



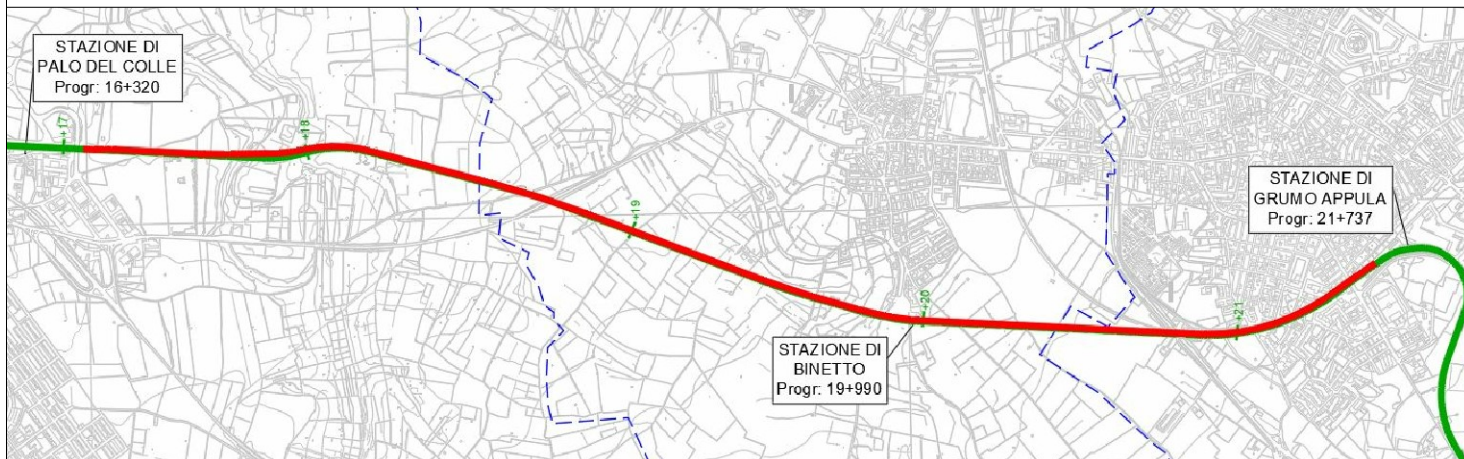
FERROVIE APPULO LUCANE S.R.L.

Ferrovie Appulo Lucane

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE, VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE, DEL RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA

C.U.P.: G21E16000380001

C.I.G.: 72395498D2



RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. MASSIMILIANO NATILE

FIRME:



Integrazione delle prestazioni specialistiche:

Ing. MARCO RASIMELLI

Resp. Studio SIA

Ing. DINO BONADIES

Geologia :

Dott. Geol. STEFANO PIAZZOLI

Ing. SIMONE PELLEGRINI

Ing. VALERIO MASTROIANNI

Geom. CARLO ROSI



Ing. PRIMO STASI

Geologia :

Dott. Geol. MARIO STANI

Studio SIA:

Arch. LUCIA LEPORE



Ing. ANTONIO DI LEO


Coordinamento Sicurezza in fase di Progetto

Ing. NICOLA LABARILE

PROGETTO DEFINITIVO


Elaborato ST0024		Pratica 18021_DAR	SOTTOVIA PROGR. 21+146.92			
Scala -		Codifica elaborato DAR_3RS009a	RELAZIONE DI CALCOLO			
A	GIUGNO 2020	PRIMA EMISSIONE	PAGLIA	PAGLIA	PELLEGRINI	M. RASIMELLI
Rev.	Data	Motivazione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato

Questo documento è di proprietà esclusiva. E' proibita la riproduzione anche parziale e la cessione a terzi senza la nostra autorizzazione.


 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 1 di 84</p>
---	---	---

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVE.....	6
3	RELAZIONE SUI MATERIALI	8
3.1	CALCESTRUZZO	8
3.1.1	<i>Calcestruzzo per opere di fondazione ed elevazione (classe C32/40).....</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>Copriferro di progetto delle armature</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Magrone di sottofondazione.....</i>	<i>11</i>
3.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO (B450C).....	12
3.2.1	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo (acciaio B450C).....</i>	<i>13</i>
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	14
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE	14
4.2	TERRENO A TERGO DEL SOTTOVIA E DEI MURI DI SOSTEGNO.....	15
4.3	FALDA FREATICA	15
5	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	16
6	CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA	19
6.1	TIPO DI ANALISI SVOLTA.....	19
6.2	MODELLI DI CALCOLO.....	20
6.3	CODICE DI CALCOLO	22
7	ANALISI DEI CARICHI	23
7.1	PESO PROPRIO	23
7.2	SOVRACCARICO PERMANENTE	23
7.3	SOVRACCARICO FERROVIARIO SULLA COPERTURA.....	24
7.4	SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLE FONDAZIONI	25
7.5	SPINTA STATICA DEL TERRENO	25

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 2 di 84</p>
---	---	---

7.6	SPINTA STATICA DEL SOVRACCARICO FERROVIARIO A TERGO	26
7.7	FORZE D'INERZIA SISMICHE	27
7.8	INCREMENTO DI SPINTA SISMICA DEL TERRENO.....	28
7.9	SCHEMA DI CALCOLO	29
8	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	30
8.1	CONDIZIONI DI CARICO.....	30
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO	30
9	VERIFICA DEL SOTTOVIA	32
9.1	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	32
9.2	VERIFICA DELLA SOLETTA.....	33
9.2.1	<i>Verifica in mezzeria</i>	33
9.2.2	<i>Verifica agli appoggi</i>	34
9.3	VERIFICA DELLE PARETI	36
9.3.1	<i>Verifica della sezione di testa</i>	36
9.3.2	<i>Verifica della sezione a metà altezza</i>	37
9.4	VERIFICA DELLE FONDAZIONI	39
9.5	VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO	41
10	VERIFICA DEL MURO IN AFFIANCAMENTO AL SOTTOPASSO	42
10.1	VERIFICA DEL PARAMENTO VERTICALE.....	43
10.1.1	<i>Verifica a flessione del paramento</i>	44
10.1.2	<i>Verifica a taglio del paramento</i>	45
10.2	VERIFICA DELLA FONDAZIONE	46
10.2.1	<i>Verifica a flessione della fondazione</i>	47
10.2.2	<i>Verifica a taglio della fondazione</i>	48
10.2.3	<i>Carichi a intradosso fondazione</i>	49
10.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	50
11	VERIFICA DEL MURO DI INNESTO RAMPA.....	51
11.1	VERIFICA DEL PARAMENTO VERTICALE.....	52
11.1.1	<i>Verifica a flessione del paramento</i>	53
11.1.2	<i>Verifica a taglio del paramento</i>	54
11.2	VERIFICA DELLA FONDAZIONE	55

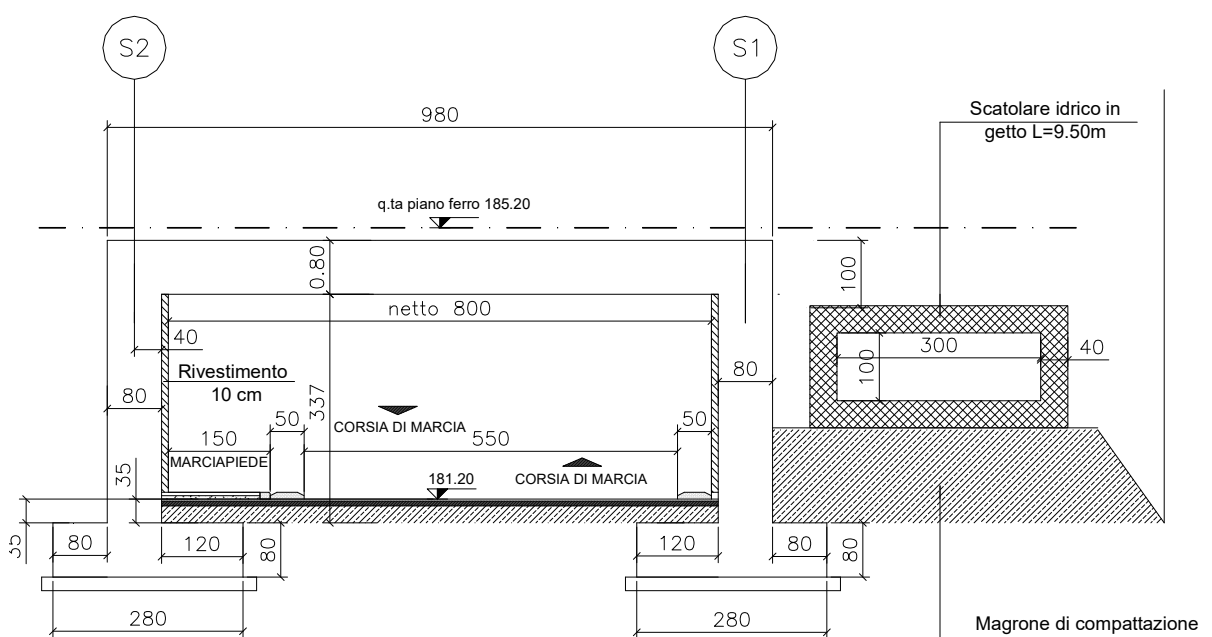
 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 3 di 84</p>
---	---	---

11.2.1	Verifica a flessione della fondazione	56
11.2.2	Verifica a taglio della fondazione	57
11.2.3	Carichi a intradosso fondazione	58
11.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	59
12	VERIFICA DEL TOMBINO IDRAULICO	60
12.1	ANALISI DEI CARICHI.....	60
12.1.1	Peso proprio.....	60
12.1.2	Sovraccarico permanente	60
12.1.3	Sovraccarico accidentale sulla copertura	60
12.1.4	Sovraccarico accidentale sulla fondazione.....	61
12.1.5	Spinta statica del terreno	61
12.1.6	Spinta statica del sovraccarico ferroviario a tergo.....	63
12.1.7	Forze d'inerzia sismiche	63
12.1.8	Incremento di spinta sismico del terreno	65
12.2	SCHEMA DI CALCOLO	66
12.3	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO.....	66
12.3.1	Condizioni di carico.....	66
12.3.2	Combinazioni di carico.....	67
12.4	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	68
12.5	VERIFICA DELLA SOLETTA DI COPERTURA E FONDAZIONE.....	69
12.6	VERIFICA DELLE PARETI	71
12.7	VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO	72
13	VERIFICA DELLE RAMPE PEDONALI	73
13.1	VERIFICA DELLA SOLETTA.....	73
13.2	VERIFICA DEI SETTI	75
13.3	VERIFICA DEL MURO DI SPESSORE 50CM.....	78
13.3.1	Verifica del paramento verticale	79
13.3.2	Verifica della fondazione.....	81
13.3.3	Carichi a intradosso fondazione e verifiche geotecniche	83

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 4 di 84</p>
---	---	---

1 PREMESSA

Il presente documento riporta la relazione di calcolo strutturale del progetto definitivo del Sottovia Pertini da realizzare al km21+146.92 dell'intervento di raddoppio della linea delle Ferrovie Appulo Lucane compresa tra la stazione di Palo del Colle e quella di Grumo Appula. Si riporta di seguito la sezione trasversale del sottovia analizzata nella presente relazione di calcolo:




Sezione trasversale del sottovia

Oltre al sottovia, il documento riporta anche le verifiche strutturali del tombino scatolare di sezione netta interna 3.00x1.00m, le verifiche di 2 tipologie di muri di sostegno (muro in affiancamento e muro d'innesto rampa) e per concludere le verifiche delle rampe pedonali. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

Le analisi e le verifiche di calcolo sono condotte agli stati limite secondo le prescrizioni della vigente normativa italiana (**DM 17/01/2018** e **CM 21/01/2019**) facendo riferimento per la definizione dell'azione sismica ai parametri di calcolo prodotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e riportati in allegato alle precedenti NTC in funzione delle coordinate geografiche del sito di progetto. Si fa presente che per le verifiche strutturali allo stato limite ultimo si fa riferimento all'approccio 2, che considera come coefficienti parziali

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 5 di 84
---	--	--

delle azioni γ_F quelli riportati nella colonna "A1 STR" della tabella 5.1.V del decreto e come coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici del terreno valore unitario come risulta dai valori riportati nella colonna "M1" della tabella 6.2.II.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 6 di 84</p>
---	---	---

2 NORMATIVE

Legge 05-11-1971 n°1086 – *“Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica”*

Legge 02-02-1974 n° 64 – *“Provvedimenti delle costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”*

D.M. 17.01.2018 NTC – *“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”*

CIRC. MIN LL.PP. n°7 del 21/01/2019 - *“Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norma Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 17 gennaio 2018*

DT 207/2007: *“ Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture in legno”*

D.M. 16.02.2007 – *“Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione”*

D.M. 09.03.2007 – *“Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco”*

UNI-EN 1090-2:2011 - *“Esecuzioni di strutture in acciaio ed alluminio. Parte 2 Requisiti tecnici per strutture di acciaio”.*

Per quanto non riportato e non in contrasto con le sopra citate Normative si fa riferimento anche alle:

UNI ENV 1992 - Eurocodice n. 1: Azioni sulle strutture.

UNI ENV 1992 - Eurocodice n. 2: Progettazione delle strutture cementizie.

UNI ENV 1993 - Eurocodice n. 3: Progettazione delle strutture di acciaio.

UNI ENV 1994 - Eurocodice n. 4: Progettazione delle strutture miste acciaio-clt.

UNI ENV 1995 - Eurocodice n. 5: Progettazione delle strutture di legno.

UNI ENV 1996 - Eurocodice n. 6: Progettazione delle strutture di muratura.

UNI ENV 1997 - Eurocodice n. 7: Progettazione geotecnica.

UNI ENV 1998 - Eurocodice n. 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica.

CNR/DT “Norme tecniche specifiche emesse dal Centro Nazionale Ricerche uscite dalla fase sperimentale”

Linee guida sul calcestruzzo strutturale emesse dal servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Dicembre 1996)

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 7 di 84
---	--	--

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

UNI-EN 338/2004. - Classi di resistenza per legno massiccio

UNI-EN 14080/2005. – Strutture in legno lamellare incollato

UNI 9858 - Calcestruzzo, Prestazioni, produzione, posa in opera e criteri di conformità.

ENV 206 - Concrete, Performance, production, placing and compliance criteria.


UNI-ENV 197/1 - Cemento, Composizione, Specificazioni e criteri di conformità.

UNI 8520 - Aggregati per confezione di calcestruzzi - Definizione, classificazione e caratteristiche.

UNI 5744 - Rivestimenti metallici protettivi a caldo. Rivestimenti di zinco ottenuti per immersione.

UNI EN 10025 - Prodotti laminati a caldo di acciai non legati per impieghi strutturali - Condizioni tecniche di fornitura.

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 8 di 84
---	--	--

3 RELAZIONE SUI MATERIALI

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

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

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

3.1 Calcestruzzo


I componenti del calcestruzzo devono avere le seguenti caratteristiche:

Leganti

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

Aggregati

Gli aggregati dovranno rispettare i requisiti minimi imposti dalla norma UNI 8520 parte 2 relativamente al contenuto di sostanze nocive. In particolare: - il contenuto di solfati solubili in acido (espressi come SO₃ da determinarsi con la procedura prevista dalla UNI-EN 1744-1 punto 12) dovrà risultare inferiore allo 0.2% sulla massa dell'aggregato indipendentemente se l'aggregato è grosso oppure fine (aggregati con classe di contenuto di solfati AS0,2); - il contenuto totale di zolfo (da determinarsi con UNI-EN 1744-1 punto 11) dovrà risultare inferiore allo 0.1%; - non dovranno contenere forme di silice amorfa alcali-reattiva o in alternativa dovranno evidenziare espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 9 di 84
---	--	--

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

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

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

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

Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:


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

Acque di impasto

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

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

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 10 di 84
---	--	---


3.1.1 Calcestruzzo per opere di fondazione ed elevazione (classe C32/40)

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche e di calcolo relative al calcestruzzo di classe C32/40 previsto per il progetto delle opere di fondazione ed elevazione:

Calcestruzzo per opere di fondazione ed elevazione DM. 17.01.2018 – UNI EN 206-1 – UNI11104-2016

Classe di resistenza	C32/40	Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione
Ambiente di esposizione		Ciclicamente asciutto e bagnato
Classe di esposizione	XC4+XD1	
ρ	25 kN/m ³	Peso specifico
Classe di consistenza	S4	Slump
Dimensione max dell'aggregato	32 mm	
a/c	< 0,50	Rapporto acqua cemento nella miscela
Dosaggio minimo di cemento	340 Kg/m ³	
Classe e tipo di cemento	42.5	Conforme alla UNI EN 197-1
γ_c	1,5	Coefficiente di sicurezza
α_{cc}	0,85	Coeff. Per resistenza a lunga durata
ν	0,2	Coefficiente di Poisson
ε_{c2}	0,2%	Allungamento al limite elastico
ε_{cu}	0,35%	Allungamento a rottura
α	0,00001 C ⁻¹	Coefficiente di dilatazione termica

Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83R_{ck} = 33.2 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41.2 \text{ MPa}$
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30f_{ck}^{2/3} = 3.10 \text{ MPa}$
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctfm} = 1.2f_{ctm} = 3.72 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} = 0.7f_{ctm} = 2.17 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} = 1.3f_{ctm} = 4.03 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità longitudinale	$E_{cm} = 22000[f_{cm}/10]^{0.3} = 33643 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 0.85f_{ck}/1.5 = \mathbf{18.81 \text{ MPa}}$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = 2.17/1.5 = 1.45 \text{ MPa}$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 11 di 84</p>
---	---	--

3.1.2 Copriferro di progetto delle armature

Il valore minimo dello strato di ricoprimento delle armature (copriferro) viene determinato sulla base delle prescrizioni riportate al paragrafo C4.1.6.1.3 della C.M. del 21/01/2019, che invita a considerare i valori minimi della tabella sottostante incrementati di 10mm per la tolleranza di posa e di ulteriori 10mm per opere con vita nominale di 100 anni:

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C _{min}	C ₀	ambiente	C ≥ C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀	C ≥ C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀	C ≥ C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀	C ≥ C ₀	C _{min} ≤ C < C ₀
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	55

Pertanto il copriferro delle armature principali, da prescrivere sugli elaborati grafici, risulta:

- Copriferro di progetto per opere di fondazione ed elevazione = 50mm

Il copriferro di calcolo da considerare nelle verifiche di resistenza, sarà invece la distanza tra l'asse delle armature considerate e il bordo esterno della sezione.

3.1.3 Magrone di sottofondazione

Preliminarmente al getto delle strutture di calcestruzzo, il piano di fondazione dovrà essere opportunamente livellato con uno strato di calcestruzzo magro di spessore 20cm, a basso contenuto di cemento:

- cemento 42.5R dosato a 150Kg/m³
- spessore minimo s = 20 cm

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 12 di 84
---	---	---

3.2 Acciaio per Cemento Armato (B450C)

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

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

Saldabilità

Negli acciai per cemento armato l'analisi chimica effettuata su colata e l'eventuale analisi chimica di controllo effettuata sul prodotto finito deve soddisfare le limitazioni riportate nella Tab. 11.3.II del § 11 delle NTC2018 dove il calcolo del carbonio equivalente C_{eq} è effettuato con la seguente formula:

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

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

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

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

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 13 di 84
---	--	---

3.2.1 Caratteristiche meccaniche e di calcolo (acciaio B450C)

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche e di calcolo relative all'acciaio di armatura B450C:

Acciaio per c.a. B450C

Classe di resistenza	B450C	<i>Tipo di acciaio per c.a.</i>
ρ	78.50 KN/m ³	<i>Peso specifico</i>
Modulo elastico	210000 N/mm ²	<i>Modulo di Young</i>
γ_s	1,15	<i>Coefficiente di sicurezza</i>

Tensione nominale di snervamento	$f_{y\ nom} = 450\ MPa$
Tensione nominale di rottura	$f_{t\ nom} = 540\ MPa$
Tensione di snervamento caratteristica (5%)	$f_{yk} \geq 450\ Mpa$
Tensione di rottura caratteristica (5%)	$f_{tk} \geq 540\ Mpa$
Rapporto (ft/fy) caratteristico (10%)	$1.15 \leq (ft/fy)_k < 1.35$
Rapporto (fy/fy _{nom}) caratteristico (10%)	$(fy/fy_{nom})_k \leq 1.25$
Allungamento (Agt) caratteristico (10%)	$(Agt)_k \geq 7.5\%$
Tensione di calcolo a snervamento	$f_{yd} = 450/1.15 = 391\ Mpa$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 14 di 84</p>
---	---	--

4 PARAMETRI GEOTECNICI

4.1 Terreno di fondazione

Le indagini svolte nella zona d'intervento (n.2 sondaggi a carotaggio continuo S7_1, S7_2, n.1 prospezione sismica MASW M7_1, n. 1 tomografia ERT E7_1, analisi di laboratorio sui campioni prelevati), descritte nella relazione geologica, hanno permesso di accertare la presenza in sito di "2 unità geotecniche principali:

- 1) un livello superficiale R (da 0 sino a 2.00 m) costituito da terreno vegetale ($\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$)
- 2) un livello profondo Ca2 (da 2.00m sino alla profondità d'interesse) costituito da un calcare fratturato, carsificato ($\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$)

Ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (2018), i terreni in oggetto appartengano alla categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione di tipo A.

