



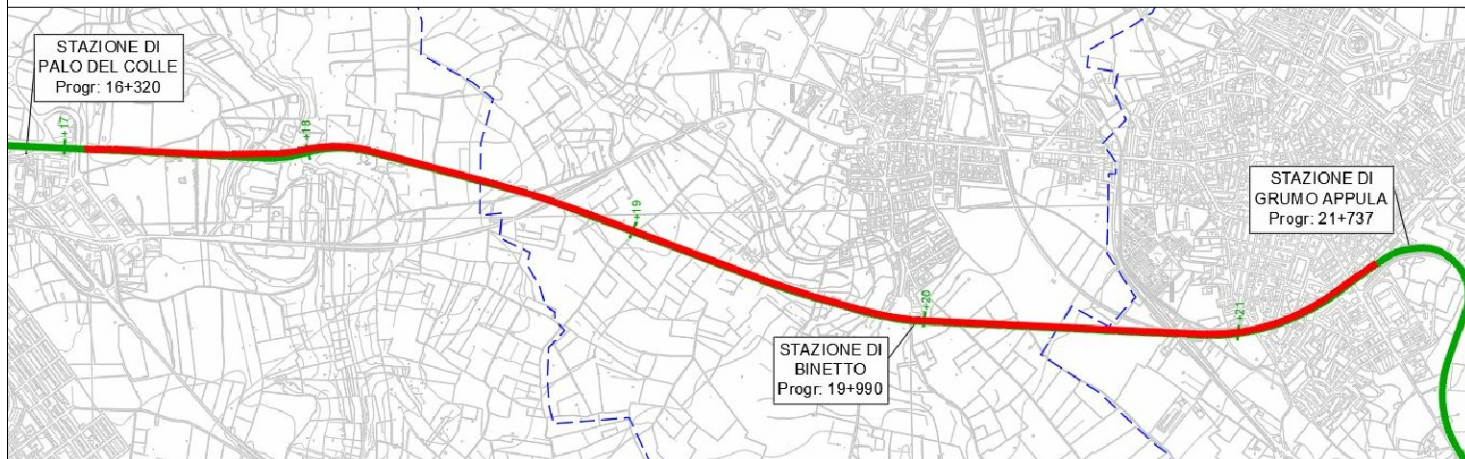
FERROVIE APPULO LUCANE S.R.L.

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 ST0019		Pratica 18021_DAR	SOTTOVIA PROGR. 19+896.06			
Scala -		Codifica elaborato DAR_3RS007a	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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.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 monolite a spinta e muri di sostegno (classe C32/40)</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>Calcestruzzo per strutture di varo (classe C20/25)</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Copriferro di progetto delle armature</i>	<i>12</i>
3.1.4	<i>Magrone di sottofondazione</i>	<i>12</i>
3.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO (B450C)	13
3.2.1	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo (acciaio B450C)</i>	<i>14</i>
4	PARAMETRI GEOTECNICI	15
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE	15
4.2	TERRENO A TERGO DELLO SCATOLARE E DEI MURI DI SOSTEGNO	16
4.3	FALDA FREATICA	16
5	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	17
6	CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA	20
6.1	TIPO DI ANALISI SVOLTA	20
6.2	MODELLI DI CALCOLO	21
6.3	CODICE DI CALCOLO	23
7	ANALISI DEI CARICHI	24
7.1	PESO PROPRIO	24
7.2	SOVRACCARICO PERMANENTE	24

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 2 di 84</p>
---	---	---

7.3	SOVRACCARICO FERROVIARIO SULLA COPERTURA.....	24
7.4	SOVRACCARICO STRADALE SULLA FONDAZIONE	25
7.5	SPINTA STATICA DEL TERRENO	26
7.6	SPINTA STATICA DEL SOVRACCARICO FERROVIARIO A TERGO	27
7.7	FORZE D'INERZIA SISMICHE	28
7.8	INCREMENTO DI SPINTA SISMICA DEL TERRENO.....	29
7.9	SCHEMA DI CALCOLO	30
8	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	31
8.1	CONDIZIONI DI CARICO.....	31
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO	31
9	VERIFICA DELLO SCATOLARE.....	33
9.1	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	33
9.2	VERIFICA DELLA SOLETTA.....	34
9.2.1	Verifica in mezzeria.....	34
9.2.2	Verifica agli appoggi.....	35
9.3	VERIFICA DELLE PARETI	37
9.4	VERIFICA DELLE FONDAZIONI	39
9.5	VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO	41
10	VERIFICA DEI MURI.....	42
10.1	MURO $5.50\text{M} < H \leq 6.50\text{M}$	42
10.1.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato	43
10.1.2	Verifica a flessione del muro.....	44
10.1.3	Verifica a taglio del muro	45
10.1.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione	46
10.1.5	Verifica a flessione della fondazione	47
10.1.6	Verifica a taglio della fondazione	48
10.1.7	Carichi a intradosso fondazione	49
10.1.8	Verifiche geotecniche.....	50
10.1.9	Muro $4.50\text{m} < H \leq 5.50\text{m}$	51
10.1.10	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato	52
10.1.11	Verifica a flessione del muro.....	53


 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 3 di 84</p>
---	--	---

10.1.12	Verifica a taglio del muro	53
10.1.13	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione	54
10.1.14	Verifica a flessione della fondazione	55
10.1.15	Verifica a taglio della fondazione	56
10.1.16	Carichi a intradosso fondazione	57
10.1.17	Verifiche geotecniche.....	58
10.2	MURO $3.50M < H \leq 4.50M$	59
10.2.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato	60
10.2.2	Verifica a flessione del paramento verticale	61
10.2.3	Verifica a taglio del paramento verticale.....	61
10.2.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione	62
10.2.5	Verifica a flessione della fondazione	63
10.2.6	Verifica a taglio della fondazione	64
10.2.7	Carichi a intradosso fondazione	65
10.2.8	Verifiche geotecniche.....	66
10.3	MURO $H \leq 3.50M$	67
10.3.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato	68
10.3.2	Verifica a flessione del paramento verticale	69
10.3.3	Verifica a taglio del paramento verticale.....	69
10.3.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione	70
10.3.5	Verifica a flessione della fondazione	71
10.3.6	Verifica a taglio della fondazione	72
10.3.7	Caratteristiche di sollecitazione in fondazione.....	73
10.3.8	Verifiche geotecniche a scorrimento e ribaltamento.....	74
11	VERIFICA DELLE STRUTTURE DI VARO.....	75
11.1	PLATEA DI VARO	76
11.2	VERIFICA DELLA TRAVE REGGISPINTE	81

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 5 di 84
---	--	--

La relazione si conclude con le verifiche della platea di varo e della trave reggispinta.
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 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.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.

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 8 di 84</p>
---	---	---

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.

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 9 di 84</p>
---	---	---

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 la verifica 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 10 di 84
---	--	---


3.1.1 Calcestruzzo per monolite a spinta e muri di sostegno (classe C32/40)

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche e di calcolo relative al calcestruzzo di classe C32/40 previsto per il progetto del monolite a spinta e dei muri di sostegno:

Calcestruzzo per monolite a spinta e muri di sostegno 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	$f_{ctd} = 2.17/1.5 = 1.45 \text{ MPa}$

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 11 di 84
---	--	---


3.1.2 Calcestruzzo per strutture di varo (classe C20/25)

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche e di calcolo relative al calcestruzzo di classe C20/25 previsto per il progetto delle strutture necessarie al varo:

Calcestruzzo per strutture di varo DM. 17.01.2018 – UNI EN 206-1 – UNI11104-2016

Classe di resistenza	C20/25	Resistenza cilindrica/resistenza cubica a compressione
Ambiente di esposizione		Nessun rischio di corrosione dell'armatura
Classe di esposizione	XC0	
ρ	25 kN/m ³	Peso specifico
Classe di consistenza	S3	Slump
Dimensione max dell'aggregato	32 mm	
a/c	< 0,60	Rapporto acqua cemento nella miscela
Dosaggio minimo di cemento	280 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	$R_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83R_{ck} = 20.7 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 28.7 \text{ MPa}$
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30f_{ck}^{2/3} = 2.26 \text{ MPa}$
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2f_{ctm} = 2.71 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} = 0.7f_{ctm} = 1.58 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} = 1.3f_{ctm} = 2.94 \text{ MPa}$
Modulo di elasticità longitudinale	$E_{cm} = 22000[f_{cm}/10]^{0.3} = 30184 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 0.85f_{ck}/1.5 = 11.73 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = 1.58/1.5 = 1.05 \text{ MPa}$

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 12 di 84
---	--	---

3.1.3 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 monolite a spinta e muri di sostegno = 50mm
- Copriferro di progetto per strutture di varo = 40mm

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.

