementata la seguente successione di step:

Step 1: Realizzazione dei pali.

Step 2: Fase di scavo con $H=6.50$ ed applicazione dei carichi di esercizio

Si riportano di seguito gli step di calcolo

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOLOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B



implementati.

Figura 19 Step 1 – Inizializzazione geostatica e realizzazione della paratia

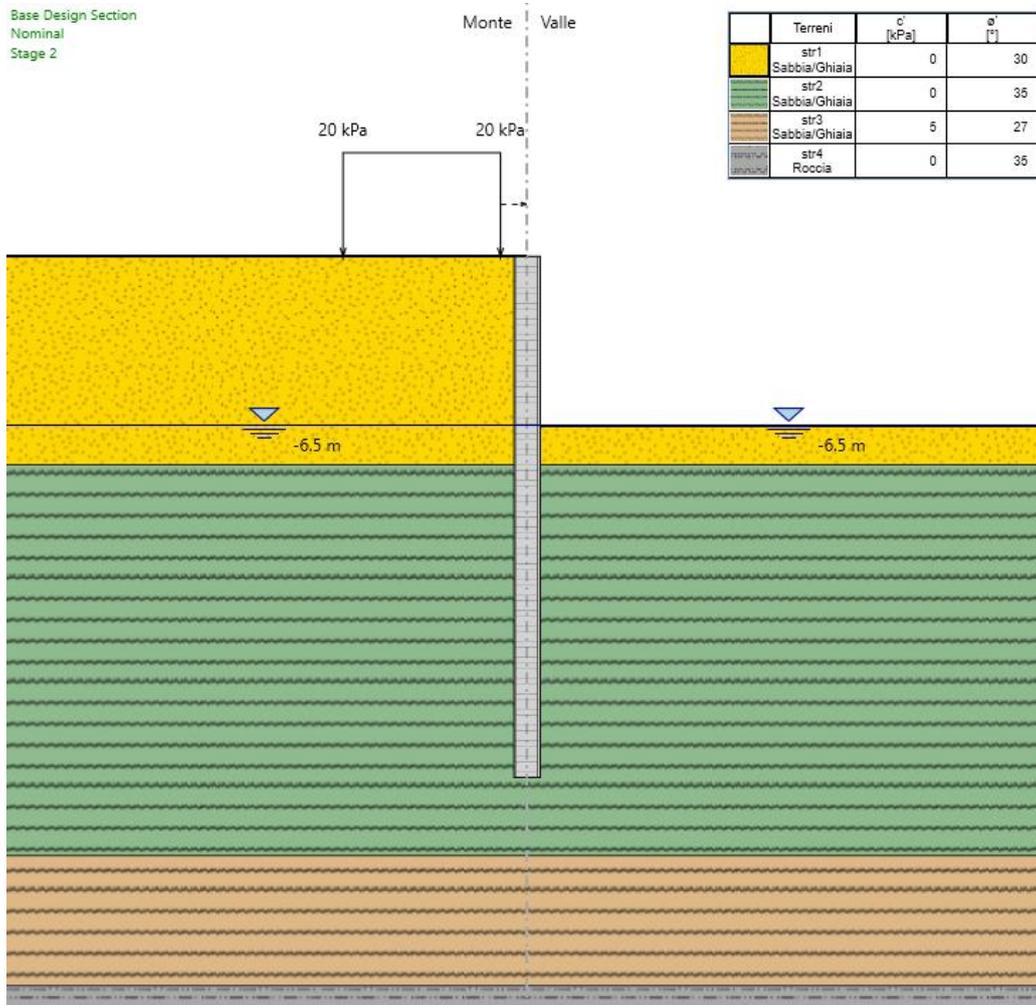


Figura 20 Step 2 – Fase di scavo finale ed applicazione dei carichi di esercizio

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 97 di 111

11.2 ANALISI DEI CARICHI

11.2.1 Condizioni di carico elementari

11.2.2 Peso Proprio

Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali:

$$\gamma_{cls} = 25.0 \quad \text{kN/m}^3$$

11.2.3 Spinta statica delle terre

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

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

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0NC} \cdot (\text{OCR})^m$$

dove

$$K_{0NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($\text{OCR}=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 98 di 111

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno il software PARATIE impiega per K_a e K_p la formulazione rispettivamente di Coulomb e Caquot – Kerisel.