Si ricorda che ai sensi del suddetto decreto il profilo stratigrafico del suolo di fondazione di tipo **A** riguarda "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3m".

Ai fini delle verifiche geotecniche di scorrimento dei muri di sostegno, si assume per il terreno di fondazione, le caratteristiche geotecniche riportate dalla relazione geologica per lo strato profondo Ca2:

- Angolo di attrito all'interfaccia fondazione - terreno $\Phi_i = 33^\circ (\cong 2/3\Phi)$
- Coesione all'interfaccia fondazione – terreno $c = 0 \text{ KN/m}^3$ (cautelativo)

Per le verifiche di portanza del terreno, si considera il corrispondente valore di progetto del carico limite (valore di sicurezza), così come riportato dalla relazione geologica:

- $q_{sic} = q_{ult}/5 = 5.86/5 = 1.17 \text{ Mpa}$

Nella modellazione del sottovia, la rigidezza verticale del terreno di fondazione sarà schematizzata con un legame elastico lineare alla Winkler, con costante di sottofondo pari a:

- $K_w = 40280/B = 40280/980 \cong 41 \text{ kg/cm}^3$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 15 di 84</p>
---	--	--

4.2 Terreno a tergo del sottovia e dei muri di sostegno

Il terreno a tergo dei muri e del sottovia, sarà costituito da un riempimento in materiale compattato da rilevato, per il quale la spinta sarà calcolata considerando i seguenti parametri meccanici:

- $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
- $\varphi = 35^\circ$
- $c' = 0$
- $\delta = 23^\circ$

4.3 Falda freatica

Nel territorio oggetto d'intervento, la falda freatica si trova ad una profondità tale da non interagire con le opere di progetto.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 16 di 84
---	--	---

5 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'intero territorio nazionale è rappresentato attraverso una griglia regolare di nodi, detta *reticolo di riferimento*, posti a distanza sufficientemente ravvicinata (non distano più di 10 km l'uno dall'altro) nelle due direzioni orizzontali. Per ciascuno dei nodi del reticolo sono forniti, in corrispondenza di 9 differenti valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2475 anni) i valori dei parametri (F_0 , a_g , T^*_c), necessari per la definizione delle forme spettrali. I valori di detti parametri sono riportati nell'allegato B al DM 14.01.2008 utilizzabile ai sensi del paragrafo 3.2 delle NTC2018. In particolare per la struttura in oggetto si considerano le seguenti coordinate:




Coordinate geografiche (sistema WG84) di localizzazione

Longitudine est = 16,7025°

Latitudine Nord = 41,0022°

Stati limite analizzati

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 17 di 84</p>
---	---	--

Parametri caratteristici per la determinazione dello spettro sismico elastico	
$V_N=100$	Vita nominale dell'opera come definito in tab. 2.4.I
Classe= III	Classe d'uso
$C_U=1.5$	Coeff. d'uso come definito nella tab. 2.4.II
Cat.=A	Categoria del sottosuolo
Cat.=T1	Categoria topografica
$S_{S,SLV}=1.00$	Coefficiente di amplificazione stratigrafico
$S_T=1.00$	Coefficiente di amplificazione topografica
$S = S_S \times S_T = 1.00$	
$V_R = V_N C_U = 100 \times 1.5 = 150$	Periodo di riferimento

L'analisi sismica viene svolta in campo elastico lineare adottando un fattore di struttura unitario (analisi non dissipativa – $q=1.0$).

Con riferimento al sito di progetto, i periodi di ritorno T_R per la definizione dell'azione sismica (in anni) risultano pari a:

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU {

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

I parametri sismici per i periodi T_R associati a ciascuno Stato Limite risultano pari a:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	90	0.046	2.508	0.346
SLD	151	0.056	2.572	0.390
SLV	1424	0.129	2.665	0.532
SLC	2475	0.156	2.687	0.531



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 18 di 84

Allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) si considera il seguente spettro di progetto:

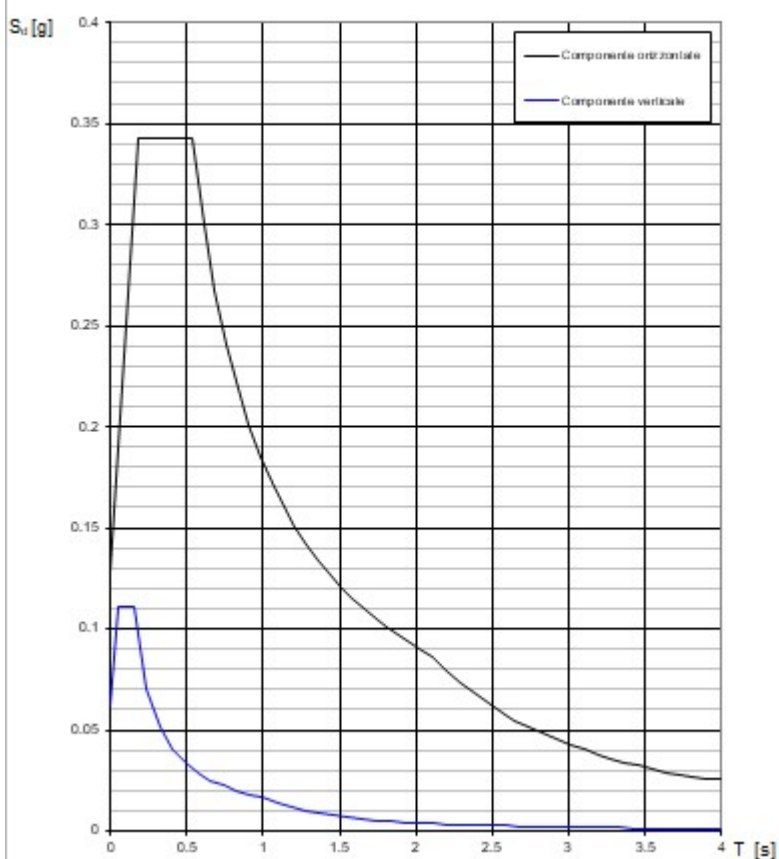
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.129 g
F_o	2.665
T_C	0.532 s
S_S	1.000
C_C	1.000
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.000
η	1.000
T_B	0.177 s
T_C	0.532 s
T_D	2.115 s

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



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 19 di 84
---	--	---

6 CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA

6.1 TIPO DI ANALISI SVOLTA

In conformità a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM17/01/2018) e dalla relativa circolare esplicativa (CM21/01/2019) le strutture in oggetto vengono analizzate mediante analisi elastica attraverso il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

L'analisi viene condotta valutando gli effetti delle azioni nell'ipotesi che il legame tensione-deformazione dei materiali sia indefinitamente lineare e imponendo l'equilibrio sulla configurazione iniziale della struttura.

Per determinare gli effetti provocati dalla combinazione dei carichi verticali (pesi propri, finiture, carichi di esercizio), con quelli orizzontali (spinta statica delle terre, effetto dei sovraccarichi accidentali a tergo dei muri) è stata svolta un'analisi elastica lineare di tipo statico con la quale è stato possibile analizzare l'involuppo delle seguenti combinazioni di carico:

- Combinazioni fondamentali allo Stato Limite Ultimo SLU
- Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio SLE

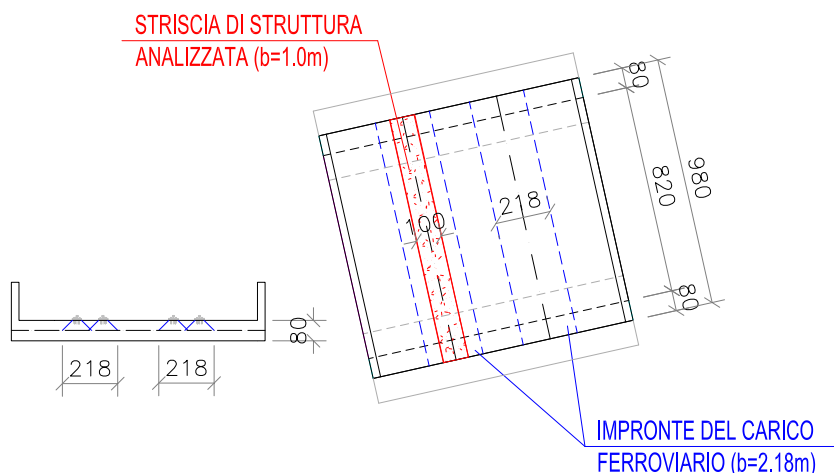
Per determinare gli effetti provocati dalla combinazione dei carichi verticali (pesi propri, finiture), con quelli orizzontali del sisma, è stata ripetuta l'analisi statica con la quale si sono analizzate le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazioni allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 20 di 84
---	--	---

6.2 MODELLI DI CALCOLO

L'analisi del sottovia (e del tombino scatolare) è stata eseguita per mezzo di un modello di calcolo piano agli elementi finiti (monodimensionali) che analizza a favore di sicurezza una striscia di larghezza unitaria ($b=1.0\text{m}$), considerando l'effetto delle condizioni di carico più gravose. L'interazione tra il terreno e la fondazione viene schematizzata mediante un legame elastico lineare alla Winkler, attribuendo alla costante di sottofondo sia il valore di 41 Kg/cm^3 suggerito dalla relazione geotecnica, sia un valore cautelativo di 4 Kg/cm^3 . La rigidità orizzontale del terreno di rinfiaccio del sottovia, viene trascurata a favore di sicurezza.



Il terreno a ridosso del sottovia e del tombino scatolare è stato considerato in condizione di spinta a riposo in esercizio, e in condizioni di spinta attiva sotto sisma.

Si riporta di seguito la formula di Mononobe-Okabe adottata per il calcolo del coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche, necessario a valutare l'incremento della spinta:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \beta - \vartheta)}{\cos^2\beta \cos\vartheta \cos(\delta + \beta + \vartheta) \left[1 + \frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - i - \vartheta)}{\cos(\delta + \beta + \vartheta) \cos(i - \beta)} \right]^2}$$

dove

- φ = angolo di attrito del terreno
- β = inclinazione rispetto all'orizzontale del terreno a tergo del muro
- $\theta = \arctan[K_h/(1-K_v)]$
- δ = attrito tra muro e terreno
- i = inclinazione rispetto alla verticale del filo interno del paramento

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 21 di 84</p>
---	---	--

Le forze sismiche d'inerzia agenti sul sottovia (e sul tombino scatolare), sono state calcolate senza alcuna riduzione adottando un coefficiente β_m di valore unitario. Si riportano di seguito i parametri geotecnici considerati nell'analisi sismica delle 2 opere:

PARAMETRI SISMICI		TERRENO	
Accelerazione a_g (SLV)	0.129 g	Peso di volume	20.00 KN/m ³
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Angolo di attrito del terreno	35.00 °
Coefficiente di riduzione β_m	1.00	Coesione	0.00 KN/m ²
Coefficiente sismico orizzontale	0.129	Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.065	Coefficiente di spinta attiva K_a	0.244
		Coefficiente di spinta sismica K_s (+)	0.321
		Coefficiente di spinta sismica K_s (-)	0.333

Le verifiche dei muri sono state eseguite analizzando differenti tipologie di sezione trasversale, caratterizzate da paramenti di altezza differente, adottando il coefficiente di riduzione $\beta_m=0.38$ in caso di scorrimento non impedito (come suggerito dal paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC2018). In quest'ultimo caso, come riportato sui fogli di calcolo Excel utilizzati per le verifiche, i parametri sismici e geotecnici del terreno si modificano:

PARAMETRI SISMICI		TERRENO	
Accelerazione a_g (SLV)	0.129 g	Peso di volume	20.00 KN/m ³
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Angolo di attrito del terreno	35.00 °
Coefficiente di riduzione β_m	0.38	Coesione	0.00 KN/m ²
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.025	Coefficiente di spinta attiva K_a	0.244
		Coefficiente di spinta sismica K_s (+)	0.272
		Coefficiente di spinta sismica K_s (-)	0.274

Le verifiche sono state svolte analizzando 3 differenti combinazioni di carico.

La prima combinazione relativa allo stato limite ultimo SLU, considera le azioni del peso proprio, della spinta statica del terreno considerato in condizioni attive, e la spinta statica di un sovraccarico accidentale a tergo di intensità variabile a seconda della posizione del muro. Tali carichi sono opportunamente incrementati con i coefficienti parziali γ indicati dalla colonna A1 della tabella 2.6.I delle NTC2018.


Le altre 2 combinazioni di carico, relative allo stato limite SLV, con sisma verticale rivolto rispettivamente verso il basso e verso l'alto, considerano le azioni statiche del peso proprio, della spinta attiva del terreno e di quella relativa ad un sovraccarico accidentale a tergo di intensità ridotta, sommate alle azioni sismiche relative all'incremento di spinta del terreno e alle forze d'inerzia esercitate sulle masse del muro, del cuneo di spinta e del sovraccarico accidentale presente sul cuneo.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 22 di 84
---	--	---

6.3 CODICE DI CALCOLO

Il codice di calcolo utilizzato per la l'analisi delle strutture in oggetto, è il programma agli elementi finiti WinStrand della En.Ex.Sys. S.r.l. (num. serie 8969PGLFDR) , con sede in via Tizzano 46/2, 40033 Casalecchio di Reno (Bologna), aggiornato all'ultima versione (2019 - 055). Il programma esegue il calcolo agli elementi finiti di strutture comunque disposte nello spazio, lavorando in campo elastico lineare. Il programma si basa su un suo solutore interno agli elementi finiti. Il codice è da considerarsi estremamente affidabile perché basato su un solutore collaudato e perché la documentazione fornita è corredata da una serie di esempi tratti dalla bibliografia tecnica e calcolati con altre procedure o risolti in forma chiusa.

La valutazione dei risultati forniti dal software per la struttura in oggetto è positiva in quanto i valori ottenuti sono concordi a quelli ottenuti con dei semplici calcoli manuali.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 23 di 84
---	--	---

7 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi di progetto, considerati nella presente relazione di calcolo dedotti in base alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018), con particolare riferimento ai capitoli 5 per le azioni statiche e 7 per le azioni sismiche.

7.1 PESO PROPRIO

Il peso proprio della struttura analizzata è funzione della sua geometria e del peso di volume del materiale (γ c.a. = 25 kN/m³). Esso viene applicato in automatico dal programma di calcolo agli elementi del modello in funzione della loro sezione:

- $G_k = 25 \times 0.8 = 20 \text{ kN/m}^2$

7.2 SOVRACCARICO PERMANENTE

Sulla soletta di copertura del sottovia si considera il carico trasmesso dal peso proprio dell'armamento ferroviario, costituito dalla coppia di rotaie modello 50E5 ($A \cong 64 \text{ cm}^2$), fissate per mezzo di 2 supporti d'acciaio di sezione pari a circa 150 cm²:

- $P_k (\text{soletta}) = 2 \times 78.5 \times (64 + 150) \times 10^{-4} / 2.18 = 1.6 \text{ kN/m}^2$

Sulla parte interna delle fondazioni si considera un carico distribuito relativo ad un pacchetto di spessore complessivo di 50 cm caratteristico del marciapiede o delle banchine:

- $P_k (\text{fondazioni zona interna}) = 20 \times 0.50 = 10.0 \text{ kN/m}^2$

Sulla parte esterna delle fondazioni si considera un carico distribuito relativo al peso del terreno, comprensivo del ballast e dell'armamento ferroviario, calcolato per un'altezza complessiva di circa 4.50 m (l'altezza è stata maggiorata di 30 cm):

- $P_k (\text{fondazioni zona esterna}) = 20 \times 4.50 = 90.0 \text{ kN/m}^2$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 24 di 84</p>
---	---	--

7.3 SOVRACCARICO FERROVIARIO SULLA COPERTURA

Come sovraccarico ferroviario applicato alla soletta di copertura del sottovia, si considera il treno di carico SW/2, amplificato attraverso il coefficiente d'incremento dinamico $\Phi 3$.

Tale coefficiente viene valutato per un ridotto standard manutentivo con riferimento alla formula [5.2.7] e al punto 5.4 della tabella 5.2.II delle NTC2018. Poiché la luce libera dello sottovia è maggiore di 8m, la lunghezza caratteristica L_{Φ} viene calcolata moltiplicando per 0.9 la lunghezza determinata secondo il punto 5.2:

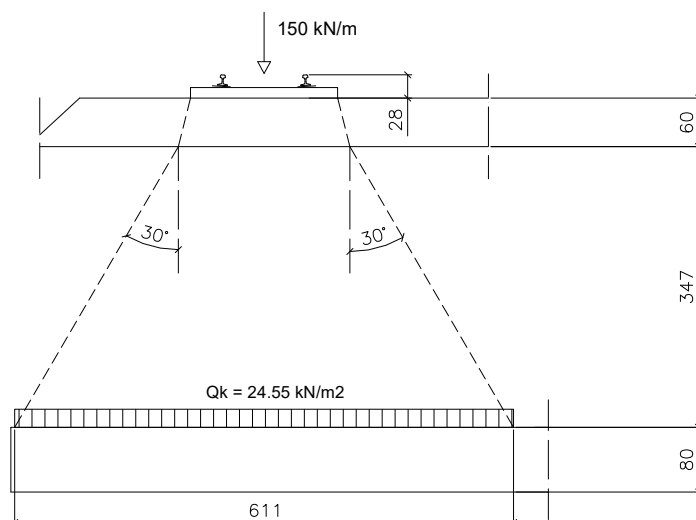
- $L_{\Phi} = k \text{ lm} = 1.3 \times (2 \times 4.20 + 9.00) / 3 = 7.54 \text{ m}$
- $\Phi 3 = 0.9 \times (2.16 / (\sqrt{7.54} - 0.2) + 0.73) = 1.42$

Trasferendo il carico dinamicizzato del treno SW/2, dall'impronta dei supporti fino all'asse della soletta, ripartendolo con pendenza 1:1 attraverso il calcestruzzo, il carico di progetto a metro quadrato risulta:

- B ripartizione = 2.18m
- $Q_k = 1.42 \times 150 / 2.18 = 97.70 \text{ kN/m}^2$

Sulla parte esterna delle fondazioni si considera un carico verticale, la cui intensità risulta dalla ripartizione del carico attraverso il terreno con angolo di 30° con la verticale:

- $Q_k \text{ (fondazioni esterne)} = 150 / 6.11 = 24.55 \text{ kN/m}^2$



In condizioni sismiche, il carico ferroviario viene ridotto al 20% in base al paragrafo 5.2.2.8 delle NTC2018, che suggeriscono l'utilizzo di un coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.2$.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 25 di 84
---	--	---

7.4 SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLE FONDAZIONI

Come sovraccarico accidentale sulle fondazioni si considera un carico uniformemente distribuito di 5 kN/m² in corrispondenza del marciapiede e delle banchine e 20kN/m² sulla porzione da 50cm corrispondente alla sede stradale. In condizioni sismiche, tale carico non viene considerato in base al paragrafo 5.1.3.12 delle NTC2018, che suggeriscono di regola l'uso di un coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.0$.

7.5 SPINTA STATICA DEL TERRENO

Sulle pareti del sottovia la spinta del terreno è stata considerata con distribuzione trapezoidale adottando in condizioni statiche il coefficiente di spinta a riposo K_0 e in condizioni sismiche il coefficiente di spinta sismica K_a , maggiorato secondo la teoria di Mononobe - Okabe in funzione dei parametri sismici di progetto (vedi paragrafi successivi).