3.1.4 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 13 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 14 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, previsto per il progetto del monolite a spinta, dei muri di sostegno e delle strutture necessarie al varo:

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	$f_{yd} = 450/1.15 = \mathbf{391\ MPa}$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 15 di 84</p>
---	---	--

4 PARAMETRI GEOTECNICI

4.1 Terreno di fondazione

Le indagini svolte nella zona d'intervento (n.2 sondaggi a carotaggio continuo S8_1, S8_2, n.2 prospezioni sismiche MASW M8_1, M8_2, analisi di laboratorio sui campioni prelevati), descritte nella relazione geologica, hanno permesso di accertare la presenza in sito di 3 unità geotecniche principali:

- 1) *un livello superficiale R (da 0 sino a 0.50/5.00 m) costituito da un riporto o terreno vegetale ($\gamma=16 \text{ kN/m}^3$)*
- 2) *un livello intermedio Ca1 (da 0.50/5.00m sino a 10.00m) costituito da un calcare molto fratturato con intercalazioni di sabbioni calcarei ($\gamma=21 \text{ kN/m}^3$)*
- 3) *un livello profondo Ca2 (da 10.00m sino alla profondità d'interesse) costituito da un calcare fratturato, carsificato ($\gamma=21 \text{ kN/m}^3$)*

Ai i sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzione (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 intermedio Ca1:

- Angolo di attrito all'interfaccia fondazione - terreno $\Phi_i = 29^\circ (\cong 2/3\Phi)$
- 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:

- $q_{sic} = q_{ult}/5 = 3.0/5 = 0.6 \text{ Mpa}$

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 16 di 84
---	--	---

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

- $K_w = 18250/B = 18250/1130 \cong \mathbf{16 \text{ kg/cm}^3}$

4.2 Terreno a tergo dello scatolare e dei muri di sostegno

Il terreno a tergo dei muri e dello scatolare, 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 17 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 = 16,7033°

Latitudine Nord = 41,0247°

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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 18 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	2.506	0.346
SLD	151	0.056	2.572	0.389
SLV	1424	0.130	2.657	0.530
SLC	2475	0.158	2.673	0.528



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 19 di 84

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

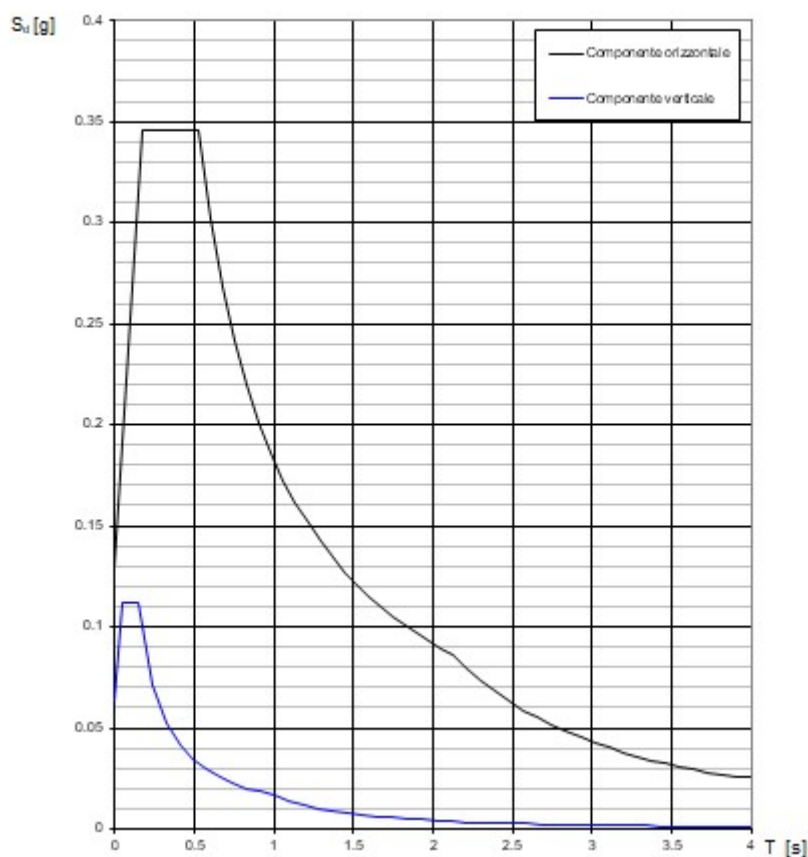
Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.130 g
F_o	2.657
T_C	0.530 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	0.530 s
T_D	2.120 s

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato I 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 20 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

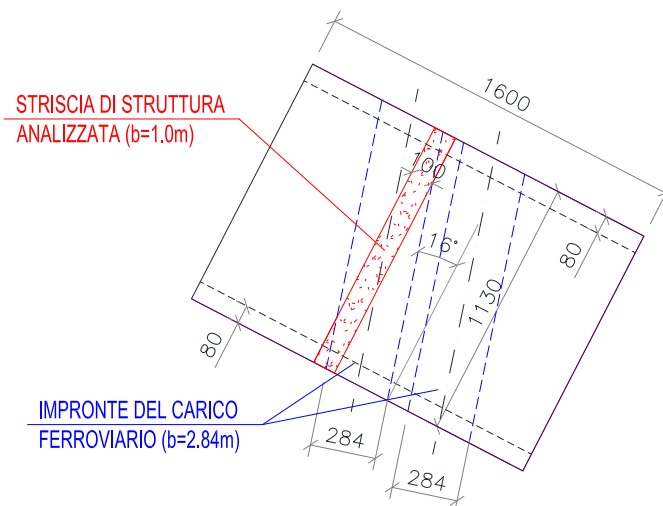
Data: Giugno 2020

Pag. 21 di 84

6.2 MODELLI DI CALCOLO

L'analisi del monolite a spinta 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 16 Kg/cm^3 suggerito dalla relazione geotecnica, sia un valore cautelativo di 1.6 Kg/cm^3 . La rigidità orizzontale del terreno di rinfiando dello scatolare, viene trascurata a favore di sicurezza.




Il terreno a ridosso dello 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:

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

dove

- φ = angolo di attrito del terreno
- β = inclinazione rispetto all'orizzontale del terreno a tergo del muro
- $\vartheta = \arctan[K_h/(1-K_v)]$
- 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 22 di 84</p>
---	---	--

Le forze sismiche d'inerzia agenti sullo 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 dello scatolare:

PARAMETRI SISMICI			TERRENO		
Accelerazione a_g (SLV)	0.130	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	0.130		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 (+)	0.322	
			Coefficiente di spinta sismica K_s (-)	0.334	

Le verifiche dei muri sono state eseguite analizzando differenti tipologie di sezione trasversale, caratterizzate da paramenti di altezza differente pari a 6.50, 5.50, 4.50 e 3.50m. Come riportato sui fogli di calcolo Excel utilizzati per le verifiche di seguito allegati, sono stati considerati i seguenti parametri sismici e geotecnici del terreno:

PARAMETRI SISMICI			TERRENO		
Accelerazione a_g (SLV)	0.130	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	

Sono state analizzate 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 10kN/m². 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 5kN/m², 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.