Formulazione di Coulomb per k_a

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

dove:

ϕ' è l'angolo di attrito del terreno

β è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

δ è l'angolo di attrito paratia-terreno

i è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

Il valore limite della tensione orizzontale sarà pari a

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_h = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_p}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente. c' è la coesione drenata del terreno.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOLOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
	Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B

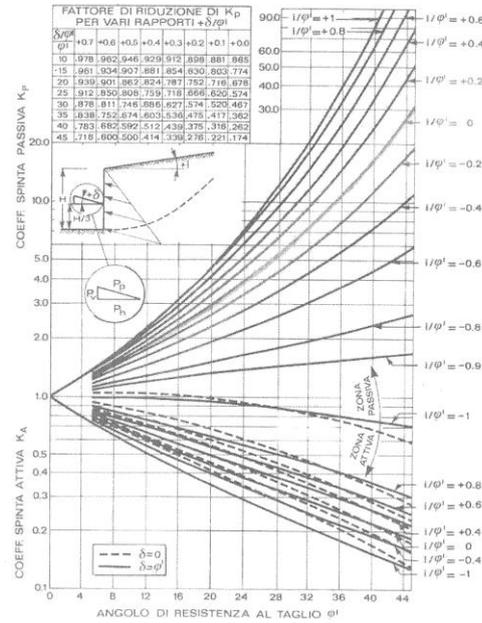


Figura 11-1 – Formulazione di Caquot – Kerisel per K_p che considera superfici di rottura curvilinee

11.2.4 Spinta da sovraccarico accidentale stradale

È stato considerato un sovraccarico uniforme di 20 kPa a monte dell'opera, riprodotto il carico della strada adiacente la ferrovia.

11.2.5 Azione sismica

Sovraspinta sismica del terreno paratie a sbalzo

Per la determinazione dell'incremento di spinta sismica da applicare nel caso di strutture flessibili, cioè con possibilità di deformazioni sufficienti per produrre condizioni di equilibrio limite, è stata applicata la seguente espressione:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm kv) K_A(P), E H^2$$

dove:

γ^* peso specifico del terreno

H dislivello tra quota piano campagna e quota fondo scavo

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>100 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	100 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	100 di 111								

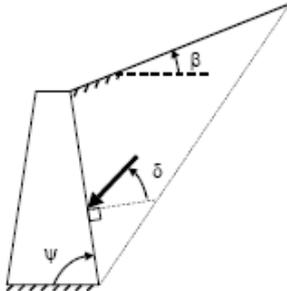
I coefficienti di spinta attiva e passiva sono dati dalle seguenti espressioni:

CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA

$\beta \leq \phi - \theta$:

$$K_{AE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (3-6)$$

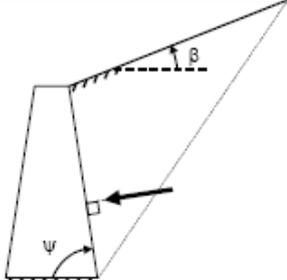
$\beta > \phi - \theta$:

$$K_{AE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$


CONDIZIONI DI SPINTA PASSIVA

$K_{PE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\phi + \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi + \beta) \cdot \text{sen}(\psi + \theta)}} \right]^2}$ (EC8 con (3-7))

$\delta = 0^\circ$ ¹⁷



dove:

- Φ valore di calcolo dell'angolo di resistenza a taglio del terreno in condizioni di sforzo efficace;
- ψ, β angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale rispettivamente della parete del muro rivolta a monte e della superficie del terrapieno;
- δ valore di calcolo dell'angolo di resistenza a taglio tra terreno e muro;
- θ angolo dato da: $\tan\theta = k_h / (1 \pm k_v)$

Sovraspinta dell'acqua

Poichè tutti i terreni al di sopra del fondo scavo hanno permeabilità inferiore a $5 \times 10^{-4} \text{m/s}$ non si è considerata la sovraspinta idrodinamica.