Nella spinta viene incluso anche il contributo relativo al peso del ballast e dell'armamento ferroviario, valutato considerando un sopralzo di 30cm:

$$- P_k = 20 \times 0.3 = 6 \text{ kN/m}^2$$

Nello specifico la spinta del terreno viene calcolata in funzione dei seguenti parametri geotecnici:

- peso specifico del terreno $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
- angolo di attrito $\varphi' = 35^\circ$
- coesione $c' = 0$
- coefficiente di spinta a riposo $K_0 = 1 - \sin \varphi' = 0.426$
- coefficiente di spinta attiva $K_a (\delta=23^\circ) = 0.244$

Indicando con H l'altezza totale del sottovia dall'intradosso fondazione, la pressione statica orizzontale del terreno varia linearmente sulle pareti tra i seguenti due valori:

- $p_1 = K_0 P_k$
- $p_2 = K_0 P_k + \gamma K_0 H$



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 26 di 84

Si riportano di seguito le pressioni statiche calcolate per la struttura in oggetto.

$$H = 5.00\text{m}$$

$$p1 \text{ (riposo)} = 0.426 \times 6 = 2.56 \text{ kN/m}^2$$

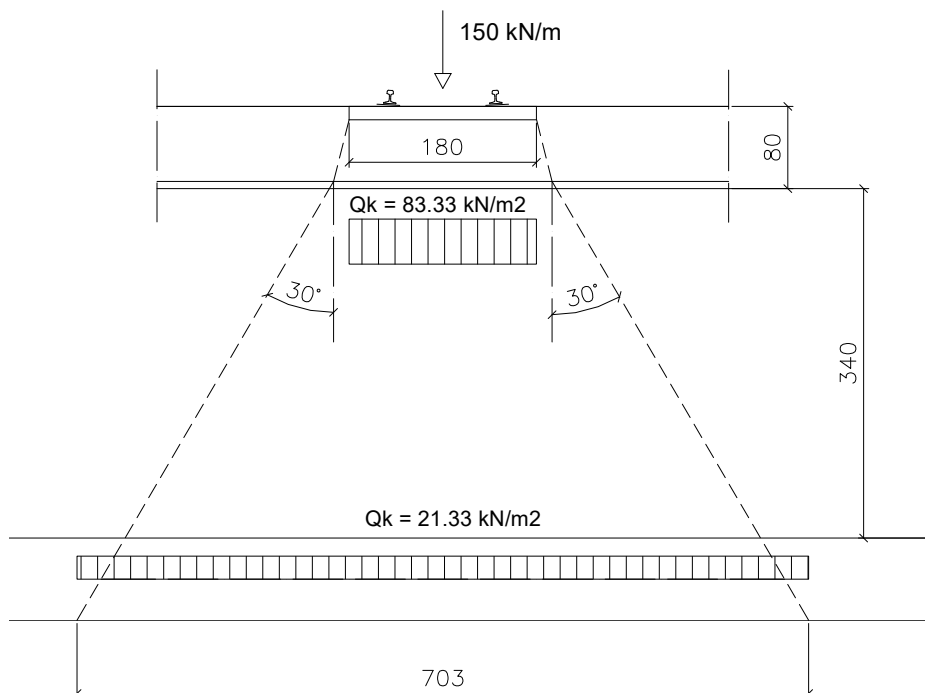
$$p2 \text{ (riposo)} = 2.56 + 20 \times 0.426 \times 5.00 = 45.16 \text{ kN/m}^2$$

Analogamente, in condizioni sismiche per effetto degli spostamenti del sottovia, il terreno si porta in condizioni di spinta attiva, i cui valori estremi di pressione risultano:

- $p1 \text{ (attiva)} = 0.244 \times 6 = 1.46 \text{ kN/m}^2$
- $p2 \text{ (attiva)} = 1.46 + 20 \times 0.244 \times 5.00 = 25.86 \text{ kN/m}^2$

7.6 SPINTA STATICA DEL SOVRACCARICO FERROVIARIO A TERGO

Il sovraccarico ferroviario a tergo del sottovia, dove l'armamento ferroviario ritorna ad essere quello classico a traversine su ballast, viene trasmesso con inclinazione 1:4 attraverso la massicciata e con angolo di 30° nel terreno. Pertanto all'estradosso della copertura del sottovia il treno di carico SW/2 di 150 kN/m si ripartisce su una larghezza di 1.80m, mentre all'intradosso della fondazione si ripartisce su una larghezza di 7.03m.



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 27 di 84
---	--	---

Per effetto della variabilità delle pressioni verticali con l'altezza, pari a 83.33 kN/m² in copertura e 21.33 kN/m² in fondazione, anche la spinta orizzontale è variabile:

- p_1 (riposo) = $0.426 \times 83.33 = 35.5$ kN/m²
- p_2 (riposo) = $0.426 \times 21.33 = 9.1$ kN/m²
- p_1 (attiva) = $(0.244/0.426) \times 35.50 = 0.57 \times 35.5 = 20.33$ kN/m²
- p_2 (attiva) = $(0.244/0.426) \times 9.1 = 0.57 \times 9.1 = 5.20$ kN/m²

7.7 FORZE D'INERZIA SISMICHE

Gli effetti sismici sono valutati mediante un'azione statica equivalente applicata a tutte le masse sismiche della struttura, in base a quanto stabilito dal par. 5.2.2.8 NTC 2018.

In accordo alle indicazioni riportate al paragrafo 7.11.6.2.1, le azioni sismiche di inerzia agenti sulle masse in gioco (pesi propri, carichi permanenti e 20% del sovraccarico ferroviario) vengono applicate al modello di calcolo nel seguente modo:

- $k_h = 1.0 \times 0.130 = 0.129$ coefficiente sismico orizzontale
- $k_v = \pm 0.5k_h = \pm 0.065$ coefficiente sismico verticale
- $f_{si} = k_h \times W_i (1+k_v) = 0.137 \times W_i$ forza d'inerzia orizz. con sisma verticale in basso
- $f_{si} = k_h \times W_i (1-k_v) = 0.120 \times W_i$ forza d'inerzia orizz. con sisma verticale in alto (*)

(*) La combinazione con sisma verso l'alto non viene considerata in quanto meno gravosa e poco significativa

Le forze d'inerzia si applicano alla massa delle pareti verticali, della soletta, dei carichi permanenti e accidentali (ridotti al 20%) e al cuneo di spinta, compreso tra la parete sotto sisma e il piano di scivolamento inclinato dallo spigolo della fondazione di un angolo pari a 27.5° (ossia 45° - $\Phi/2$). La forza d'inerzia relativa al cuneo di spinta, viene applicata alla parete sotto sisma come carico orizzontale uniformemente distribuito sull'altezza.


Riassumendo le forze d'inerzia da applicare al modello, relative alla combinazione con sisma verticale rivolto verso il basso, risultano:

- Forze orizzontali

$$f_{1h} (g+p+0.2q)_{\text{soletta}} = 0.137 \times (25 \times 0.8 + 1.60 + 0.2 \times 97.70) = 5.64 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{2h} (g+p)_{\text{parete dx}} = 0.137 \times (25 \times 0.8 + 20 \times 0.80) = 4.93 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{3h} (g+p+0.2q)_{\text{parete sx}} = 4.93 + (0.137 \times 0.5 \times 20 \times 5^2 \times \tan 27.5^\circ) / 5 + \\ + 0.137 \times 5.00 \times \tan 27.5^\circ \times (6.0 + 0.2 \times 83.33) / 5 = 4.93 + 3.56 + 1.62 = 10.11 \text{ kN/m}^2$$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 28 di 84</p>
---	---	--

$$f4h (g+p)_{\text{fondazione zone esterne}} = 0.137 \times 25 \times 0.8 = 2.74 \text{ kN/m}^2$$

$$f4h (g)_{\text{fondazione zone interne}} = 0.137 \times (25 \times 0.8 + 20 \times 0.5) = 4.11 \text{ kN/m}^2$$

- Forze verticali

$$f1v (g+p+0.2q)_{\text{soletta}} = 0.065 \times (25 \times 0.8 + 1.6 + 0.2 \times 97.70) = 2.67 \text{ kN/m}^2$$

$$f2v (g)_{\text{pareti}} = 0.065 \times 25 \times 0.8 = 1.30 \text{ kN/m}^2$$

$$f3v (g+p)_{\text{fondazione zone esterne}} = 0.065 \times (25 \times 0.8 + 20 \times 4.20 + 6.0) = 7.15 \text{ kN/m}^2$$

$$f3v (g+p)_{\text{fondazione zone interne}} = 0.065 \times (25 \times 0.8 + 20 \times 0.5) = 1.95 \text{ kN/m}^2$$

7.8 INCREMENTO DI SPINTA SISMICA DEL TERRENO

L'incremento di spinta sismica dovuta all'azione delle forze d'inerzia sul terreno ai lati del sottovia, viene valutato considerando per il cuneo di terreno la seguente geometria:

- Altezza H pari alla profondità dell'intradosso fondazione
- Larghezza ottenuta considerando un piano di spinta di inclinazione rispetto alla verticale pari a 27.5° (ossia $45^\circ - \Phi/2$) dal prodotto dell'altezza H per la tangente di tale angolo

L'incremento di spinta così determinato risulta:

$$\Delta F_s = K_s \times P_c = (0.321 - 0.244) \times 0.5 \times 20 \times H \times H \times \tan 27.5 = 0.40 \times H^2$$

Tale forza verrà ripartita in maniera uniforme su una delle due pareti del sottovia:

$$\Delta p_s = \Delta F_s / H$$

Si riportano di seguito le forze applicate alla parete sinistra del sottovia:

$$H = 5.00 \text{ m}$$

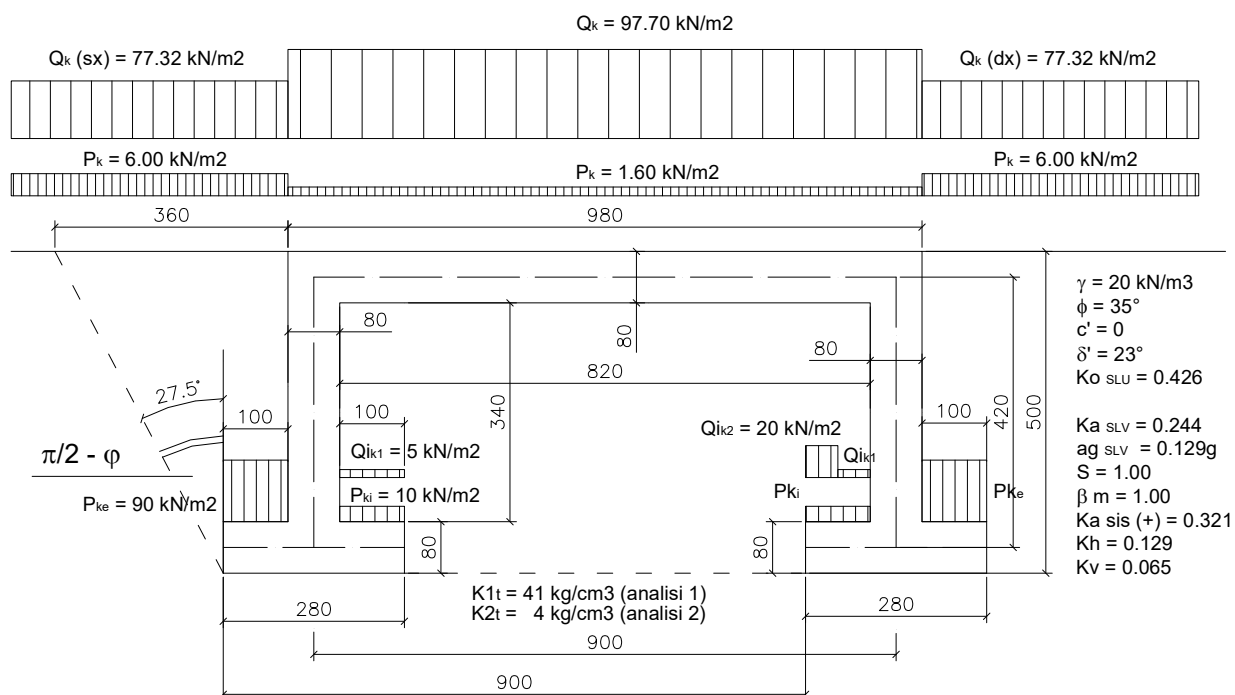
$$\Delta F_s = 0.40 \times 5.00^2 = 10.0 \text{ kN/m}$$

$$\Delta p_s = 10.0 / 5.00 = 2.0 \text{ kN/m}^2$$



Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

Pag. 29 di 84



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 30 di 84
---	--	---

8 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

8.1 CONDIZIONI DI CARICO

Si riportano di seguito le condizioni di carico considerate nell'analisi del sottovia:

- Cond. 1: Pesi propri
- Cond. 2: Carichi permanenti sulla soletta e fondazione
- Cond. 3: Treno di carico SW/2
- Cond. 4: Sovraccarico accidentale su fondazione interna
- Cond. 5: Spinta del terreno sulle pareti (condizioni a riposo K_0)
- Cond. 6: Spinta del treno sulla parete sinistra (a riposo K_0)
- Cond. 7: Spinta del treno sulla parete destra (a riposo K_0)
- Cond. 8: Forza d'inerzia orizzontale
- Cond. 9: Forza d'inerzia verticale in basso
- Cond.10 Incremento sismico (+) calcolato per sisma in basso

8.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Si riportano di seguito le combinazioni di carico allo stato limite ultimo considerate per l'analisi del modello della struttura in oggetto:

Stato limite ultimo statico SLU

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.35	1.5		1.5	1.35	1.45				
2	1.35	1.5	1.45	1.5	1.35	1.45				
3	1.35	1.5	1.45	1.5	1.35	1.45	1.45			
4	1.35	1.5	1.45	1.5	1.35					
5	1.35	1.5		1.5	0.77	0.83				
6	1.35	1.5	1.45	1.5	0.77	0.83				
7	1.35	1.5	1.45	1.5	0.77	0.83	0.83			
8	1.35	1.5	1.45	1.5	0.77					



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 31 di 84

Stato limite ultimo SLV

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	1	1	0.2		0.57	0.12		1	1	1

Si riporta di seguito le combinazioni di carico allo stato limite di esercizio considerate per l'analisi della struttura in oggetto:

Stato limite di esercizio SLE (comb. rara)

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6	7
10	1	1		1	1	1	
11	1	1	1	1	1	1	
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1		
14	1	1		1	0.57	0.57	
15	1	1	1	1	0.57	0.57	
16	1	1	1	1	0.57	0.57	0.57
17	1	1	1	1	0.57		



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

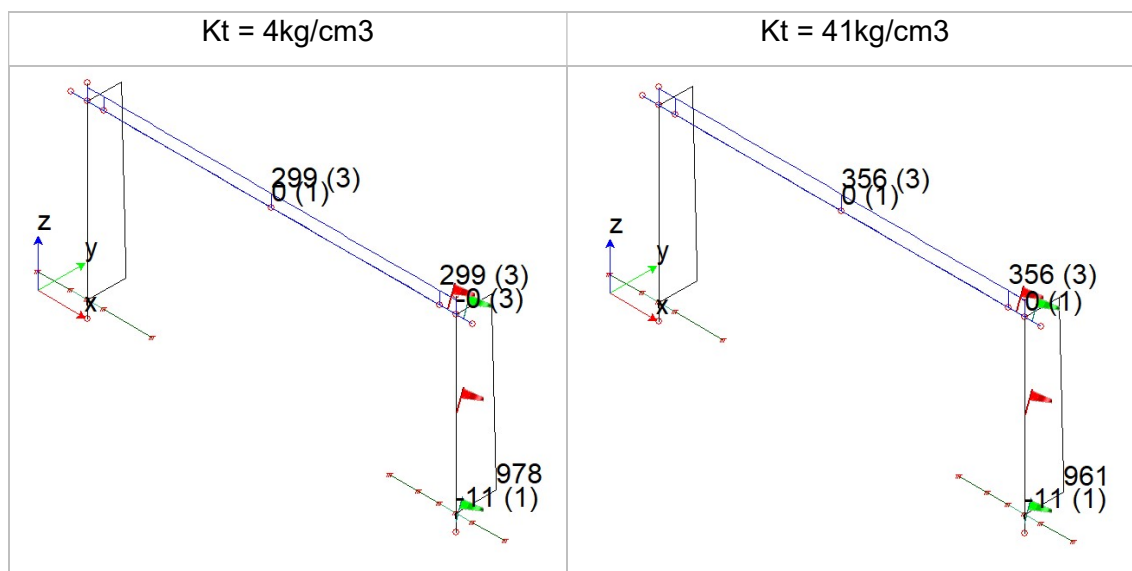
Pag. 32 di 84

9 VERIFICA DEL SOTTOVIA

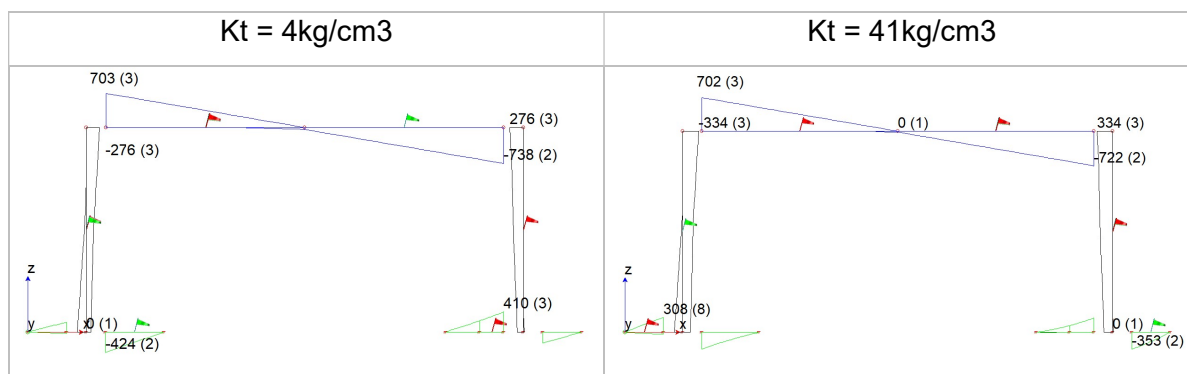
9.1 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Si riportano di seguito i diagrammi di involucro delle caratteristiche di sollecitazione ottenute allo stato limite ultimo.

Nd (KN/m)



Vd (KN/m)





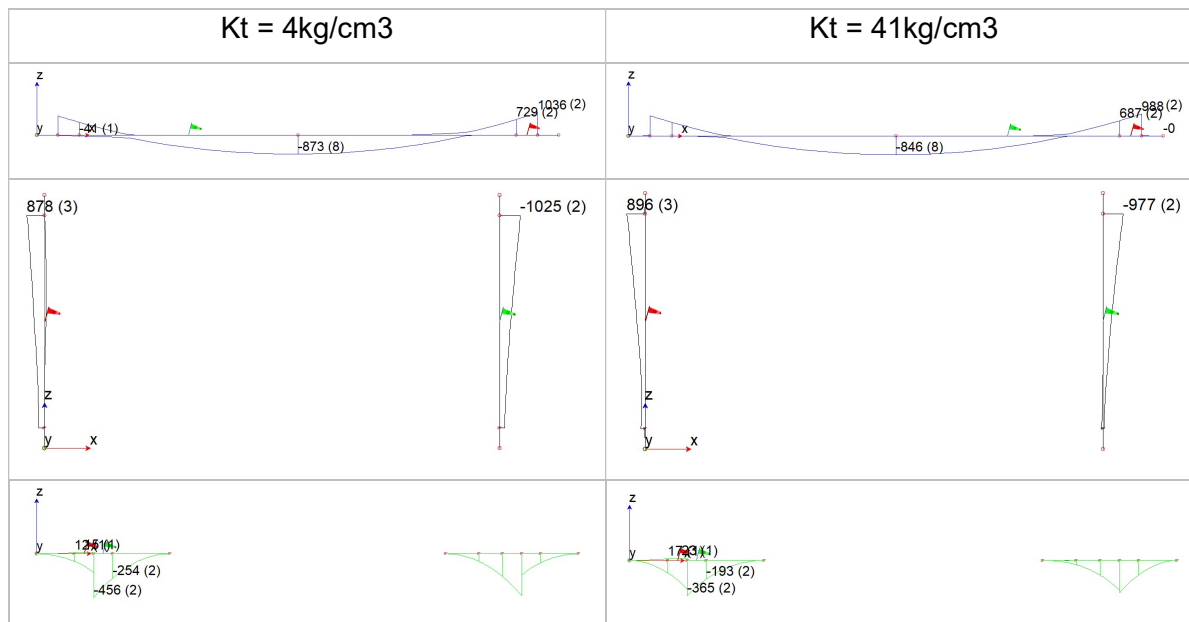
Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 33 di 84

Md (KNxm/m)



9.2 VERIFICA DELLA SOLETTA

9.2.1 Verifica in mezzeria

Si riporta di seguito la verifica a flessione della soletta fatta in mezzeria allo stato limite SLU/SLV:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| - Sezione di calcolo | rettangolare 100x80 |
| - Armatura inferiore tesa | 10Φ24 |
| - Armatura superiore compressa | 5Φ24 |
| - Copriferro | 6cm |
| - Momento di calcolo | Md = 873 KNxm/m |
| - Momento resistente | Mr = 1236 KNxm/m |
| - Coefficiente di sicurezza | $\gamma_s = 1236/873 = 1.41 > 1$ |



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 34 di 84

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della soletta in mezzeria usato per la verifica allo SLU/SLV (il calcolo è valido anche per il momento resistente agli appoggi):

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta (mezzeria)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo: []

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	22.62	6
2	45.24	74

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.V. Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C32/40

Proprietà	Valore
ϵ_{su}	67.5 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²
E_s	200 000 N/mm²
ϵ_s / ϵ_c	15
ϵ_{syd}	1.957 ‰
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²
ϵ_{c2}	2 ‰
ϵ_{cu}	3.5 ‰
f_{cd}	18.81 N/mm²
f_{cc} / f_{cd}	0.8
$\sigma_{c,adm}$	9.75 N/mm²
τ_{co}	0.6
τ_{c1}	1.829