Le forze sismiche d'inerzia agenti sui muri, sono state calcolate adottando un coefficiente di riduzione β_m pari a 0.38, così come suggerito dal paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC2018 per strutture libere di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 23 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 24 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:

- $G_k = 25 \times 0.8 = 20$ kN/m²

7.2 SOVRACCARICO PERMANENTE

Sulla soletta di copertura dello scatolare si considera il carico trasmesso dal peso proprio della massicciata e dell'armamento ferroviario, valutato con riferimento al paragrafo 5.2.2.1.1. delle NTC2018 nel seguente modo:

- P_k (soletta) = $18 \times 0.8 = 14.4$ kN/m²

Sulla soletta di fondazione si considera il peso proprio del pacchetto stradale, comprensivo del marciapiede pedonale, valutato considerando un peso di volume di 22kN/m³ e uno spessore di 0.80m:

- P_k (fondazione) = $22 \times 0.8 = 17.6$ kN/m²

7.3 SOVRACCARICO FERROVIARIO SULLA COPERTURA

Come sovraccarico ferroviario applicato alla soletta dello scatolare, 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 alla formula [5.2.7] e al punto 5.4 della tabella 5.2.II delle NTC2018. Poiché la luce libera dello

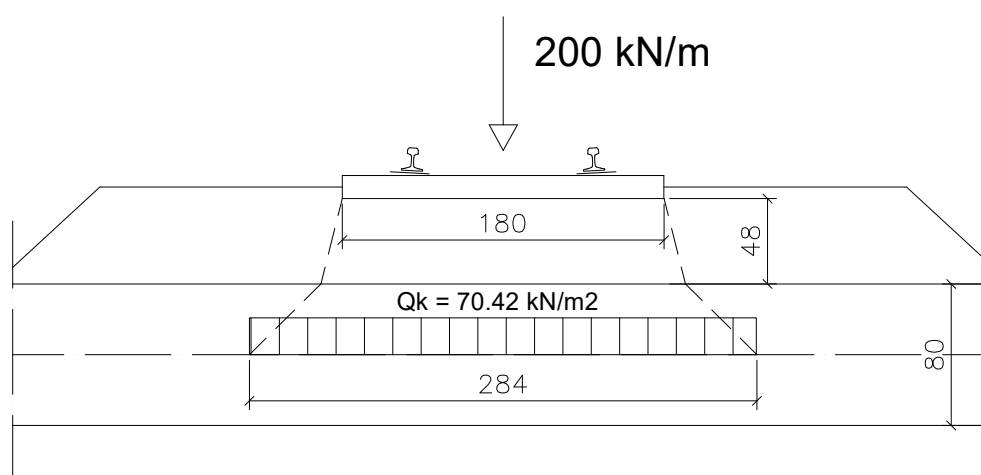
 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 25 di 84</p>
---	---	--

scatolare è maggiore di 8m, la lunghezza caratteristica L_{Φ} viene calcolata moltiplicando per 0.9 la lunghezza determinata secondo il punto 5.2:

- $L_{\Phi} = k \text{ lm} = 1.3 \times (2 \times 5.8 + 10.5) / 3 = 9.58 \text{ m}$
- $\Phi 3 = 0.9 \times (2.16 / (\sqrt{9.58} - 0.2) + 0.73) = 1.33$

Trasferendo il carico dinamicizzato del treno SW/2, dall'impronta delle traversine fino all'asse della soletta, ripartendolo con pendenza 1:4 attraverso il ballast e 1:1 attraverso la soletta, il carico di progetto a metro quadrato risulta:

- B ripartizione = $1.80 + 2 \times 0.48 / 4 + 2 \times 0.40 = 2.84 \text{ m}$
- $Q_k = 1.33 \times 150 / 2.84 = 200 / 2.84 = 70.42 \text{ kN/m}^2$



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 $\psi_2 = 0.2$.

7.4 SOVRACCARICO STRADALE SULLA FONDAZIONE

Come sovraccarico accidentale sulla soletta di fondazione si considera un carico uniformemente distribuito di 20 kN/m². In condizioni sismiche, il carico stradale non viene considerato in base al paragrafo 5.1.3.12 delle NTC2018, che suggeriscono di regola l'uso di un coefficiente di combinazione $\psi_2 = 0.0$.

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 26 di 84
---	--	---

7.5 SPINTA STATICA DEL TERRENO

Sulle pareti del monolite 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 peso del ballast e dell'armamento ferroviario, pari a $P_k = 14.4 \text{ kN/m}^2$.

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 $K_0 = 1 - \tan \varphi' = 0.426$
- coefficiente di spinta attiva $K_a(\delta=23^\circ) = 0.244$

Indicando con H l'altezza totale dello scatolare 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.

$$H = 6.60\text{m}$$

$$p_1 (\text{ripos}) = 0.426 \times 14.4 = 6.13 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 (\text{ripos}) = 6.13 + 20 \times 0.426 \times 6.60 = 62.36 \text{ kN/m}^2$$

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

- $p_1 (\text{attiva}) = 0.244 \times 14.4 = 3.51 \text{ kN/m}^2$
- $p_2 (\text{attiva}) = 0.244 \times 14.4 + 20 \times 0.244 \times 6.60 = 35.72 \text{ kN/m}^2$



Ferrovie Appulo Lucane

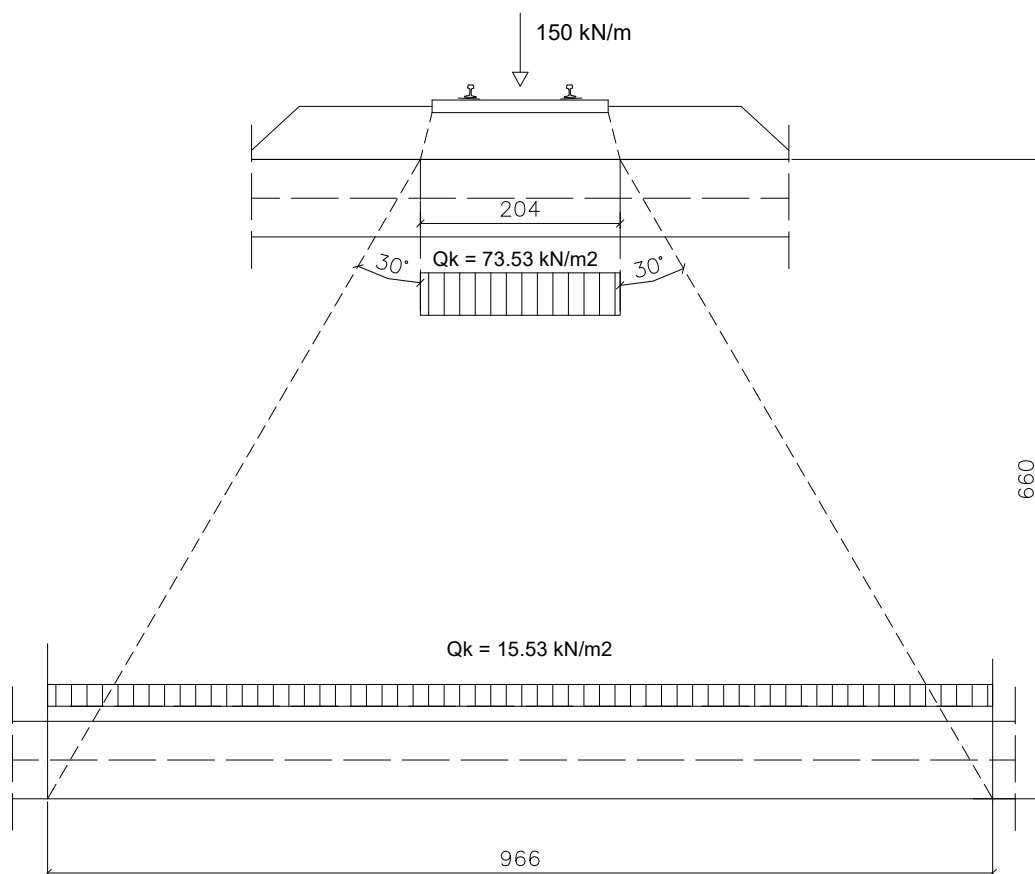
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 27 di 84


7.6 SPINTA STATICA DEL SOVRACCARICO FERROVIARIO A TERGO

Il sovraccarico ferroviario a tergo dello scatolare, viene trasmesso con inclinazione 1:4 attraverso la massicciata e con angolo di 30° nel terreno a partire dal piano del ballast, coincidente con l'estradosso della soletta. Pertanto all'estradosso della copertura dello scatolare il treno di carico SW/2 di 150 kN/m si ripartisce su una larghezza di 2.04m, mentre all'intradosso della fondazione si ripartisce su una larghezza di 9.66m.