11.2.6 Combinazioni di carico

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)					
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B	FOGLIO 101 di 111

Le rimanenti verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti γ_R del gruppo R1 pari all'unità. In particolare nelle verifiche nei confronti di stati limite ultimi geotecnici, si è considerato lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno. Le analisi sono state condotte con la Combinazione 2 (A2+M2+R1), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti γ_R sulla resistenza globale (R1) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. Nelle verifiche nei confronti di stati limite per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, tenendo in conto di eventuali puntoni o strutture di controventamento, l'analisi sono state svolte utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1.

In condizioni simiche è stata verificata la stabilità del complesso paratia-terreno in accordo con quanto riportato nel paragrafo al § 7.11.4. delle NTC 2018. Le verifiche degli stati limite ultimi sono state eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>102 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	102 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	102 di 111								

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	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.

Tabella 3– Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU (Tab.5.2.V NTC2018)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 4– Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC2018)

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tabella 5: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.1 – NTC 2018)

11.3 ANALISI DEI RISULTATI PARATIA

11.3.1 Analisi delle sollecitazioni

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte per i diversi modelli implementati, con le indicazioni dei valori massimi delle sollecitazioni flettenti e taglianti e delle rispettive profondità. I valori riportati sono relativi all'analisi al metro lineare.

Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)
Stage 2

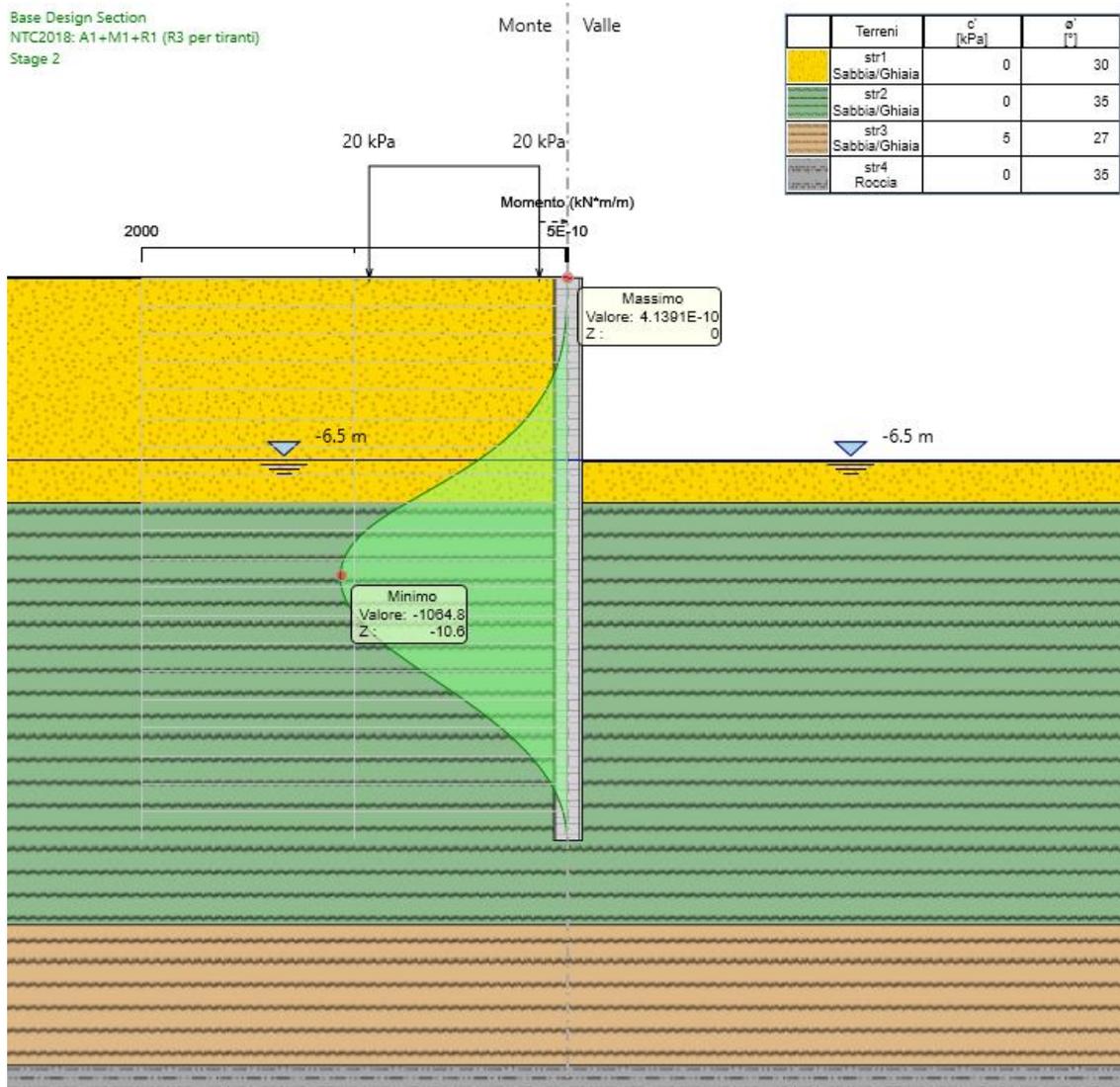


Figura 11-21: Modello SLU: Diagramma del momento flettente

Base Design Section
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)
Stage 2