M_{xRd} 1 236 kNm

σ_c -18.81 N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 26.87 ‰

d 74 cm


x 8.529 x/d 0.1153

δ 0.7

9.2.2 Verifica agli appoggi

Si riporta di seguito la verifica a flessione della soletta fatta allo stato limite SLU/SLV agli appoggi. Il momento di calcolo viene determinato come media tra il valore in asse parete e quello a filo:

- Sezione di calcolo rettangolare 100x80
- Armatura superiore tesa 10Φ24
- Armatura inferiore compressa 5Φ24
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = (729 + 1036) / 2 = 883 \text{ KNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 1236 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 1236 / 883 = 1.40 > 1$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 35 di 84</p>
---	---	--

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 738 \text{ KN/m}$
- $V_r = [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 740 / 1000 = 368 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 368 / 738 = \mathbf{0.50 < 1}$ **è necessario armare a taglio**

essendo

- $V_{rmin} = (0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 740 / 1000 = 279 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200 / 740)^{0.5} = 1.52$
- $\rho_l = 10 \times 452 / (1000 \times 740) = 0.0061$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$

Armando la soletta a taglio con spille $\Phi 14$ disposte a interasse $30 \times 30 \text{ cm}$, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:


- $V_d = 738 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rds}; V_{rcd}) = 1114 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1114 / 738 = \mathbf{1.50 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 1114 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 2158 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 740 \text{ mm}$
- $b_w = 1000 \text{ mm}$
- $A_{sw}/s = 154 / 0.3 / 300 = 1.711$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 90$ ($\cot \alpha = 0$; $\sin \alpha = 1$)
- $\cot \theta = 2.5$
- $\alpha_c = 1$
- $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 36 di 84</p>
---	---	--

9.3 VERIFICA DELLE PARETI

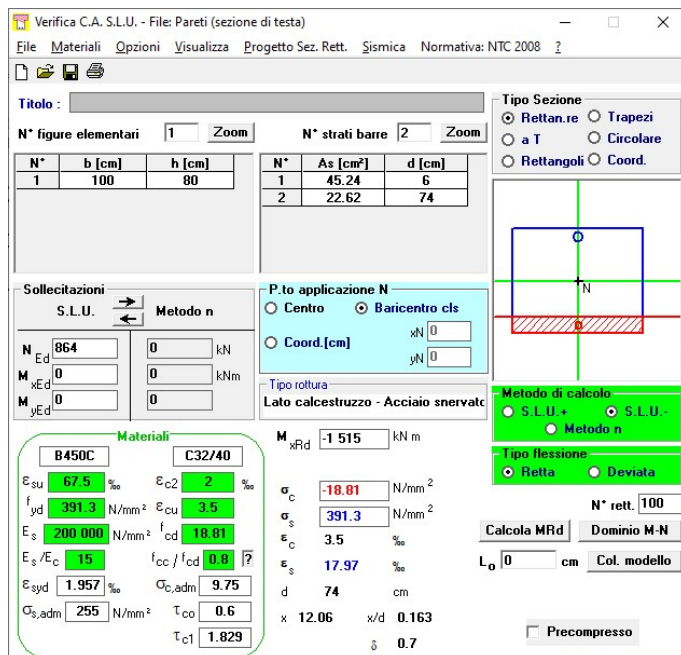
Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione delle pareti, fatta allo stato limite SLU/SLV. La verifica è svolta prima in testa dove sono massime le sollecitazioni e la sezione è più armata in zona tesa ($1\Phi 24/10$), e successivamente in corrispondenza della sezione a metà altezza (1.70m dal filo d'intradosso della soletta) dove l'armatura si riduce a $1\Phi 24/20$.

9.3.1 Verifica della sezione di testa

Il momento di calcolo della sezione di testa viene determinato come media tra il valore in asse soletta e quello a filo intradosso:

- Sezione di calcolo rettangolare 100x80
- Armatura $10\Phi 24$ (esterna tesa) + $5\Phi 24$ (interna compr.)
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = (925+1025)/2 = 975$ KNxm/m
- Sforzo assiale corrispondente $N_d = 864$ KN/m
- Momento resistente $M_r = 1515$ KNxm/m
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 1515/975 = 1.55 > 1$

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della sezione di testa delle pareti usato per la verifica allo SLU/SLV:



Verifica C.A. S.L.U. - File: Pareti (sezione di testa)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO: _____

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	45.24	6
			2	22.62	74

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 864 0 kN
M_{Ed} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

E_{su} 67.5 % E_{c2} 2 %
f_{yd} 391.3 N/mm² E_{cu} 3.5
E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
E_{syd} 1.957 % σ_{c,adm} 9.75
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{c1} 1.829

Metodo di calcolo: S.L.U. + Metodo n
Tipo flessione: Retta Deviata

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

M_{xRd} -1 515 kN m
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 %
ε_s 17.97 %
d 74 cm
x 12.06 x/d 0.163
δ 0.7

☐ Precompresso

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 37 di 84</p>
---	---	--

Dalla verifica a taglio della parete considerando il contributo del solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 312 \text{ KN/m}$ (valore a filo intradosso soletta)
- $N_d = 838 \text{ kN/m}$ (sforzo assiale corrispondente)
- $V_r = [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5 + 0.15 \sigma_{cp}] \times 1000 \times 740 / 1000 = 484 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 484 / 312 = \mathbf{1.55 > 1}$

essendo

- $V_{rmin} = (0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 740 / 1000 = 279 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200 / 740)^{0.5} = 1.52$
- $\rho_l = (10 \times 452) / (1000 \times 740) = 0.0061$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$
- $\sigma_{cp} = N_d / A_c = 838000 / (1000 \times 800) = 1.05 \text{ Mpa}$

9.3.2 Verifica della sezione a metà altezza

Si riporta di seguito la verifica:

- | | |
|---------------------------------|--|
| - Sezione di calcolo | rettangolare 100x80 |
| - Armatura tesa | 5Φ24 |
| - Armatura compressa | 5Φ24 |
| - Copriferro | 6cm |
| - Momento di calcolo | $M_d = 545 \text{ KNxm/m}$ |
| - Sforzo assiale corrispondente | $N_d = 921 \text{ KN/m}$ |
| - Momento resistente | $M_r = 946 \text{ KNxm/m}$ |
| - Coefficiente di sicurezza | $\gamma_s = 946 / 545 = \mathbf{1.73 > 1}$ |



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 38 di 84

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della sezione a metà altezza delle pareti usato per la verifica allo SLU/SLV:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Pareti (zona centrale)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO:

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	22.62	6
			2	22.62	74

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 921 0 kN
M_{Ed} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C32/40

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 9.75
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{c1} 1.829

M_{xRd} -946.5 kN m
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 26.42 ‰
d 74 cm
x 8.657 x/d 0.117
ξ 0.7

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

Metodo di calcolo
S.L.U. S.L.V.
Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviata

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

Precompresso

Dalla verifica a taglio della parete considerando il contributo del solo calcestruzzo risulta:

- V_d = 207 kN/m (valore a 1.70 dal filo intradosso soletta)
- N_d = 884 kN/m (sforzo assiale corrispondente)
- V_r = [0.18 k (100 ρ_l f_{ck})^{1/3} / 1.5 + 0.15 σ_{cp}] x 1000 x 740 / 1000 = 412 kN/m
- γ_s = 412 / 207 = **1.99 > 1**

essendo

- V_{rmin} = (0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}) x 1000 x 740 / 1000 = 279 kN/m
- k = 1 + (200 / 740)^{0.5} = 1.52
- ρ_l = (5 x 452) / (1000 x 740) = 0.0030
- f_{ck} = 33.2 Mpa
- σ_{cp} = N_d / A_c = 884000 / (1000 x 800) = 1.10 Mpa



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 39 di 84

9.4 VERIFICA DELLE FONDAZIONI

Si riporta di seguito la verifica a flessione delle fondazioni fatta allo stato limite SLU/SLV per le massime sollecitazioni che si verificano a ridosso delle pareti. Il momento di calcolo viene determinato come media tra il valore in asse parete e quello a filo:

- Sezione di calcolo rettangolare 100x80
- Armatura inferiore tesa $5\Phi 24$
- Armatura superiore compressa $5\Phi 24$
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = (456+254)/2 = 355 \text{ KNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 633 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 633/355 = 1.78 > 1$

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura delle fondazioni usato per la verifica allo SLU/SLV:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazioni

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	22.62	6
2	22.62	74

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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N° Ed 0 0 kN
M° Ed 0 0 kNm
M° yEd 0 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M° xRd 633.7 kN m


Materiali
B450C C32/40
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 18.81
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6
 τ_{c1} 1.829

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 40.21 ‰
d 74 cm
x 5.925 x/d 0.08007
 δ 0.7

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
☐ Precompresso

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 40 di 84</p>
---	---	--

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 424 \text{ KN/m}$
- $V_r = [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 740 / 1000 = 368 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 368 / 424 = \mathbf{0.86 < 1}$ **è necessario armare a taglio**

essendo

- $V_{rmin} = (0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 740 / 1000 = 279 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200 / 740)^{0.5} = 1.52$
- $\rho_l = 10 \times 452 / (1000 \times 740) = 0.0061$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$

Armando la soletta a taglio con spille $\Phi 14$ disposte a interasse $40 \times 40 \text{ cm}$, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:


- $V_d = 738 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rds}; V_{rcd}) = 625 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 625 / 424 = \mathbf{1.47 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 625 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 2158 \text{ KN}$

avendo posto:

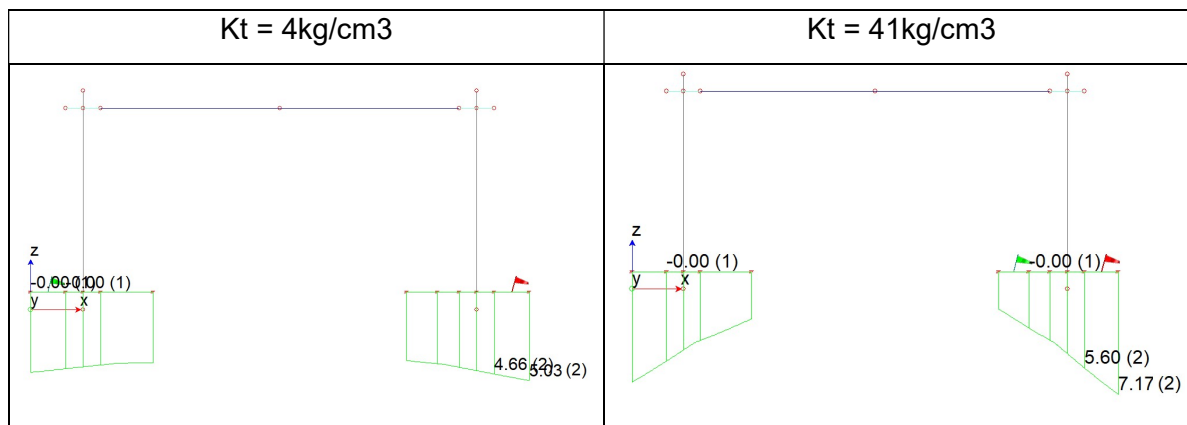
- $d = 740 \text{ mm}$
- $b_w = 1000 \text{ mm}$
- $A_{sw}/s = 154 / 0.4 / 400 = 0.96$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 90$ ($\cot \alpha = 0$; $\sin \alpha = 1$)
- $\cot \theta = 2.5$
- $\alpha_c = 1$
- $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 41 di 84</p>
---	---	--

9.5 VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO

Si riportano di seguito i diagrammi di involuppo delle pressioni massime sul terreno di fondazione, che dovrà garantire un adeguato livello di portanza:

p SLU/SLV (Kg/cm²)



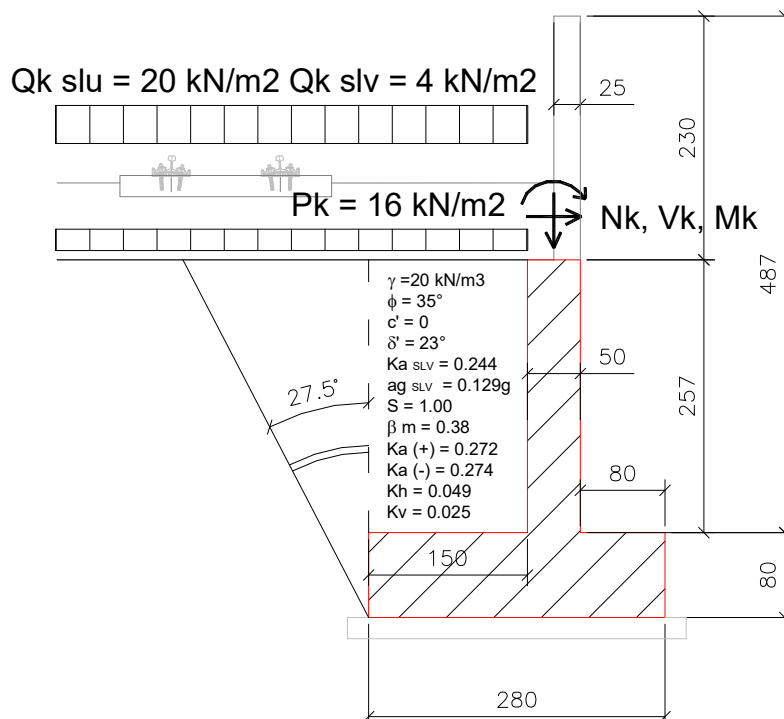
Con riferimento alla valore di progetto del carico limite (carico di sicurezza) la verifica è soddisfatta:

- $p_{d\ max} = 7.17\ kg/cm^2 \cong 0.72\ MPa$
- $q_{sic} = 1.17\ MPa > p_{d\ max}$
- $\gamma_s = 1.17/0.72 = \mathbf{1.62 > 1}$



10 VERIFICA DEL MURO IN AFFIANCAMENTO AL SOTTOPASSO

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro in affiancamento al sottopasso e parallelo alla ferrovia:



In testa al muro si considerano le seguenti azioni concentrate espresse in termini di valore caratteristico:

- $N_k = 20 \times 0.8 \times 0.25 + 25 \times 0.25 \times 2.30 = 18.4 \text{ kN/m}$ (peso della parete e del ballast)
- $V_k = 0.5 \times 0.271 \times 20 \times 0.8^2 + 0.6 \times 1.50 = 2.6 \text{ kN/m}$ (spinta del ballast e del vento)
- $M_k = 1.73 \times 0.8/3 + 0.9 \times (0.8 + 0.75) + (58 - 16) \times 0.125 = 7.10 \text{ kNm/m}$ (ballast e vento + squilibrio muro)



Ferrovie Appulo Lucane

**RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA**
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 43 di 84

10.1 VERIFICA DEL PARAMENTO VERTICALE

Si riporta di seguito il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione massime sul muro, che si verificano in corrispondenza della sezione di spiccato:

SOTTOVIA PERTINI			SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=2.57m								
GEOMETRIA			STATICA			SISMICA 1 (Kh+Kv)			SISMICA 2 (Kh-Kv)		
			cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
Spessore medio del muro	0.50	m	PESO PROPRIO			PESO PROPRIO			PESO PROPRIO		
Altezza muro	2.57	m	Nd	32.1	KN/m	Nd	32.1	KN/m	Nd	32.1	KN/m
Altezza fondazione	0.80	m	TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)		
Lunghezza mensola interna	1.50	m	Vd	16.1	KN/m	Vd	16.1	KN/m	Vd	16.1	KN/m
Lunghezza mensola esterna	0.80	m	Md	13.8	KNxm/m	Md	13.8	KNxm/m	Md	13.8	KNxm/m
Lunghezza totale fondazione	2.80	m	SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		
PARAMETRI SISMICI			Vd	22.6	KN/m	Vd	12.4	KN/m	Vd	12.4	KN/m
Accelerazione ag (SLV)	0.129	g	Md	29.1	KN/m	Md	16.0	KN/m	Md	16.0	KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000		CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO		
Coefficiente di riduzione β_m	0.38		Nd	74.0	KN/m	Nd	74.0	KN/m	Nd	74.0	KN/m
Coefficiente sismico orizzontale	0.049		Vd	2.6	KN/m	Vd	1.4	KN/m	Vd	1.4	KN/m
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.025		Md	13.8	KN/m	Md	7.6	KN/m	Md	7.6	KN/m
TERRENO			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			INCREMENTO SPINTA SISMICA			INCREMENTO SPINTA SISMICA		
Peso di volume	20.00	KN/m ³	Nd	153	KN/m	Vd	3.2	KN/m	Vd	3.4	KN/m
Angolo di attrito del terreno	35.00	°	Vd	59	KN/m	Md	4.2	KNxm/m	Md	4.4	KNxm/m
Coesione	0.00	KN/m ²	Md	82	KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO			FORZA D'INERZIA SUL MURO		
Angolo d'attrito terra - muro	23.00	°	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE			Nd	2.6	KN/m	Nd	-2.6	KN/m
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244		Nd	106	KN/m	Vd	5.3	KN/m	Vd	5.1	KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272		Vd	41	KN/m	Md	6.8	KNxm/m	Md	6.5	KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274		Md	57	KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO			FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		
Lunghezza cuneo di spinta	1.75	m				Vd	6.8	KN/m	Vd	6.5	KN/m
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO						Md	9.3	KNxm/m	Md	8.8	KNxm/m
Intensità carico	36.00	KN/m ²				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		
CARICHI TESTA MURO						Vd	3.2	KN/m	Vd	3.1	KN/m
Valore del carico Nd	74.0	KN/m				Md	8.3	KNxm/m	Md	7.9	KNxm/m
Valore del taglio Td	2.6	KN/m				SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		
Valore del momento Md	7.1	KN/m				Nd	109	KN/m	Nd	106	KN/m
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE						Vd	49	KN/m	Vd	48	KN/m
Peso proprio (muro - terreno)	1.30					Md	66	KNxm/m	Md	65	KNxm/m
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.50										
Partecipazione sism. Accidentale	55%										
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA											
Volume terreno su zattera interna	3.86	m ³									
Volume cuneo di spinta	2.96	m ³									
Volume totale di terreno mobilitato	6.81	m ³									



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 44 di 84

10.1.1 Verifica a flessione del paramento

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con $1\Phi 16/20$ e quella compressa con $1\Phi 16/20$ risulta:

- | | |
|---|---|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $N_d = 153 \text{ kN/m}$ | - $N_d = 106 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 82 \text{ kNxm/m}$ | - $M_d = 49 \text{ kNxm/m}$ |
| - $M_r = 207 \text{ kNxm/m}$ | - $M_r = 198 \text{ kNxm/m}$ |
| - $\gamma_s = 207/82 = \mathbf{2.52 > 1}$ | - $\gamma_s = 198/49 = \mathbf{4.04 > 1}$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Paramento muro (H=2.57cm)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo: []

N° figure elementari [1] Zoom N° strati barre [2] Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	6
2	10.05	44

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} [153] kN M_{Ed} [0] kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} [67.5]‰ ϵ_{c2} [2]‰ f_{yd} [391.3] N/mm² ϵ_{cu} [3.5]‰ E_s [200 000] N/mm² f_{cd} [18.81] N/mm² E_s/E_c [15] f_{cc}/f_{cd} [0.8] ϵ_{syd} [1.957]‰ $\sigma_{c,adm}$ [9.75] N/mm² $\sigma_{s,adm}$ [255] N/mm² τ_{co} [0.6] τ_{c1} [1.829]

M_{xRd} [207.7] kN m σ_c [-18.81] N/mm² σ_s [391.3] N/mm² ϵ_c [3.5]‰ ϵ_s [28.79]‰ d [44] cm x [4.77] x/d [0.1084] δ [0.7]

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n Tipo flessione: Retta Deviata N° rett. [100] Calcola MRd Dominio M-N L₀ [0] cm Col. modello Precompresso

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 45 di 84</p>
---	---	--

10.1.2 Verifica a taglio del paramento

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$- \mathbf{V_r = V_{rmin} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 192 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 440 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.674$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 201)/(1000 \times 440) = 0.0023$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$- V_{rmin} > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 174 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 59 \text{ kN/m}$ - $V_r = 192 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 192/59 = \mathbf{3.25 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 49 \text{ kN/m}$ - $V_r = 192 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 192/49 = \mathbf{3.92 > 1}$
--	--



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 46 di 84

10.2 VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Le sollecitazioni sulla zattera di fondazione, sono calcolate sull'asse in corrispondenza delle due sezioni a filo muro:

- Sezione a filo interno

$$N_{\text{fond int.}} = -Vd_{\text{spiccato}} \times L_{\text{mens. interna}} / L_{\text{fond}} \quad (\text{sforzo di trazione})$$

$$V_{\text{filo int.}} = (q_{\text{med}} - \gamma_G \times 25 \times H_{\text{fond.}}) \times (L_{\text{fond.}} - L_{\text{mens. interna}}) - N_{\text{d spiccato}}$$

$$M_{\text{fond filo int}} = M_{\text{d spiccato}} - N_{\text{fond int}} \times H_{\text{fond}} / 2$$