Per effetto della variabilità delle pressioni verticali con l'altezza, pari a 73.53 kN/m² in copertura e 15.53 kN/m² in fondazione, anche la spinta orizzontale è variabile:

- $p1 \text{ (riposo)} = 0.426 \times 73.53 = 31.32 \text{ kN/m}^2$
- $p2 \text{ (riposo)} = 0.426 \times 15.53 = 6.62 \text{ kN/m}^2$
- $p1 \text{ (attiva)} = (0.244/0.426) \times 31.32 = 0.57 \times 31.32 = 17.85 \text{ kN/m}^2$
- $p2 \text{ (attiva)} = (0.244/0.426) \times 6.62 = 0.57 \times 6.62 = 3.77 \text{ kN/m}^2$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 28 di 84</p>
---	---	--

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:

- $k_h = 1.0 \times 0.130 = 0.130$ coefficiente sismico orizzontale
- $k_v = \pm 0.5 k_h = \pm 0.065$ coefficiente sismico verticale
- $f_{si} = k_h \times W_i (1 + k_v) = 0.139 \times W_i$ forza d'inerzia orizz. con sisma verticale in basso
- $f_{si} = k_h \times W_i (1 - k_v) = 0.122 \times W_i$ 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

$$f_{1h} (g+p+0.2q)_{\text{soletta}} = 0.139 \times (25 \times 0.8 + 14.40 + 0.2 \times 70.42) = 6.74 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{2h} (g)_{\text{parete dx}} = 0.139 \times 25 \times 0.8 = 2.78 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{3h} (g+p+0.2q)_{\text{parete sx}} = 2.78 + (0.139 \times 0.5 \times 20 \times 6.6^2 \times \tan 27.5^\circ) / 6.6 + \\ + 0.139 \times 6.60 \times \tan 27.5^\circ \times (14.4 + 0.2 \times 73.53) / 6.6 = 2.78 + 4.77 + 2.11 = 9.66 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{4h} (g+p)_{\text{fondazione}} = 0.139 \times (25 \times 0.8 + 17.6) = 5.22 \text{ kN/m}^2$$

- Forze verticali

$$f_{1v} \text{ soletta } (g+p+0.2q) = 0.065 \times (25 \times 0.8 + 14.4 + 0.2 \times 70.42) = 3.15 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{2v} \text{ pareti } (g) = 0.065 \times 25 \times 0.8 = 1.3 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{3v} \text{ (fondazione)} = 0.065 \times (25 \times 0.8 + 17.6) = 2.44 \text{ kN/m}^2$$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 29 di 84</p>
---	---	--

7.8 INCREMENTO DI SPINTA SISMICA DEL TERRENO

L'incremento di spinta sismica dovuta all'azione delle forze d'inerzia sul terreno ai lati dello 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:

$$\Delta F_s = K_s \times P_c = (0.322 - 0.244) \times 0.5 \times 20 \times H \times H \times \tan 27.5 = 0.40 \times H^2$$

Tale forza verrà ripartita in maniera uniforme su una delle due pareti dello scatolare:

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

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

$$H = 6.60 \text{ m}$$

$$\Delta F_s = 0.40 \times 6.60^2 = 17.42 \text{ KN/m}$$

$$\Delta p_s = 17.4 / 6.60 = 2.64 \text{ KN/m}^2$$

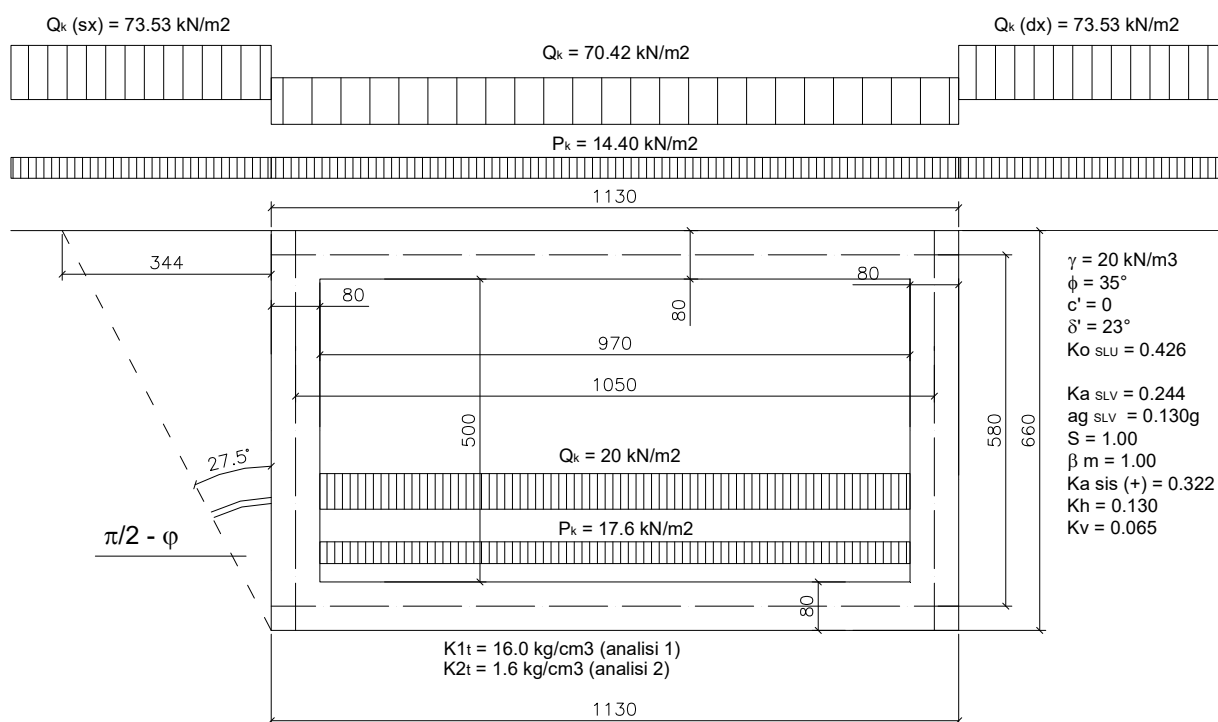



PROGETTO DEFINITIVO

Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 30 di 84

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



 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 31 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
- 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 32 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