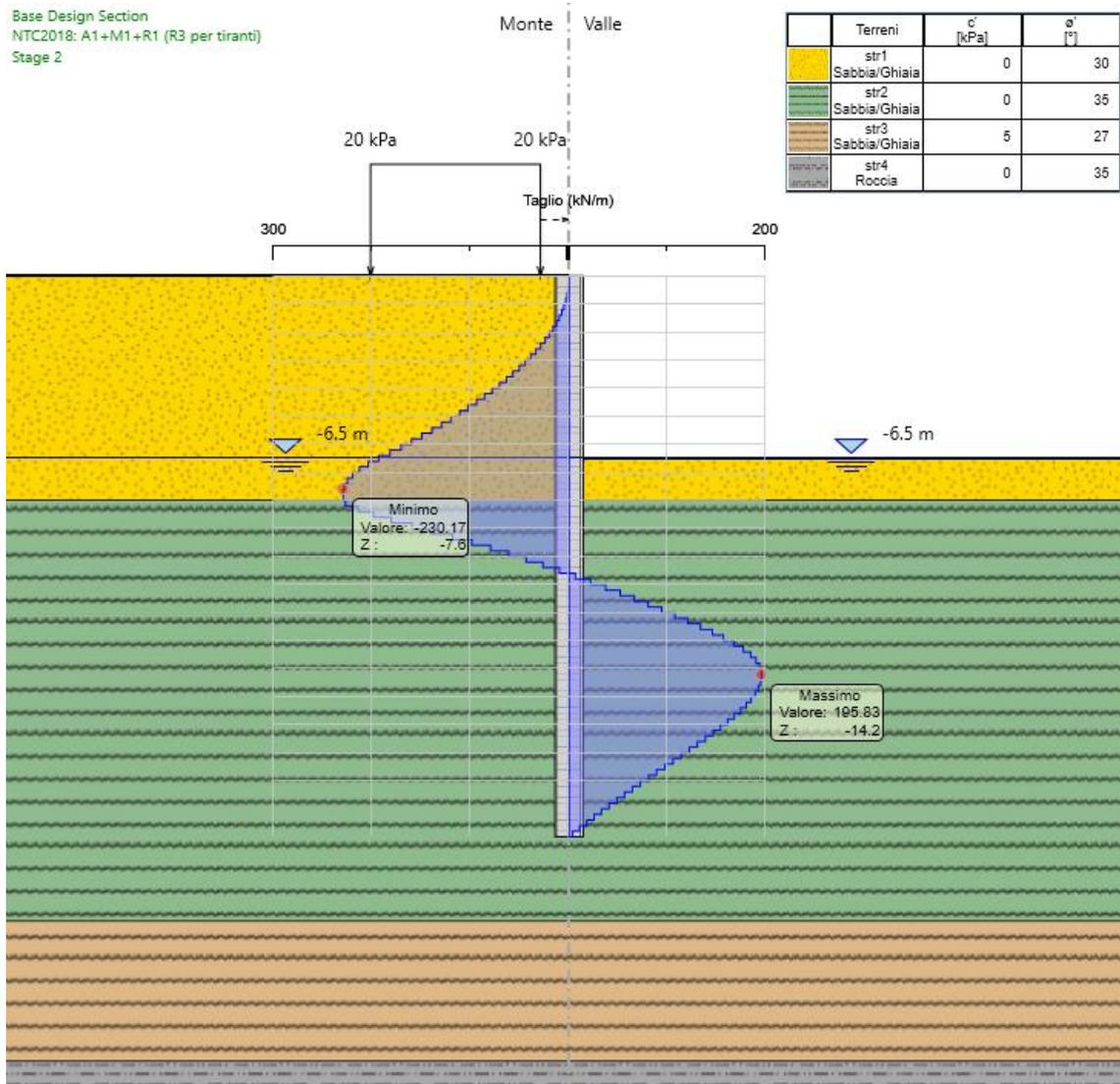


Figura 11-22: Modello SLU: Diagramma del taglio

Relazione Tecnica Integrativa

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	105 di 111

Base Design Section
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)
Stage 2