- Sezione a filo esterno

$$N_{\text{fond est.}} = Vd_{\text{spiccato}} \times L_{\text{mens. esterna}} / L_{\text{fond}} \quad (\text{sforzo di compressione})$$

$$V_{\text{filo est.}} = (q_{\text{med}} - \gamma_G \times 25 \times H_{\text{fond.}}) \times L_{\text{mens. esterna}}$$

$$M_{\text{fond filo est}} = V_{\text{filo est.}} \times L_{\text{mens. esterna}} / 2 + N_{\text{fond est}} \times H_{\text{fond}} / 2$$

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=2.57m

SEZIONE A FILO INTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-32	KN/m	Nd	-26	KN/m	Nd	-26	KN/m	Nd	-22	KN/m
Vd	132	KN/m	Vd	83	KN/m	Vd	77	KN/m	Vd	88	KN/m
Md	95	KNxm/m	Md	76	KNxm/m	Md	75	KNxm/m	Md	66	KNxm/m

avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{\text{med int}}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.43	m	B'	2.26	m	B'	2.22	m	B'	2.47	m
q_{med}	167	Kpa	q_{med}	122	Kpa	q_{med}	118	Kpa	q_{med}	119	Kpa
q_{max}	335	Kpa	q_{max}	243	Kpa	q_{max}	236	Kpa	q_{max}	238	Kpa
q_{int}	156	Kpa	q_{int}	104	Kpa	q_{int}	98	Kpa	q_{int}	112	Kpa
$q_{\text{med int}}$	245	Kpa	$q_{\text{med int}}$	173	Kpa	$q_{\text{med int}}$	167	Kpa	$q_{\text{med int}}$	175	Kpa

SEZIONE A FILO ESTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	17	KN/m	Nd	14	KN/m	Nd	14	KN/m	Nd	12	KN/m
Vd	203	KN/m	Vd	139	KN/m	Vd	134	KN/m	Vd	139	KN/m
Md	88	KNxm/m	Md	61	KNxm/m	Md	59	KNxm/m	Md	60	KNxm/m

avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{\text{med est}}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.43	m	B'	2.26	m	B'	2.22	m	B'	2.47	m
q_{med}	167	Kpa	q_{med}	122	Kpa	q_{med}	118	Kpa	q_{med}	119	Kpa
q_{max}	335	Kpa	q_{max}	243	Kpa	q_{max}	236	Kpa	q_{max}	238	Kpa
q_{est}	225	Kpa	q_{est}	157	Kpa	q_{est}	151	Kpa	q_{est}	161	Kpa
$q_{\text{med est}}$	280	Kpa	$q_{\text{med est}}$	200	Kpa	$q_{\text{med est}}$	193	Kpa	$q_{\text{med est}}$	199	Kpa



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 47 di 84

10.2.1 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari $1\Phi 20/20$ superiore e $1\Phi 20/20$ inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $N_d = -32 \text{ kN/m}$ | - $N_d = -26 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 95 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 76 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 407 \text{ kNm}$ | - $M_r = 409 \text{ kNm}$ |
| - $\gamma_s = 407/95 = 4.28 > 1$ | - $\gamma_s = 409/76 = 5.38 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazione muro (H=2.57cm)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	15.71	74

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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -32 0 kN
M_{xEd} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	0
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

M_{xRd} -407.1 kNm

σ_c - N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 16.79 ‰

d 74 cm

x 12.76 x/d 0.1725

δ 0.7

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 48 di 84</p>
---	---	--

10.2.2 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- \mathbf{V_r = V_r \min = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 279 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 740 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.520$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 314)/(1000 \times 740) = 0.0021$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$- V_r \min > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 258 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 203 \text{ kN/m}$ - $V_r = 279 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 279/203 = \mathbf{1.37 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 139 \text{ kN/m}$ - $V_r = 279 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 279/139 = \mathbf{2.00 > 1}$
--	--



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 49 di 84

10.2.3 Carichi a intradosso fondazione

Si riporta di seguito il calcolo delle massime caratteristiche di sollecitazione nel baricentro della fondazione a quota intradosso:

SOTTOVIA PERTINI			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=2.57m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione	2.80	m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
BARICENTRO FONDAZIONE			PESO PROPRIO MURO		PESO PROPRIO MURO		PESO PROPRIO MURO	
X _G - Distanza dal filo più interno	1.40	m	Nd	32.1 KN/m	Nd	32.1 KN/m	Nd	32.1 KN/m
			X _N	1.75 m	X _N	1.75 m	X _N	1.75 m
			Md	11.2 KNxm/m	Md	11.2 KNxm/m	Md	11.2 KNxm/m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
A - Area	2.80	m ² /m	Nd	56.0 KN/m	Nd	56.0 KN/m	Nd	56.0 KN/m
W - Modulo di resistenza	1.31	m ³ /m						
			TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Nd	77.1 KN/m	Nd	77.1 KN/m	Nd	77.1 KN/m
			X _N	0.75 m	X _N	0.75 m	X _N	0.75 m
			Vd	27.8 KN/m	Vd	27.8 KN/m	Vd	27.8 KN/m
			Md	-18.9 KNxm/m	Md	-18.9 KNxm/m	Md	-18.9 KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
			Nd	54.0 KN/m	Nd	29.7 KN/m	Nd	29.7 KN/m
			X _N	0.75 m	X _N	0.75 m	X _N	0.75 m
			Vd	29.7 KN/m	Vd	16.3 KN/m	Vd	16.3 KN/m
			Md	14.9 KN/m	Md	8.2 KN/m	Md	8.2 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	74.0 KN/m	Nd	74.0 KN/m	Nd	74.0 KN/m
			X _N	1.75 m	X _N	1.75 m	X _N	1.75 m
			Vd	2.6 KN/m	Vd	1.4 KN/m	Vd	1.4 KN/m
			Md	41.8 KN/m	Md	23.0 KN/m	Md	23.0 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	407 KN/m	Vd	5.0 KN/m	Vd	5.3 KN/m
			Vd	84 KN/m	Md	8.4 KNxm/m	Md	8.9 KNxm/m
			Md	75 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	293 KN/m	Nd	4.0 KN/m	Nd	-4.0 KN/m
			Vd	60 KN/m	Vd	8.1 KN/m	Vd	7.8 KN/m
			Md	49 KNxm/m	Md	17.9 KNxm/m	Md	17.1 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
					Nd	1.9 KN/m	Nd	-1.9 KN/m
					Vd	6.8 KN/m	Vd	6.5 KN/m
					Md	13.5 KNxm/m	Md	15.3 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
					Nd	0.7 KN/m	Nd	-0.7 KN/m
					Vd	3.2 KN/m	Vd	3.1 KN/m
					Md	10.4 KNxm/m	Md	10.9 KNxm/m
					SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
					Nd	276 KN/m	Nd	262 KN/m
					Vd	69 KN/m	Vd	68 KN/m
					Md	74 KNxm/m	Md	76 KNxm/m



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo


DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 50 di 84

10.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

Si riportano di seguito le verifiche geotecniche del muro effettuate allo stato limite ultimo relativamente alla capacità portante della fondazione e ai fenomeni di scorrimento e ribaltamento:

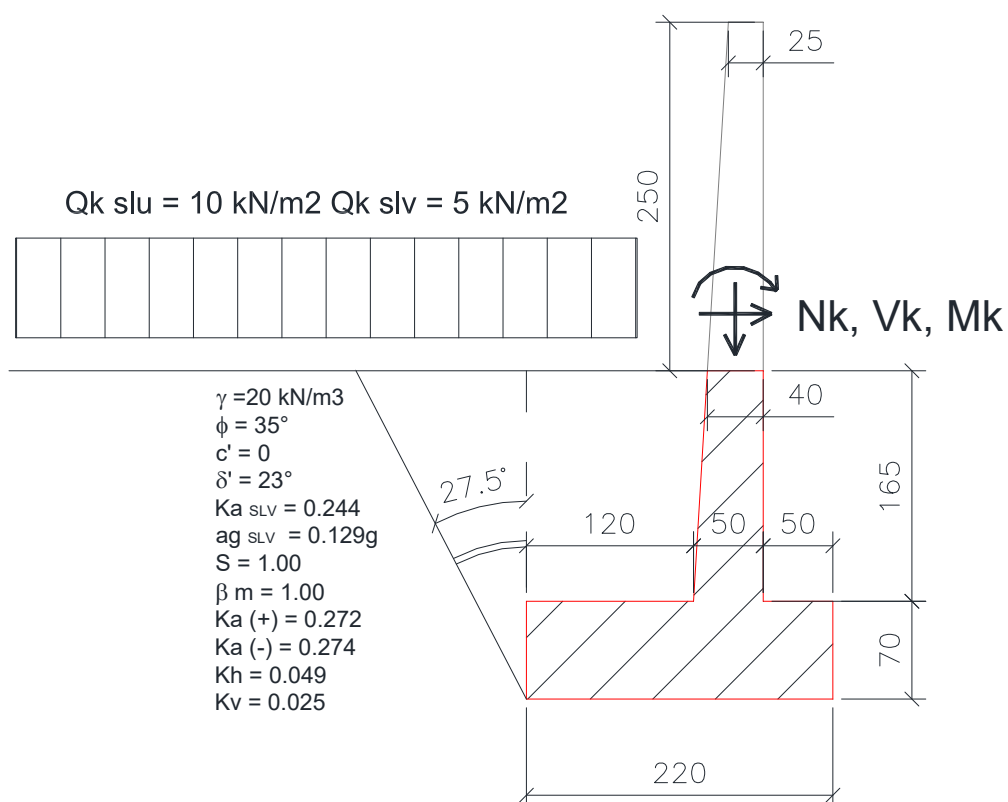
SOTTOVIA PERTINI			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=2.57m					
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE								
Angolo di attrito	33	°						
Coesione	0	KN/m2						
Carico limite di progetto	1170	Kpa						
VERIFICA AL CARICO LIMITE			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Nd - Carico assiale	407	KN/m			276	KN/m	262	KN/m
Md - Momento flettente	75	KNxm/m			74	KNxm/m	76	KNxm/m
e - Eccentricità	0.18	m			0.27	m	0.29	m
B' - Larghezza ridotta	2.43	m			2.26	m	2.22	m
q medio (SLU)	167	Mpa			122	Mpa	118	Mpa
q limite di progetto	1170	Mpa			1170	Mpa	1170	Mpa
Coefficiente di sicurezza	6.99	> 1.40	VERIFICA		9.62	> 1.20	VERIFICA	9.92 > 1.20 VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Azione spingente	84	KN			69	KN	68	KN
Azione resistente	264	KN			179	KN	170	KN
Coefficiente di sicurezza	3.13	> 1.10	VERIFICA		2.60	> 1.00	VERIFICA	2.50 > 1.00 VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Momento ribaltante	129	KNxm			99	KNxm	98	KNxm
Momento resistente	600	KNxm			418	KNxm	399	KNxm
Coefficiente di sicurezza	4.67	> 1.15	VERIFICA		4.22	> 1.00	VERIFICA	4.06 > 1.00 VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 51 di 84</p>
---	---	--

11 VERIFICA DEL MURO DI INNESTO RAMPA

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di innesto rampa:



In testa al muro si considerano le seguenti azioni concentrate espresse in termini di valore caratteristico:

- $N_k = 25 \times 0.32 \times 2.50 = 20 \text{ kN/m}$ (peso della parete)
- $V_k = 0.5 \times 10 \times 1.0^2 + 0.6 \times 1.5 = 5.9 \text{ kN/m}$ (spinta di 1m d'acqua e del vento)
- $M_k = 5.0 \times 1.0 / 3 + 0.9 \times (1.0 + 0.75) + 20 \times 0.09 = 5.04 \text{ kNm/m}$ (acqua + vento + eccentricità muro)



Ferrovie Appulo Lucane

**RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA**
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 52 di 84

11.1 VERIFICA DEL PARAMENTO VERTICALE

Si riporta di seguito il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione massime sul muro, che si verificano in corrispondenza della sezione di spiccato:

SOTTOVIA PERTINI			SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=1.65m					
GEOMETRIA			STATICA		SISMICA 1 (Kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro			cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	1.65	m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	0.70	m	Nd	18.6	Nd	18.6	Nd	18.6
Lunghezza mensola interna	1.25	m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	0.50	m	Vd	6.7	Vd	6.7	Vd	6.7
Lunghezza totale fondazione	2.20	m	Md	3.7	Md	3.7	Md	3.7
PARAMETRI SISMICI			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.129	g	Vd	4.0	Vd	2.0	Vd	2.0
Coefficiente di sottosuolo S	1.000		Md	1.7	Md	1.7	Md	1.7
Coefficiente di riduzione β_m	1.00		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.129		Nd	20.0	Nd	20.0	Nd	20.0
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.065		Vd	5.9	Vd	3.0	Vd	3.0
TERRENO			Md	14.8	Md	7.4	Md	7.4
Peso di volume	20.00	KN/m ³	SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00	°	Nd	54	Vd	2.7	Vd	3.2
Coesione	0.00	KN/m ²	Vd	24	Md	2.2	Md	2.6
Angolo d'attrito terra - muro	23.00	°	Md	32	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244		SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		Nd	2.5	Nd	-2.5
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.321		Nd	39	Vd	5.3	Vd	4.7
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.333		Vd	17	Md	4.4	Md	3.8
Lunghezza cuneo di spinta	1.22	m	Md	22	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO					Vd	9.6	Vd	8.4
Intensità carico	10.00	KN/m ²			Md	8.1	Md	7.1
CARICHI TESTA MURO					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Valore del carico Nd	20.0	KN/m			Vd	1.7	Vd	1.5
Valore del taglio Td	5.9	KN/m			Md	2.8	Md	2.5
Valore del momento Md	5.1	KN/m			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE					Nd	41	Nd	39
Peso proprio (muro - terreno)	1.30				Vd	31	Vd	29
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.50				Md	30	Md	29
Partecipazione sism. Accidentale	50%							
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA								
Volume terreno su zattera interna	2.06	m ³						
Volume cuneo di spinta	1.44	m ³						
Volume totale di terreno mobilitato	3.50	m ³						



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 53 di 84

11.1.1 Verifica a flessione del paramento

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con $1\Phi 16/20$ e quella compressa con $1\Phi 16/20$ risulta:

- | | |
|---|---|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $N_d = 54 \text{ kN/m}$ | - $N_d = 39 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 32 \text{ kNxm/m}$ | - $M_d = 30 \text{ kNxm/m}$ |
| - $M_r = 188 \text{ kNxm/m}$ | - $M_r = 185 \text{ kNxm/m}$ |
| - $\gamma_s = 188/32 = \mathbf{5.87 > 1}$ | - $\gamma_s = 185/30 = \mathbf{6.16 > 1}$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Paramento muro (H=1.65m)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo: []

N° figure elementari [1] Zoom N° strati barre [2] Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	6
2	10.05	44

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 54 0 kN
M_{Ed} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67.5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	3.5
E_s	200.000 N/mm²	18.81
E_s/E_c	15	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0.6
τ_{c1}		1.829

M_{xRd} 187.9 kN m

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 30.83 ‰
d 44 cm
x 4.486 x/d 0.102
 δ 0.7

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. - Metodo n


Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 54 di 84</p>
---	---	--

11.1.2 Verifica a taglio del paramento

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$- \mathbf{V_r = V_{rmin} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 192 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 440 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.674$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 201)/(1000 \times 440) = 0.0023$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$- V_{rmin} > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 174 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 24 \text{ kN/m}$ - $V_r = 192 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 192/24 = \mathbf{8.00 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 31 \text{ kN/m}$ - $V_r = 192 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 192/31 = \mathbf{6.19 > 1}$
--	--



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 55 di 84

11.2 VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Le sollecitazioni sulla zattera di fondazione, sono calcolate sull'asse in corrispondenza delle due sezioni a filo muro:

- Sezione a filo interno

$$N_{\text{fond int.}} = -Vd_{\text{spiccato}} \times L_{\text{mens. interna}} / L_{\text{fond}} \quad (\text{sforzo di trazione})$$

$$V_{\text{filo int.}} = (q_{\text{med}} - \gamma_G \times 25 \times H_{\text{fond.}}) \times (L_{\text{fond.}} - L_{\text{mens. interna}}) - Nd_{\text{spiccato}}$$

$$M_{\text{fond filo int}} = Md_{\text{spiccato}} - N_{\text{fond int}} \times H_{\text{fond}} / 2$$

- Sezione a filo esterno

$$N_{\text{fond est.}} = Vd_{\text{spiccato}} \times L_{\text{mens. esterna}} / L_{\text{fond}} \quad (\text{sforzo di compressione})$$

$$V_{\text{filo est.}} = (q_{\text{med}} - \gamma_G \times 25 \times H_{\text{fond.}}) \times L_{\text{mens. esterna}}$$

$$M_{\text{fond filo est}} = V_{\text{filo est.}} \times L_{\text{mens. esterna}} / 2 + N_{\text{fond est}} \times H_{\text{fond}} / 2$$

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=1.65m

SEZIONE A FILO INTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-13	KN/m	Nd	-18	KN/m	Nd	-17	KN/m	Nd	-9	KN/m
Vd	63	KN/m	Vd	53	KN/m	Vd	45	KN/m	Vd	41	KN/m
Md	37	KNxm/m	Md	36	KNxm/m	Md	35	KNxm/m	Md	25	KNxm/m

avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{\text{med int}}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	1.77	m	B'	1.47	m	B'	1.37	m	B'	1.81	m
q_{med}	100	Kpa	q_{med}	90	Kpa	q_{med}	85	Kpa	q_{med}	72	Kpa
q_{max}	200	Kpa	q_{max}	180	Kpa	q_{max}	170	Kpa	q_{max}	144	Kpa
q_{int}	92	Kpa	q_{int}	64	Kpa	q_{int}	52	Kpa	q_{int}	69	Kpa
$q_{\text{med int}}$	146	Kpa	$q_{\text{med int}}$	122	Kpa	$q_{\text{med int}}$	111	Kpa	$q_{\text{med int}}$	106	Kpa

SEZIONE A FILO ESTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	5	KN/m	Nd	7	KN/m	Nd	7	KN/m	Nd	4	KN/m
Vd	74	KN/m	Vd	63	KN/m	Vd	58	KN/m	Vd	51	KN/m
Md	20	KNxm/m	Md	18	KNxm/m	Md	17	KNxm/m	Md	14	KNxm/m

avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{\text{med est}}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	1.77	m	B'	1.47	m	B'	1.37	m	B'	1.81	m
q_{med}	100	Kpa	q_{med}	90	Kpa	q_{med}	85	Kpa	q_{med}	72	Kpa
q_{max}	200	Kpa	q_{max}	180	Kpa	q_{max}	170	Kpa	q_{max}	144	Kpa
q_{est}	143	Kpa	q_{est}	119	Kpa	q_{est}	108	Kpa	q_{est}	104	Kpa
$q_{\text{med est}}$	172	Kpa	$q_{\text{med est}}$	149	Kpa	$q_{\text{med est}}$	139	Kpa	$q_{\text{med est}}$	124	Kpa



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 56 di 84

11.2.1 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari $1\Phi 20/20$ superiore e $1\Phi 20/20$ inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- | | |
|---|---|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $N_d = -13 \text{ kN/m}$ | - $N_d = -18 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 37 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 36 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 352 \text{ kNm}$ | - $M_r = 351 \text{ kNm}$ |
| - $\gamma_s = 352/37 = \mathbf{9.51} > 1$ | - $\gamma_s = 351/36 = \mathbf{9.75} > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazione muro (H=1.65m)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	70

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	15.71	64

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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -13 0 kN
M_{xEd} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0 kNm

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	0
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

M_{xRd} -352.8 kNm

σ_c - N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

ϵ_c 3.5 ‰

ϵ_s 13.41 ‰

d 64 cm

x 13.25 x/d 0.207

δ 0.7

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 57 di 84</p>
---	---	--

11.2.2 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- \mathbf{V_r = V_r \min = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 251 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 640 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.559$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 314)/(1000 \times 640) = 0.0024$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$- V_r \min > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 239 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 74 \text{ kN/m}$ - $V_r = 251 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 251/74 = \mathbf{3.39 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 63 \text{ kN/m}$ - $V_r = 251 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 279/63 = \mathbf{4.42 > 1}$
--	--



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC


Data: Giugno 2020

Pag. 58 di 84

11.2.3 Carichi a intradosso fondazione

Si riporta di seguito il calcolo delle massime caratteristiche di sollecitazione nel baricentro della fondazione a quota intradosso:

SOTTOVIA PERTINI			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=1.65m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione	2.20	m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
BARICENTRO FONDAZIONE			PESO PROPRIO MURO		PESO PROPRIO MURO		PESO PROPRIO MURO	
X _G - Distanza dal filo più interno	1.10	m	Nd	18.6 KN/m	Nd	18.6 KN/m	Nd	18.6 KN/m
			X _N	1.48 m	X _N	1.48 m	X _N	1.48 m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			Md	7.0 KNxm/m	Md	7.0 KNxm/m	Md	7.0 KNxm/m
A - Area	2.20	m ² /m	PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
W - Modulo di resistenza	0.81	m ³ /m	Nd	38.5 KN/m	Nd	38.5 KN/m	Nd	38.5 KN/m
			TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Nd	41.3 KN/m	Nd	41.3 KN/m	Nd	41.3 KN/m
			X _N	0.63 m	X _N	0.63 m	X _N	0.63 m
			Vd	13.5 KN/m	Vd	13.5 KN/m	Vd	13.5 KN/m
			Md	-9.0 KNxm/m	Md	-9.0 KNxm/m	Md	-9.0 KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
			Nd	12.5 KN/m	Nd	6.3 KN/m	Nd	6.3 KN/m
			X _N	0.63 m	X _N	0.63 m	X _N	0.63 m
			Vd	5.7 KN/m	Vd	2.9 KN/m	Vd	2.9 KN/m
			Md	0.8 KN/m	Md	0.4 KN/m	Md	0.4 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	20.0 KN/m	Nd	20.0 KN/m	Nd	20.0 KN/m
			X _N	1.48 m	X _N	1.48 m	X _N	1.48 m
			Vd	5.9 KN/m	Vd	3.0 KN/m	Vd	3.0 KN/m
			Md	26.5 KN/m	Md	13.2 KN/m	Md	13.2 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	177 KN/m	Vd	5.1 KN/m	Vd	6.0 KN/m
			Vd	35 KN/m	Md	6.0 KNxm/m	Md	7.0 KNxm/m
			Md	38 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	131 KN/m	Nd	5.0 KN/m	Nd	-5.0 KN/m
			Vd	25 KN/m	Vd	10.6 KN/m	Vd	9.3 KN/m
			Md	25 KNxm/m	Md	13.1 KNxm/m	Md	11.6 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
			Nd	2.7 KN/m	Nd	2.7 KN/m	Nd	-2.7 KN/m
			Vd	9.6 KN/m	Vd	9.6 KN/m	Vd	8.4 KN/m
			Md	13.6 KNxm/m	Md	13.6 KNxm/m	Md	14.3 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
			Nd	0.4 KN/m	Nd	0.4 KN/m	Nd	-0.4 KN/m
			Vd	1.7 KN/m	Vd	1.7 KN/m	Vd	1.5 KN/m
			Md	3.8 KNxm/m	Md	3.8 KNxm/m	Md	3.7 KNxm/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
			Nd	133 KN/m	Nd	133 KN/m	Nd	117 KN/m
			Vd	46 KN/m	Vd	46 KN/m	Vd	45 KN/m
			Md	48 KNxm/m	Md	48 KNxm/m	Md	48 KNxm/m

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 59 di 84
---	--	---

11.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

Si riportano di seguito le verifiche geotecniche del muro effettuate allo stato limite ultimo relativamente alla capacità portante della fondazione e ai fenomeni di scorrimento e ribaltamento:

SOTTOVIA PERTINI			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=1.65m					
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE								
Angolo di attrito	33	°						
Coesione	0	KN/m2						
Carico limite di progetto	1170	Kpa						
VERIFICA AL CARICO LIMITE			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Nd - Carico assiale	177	KN/m			133	KN/m	117	KN/m
Md - Momento flettente	38	KNxm/m			48	KNxm/m	48	KNxm/m
e - Eccentricità	0.22	m			0.36	m	0.41	m
B' - Larghezza ridotta	1.77	m			1.47	m	1.37	m
q medio (SLU)	100	Mpa			90	Mpa	85	Mpa
q limite di progetto	1170	Mpa			1170	Mpa	1170	Mpa
Coefficiente di sicurezza	11.71	> 1.40	VERIFICA		13.01	> 1.20	VERIFICA	13.78 > 1.20 VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Azione spingente	35	KN			46	KN	45	KN
Azione resistente	115	KN			86	KN	76	KN
Coefficiente di sicurezza	3.27	> 1.10	VERIFICA		1.86	> 1.00	VERIFICA	1.70 > 1.00 VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Momento ribaltante	45	KNxm			52	KNxm	50	KNxm
Momento resistente	192	KNxm			154	KNxm	137	KNxm
Coefficiente di sicurezza	4.29	> 1.15	VERIFICA		2.93	> 1.00	VERIFICA	2.71 > 1.00 VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 60 di 84</p>
---	---	--

12 VERIFICA DEL TOMBINO IDRAULICO

Si riporta di seguito la verifica strutturale del tombino idraulico scatolare di sezione netta 3.00x1.00m, posizionato trasversalmente sotto la ferrovia.

12.1 ANALISI DEI CARICHI

12.1.1 *Peso proprio*

Il peso proprio della struttura analizzata è funzione della sua geometria e del peso di volume del materiale ($\gamma_{c.a.} = 25 \text{ kN/m}^3$). Esso viene applicato in automatico dal programma di calcolo agli elementi del modello in funzione della loro sezione:

- $G_k = 25 \times 0.4 = 10 \text{ kN/m}^2$

12.1.2 *Sovraccarico permanente*

Sulla soletta di copertura, posta a circa 1.15m al di sotto del piano del ferro, si considera il carico trasmesso dal peso proprio di uno spessore di terreno di spessore 35cm oltre al peso della sovrastruttura ferroviaria:

- $P_k (\text{soletta}) = 20 \times (0.35 + 0.80) = 23 \text{ kN/m}^2$

12.1.3 *Sovraccarico accidentale sulla copertura*

Come sovraccarico ferroviario applicato alla soletta di copertura del sottovia, si considera il treno di carico SW/2, amplificato attraverso il coefficiente d'incremento dinamico Φ_3 .

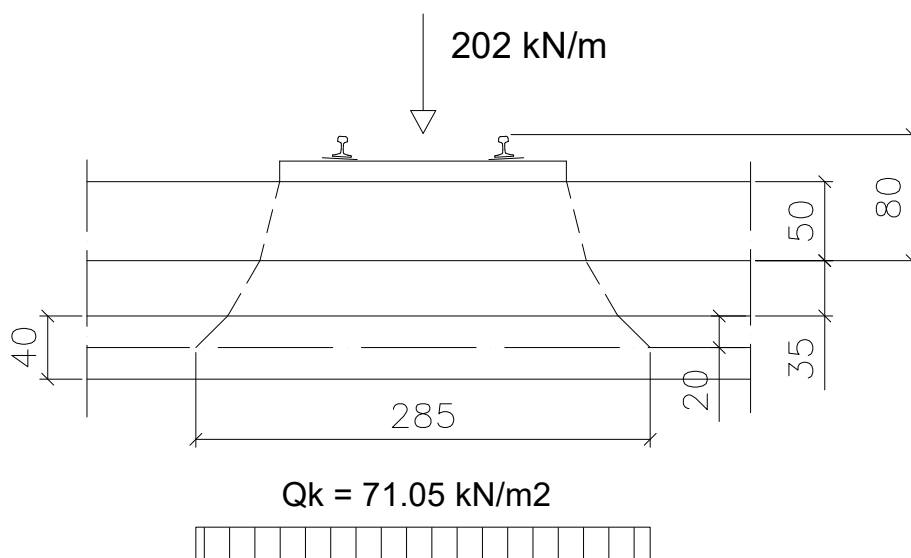
Tale coefficiente viene valutato per un ridotto standard manutentivo con riferimento al punto 5.4 della tabella 5.2.II delle NTC2018:

- $\Phi_3 = 1.35$

Trasferendo il carico dinamicizzato del treno SW/2, dalla base delle traversine fino all'asse della soletta ripartendolo con pendenza 1:4 attraverso il ballast, con pendenza di 30° attraverso il terreno e 1:1 attraverso il calcestruzzo, il carico di progetto a metro quadrato risulta:

- B ripartizione = 2.85m
- $Q_k = 1.35 \times 150 / 2.85 = 71.05 \text{ kN/m}^2$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 61 di 84
---	--	---



In condizioni sismiche, il carico ferroviario viene ridotto al 20% in base al paragrafo 5.2.2.8 delle NTC2018, che suggeriscono l'utilizzo di un coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.2$.


12.1.4 Sovraccarico accidentale sulla fondazione

Come sovraccarico accidentale sulla fondazione si considera un carico uniformemente distribuito di 10 kN/m^2 relativo ad un riempimento totale di acqua. In condizioni sismiche, tale carico non viene considerato in base al paragrafo 5.1.3.12 delle NTC2018, che suggeriscono di regola l'uso di un coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.0$.

12.1.5 Spinta statica del terreno

Sulle pareti del tombino scatolare la spinta del terreno è stata considerata con distribuzione trapezoidale adottando in condizioni statiche il coefficiente di spinta a riposo K_0 e in condizioni sismiche il coefficiente di spinta sismica K_a , maggiorato secondo la teoria di Mononobe - Okabe in funzione dei parametri sismici di progetto (vedi paragrafi successivi). Nella spinta viene incluso anche il contributo relativo al carico permanente al di sopra della soletta di copertura:

- $P_k = 23 \text{ kN/m}^2$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 62 di 84</p>
---	---	--

Nello specifico la spinta del terreno viene calcolata in funzione dei seguenti parametri geotecnici:

- peso specifico del terreno $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
- angolo di attrito $\varphi' = 35^\circ$
- coesione $c' = 0$
- coefficiente di spinta a riposo $K_0 = 1 - \sin \varphi' = 0.426$
- coefficiente di spinta attiva $K_a (\delta=23^\circ) = 0.244$

Indicando con H l'altezza totale del tombino dall'intradosso fondazione, la pressione statica orizzontale del terreno varia linearmente sulle pareti tra i seguenti due valori:

- $p_1 = K_0 P_k$
- $p_2 = K_0 P_k + \gamma K_0 H$

Si riportano di seguito le pressioni statiche calcolate per la struttura in oggetto.

$$H = 1.80\text{m}$$

$$p_1 (\text{riposo}) = 0.426 \times 23 = 9.80 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 (\text{riposo}) = 9.80 + 20 \times 0.426 \times 1.80 = 25.14 \text{ kN/m}^2$$

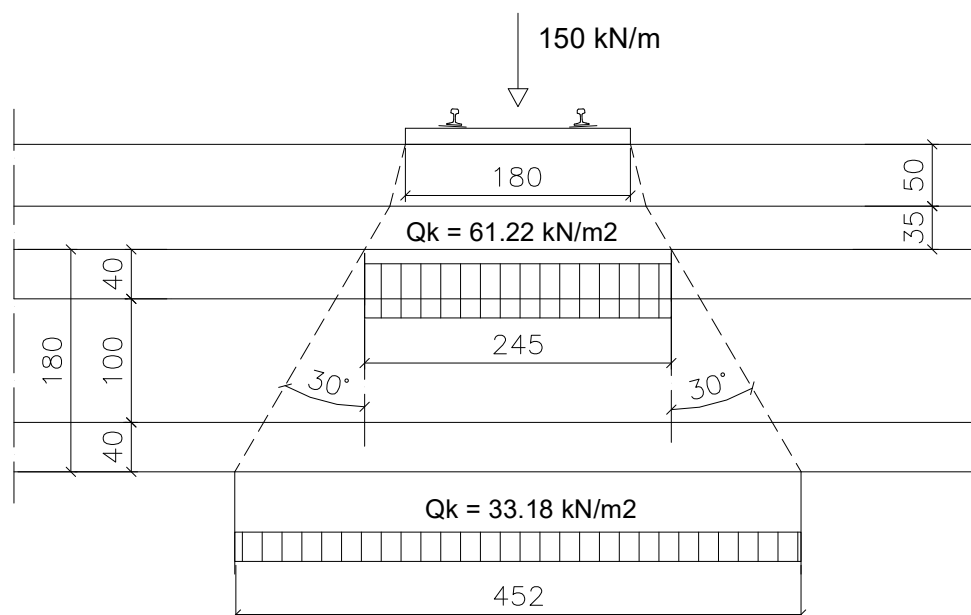
Analogamente, in condizioni sismiche per effetto degli spostamenti del sottovia, il terreno si porta in condizioni di spinta attiva, i cui valori estremi di pressione risultano:

- $p_1 (\text{attiva}) = 0.244 \times 23 = 5.61 \text{ kN/m}^2$
- $p_2 (\text{attiva}) = 5.61 + 20 \times 0.244 \times 1.80 = 14.39 \text{ kN/m}^2$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 63 di 84
---	--	---

12.1.6 Spinta statica del sovraccarico ferroviario a tergo

Il sovraccarico ferroviario a tergo del tombino scatolare, viene trasmesso con inclinazione 1:4 attraverso la massicciata e con angolo di 30° nel terreno. Pertanto all'estradosso della copertura del sottovia il treno di carico SW/2 di 150 kN/m si ripartisce su una larghezza di 2.45m, mentre all'intradosso della fondazione si ripartisce su una larghezza di 4.52m.




Per effetto della variabilità delle pressioni verticali con l'altezza, pari a 61.22 kN/m² in copertura e 33.18 kN/m² in fondazione, anche la spinta orizzontale è variabile:

- p_1 (riposo) = $0.426 \times 61.22 = 26.1$ kN/m²
- p_2 (riposo) = $0.426 \times 33.18 = 14.1$ kN/m²
- p_1 (attiva) = $(0.244/0.426) \times 26.1 = 0.57 \times 26.1 = 14.9$ kN/m²
- p_2 (attiva) = $(0.244/0.426) \times 14.1 = 0.57 \times 14.1 = 8.0$ kN/m²

12.1.7 Forze d'inerzia sismiche

Gli effetti sismici sono valutati mediante un'azione statica equivalente applicata a tutte le masse sismiche della struttura, in base a quanto stabilito dal par. 5.2.2.8 NTC 2018.

In accordo alle indicazioni riportate al paragrafo 7.11.6.2.1, le azioni sismiche di inerzia agenti sulle masse in gioco (pesi propri, carichi permanenti e 20% del sovraccarico ferroviario) vengono applicate al modello di calcolo nel seguente modo:

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 64 di 84</p>
---	---	--

- $k_h = 1.0 \times 0.130 = 0.129$ coefficiente sismico orizzontale
- $k_v = \pm 0.5k_h = \pm 0.065$ coefficiente sismico verticale
- $f_{si} = k_h \times W_i (1+k_v) = 0.137 \times W_i$ forza d'inerzia orizz. con sisma verticale in basso
- $f_{si} = k_h \times W_i (1-k_v) = 0.120 \times W_i$ forza d'inerzia orizz. con sisma verticale in alto (*)

(*) La combinazione con sisma verso l'alto non viene considerata in quanto meno gravosa e poco significativa

Le forze d'inerzia si applicano alla massa delle pareti verticali, della soletta, dei carichi permanenti e accidentali (ridotti al 20%) e al cuneo di spinta, compreso tra la parete sotto sisma e il piano di scivolamento inclinato dallo spigolo della fondazione di un angolo pari a 27.5° (ossia $45^\circ - \Phi/2$). La forza d'inerzia relativa al cuneo di spinta, viene applicata alla parete sotto sisma come carico orizzontale uniformemente distribuito sull'altezza.

Riassumendo le forze d'inerzia da applicare al modello, relative alla combinazione con sisma verticale rivolto verso il basso, risultano:

- Forze orizzontali

$$f_{1h} (g+p+0.2q)_{\text{soletta}} = 0.137 \times (25 \times 0.4 + 23.0 + 0.2 \times 71.05) = 6.47 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{2h} (g+p)_{\text{parete dx}} = 0.137 \times 25 \times 0.4 = 1.37 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{3h} (g+p+0.2q)_{\text{parete sx}} = 1.37 + (0.137 \times 0.5 \times 20 \times 1.80^2 \times \tan 27.5^\circ) / 1.80 + \\ + 0.137 \times 1.80 \times \tan 27.5^\circ \times (23.0 + 0.2 \times 61.22) / 1.80 = 1.37 + 1.28 + 2.51 = 5.16 \text{ kN/m}^2$$


$$f_{4h} (g+p)_{\text{fondazione}} = 0.137 \times 25 \times 0.4 = 1.37 \text{ kN/m}^2$$

- Forze verticali

$$f_{1v} (g+p+0.2q)_{\text{soletta}} = 0.065 \times (25 \times 0.4 + 23.0 + 0.2 \times 71.05) = 3.07 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{2v} (g)_{\text{pareti}} = 0.065 \times 25 \times 0.4 = 0.65 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{3v} (g+p)_{\text{fondazione}} = 0.065 \times 25 \times 0.4 = 0.65 \text{ kN/m}^2$$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 65 di 84</p>
---	---	--

12.1.8 Incremento di spinta sismico del terreno

L'incremento di spinta sismica dovuta all'azione delle forze d'inerzia sul terreno ai lati del tombino scatolare, viene valutato considerando per il cuneo di terreno la seguente geometria:

- Altezza H pari alla profondità dell'intradosso fondazione
- Larghezza ottenuta considerando un piano di spinta di inclinazione rispetto alla verticale pari a 27.5° (ossia $45^\circ - \Phi/2$) dal prodotto dell'altezza H per la tangente di tale angolo

L'incremento di spinta così determinato risulta:

$$\Delta F_s = K_s \times P_c = (0.321 - 0.244) \times 0.5 \times 20 \times H \times H \times \tan 27.5 = 0.40 \times H^2$$

Tale forza verrà ripartita in maniera uniforme su una delle due pareti del sottovia:

$$\Delta p_s = \Delta F_s / H$$

Si riportano di seguito le forze applicate alla parete sinistra del sottovia:

$$H = 1.80\text{m}$$

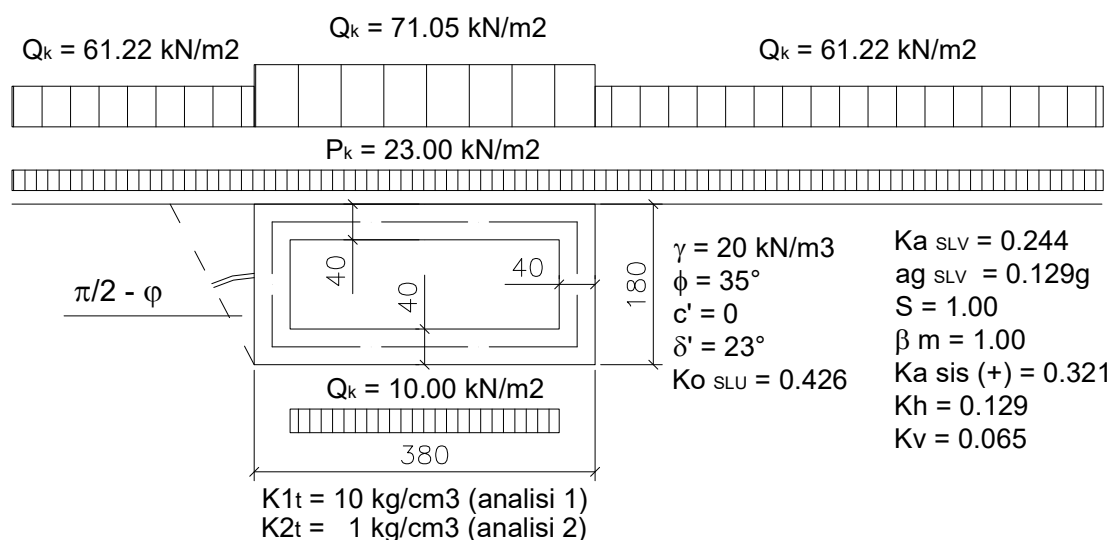
$$\Delta F_s = 0.40 \times 1.80^2 = 1.3 \text{ KN/m}$$

$$\Delta p_s = 1.30 / 1.80 = 0.7 \text{ KN/m}^2$$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 66 di 84</p>
---	---	--

12.2 SCHEMA DI CALCOLO

Con riferimento all'analisi dei carichi svolta, si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del tombino scatolare:



12.3 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

12.3.1 Condizioni di carico

Si riportano di seguito le condizioni di carico considerate nell'analisi del tombino:

- Cond. 1: Pesi propri
- Cond. 2: Carichi permanenti sulla soletta e fondazione
- Cond. 3: Treno di carico SW/2
- Cond. 4: Sovraccarico accidentale su fondazione interna
- Cond. 5: Spinta del terreno sulle pareti (condizioni a riposo K_o)
- Cond. 6: Spinta del treno sulla parete sinistra (a riposo K_o)
- Cond. 7: Spinta del treno sulla parete destra (a riposo K_o)
- Cond. 8: Forza d'inerzia orizzontale
- Cond. 9: Forza d'inerzia verticale in basso
- Cond. 10 Incremento sismico (+) calcolato per sisma in basso

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo	DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 67 di 84
---	--	---

12.3.2 Combinazioni di carico

Si riportano di seguito le combinazioni di carico allo stato limite ultimo considerate per l'analisi del modello della struttura in oggetto:

Stato limite ultimo statico SLU

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.35	1.5		1.5	1.35	1.45				
2	1.35	1.5	1.45	1.5	1.35	1.45				
3	1.35	1.5	1.45	1.5	1.35	1.45	1.45			
4	1.35	1.5	1.45	1.5	1.35					
5	1.35	1.5		1.5	0.77	0.83				
6	1.35	1.5	1.45	1.5	0.77	0.83				
7	1.35	1.5	1.45	1.5	0.77	0.83	0.83			
8	1.35	1.5	1.45	1.5	0.77					