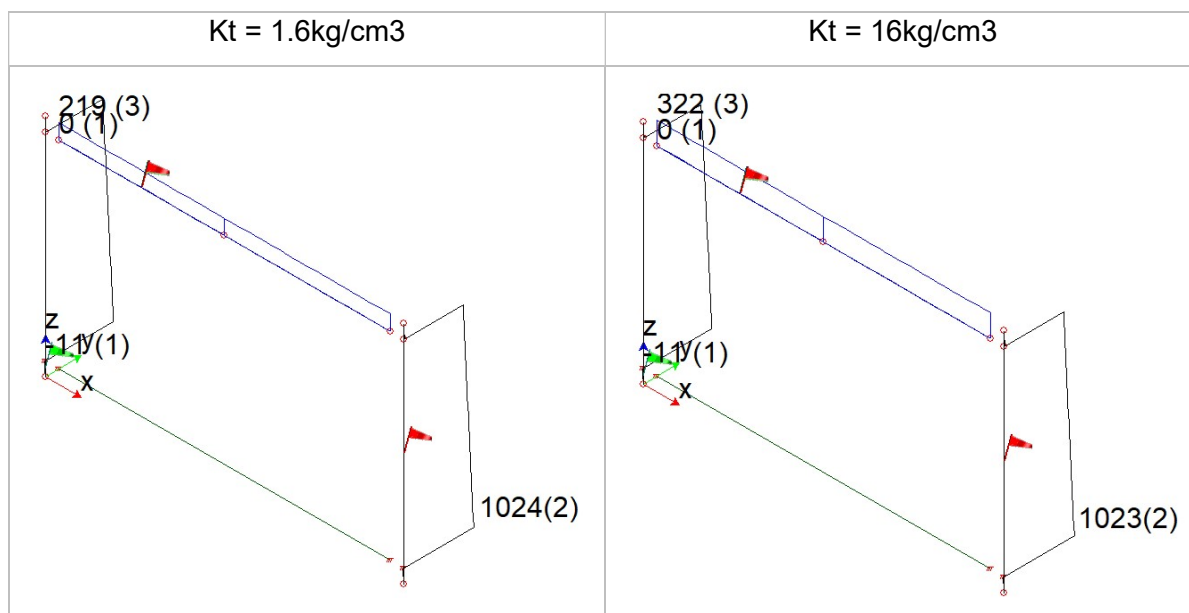
Pag. 33 di 84

9 VERIFICA DELLO SCATOLARE

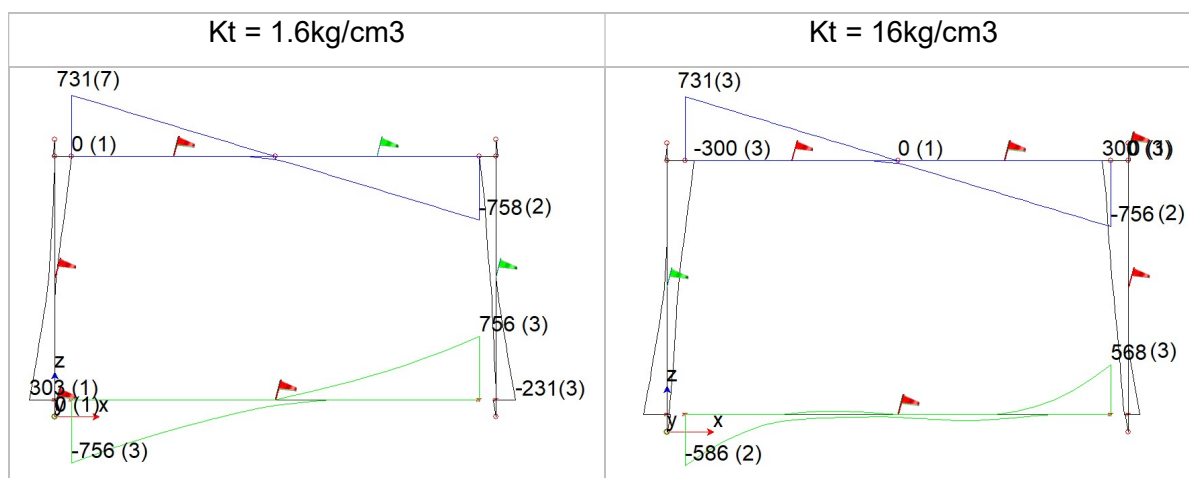
9.1 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

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

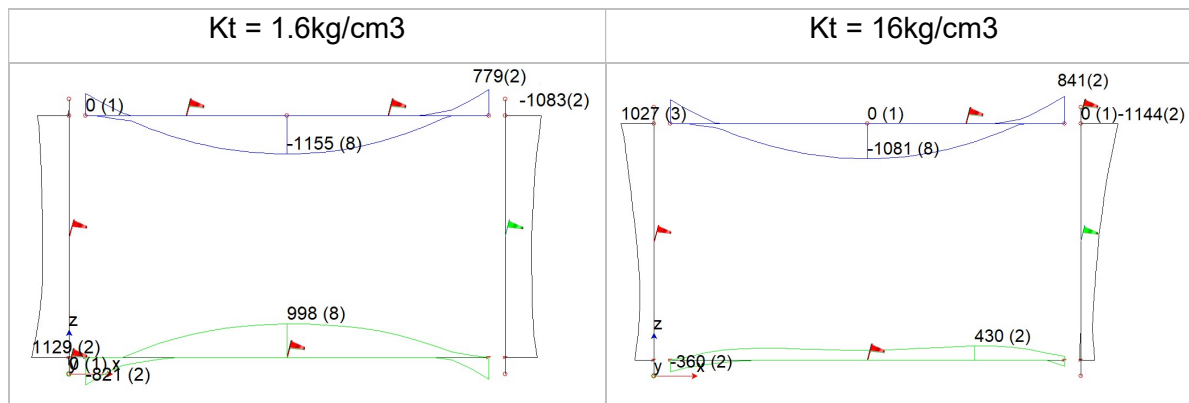
PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 34 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 | 10Φ26 |
| - Armatura superiore compressa | 5Φ24 |
| - Copriferro | 6cm |
| - Momento di calcolo | Md = 1155 KNxm/m |
| - Momento resistente | Mr = 1442 KNxm/m |
| - Coefficiente di sicurezza | $\gamma_s = 1442/1155 = 1.25 > 1$ |



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 35 di 84

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

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]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	22.62	6
			2	53.09	74

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 1.442 kNm

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

σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 23.26 ‰
d 74 cm
x 9.679 x/d 0.1308
ξ 0.7

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi
a T Circolare
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

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 5Φ26
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = (841 + 1153)/2 = 997 \text{ KNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 1236 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 1236/997 = 1.24 > 1$







Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

Pag. 36 di 84

Verifica C.A. S.L.U. - File: Solletta (appoggi)

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

Titolo :

N° figure elementari **Zoom**

N° strati barre **Zoom**


N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	45.24	6
2	26.55	74

Tipo Sezione

☒ Rettang.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni

S.L.U.  Metodo n

M Ed kN
M xEd kNm
M yEd

P.to applicazione N

☐ Centro ☒ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M xEd -1.236 kNm

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 1.957 f_{cc}/f_{cd} 0.8 [?]
 $E_{s,adm}$ 1.957 N/mm² $\sigma_{c,adm}$ 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 27.83 ‰
d 74 cm
 δ 8.266 x/d 0.1117
 δ 0.7

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100


Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso

- $V_d = 758 \text{ KN/m}$
- $V_r = [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 740 / 1000 = 368 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 368 / 758 = \mathbf{0.48 < 1}$ **è necessario armare a taglio**

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

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 37 di 84</p>
---	---	--

Armando la soletta a taglio con spille $\Phi 14$ disposte a interasse 30x30cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 758 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rds}; V_{rzd}) = 1114 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1114/758 = \mathbf{1.47 > 1}$

essendo

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

avendo posto:

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

9.3 VERIFICA DELLE PARETI

Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione delle pareti, fatta allo stato limite SLU/SLV.

L'armatura si ipotizza costante sull'altezza e pari a $1\Phi 24/10$ esterno e $1\Phi 24/20$ interno.

La verifica viene svolta in corrispondenza della sezione di testa dove sono massime le sollecitazioni.

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 | $M_d = (1040 + 1144)/2 = 1092 \text{ KNxm/m}$ |
| - Sforzo assiale corrispondente | $N_d = 866 \text{ KN/m}$ |
| - Momento resistente | $M_r = 1516 \text{ KNxm/m}$ |
| - Coefficiente di sicurezza | $\gamma_s = 1516/1092 = \mathbf{1.39 > 1}$ |



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 38 di 84

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}: 866 kN
M_{Ed}: 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

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

Calcoli: M_{Rd}: -1 516 kNm
σ_c: -18.81 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_c: 3.5 ‰
ε_s: 17.95 ‰
d: 74 cm
x: 12.07 x/d: 0.1631
ξ: 0.7

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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100
Calcola M_{Rd} Dominio M-N
L₀: 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

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

- V_d = 300 kN/m (valore a filo intradosso soletta)
- N_d = 841 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 = 484 kN/m
- γ_s = 484 / 300 = **1.61 > 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 = (10 x 452) / (1000 x 740) = 0.0061
- f_{ck} = 33.2 Mpa
- σ_{cp} = N_d / A_c = 841000 / (1000 x 800) = 1.05 Mpa



Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

Pag. 39 di 84

Verifica C.A. S.L.U. - Verifiche Fondazioni

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

Titolo :