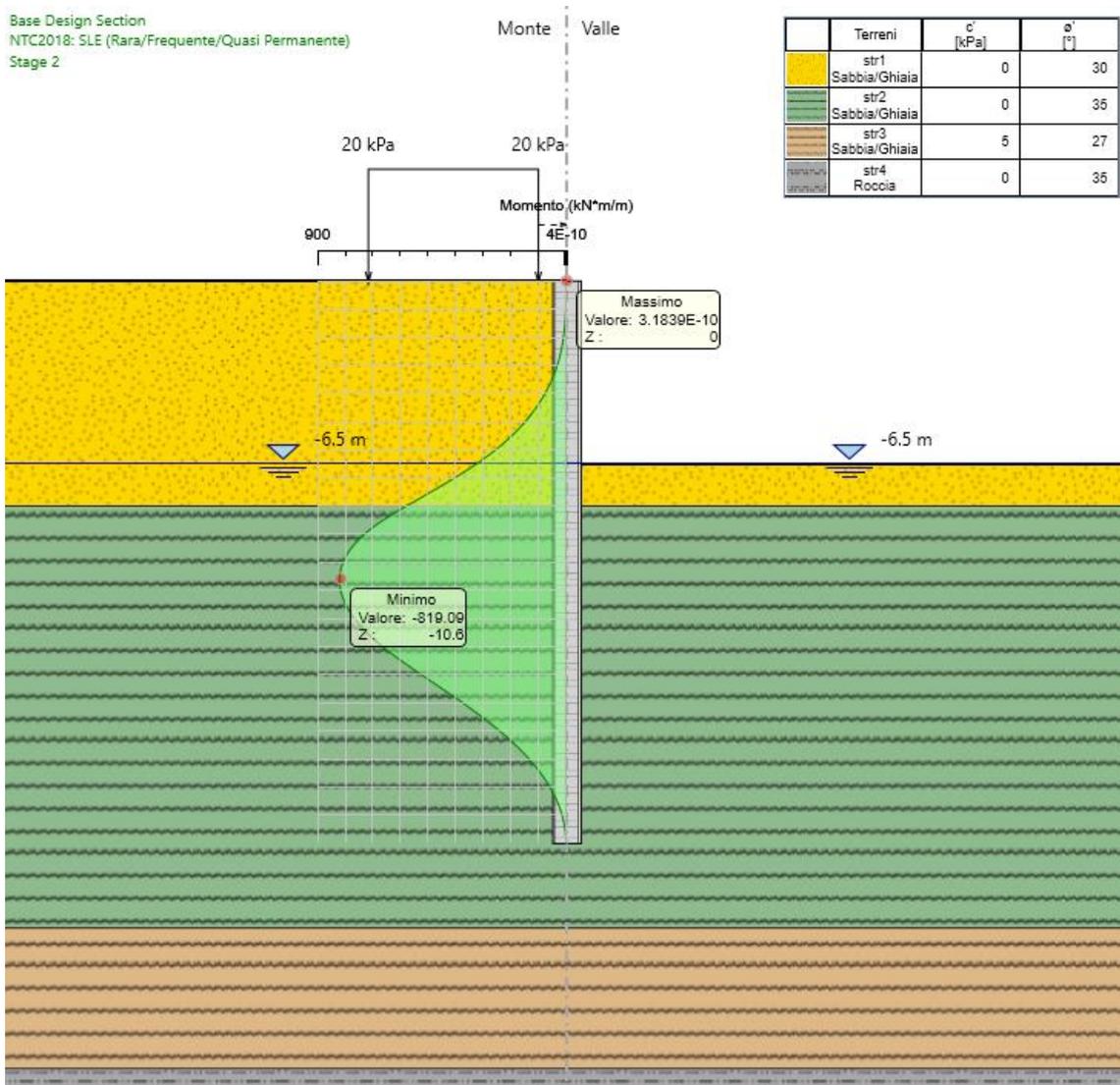


Figura 11-23: Modello SLE: Diagramma del Momento flettente

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)				
	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B
Relazione Tecnica Integrativa					