Stato limite ultimo SLV

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	1	1	0.2		0.57	0.12		1	1	1

Si riporta di seguito le combinazioni di carico allo stato limite di esercizio considerate per l'analisi della struttura in oggetto:

Stato limite di esercizio SLE (comb. rara)

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6	7
10	1	1		1	1	1	
11	1	1	1	1	1	1	
12	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1		
14	1	1		1	0.57	0.57	
15	1	1	1	1	0.57	0.57	
16	1	1	1	1	0.57	0.57	0.57
17	1	1	1	1	0.57		



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

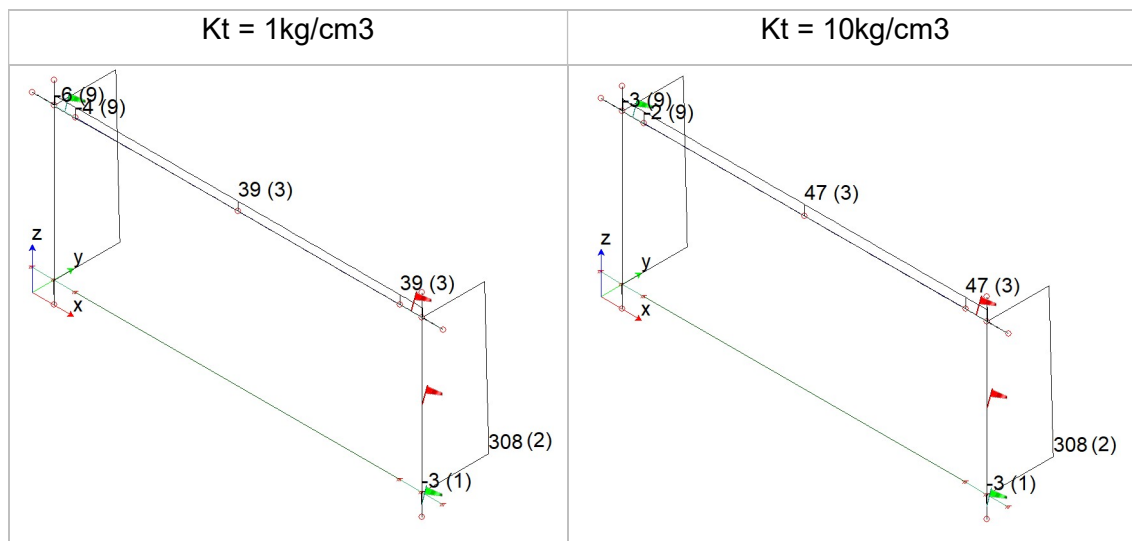
Data: Giugno 2020

Pag. 68 di 84

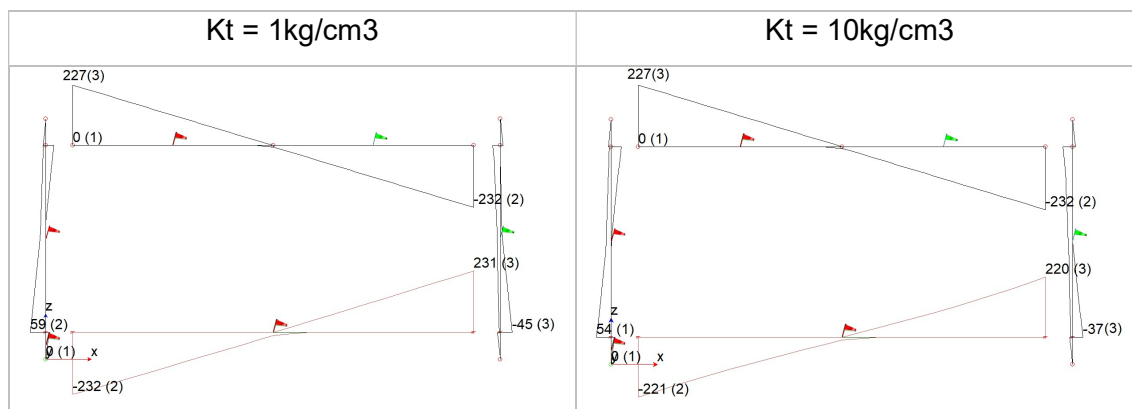
12.4 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Si riportano di seguito i diagrammi di involuppo delle caratteristiche di sollecitazione ottenute allo stato limite ultimo.

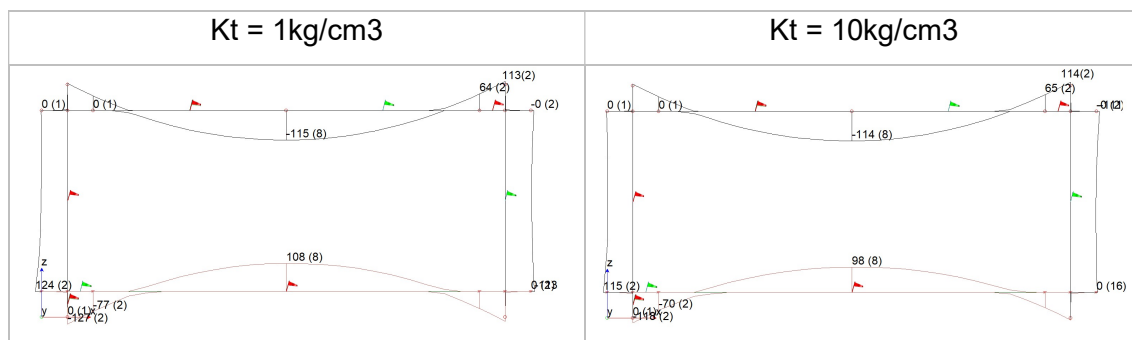
Nd (KN/m)



Vd (KN/m)



Md (KNxm/m)



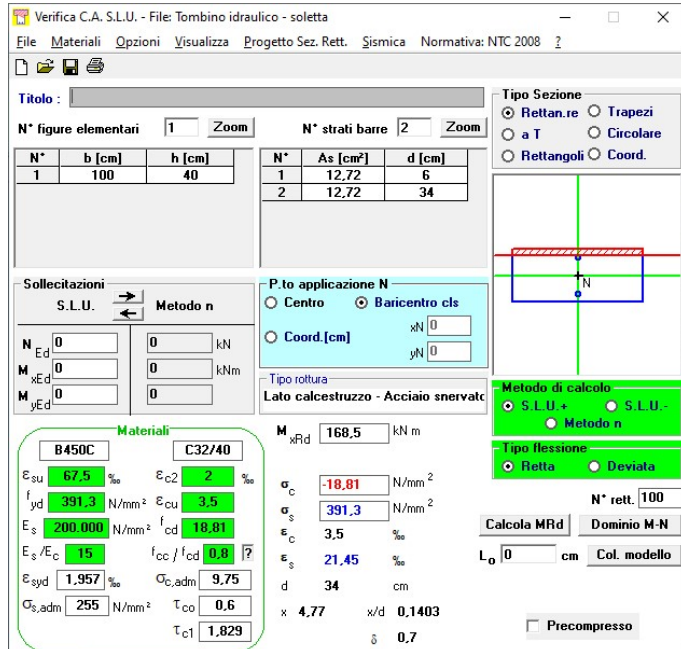
 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 69 di 84</p>
---	---	--

12.5 VERIFICA DELLA SOLETTA DI COPERTURA E FONDAZIONE

Si riporta di seguito la verifica a flessione della soletta di copertura e di fondazione fatta per le massime sollecitazioni allo stato limite SLU/SLV che si verificano in mezzzeria della copertura:

- Sezione di calcolo rettangolare 100x40
- Armatura inferiore tesa $5\Phi 18$
- Armatura superiore compressa $5\Phi 18$
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = 115 \text{ KNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 168 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 168/115 = \mathbf{1.46 > 1}$

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura usato per la verifica allo SLU/SLV della soletta:




The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key input data includes:

- Sezione:** Rettangolare 100x40 cm.
- Materiali:** B450C (concrete) and C32/40 (steel).
- Carichi:** $N^* = 0$, $M^* = 0$, $V^* = 0$.
- Calcoli:** $M_{rd} = 168.5 \text{ kNm}$, $\sigma_c = -18.81 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$.
- Verifica:** $\gamma_s = 1.46 > 1$.

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 232 \text{ KN/m}$
- $V_r = [0.18 \text{ k} (100 \text{ pl fck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 340 / 1000 = 166 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 166/232 = \mathbf{0.71 < 1}$ **è necessario armare a taglio**

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 70 di 84</p>
---	---	--

essendo

- $V_{rmin} = (0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 340 / 1000 = 161 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200/340)^{0.5} = 1.77$
- $\rho_l = 5 \times 254 / (1000 \times 340) = 0.0037$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$

Armando la soletta a taglio con spille $\Phi 12$ disposte a interasse 40x30cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 232 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min(V_{rds}; V_{rcd}) = 282 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 282/232 = \mathbf{1.22 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 282 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 992 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 340 \text{ mm}$
- $b_w = 1000 \text{ mm}$
- $A_{sw}/s = 113/0.3/400 = 0.942$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 90$ ($\cot \alpha = 0$; $\sin \alpha = 1$)
- $\cot \theta = 2.5$
- $\alpha_c = 1$
- $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 71 di 84

12.6 VERIFICA DELLE PARETI

Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione delle pareti, fatta allo stato limite SLU/SLV per le massime caratteristiche di sollecitazione, che si verificano al piede della parete di sinistra:

- Sezione di calcolo rettangolare 100x40
- Armatura $5\Phi 18 + 5\Phi 18$
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = 124 \text{ KNxm/m}$
- Sforzo assiale corrispondente $N_d = 298 \text{ KN/m}$
- Momento resistente $M_r = 212 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 212/124 = \mathbf{1.70 > 1}$

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della sezione di testa delle pareti usato per la verifica allo SLU/SLV:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Tombino idraulico - parete

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	12,72	6
			2	12,72	34

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 298 0 kN
M_{Ed} 0 0 kNm
M_{Ed} 0 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C32/40

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,81
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 [7]
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9,75
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{Rd} -212,4 kN m
 σ_c -18,81 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_s 3,5 ‰
 ϵ_s 17,68 ‰
d 34 cm
x 5,618 x/d 0,1652
 δ 0,7

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


Metodo di calcolo
S.L.U. + S.L.U.
Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
Precompresso

Dalla verifica a taglio della parete considerando il contributo del solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 59 \text{ KN/m}$ (valore a filo estradosso fondazione)
- $N_d = 298 \text{ kN/m}$ (sforzo assiale corrispondente)
- $V_r = [0.18 \text{ k} (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5 + 0.15 \sigma_{cp}] \times 1000 \times 340 / 1000 = 205 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 205/59 = \mathbf{3.47 > 1}$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 72 di 84</p>
---	---	--

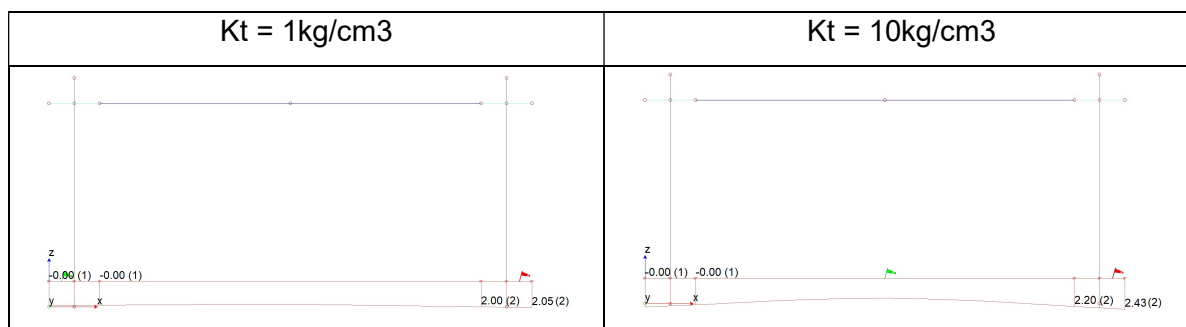
essendo

- $V_{rmin} = (0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 340 / 1000 = 161 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200/340)^{0.5} = 1.77$
- $\rho_l = (5 \times 254) / (1000 \times 340) = 0.0037$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$
- $\sigma_{cp} = N_d / A_c = 298000 / (1000 \times 400) = 0.75 \text{ Mpa}$

12.7 VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO

Si riportano di seguito i diagrammi di involuppo delle pressioni massime sul magrone di compattazione inserito sotto fondazione, che dovrà garantire un adeguato livello di portanza:

p SLU/SLV (Kg/cm2)



Attribuendo cautelativamente al magrone di compattazione un carico limite di progetto pari al carico di sicurezza del terreno di fondazione (in realtà è superiore), la verifica è soddisfatta:

- $p_{d \max} = 2.43 \text{ kg/cm}^2 \cong 0.24 \text{ MPa}$
- $q_{sic} = 1.17 \text{ Mpa} > p_{d \max}$
- $\gamma_s = 1.17 / 0.24 = 4.87 > 1$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 73 di 84</p>
---	---	--

13 VERIFICA DELLE RAMPE PEDONALI

Le rampe pedonali sono realizzate con solette di spessore 20cm, tessute tra setti verticali in cemento armato di spessore 25cm, spiccanti dalla fondazione di spessore 80cm, dei muri di sostegno del terreno a ridosso della ferrovia posto a quota +185.00.

13.1 VERIFICA DELLA SOLETTA

La verifica della soletta viene svolta con riferimento alla massima luce di calcolo riscontrata, pari a 1.55m, per i seguenti carichi caratteristici di progetto:

- Peso proprio $G_k = 25 \times 0.20 = 5.00 \text{ kN/m}^2$
- Finitura $P_k = 20 \times 0.03 + 0.60 = 1.20 \text{ kN/m}^2$
- Accidentali $Q_k = 4.00 \text{ kN/m}^2$

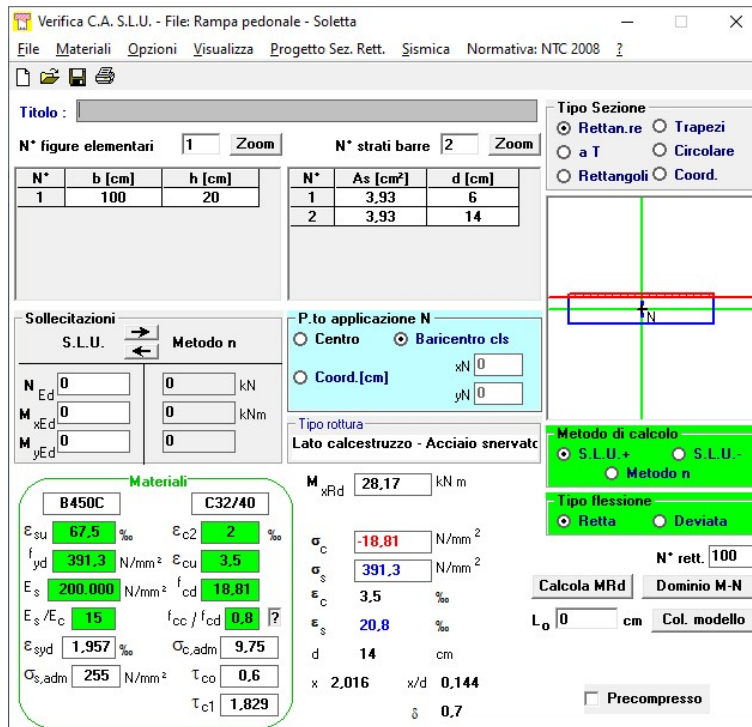
Con riferimento ad uno schema di calcolo cautelativo a trave appoggiata, le massime caratteristiche di sollecitazione allo stato limite ultimo SLU risultano:

- $P_d = 1.3 \times 5.00 + 1.5 \times 1.20 + 1.5 \times 4.00 = 14.30 \text{ kN/m}^2$
- $V_d = 14.30 \times 1.55 / 2 = 11.08 \text{ kN/m}$
- $M_d = 14.30 \times 1.55^2 / 8 = 4.30 \text{ kNxm/m}$

Ipotizzando di armare la soletta con $1+1\phi 10/20$, dalla verifica a flessione risulta:

- Sezione di calcolo rettangolare 100x20
- Armatura $5\phi 10 + 5\phi 10$
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = 4.30 \text{ kNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 28.17 \text{ kNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 28.17 / 4.30 = \mathbf{6.55 > 1}$

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della soletta usato nella verifica allo SLU:



Verifica C.A. S.L.U. - File: Rampa pedonale - Soletta

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	3.93	6
			2	3.93	14

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18.81 N/mm²
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 9.75 N/mm²
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{c1} 1.829


M_{xRd} 28.17 kN m
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 20.8 ‰
d 14 cm
x 2.016 x/d 0.144
δ 0.7

Dalla verifica a taglio della soletta considerando il contributo del solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 11.08 \text{ KN/m}$
- $V_r = V_{rmin} = (0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 140 / 1000 = 79.85 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 79.85 / 11.08 = 7.20 > 1$

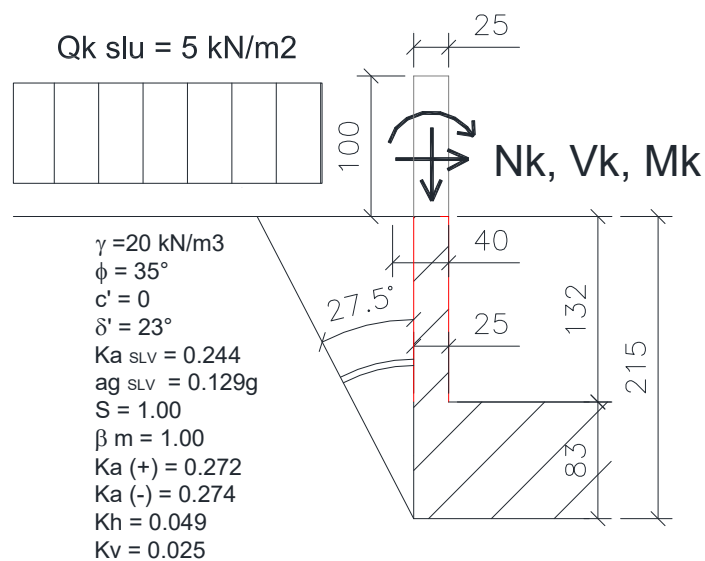
essendo

- $V_{rmin} > [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 140 / 1000 = 70.65 \text{ KN/m}$
- $k = 2 < 1 + (200 / 140)^{0.5} = 2.19$
- $\rho_l = (5 \times 78.5) / (1000 \times 140) = 0.0028$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 75 di 84</p>
---	---	--

13.2 VERIFICA DEI SETTI

La verifica dei setti verticali delle rampe pedonali viene svolta con riferimento alle massime sollecitazioni flessionali trasmesse dal terreno, che si verificano all'incirca in corrispondenza del primo sbarco a quota 181.68 della rampa di accesso lato ovest, secondo il seguente schema di carico:



In testa al muro si considerano le seguenti azioni concentrate espresse in termini di valore caratteristico:

- $N_k = 25 \times 0.25 \times 1.00 = 6.3 \text{ kN/m}$ (peso del parapetto)
- $V_k = 3.0 \text{ kN/m}$ (spinta orizzontale sul parapetto)
- $M_k = 3.0 \times 1 = 3.0 \text{ kNm/m}$ (spinta orizzontale sul parapetto)



Ferrovie Appulo Lucane

**RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA**
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 76 di 84

Si riporta di seguito il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione massime sul muro, che si verificano in corrispondenza della sezione di spiccato:

SOTTOVIA PERTINI		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=1.32m					
GEOMETRIA		STATICA		SISMICA 1 (Kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro	0.25 m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	1.32 m						
Altezza fondazione	0.83 m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Lunghezza mensola interna	0.00 m	Nd	8.3 KN/m	Nd	8.3 KN/m	Nd	8.3 KN/m
Lunghezza mensola esterna	1.00 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza totale fondazione	1.25 m	Vd	4.3 KN/m	Vd	4.3 KN/m	Vd	4.3 KN/m
		Md	1.9 KNxm/m	Md	1.9 KNxm/m	Md	1.9 KNxm/m
PARAMETRI SISMICI		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.129 g	Vd	1.6 KN/m	Vd	0.8 KN/m	Vd	0.8 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	1.1 KN/m	Md	0.5 KN/m	Md	0.5 KN/m
Coefficiente di riduzione β_m	1.00	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.129	Nd	20.0 KN/m	Nd	20.0 KN/m	Nd	20.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.065	Vd	5.9 KN/m	Vd	3.0 KN/m	Vd	3.0 KN/m
		Md	12.9 KN/m	Md	6.4 KN/m	Md	6.4 KN/m
TERRENO		SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Peso di volume	20.00 KN/m ³	Nd	41 KN/m	Vd	1.6 KN/m	Vd	1.8 KN/m
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Vd	17 KN/m	Md	1.0 KNxm/m	Md	1.2 KNxm/m
Coesione	0.00 KN/m ²	Md	23 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		Nd	1.8 KN/m	Nd	-1.8 KN/m
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	Nd	28 KN/m	Vd	3.9 KN/m	Vd	3.4 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.321	Vd	12 KN/m	Md	2.6 KNxm/m	Md	2.3 KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.333	Md	16 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
Lunghezza cuneo di spinta	1.12 m			Nd	2.0 KNxm/m	Md	1.8 KNxm/m
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Intensità carico	5.00 KN/m ²			Vd	0.4 KN/m	Vd	0.3 KN/m
CARICHI TESTA MURO				Md	0.5 KNxm/m	Md	0.4 KNxm/m
Valore del carico Nd	20.0 KN/m			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
Valore del taglio Td	5.9 KN/m			Nd	30 KN/m	Nd	28 KN/m
Valore del momento Md	5.1 KN/m			Vd	17 KN/m	Vd	17 KN/m
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE				Md	15 KNxm/m	Md	15 KNxm/m
Peso proprio (muro - terreno)	1.30						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.50						
Partecipazione sism. Accidentale	50%						
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA							
Volume terreno su zattera interna	0.00 m ³						
Volume cuneo di spinta	1.20 m ³						
Volume totale di terreno mobilitato	1.20 m ³						