N° figure elementari Zoom

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kN
M _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	kNm
y _{Ed}	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

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

-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 _s γ _d	1.957	%	σ _{c,adm}	9.75	
σ _{s,adm}	255	N/mm²	τ _{co}	0.6	
			τ _{cl}	1.829	

M xRd -1 236 kN m

σ _c	-18.81	N/mm²
σ _s	391.3	N/mm²
E _c	3.5	%
E _s	26.87	%
d	74	cm
κ	8.529	x/d 0.1153
δ	0.7	

Tipo Sezione
☒ Rettang. re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ 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 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 40 di 84</p>
---	---	--

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 756 \text{ KN/m}$
- $V_r = [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 740 / 1000 = 368 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 368 / 756 = \mathbf{0.48 < 1}$ **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 30x30cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 756 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rds}; V_{rcd}) = 1113 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1113 / 756 = \mathbf{1.47 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 1113 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 2158 \text{ KN}$

avendo posto:

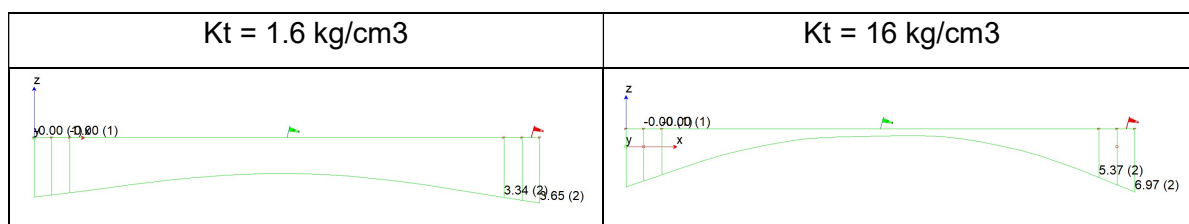
- $d = 740 \text{ mm}$
- $b_w = 1000 \text{ mm}$
- $A_{sw}/s = 154 / 0.3 / 300 = 1.71$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 90$ ($\cot \alpha = 0$; $\sin \alpha = 1$)
- $\cot \theta = 2.5$
- $\alpha_c = 1$
- $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 41 di 84
---	--	---

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:

q SLU/SLV (Kg/cm²)



Con riferimento al primo diagramma delle pressioni, ottenuto per una costante di sottofondo d'intensità pari a 1.6 kg/cm³, la verifica è ampiamente soddisfatta.

Con riferimento al secondo diagramma, ottenuto per una costante di sottofondo d'intensità pari a 16.0 kg/cm³, le pressioni di contatto continuano ad essere nel complesso inferiori al valore di sicurezza ad eccezione di piccoli tratti terminali influenti ai fini della stabilità globale.

Si riporta di seguito la verifica della fondazione fatta allo stato limite ultimo per la combinazione di carico (2) che determina le massime pressioni locali sul terreno:

- Nd (2) = 2016 kN
- Md (2) = 373 kNxm
- $e = 373/2016 \cong 0.20\text{m}$
- $B'_{red} = 11.30 - 2 \times 0.20 = 10.90\text{m}$
- $q_{med} (2) = 2016 \times 1000 / (10900 \times 1000) = 0.19 \text{ Mpa}$
- $q_{sic} = 0.60 \text{ Mpa} > q_{med} (2)$
- $\gamma_s = 0.60/0.19 = \mathbf{3.15} > 1$



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

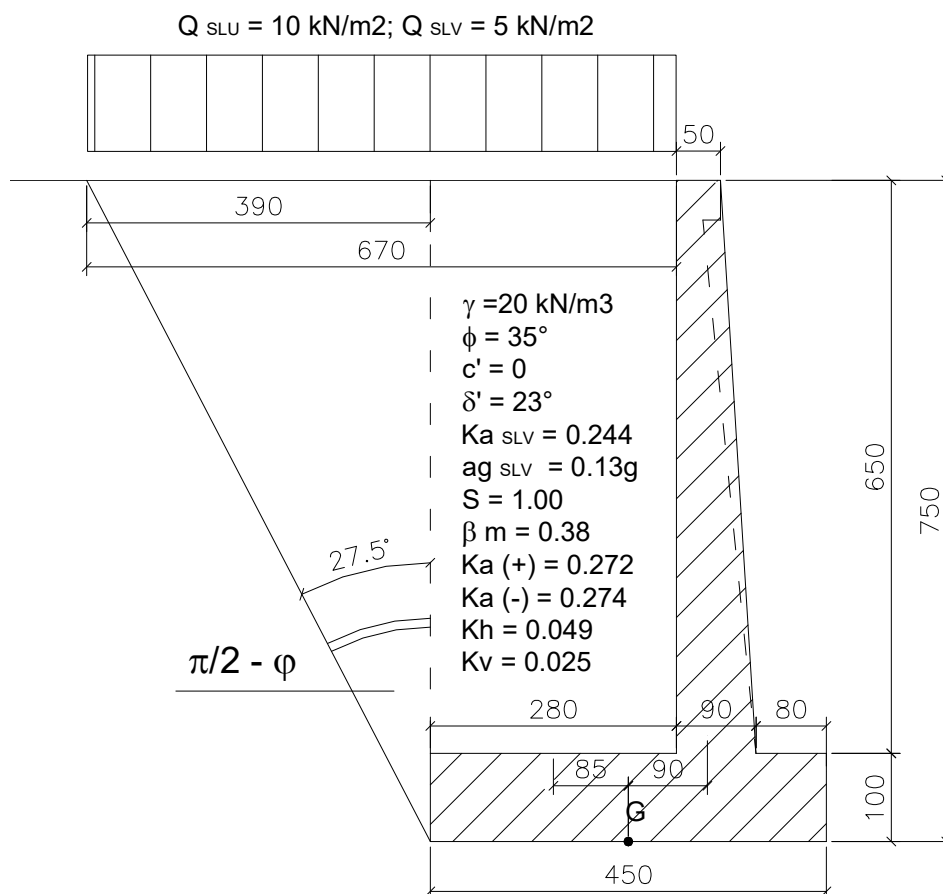
Data: Giugno 2020

Pag. 42 di 84

10 VERIFICA DEI MURI

10.1 Muro $5.50\text{m} < H \leq 6.50\text{m}$

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza compresa tra 5.50m e 6.50m:





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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 43 di 84

10.1.1 Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato

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

SOTTOVIA BINETTO			SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=6.5m								
GEOMETRIA			STATICA			SISMICA 1 (Kh+Kv)			SISMICA 2 (Kh-Kv)		
Spessore medio del muro	0.70	m	cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
Altezza muro	6.50	m									
Altezza fondazione	1.00	m	PESO PROPRIO			PESO PROPRIO			PESO PROPRIO		
Lunghezza mensola interna	2.80	m	Nd	113.8	KN/m	Nd	113.8	KN/m	Nd	113.8	KN/m
Lunghezza mensola esterna	1.00	m									
Lunghezza totale fondazione	4.50	m	TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)		
			Vd	103.3	KN/m	Vd	103.3	KN/m	Vd	103.3	KN/m
			Md	223.8	KNxm/m	Md	223.8	KNxm/m	Md	223.8	KNxm/m
PARAMETRI SISMICI			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		
Accelerazione ag (SLV)	0.130	g	Vd	15.9	KN/m	Vd	7.9	KN/m	Vd	7.9	KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000		Md	51.6	KN/m	Md	25.8	KN/m	Md	25.8	KN/m
Coefficiente di riduzione βm	0.38										
Coefficiente sismico orizzontale	0.049										
Coefficiente sismico verticale (±)	0.025										
TERRENO			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO		
Peso di volume	20.00	KN/m3	Nd	0.0	KN/m	Nd	0.0	KN/m	Nd	0.0	KN/m
Angolo di attrito del terreno	35.00	°	Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m
Coesione	0.00	KN/m2	Md	0.0	KN/m	Md	0.0	KN/m	Md	0.0	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	148	KN/m	Vd	12.7	KN/m	Vd	13.4	KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272		Vd	158	KN/m	Md	41.3	KNxm/m	Md	43.5	KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274		Md	368	KNxm/m						
Lunghezza cuneo di spinta	3.90	m	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE			FORZA D'INERZIA SUL MURO			FORZA D'INERZIA SUL MURO		
			Nd	114	KN/m	Nd	2.8	KN/m	Nd	-2.8	KN/m
			Vd	119	KN/m	Vd	5.8	KN/m	Vd	5.5	KN/m
			Md	275	KNxm/m	Md	18.7	KNxm/m	Md	17.8	KNxm/m
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO						FORZA D'INERZIA SUL TERRENO			FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		
Intensità carico	10.00	KN/m2				Vd	33.2	KN/m	Vd	31.6	KN/m
						Md	119.2	KNxm/m	Md	113.4	KNxm/m
CARICHI TESTA MURO						FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		
Valore del carico Nd	0.0	KN/m				Vd	1.7	KN/m	Vd	1.6	KN/m
Valore del taglio Td	0.0	KN/m				Md	11.0	KNxm/m	Md	10.5	KNxm/m
Valore del momento Md	0.0	KN/m				SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE						Nd	117	KN/m	Nd	114	KN/m
Peso proprio (muro - terreno)	1.30					Vd	165	KN/m	Vd	163	KN/m
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.50					Md	440	KNxm/m	Md	435	KNxm/m
Partecipazione sism. Accidentale	50%										
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA											
Volume terreno su zattera interna	18.20	m3									
Volume cuneo di spinta	14.64	m3									
Volume totale di terreno mobilitato	32.84	m3									