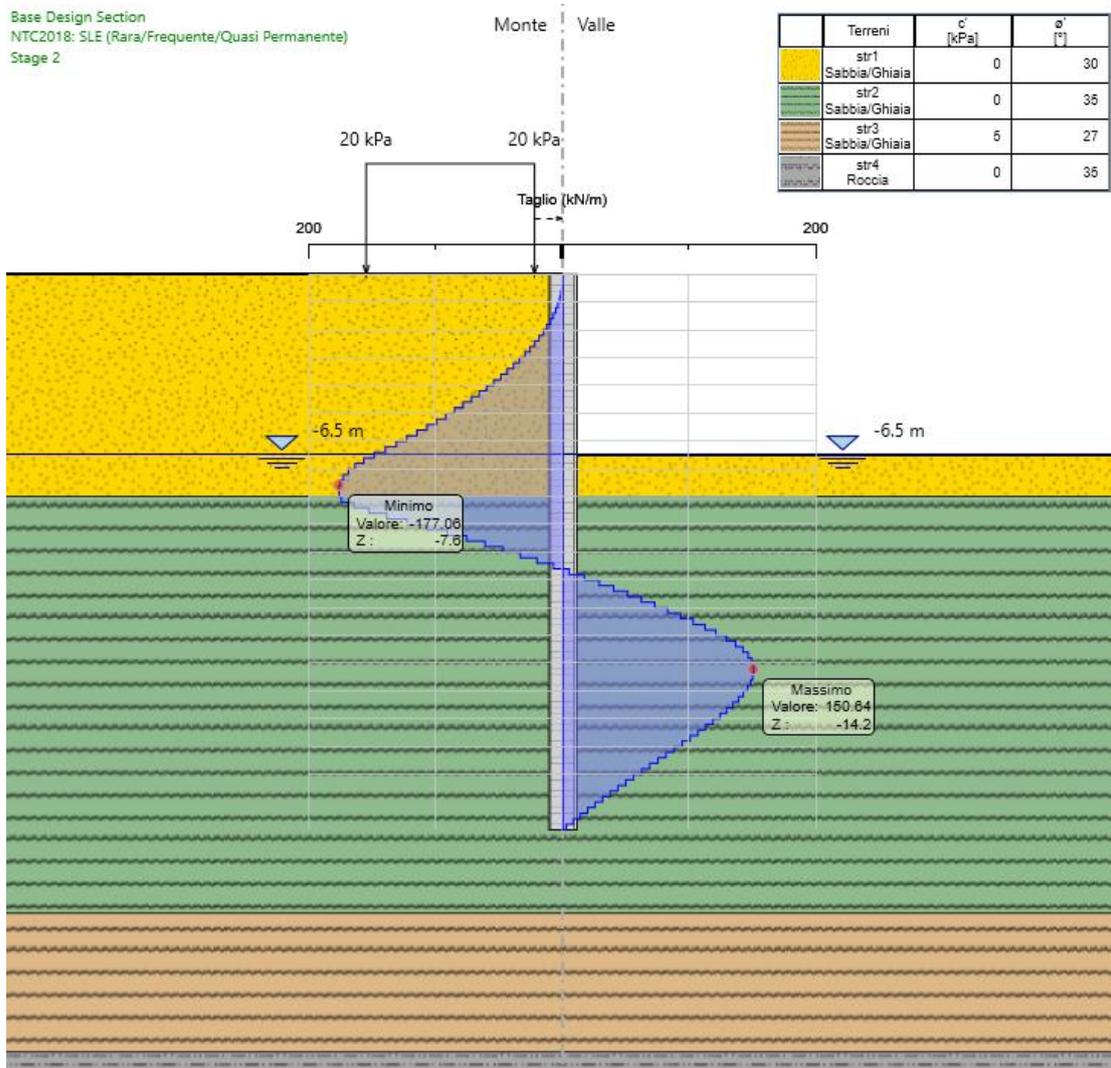


Figura 11-24: Modello SLE: Diagramma del taglio

11.3.2 Analisi degli spostamenti

Di seguito si forniscono le indicazioni dei valori massimi degli spostamenti allo stato limite di esercizio e successivamente in fase sismica.

		PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)			
Relazione Tecnica Integrativa	COMMESSA E21D	LOTTO 06 D 10	CODIFICA RG	DOCUMENTO FA140 001	REV. B FOGLIO 107 di 111