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare i setti con 1+1 Φ 12/20 risulta:

- **SLU**
- Nd = 41 kN/m
- Md = 23 kNxm/m
- Mr = 54 kNxm/m
- $\gamma_s = 54/23 = \mathbf{2.34 > 1}$

- **SLV1-SLV2**
- Nd = 30 kN/m
- Md = 15 kNxm/m
- Mr = 53 kNxm/m
- $\gamma_s = 53/15 = \mathbf{3.53 > 1}$



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 77 di 84

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** Rampia pedonale - Setto
- N° figure elementari:** 1
- N° strati barre:** 2
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	25
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	6
2	5,65	19
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n
- Materiali:**
 - B450C:** ϵ_{su} 67,5 ‰, f_{yd} 391,3 N/mm², E_s 200.000 N/mm², E_s/E_c 15, ϵ_{syd} 1,957 ‰, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
 - C32/40:** ϵ_{c2} 2 ‰, ϵ_{cu} 3,5 ‰, f_{cd} 18,81 N/mm², f_{cc}/f_{cd} 0,8, $\sigma_{c,adm}$ 9,75 N/mm², τ_{co} 0,6, τ_{c1} 1,829
- P.to applicazione N:** Centro, Baricentro cls
- Tipo rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato
- Metodo di calcolo:** S.L.U. + Metodo n
- Tipo flessione:** Retta
- Calcoli:**
 - M_{Rd} 54,01 kN m
 - σ_c -18,81 N/mm²
 - σ_s 391,3 N/mm²
 - ϵ_s 3,5 ‰
 - ϵ_s 17,48 ‰
 - d 19 cm
 - x 3,17, x/d 0,1668
 - δ 0,7

La resistenza a taglio del setto risulta:

$$V_r = V_{rmin} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 108 \text{ KN}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 190 \text{ mm}$, $K = 2 < 1 + (200/d)^{1/2} = 2.03$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 113)/(1000 \times 190) = 0.0030$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$V_{rmin} > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 98 \text{ KN}$$

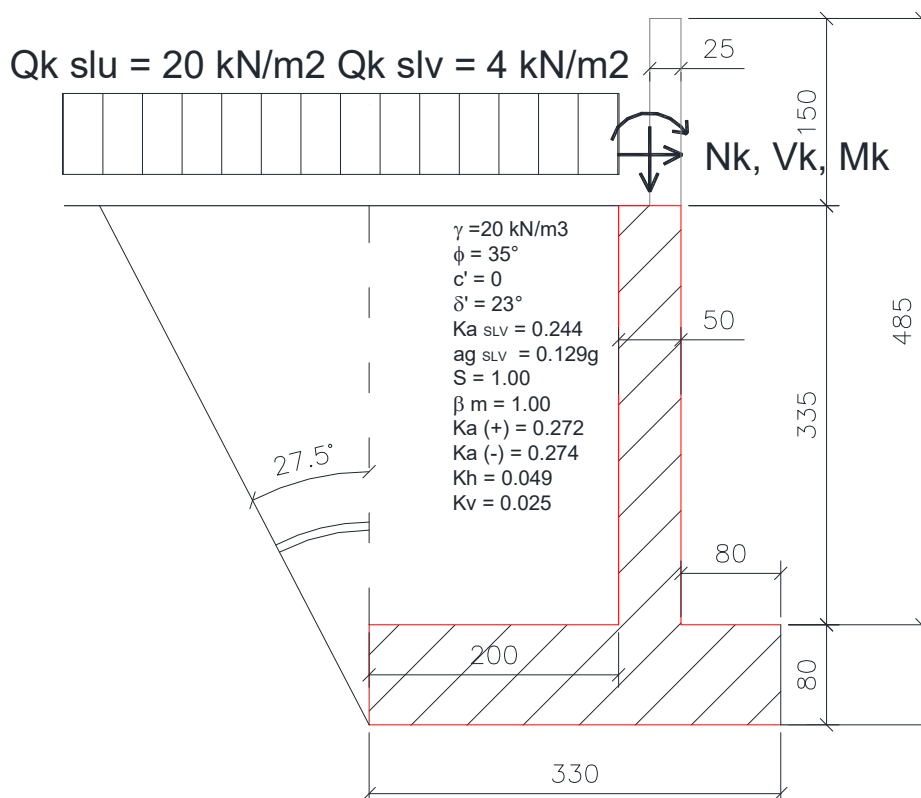
Dalla verifica a taglio risulta:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $V_d = 17 \text{ kN/m}$ | - $V_d = 17 \text{ kN/m}$ |
| - $V_r = 108 \text{ kN/m}$ | - $V_r = 108 \text{ kN/m}$ |
| - $\gamma_s = 108/17 = 6.35 > 1$ | - $\gamma_s = 108/17 = 6.35 > 1$ |

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 78 di 84</p>
---	---	--

13.3 VERIFICA DEL MURO DI SPESSORE 50cm

Si riporta di seguito lo schema di calcolo usato per l'analisi del muro di spessore 50cm associato alle rampe pedonali parallelo alla ferrovia:



In testa al muro si considerano le seguenti azioni concentrate espresse in termini di valore caratteristico:

- $N_k = 25 \times 0.25 \times 1.50 = 9.4 \text{ kN/m}$ (peso della parete)
- $V_k = 0.6 \times 1.50 = 0.9 \text{ kN/m}$ (spinta del vento)
- $M_k = 0.9 \times 0.75 + 9.4 \times 0.125 = 1.9 \text{ kNm/m}$ (vento + squilibrio muro)



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 79 di 84

13.3.1 Verifica del paramento verticale

Si riporta di seguito il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione massime sul muro, che si verificano in corrispondenza della sezione di spiccato:

SOTTOVIA PERTINI		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=3.35m									
GEOMETRIA		STATICA				SISMICA 1 (Kh+Kv)				SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro	0.50 m	cond. di spinta attiva				cond. di spinta attiva+sismica				cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	3.35 m										
Altezza fondazione	0.80 m	PESO PROPRIO				PESO PROPRIO				PESO PROPRIO	
Lunghezza mensola interna	2.00 m	Nd 41.9 KN/m				Nd 41.9 KN/m				Nd 41.9 KN/m	
Lunghezza mensola esterna	0.80 m										
Lunghezza totale fondazione	3.30 m	TERRENO A TERGO (attiva)				TERRENO A TERGO (attiva)				TERRENO A TERGO (attiva)	
		Vd 27.4 KN/m				Vd 27.4 KN/m				Vd 27.4 KN/m	
		Md 30.6 KNxm/m				Md 30.6 KNxm/m				Md 30.6 KNxm/m	
PARAMETRI SISMICI		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)				SOVRACCARICO A TERGO (attiva)				SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.129 g	Vd 3.3 KN/m				Vd 3.3 KN/m				Vd 3.3 KN/m	
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md 27.4 KN/m				Md 5.5 KN/m				Md 5.5 KN/m	
Coefficiente di riduzione β_m	1.00										
Coefficiente sismico orizzontale	0.129										
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.065										
TERRENO		CARICHI TESTA MURO				CARICHI TESTA MURO				CARICHI TESTA MURO	
Peso di volume	20.00 KN/m ³	Nd 9.4 KN/m				Nd 9.4 KN/m				Nd 9.4 KN/m	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Vd 0.9 KN/m				Vd 0.2 KN/m				Vd 0.2 KN/m	
Coesione	0.00 KN/m ²	Md 4.9 KN/m				Md 1.0 KN/m				Md 1.0 KN/m	
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	SOLLECITAZIONI TOTALI SLU				INCREMENTO SPINTA SISMICA				INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	Nd 69 KN/m				Vd 9.6 KN/m				Vd 11.2 KN/m	
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.321	Vd 62 KN/m				Md 16.1 KNxm/m				Md 18.7 KNxm/m	
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.333	Md 88 KNxm/m									
Lunghezza cuneo di spinta	2.16 m	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE				FORZA D'INERZIA SUL MURO				FORZA D'INERZIA SUL MURO	
		Nd 51 KN/m				Nd 3.3 KN/m				Nd -3.3 KN/m	
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO		Vd 45 KN/m				Vd 7.0 KN/m				Vd 6.2 KN/m	
Intensità carico	20.00 KN/m ²	Md 63 KNxm/m				Md 11.8 KNxm/m				Md 10.4 KNxm/m	
CARICHI TESTA MURO						FORZA D'INERZIA SUL TERRENO				FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
Valore del carico Nd	9.4 KN/m					Vd 30.7 KN/m				Vd 27.0 KN/m	
Valore del taglio Td	0.9 KN/m					Md 55.0 KNxm/m				Md 48.4 KNxm/m	
Valore del momento Md	1.9 KN/m										
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE						FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Peso proprio (muro - terreno)	1.30					Vd 2.3 KN/m				Vd 2.0 KN/m	
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.50					Md 7.7 KNxm/m				Md 6.7 KNxm/m	
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA						SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1				SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
Partecipazione sism. Accidentale	20%					Nd 55 KN/m				Nd 51 KN/m	
						Vd 81 KN/m				Vd 77 KN/m	
						Md 128 KNxm/m				Md 121 KNxm/m	
Volume terreno su zattera interna	6.70 m ³										
Volume cuneo di spinta	4.48 m ³										
Volume totale di terreno mobilitato	11.18 m ³										

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con 1Φ16/20 e quella compressa con 1Φ16/20 risulta:

- **SLU**
- Nd = 69 kN/m
- Md = 88 kNxm/m
- Mr = 191 kNxm/m
- $\gamma_s = 191/88 = 2.17 > 1$

- **SLV1-SLV2**
- Nd = 51 kN/m
- Md = 128 kNxm/m
- Mr = 187 kNxm/m
- $\gamma_s = 187/128 = 1.46 > 1$



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 80 di 84

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Rampa pedonale - Paramento muro (H=3.35m)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

TITOLO: []

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	10,05	6
			2	10,05	44

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 51 kN M_{Ed}: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

ε_{su}: 67,5 ‰ ε_{c2}: 2 ‰ f_{yd}: 391,3 N/mm² ε_{cu}: 3,5 ‰ E_s: 200.000 N/mm² f_{cd}: 18,81 N/mm² E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0,8 E_{syd}: 1,957 ‰ σ_{c,adm}: 9,75 N/mm² σ_{s,adm}: 255 N/mm² τ_{co}: 0,6 τ_{c1}: 1,829

M_{Rd}: 187,3 kNm

σ_c: -18,81 N/mm² σ_s: 391,3 N/mm² ε_c: 3,5 ‰ ε_s: 30,89 ‰ d: 44 cm x: 4,478 x/d: 0,1018 δ: 0,7

Tipo Sezione: Rettangolare a T Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo: S.L.U. + Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$V_r = V_{rmin} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 192 \text{ KN}$$

dove:


- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 440 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.674$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 201)/(1000 \times 440) = 0.0023$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$V_{rmin} > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 174 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $V_d = 62 \text{ kN/m}$ | - $V_d = 81 \text{ kN/m}$ |
| - $V_r = 192 \text{ kN/m}$ | - $V_r = 192 \text{ kN/m}$ |
| - $\gamma_s = 192/62 = 3.10 > 1$ | - $\gamma_s = 192/81 = 2.37 > 1$ |

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS009A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 81 di 84</p>
---	---	--

13.3.2 Verifica della fondazione

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate all'intradosso fondazione:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=3.35m

SEZIONE A FILO INTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-37	KN/m	Nd	-49	KN/m	Nd	-47	KN/m	Nd	-27	KN/m
Vd	154	KN/m	Vd	136	KN/m	Vd	121	KN/m	Vd	106	KN/m
Md	103	KNxm/m	Md	147	KNxm/m	Md	140	KNxm/m	Md	74	KNxm/m

avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ int}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.11	m	B'	2.29	m	B'	2.12	m	B'	3.14	m
q_{med}	125	Kpa	q_{med}	121	Kpa	q_{med}	114	Kpa	q_{med}	93	Kpa
q_{max}	250	Kpa	q_{max}	242	Kpa	q_{max}	229	Kpa	q_{max}	186	Kpa
q_{int}	145	Kpa	q_{int}	104	Kpa	q_{int}	88	Kpa	q_{int}	109	Kpa
$q_{med\ int}$	197	Kpa	$q_{med\ int}$	173	Kpa	$q_{med\ int}$	159	Kpa	$q_{med\ int}$	147	Kpa

SEZIONE A FILO ESTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	15	KN/m	Nd	20	KN/m	Nd	19	KN/m	Nd	11	KN/m
Vd	153	KN/m	Vd	139	KN/m	Vd	128	KN/m	Vd	109	KN/m
Md	67	KNxm/m	Md	63	KNxm/m	Md	59	KNxm/m	Md	48	KNxm/m

avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ est}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.11	m	B'	2.29	m	B'	2.12	m	B'	3.14	m
q_{med}	125	Kpa	q_{med}	121	Kpa	q_{med}	114	Kpa	q_{med}	93	Kpa
q_{max}	250	Kpa	q_{max}	242	Kpa	q_{max}	229	Kpa	q_{max}	186	Kpa
q_{est}	185	Kpa	q_{est}	157	Kpa	q_{est}	142	Kpa	q_{est}	138	Kpa
$q_{med\ est}$	218	Kpa	$q_{med\ est}$	199	Kpa	$q_{med\ est}$	186	Kpa	$q_{med\ est}$	162	Kpa

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari 1 Φ 20/20 superiore e 1 Φ 20/20 inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - Nd = - 37 kN/m - Md = 103 kNxm/m - Mr = 405 kNxm - $\gamma_s = 405/103 = \mathbf{3.93 > 1}$ | <ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - Nd = - 49 kN/m - Md = 147 kNxm/m - Mr = 401 KN/m - $\gamma_s = 401/147 = \mathbf{2.73 > 1}$ |
|--|--|



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 82 di 84

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Rampa pedonale - Fondazione muro (H=3.35m)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,71	6
2	15,71	74

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -49 0 kN
M_{Ed} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{Rd} -401,4 kN m

Materiali

B450C	C32/40
ε _{su} 67,5 ‰	ε _{c2} 2 ‰
f _{yd} 391,3 N/mm²	ε _{cu} 3,5 ‰
E _s 200.000 N/mm²	f _{cd} 0
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0,8
ε _{syd} 1,957 ‰	σ _{c,adm} 9,75
σ _{s,adm} 255 N/mm²	τ _{co} 0,6
	τ _{c1} 1,829

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

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

σ_c - N/mm²
σ_s 391,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 17,46 ‰
d 74 cm
x 12,36 x/d 0,167
δ 0,7

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$V_r = V_r \min = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 279 \text{ KN}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 740 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.520$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 314)/(1000 \times 740) = 0.0021$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

essendo

$$V_r \min > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 258 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $V_d = 154 \text{ kN/m}$ | - $V_d = 139 \text{ kN/m}$ |
| - $V_r = 279 \text{ kN/m}$ | - $V_r = 279 \text{ kN/m}$ |
| - $\gamma_s = 279/154 = 1.81 > 1$ | - $\gamma_s = 279/139 = 2.00 > 1$ |



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 83 di 84

13.3.3 Carichi a intradosso fondazione e verifiche geotecniche

Si riporta di seguito il calcolo delle massime caratteristiche di sollecitazione nel baricentro della fondazione a quota intradosso:

SOTTOVIA PERTINI			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=3.35m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione	3.30	m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
BARICENTRO FONDAZIONE			PESO PROPRIO MURO		PESO PROPRIO MURO		PESO PROPRIO MURO	
X _G - Distanza dal filo più interno	1.65	m	Nd	41.9 KN/m	Nd	41.9 KN/m	Nd	41.9 KN/m
			X _N	2.25 m	X _N	2.25 m	X _N	2.25 m
			Md	25.1 KNxm/m	Md	25.1 KNxm/m	Md	25.1 KNxm/m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
A - Area	3.30	m ² /m	Nd	66.0 KN/m	Nd	66.0 KN/m	Nd	66.0 KN/m
W - Modulo di resistenza	1.82	m ³ /m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Nd	134.0 KN/m	Nd	134.0 KN/m	Nd	134.0 KN/m
			X _N	1.00 m	X _N	1.00 m	X _N	1.00 m
			Vd	42.1 KN/m	Vd	42.1 KN/m	Vd	42.1 KN/m
			Md	-28.9 KNxm/m	Md	-28.9 KNxm/m	Md	-28.9 KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
			Nd	40.0 KN/m	Nd	8.0 KN/m	Nd	8.0 KN/m
			X _N	1.00 m	X _N	1.00 m	X _N	1.00 m
			Vd	20.3 KN/m	Vd	4.1 KN/m	Vd	4.1 KN/m
			Md	16.1 KN/m	Md	3.2 KN/m	Md	3.2 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	9.4 KN/m	Nd	9.4 KN/m	Nd	9.4 KN/m
			X _N	2.25 m	X _N	2.25 m	X _N	2.25 m
			Vd	0.9 KN/m	Vd	0.2 KN/m	Vd	0.2 KN/m
			Md	11.3 KN/m	Md	2.3 KN/m	Md	2.3 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	389 KN/m	Vd	14.4 KN/m	Vd	16.8 KN/m
			Vd	87 KN/m	Md	30.0 KNxm/m	Md	34.8 KNxm/m
			Md	36 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	291 KN/m	Nd	7.6 KN/m	Nd	-7.6 KN/m
			Vd	63 KN/m	Vd	16.1 KN/m	Vd	14.2 KN/m
			Md	24 KNxm/m	Md	25.2 KNxm/m	Md	22.4 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
			Nd	8.6 KN/m	Nd	8.6 KN/m	Nd	-8.6 KN/m
			Vd	30.7 KN/m	Vd	30.7 KN/m	Vd	27.0 KN/m
			Md	74.0 KNxm/m	Md	74.0 KNxm/m	Md	75.6 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
			Nd	0.5 KN/m	Nd	0.5 KN/m	Nd	-0.5 KN/m
			Vd	2.3 KN/m	Vd	2.3 KN/m	Vd	2.0 KN/m
			Md	9.1 KNxm/m	Md	9.1 KNxm/m	Md	8.7 KNxm/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
			Nd	276 KN/m	Nd	276 KN/m	Nd	243 KN/m
			Vd	110 KN/m	Vd	110 KN/m	Vd	106 KN/m
			Md	140 KNxm/m	Md	140 KNxm/m	Md	143 KNxm/m



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 21+146.92 - Relazione di calcolo

DAR_3RS009A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 84 di 84

Si riportano di seguito le verifiche geotecniche del muro effettuate allo stato limite ultimo relativamente alla capacità portante della fondazione e ai fenomeni di scorrimento e ribaltamento:

SOTTOVIA PERTINI			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=3.35m					
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE								
Angolo di attrito	33	°						
Coesione	0	KN/m2						
Carico limite di progetto	1170	Kpa						
VERIFICA AL CARICO LIMITE			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Nd - Carico assiale	389	KN/m			276	KN/m	243	KN/m
Md - Momento flettente	36	KNxm/m			140	KNxm/m	143	KNxm/m
e - Eccentricità	0.09	m			0.51	m	0.59	m
B' - Larghezza ridotta	3.11	m			2.29	m	2.12	m
q medio (SLU)	125	Mpa			121	Mpa	114	Mpa
q limite di progetto	1170	Mpa			1170	Mpa	1170	Mpa
Coefficiente di sicurezza	9.38	> 1.40	VERIFICA		9.69	> 1.20	VERIFICA	10.22 > 1.20 VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Azione spingente	87	KN			110	KN	106	KN
Azione resistente	252	KN			179	KN	158	KN
Coefficiente di sicurezza	2.92	> 1.10	VERIFICA		1.63	> 1.00	VERIFICA	1.48 > 1.00 VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)	
Momento ribaltante	144	KNxm			206	KNxm	197	KNxm
Momento resistente	706	KNxm			518	KNxm	460	KNxm
Coefficiente di sicurezza	4.89	> 1.15	VERIFICA		2.52	> 1.00	VERIFICA	2.33 > 1.00 VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.