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 44 di 84

10.1.2 Verifica a flessione del muro

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con $1\Phi 20/10$ e quella compressa con $1\Phi 20/20$ risulta:

- | | |
|---|---|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $N_d = 148 \text{ kN/m}$ | - $N_d = 117 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 368 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 440 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 1049 \text{ kNm/m}$ | - $M_r = 1037 \text{ kNm/m}$ |
| - $\gamma_s = 1049/368 = \mathbf{2.85 > 1}$ | - $\gamma_s = 1037/440 = \mathbf{2.35 > 1}$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 6.50m - Paramento 90cm

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	90

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	31.42	84

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} [117] kN M_{Ed} [0] kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

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]

M_{xRd} [1 037] kNm

σ_c [-18.81] N/mm²

σ_s [391.3] N/mm²

ε_c [3.5] %

ε_s [36.06] %

d [84] cm

x [7.432] x/d [0.08848]

δ [0.7]

Tipo Sezione: Rettang. re Trapezi

a T Circolare

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

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 45 di 84</p>
---	---	--

10.1.3 Verifica a taglio del muro

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$- V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{346 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 840 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.488$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 314)/(1000 \times 840) = 0.0037$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

$$- V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 307 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 158 \text{ kN/m}$ - $V_r = 346 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 346/158 = \mathbf{2.19 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 165 \text{ kN/m}$ - $V_r = 346 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 346/165 = \mathbf{2.09 > 1}$
--	--

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 46 di 84</p>
---	---	--

10.1.4 Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione

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

- Sezione a filo interno

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

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

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

- Sezione a filo esterno

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

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

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

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=6.5m											
SEZIONE A FILO INTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-98	KN/m	Nd	-102	KN/m	Nd	-102	KN/m	Nd	-74	KN/m
Vd	349	KN/m	Vd	313	KN/m	Vd	302	KN/m	Vd	252	KN/m
Md	418	KNxm/m	Md	491	KNxm/m	Md	486	KNxm/m	Md	312	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'	3.89	m	B'	3.18	m	B'	3.08	m	B'	3.91	m
q_{med}	208	Kpa	q_{med}	195	Kpa	q_{med}	191	Kpa	q_{med}	158	Kpa
q_{max}	416	Kpa	q_{max}	390	Kpa	q_{max}	383	Kpa	q_{max}	316	Kpa
q_{int}	234	Kpa	q_{int}	181	Kpa	q_{int}	171	Kpa	q_{int}	179	Kpa
$q_{\text{med int}}$	325	Kpa	$q_{\text{med int}}$	285	Kpa	$q_{\text{med int}}$	277	Kpa	$q_{\text{med int}}$	247	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	35	KN/m	Nd	37	KN/m	Nd	36	KN/m	Nd	26	KN/m
Vd	330	KN/m	Vd	296	KN/m	Vd	288	KN/m	Vd	243	KN/m
Md	182	KNxm/m	Md	166	KNxm/m	Md	162	KNxm/m	Md	135	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'	3.89	m	B'	3.18	m	B'	3.08	m	B'	3.91	m
q_{med}	208	Kpa	q_{med}	195	Kpa	q_{med}	191	Kpa	q_{med}	158	Kpa
q_{max}	416	Kpa	q_{max}	390	Kpa	q_{max}	383	Kpa	q_{max}	316	Kpa
q_{est}	309	Kpa	q_{est}	267	Kpa	q_{est}	259	Kpa	q_{est}	235	Kpa
$q_{\text{med est}}$	362	Kpa	$q_{\text{med est}}$	328	Kpa	$q_{\text{med est}}$	321	Kpa	$q_{\text{med est}}$	276	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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 47 di 84

10.1.5 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari $1\Phi 22/10$ superiore e $1\Phi 22/20$ inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV1-SLV2</u> |
| - $N_d = -98 \text{ kN/m}$ | - $N_d = -102 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 418 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 491 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 1299 \text{ kNm}$ | - $M_r = 1296 \text{ kNm}$ |
| - $\gamma_s = 1299/418 = 3.11 > 1$ | - $\gamma_s = 1296/491 = 2.64 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 6.50m - Fondazione 100cm

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	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	38.01	6
2	19.01	94

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed -103 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}	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

M xRd -1 296 kNm

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 40.91 ‰
d 94 cm
x 7.407 x/d 0.0788
 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 48 di 84</p>
---	---	--

10.1.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{390 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 940 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.461$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 380)/(1000 \times 940) = 0.0040$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

$$- V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 335 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 349 \text{ kN/m}$ - $V_r = 390 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 390/349 = \mathbf{1.12 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 313 \text{ kN/m}$ - $V_r = 390 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 390/313 = \mathbf{1.25 > 1}$
--	--



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC


Data: Giugno 2020

Pag. 49 di 84

10.1.7 Carichi a intradosso fondazione

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

SOTTOVIA BINETTO			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=6.5m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione	4.50	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	2.25	m	Nd	113.8 KN/m	Nd	113.8 KN/m	Nd	113.8 KN/m
			X _N	3.15 m	X _N	3.15 m	X _N	3.15 m
			Md	102.4 KNxm/m	Md	102.4 KNxm/m	Md	102.4 KNxm/m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
A - Area	4.50	m ² /m	Nd	112.5 KN/m	Nd	112.5 KN/m	Nd	112.5 KN/m
W - Modulo di resistenza	3.38	m ³ /m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Nd	364.0 KN/m	Nd	364.0 KN/m	Nd	364.0 KN/m
			X _N	1.40 m	X _N	1.40 m	X _N	1.40 m
			Vd	137.5 KN/m	Vd	137.5 KN/m	Vd	137.5 KN/m
			Md	34.3 KNxm/m	Md	34.3 KNxm/m	Md	34.3 KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
			Nd	28.0 KN/m	Nd	14.0 KN/m	Nd	14.0 KN/m
			X _N	1.40 m	X _N	1.40 m	X _N	1.40 m
			Vd	18.3 KN/m	Vd	9.2 KN/m	Vd	9.2 KN/m
			Md	44.9 KN/m	Md	22.5 KN/m	Md	22.5 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m
			X _N	3.15 m	X _N	3.15 m	X _N	3.15 m
			Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
			Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	809 KN/m	Vd	16.8 KN/m	Vd	17.7 KN/m
			Vd	206 KN/m	Md	62.9 KNxm/m	Md	66.2 KNxm/m
			Md	245 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	618 KN/m	Nd	5.6 KN/m	Nd	-5.6 KN/m
			Vd	156 KN/m	Vd	11.5 KN/m	Vd	10.9 KN/m
			Md	182 KNxm/m	Md	29.8 KNxm/m	Md	28.5 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
					Nd	9.0 KN/m	Nd	-9.0 KN/m
					Vd	33.2 KN/m	Vd	31.6 KN/m
					Md	144.8 KNxm/m	Md	152.7 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
					Nd	0.3 KN/m	Nd	-0.3 KN/m
					Vd	1.7 KN/m	Vd	1.6 KN/m
					Md	12.4 KNxm/m	Md	12.4 KNxm/m
					SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
					Nd	619 KN/m	Nd	589 KN/m
					Vd	210 KN/m	Vd	208 KN/m
					Md	409 KNxm/m	Md	419 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 50 di 84
---	--	---