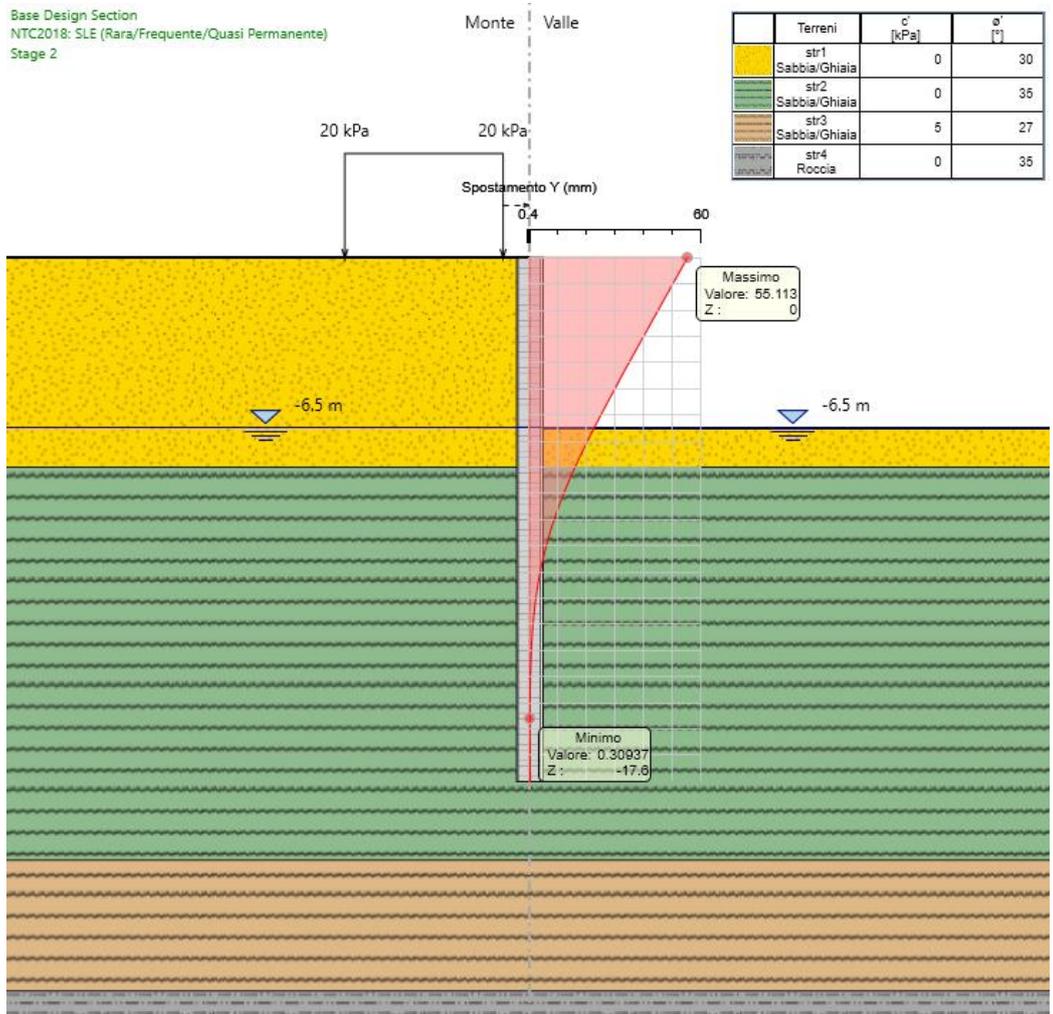


Figura 11-25: Modello SLE: Diagramma degli spostamenti

Lo spostamento orizzontale massimo in condizioni di esercizio risulta pari a circa 55 mm, valore compatibile con le funzionalità delle opere.

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>108 di 111</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	108 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	108 di 111								

11.4 VERIFICHE STRUTTURALI

Per il palo Ø1000 è stata prevista un'armatura longitudinale composta da n.32 Ø30. Per quanto riguarda l'armatura a taglio si prevede una spirale ø12 passo 0.20 m. Si riporta di seguito la verifica nella condizione più gravosa, ovvero quella sismica relativamente agli stati limite ultimi.

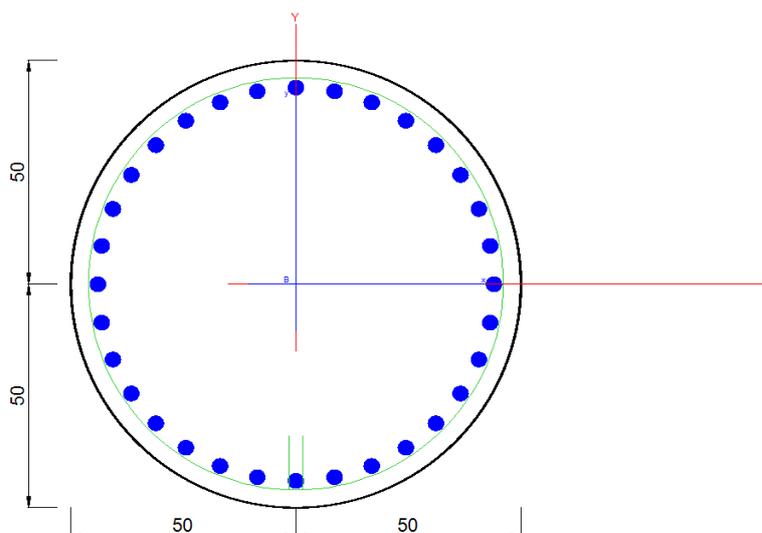


Figura 11-26: Modello Armatura

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.2 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.1 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.3 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.0 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.0 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00	

	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>109 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	109 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	109 di 111								

Coef. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50

CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Calcestruzzo: C25/30

Raggio circ.: 50.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 \emptyset Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	\emptyset
1	0.0	0.0	44.0	32	30

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

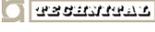
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1064.00	0.00	230.00	0.00

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	819.00 (419.49)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>110 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	110 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	110 di 111								

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.5	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.6	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.3	cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	1064.00	0.00	0.00	2985.26	0.00	2.81	226.2(23.6)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	50.0	0.00286	0.0	44.0	-0.00655	0.0	-44.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

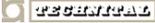
a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000106937	-0.001846870		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	12	mm
Passo staffe:	20.0	cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] La resistenza dei pilastri è calcolata assumendo il valore di z (coppia interna)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE   	PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)												
Relazione Tecnica Integrativa	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>E21D</td> <td>06 D 10</td> <td>RG</td> <td>FA140 001</td> <td>B</td> <td>111 di 111</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	111 di 111
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	06 D 10	RG	FA140 001	B	111 di 111								

I pesi della media sono le lunghezze delle strisce. (Sono escluse le strisce totalmente non compresse).

bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	230.00	1528.08	770.19	79.9 69.6	89.9	2.500	1.000	3.4	11.3(0.0)

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	6.50	0.0	0.0	-146.4	0.0	-44.0	1199	63.6

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00081	0.00000	0.834	30.0	45	0.00060 (0.00044)	313	0.189 (0.20)	419.49	0.00

Tutte le verifiche agli stati limite ultimi e agli stati limite di esercizio risultano soddisfatte.