10.1.8 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 BINETTO			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=6.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	29	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	600	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	809	KN/m		619	KN/m		589	KN/m	
Md - Momento flettente	245	KNxm/m		409	KNxm/m		419	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.30	m		0.66	m		0.71	m	
B' - Larghezza ridotta	3.89	m		3.18	m		3.08	m	
q medio (SLU)	208	Mpa		195	Mpa		191	Mpa	
q limite di progetto	600	Mpa		600	Mpa		600	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	2.89	> 1.40	VERIFICA	3.08	> 1.20	VERIFICA	3.13	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	206	KN		210	KN		208	KN	
Azione resistente	449	KN		343	KN		327	KN	
Coefficiente di sicurezza	2.18	> 1.10	VERIFICA	1.64	> 1.00	VERIFICA	1.57	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	550	KNxm		633	KNxm		627	KNxm	
Momento resistente	2004	KNxm		1615	KNxm		1542	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	3.64	> 1.15	VERIFICA	2.55	> 1.00	VERIFICA	2.46	> 1.00	VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.



Ferrovie Appulo Lucane

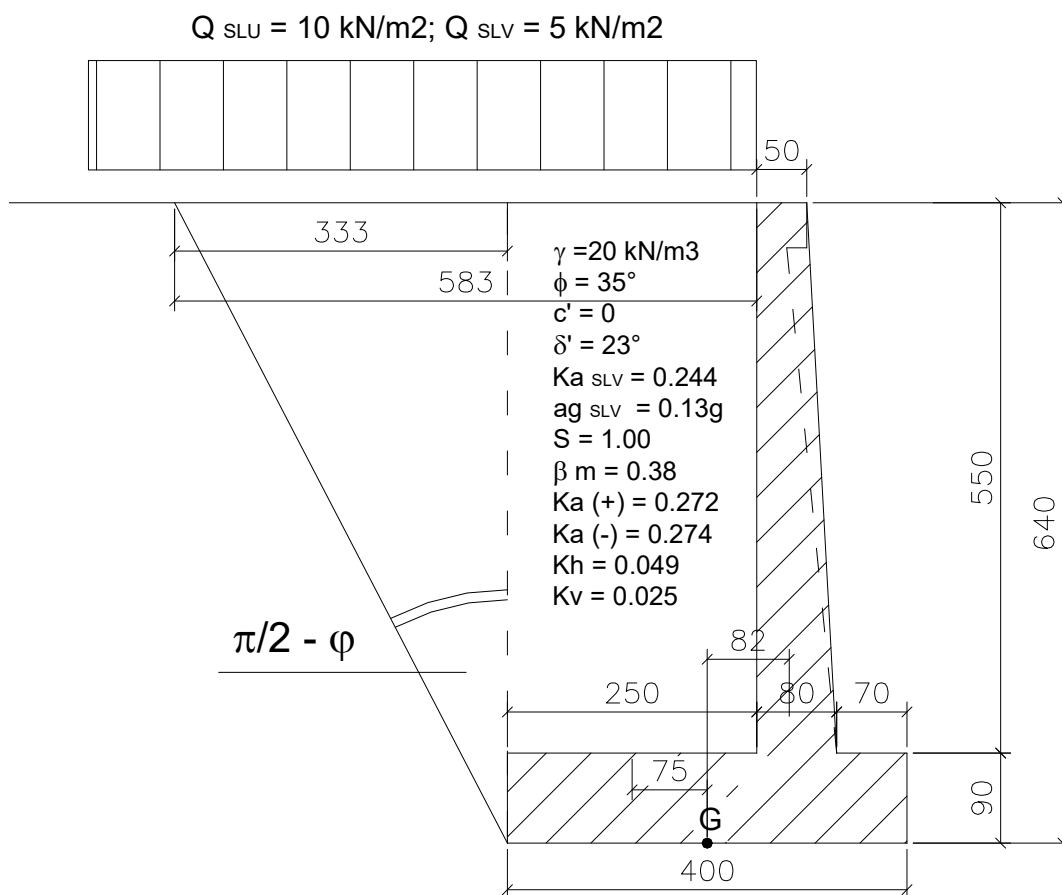
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 51 di 84

10.1.9 Muro 4.50m < H ≤ 5.50m

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza compresa tra 4.50m e 5.50m:





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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 52 di 84

10.1.10 Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato

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

SOTTOVIA BINETTO		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=5.5m					
GEOMETRIA		STATICA		SISMICA 1 (Kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro	0.65 m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	5.50 m						
Altezza fondazione	0.90 m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Lunghezza mensola interna	2.50 m	Nd	89.4 KN/m	Nd	89.4 KN/m	Nd	89.4 KN/m
Lunghezza mensola esterna	0.85 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza totale fondazione	4.00 m	Vd	73.9 KN/m	Vd	73.9 KN/m	Vd	73.9 KN/m
		Md	135.6 KNxm/m	Md	135.6 KNxm/m	Md	135.6 KNxm/m
PARAMETRI SISMICI		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	13.4 KN/m	Vd	6.7 KN/m	Vd	6.7 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	37.0 KN/m	Md	18.5 KN/m	Md	18.5 KN/m
Coefficiente di riduzione β_m	0.38	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.025	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
TERRENO		SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Peso di volume	20.00 KN/m ³	Nd	116 KN/m	Vd	9.2 KN/m	Vd	9.7 KN/m
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Vd	116 KN/m	Md	25.4 KNxm/m	Md	26.7 KNxm/m
Coesione	0.00 KN/m ²	Md	232 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		Nd	2.2 KN/m	Nd	-2.2 KN/m
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	Nd	89 KN/m	Vd	4.5 KN/m	Vd	4.3 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Vd	87 KN/m	Md	12.4 KNxm/m	Md	11.8 KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Md	173 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
Lunghezza cuneo di spinta	3.33 m			Vd	24.7 KN/m	Vd	23.5 KN/m
				Md	74.6 KNxm/m	Md	71.0 KNxm/m
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Intensità carico	10.00 KN/m ²			Vd	1.5 KN/m	Vd	1.4 KN/m
				Md	8.1 KNxm/m	Md	7.7 KNxm/m
CARICHI TESTA MURO				SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
Valore del carico Nd	0.0 KN/m			Nd	92 KN/m	Nd	89 KN/m
Valore del taglio Td	0.0 KN/m			Vd	121 KN/m	Vd	120 KN/m
Valore del momento Md	0.0 KN/m			Md	275 KNxm/m	Md	271 KNxm/m
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE							
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	13.75 m ³						
Volume cuneo di spinta	10.66 m ³						
Volume totale di terreno mobilitato	24.41 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 53 di 84

10.1.11 Verifica a flessione del muro

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con 1Φ18/10 e quella compressa con 1Φ18/20 risulta:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $N_d = 116 \text{ kN/m}$ - $M_d = 232 \text{ kNm/m}$ - $M_r = 749 \text{ kNm/m}$ - $\gamma_s = 749/232 = \mathbf{3.23 > 1}$ | <ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $N_d = 89 \text{ kN/m}$ - $M_d = 275 \text{ kNm/m}$ - $M_r = 740 \text{ kNm/m}$ - $\gamma_s = 740/275 = \mathbf{2.69 > 1}$ |
|---|--|

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:


10.1.12 Verifica a taglio del muro

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{302 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 740 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.520$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 254)/(1000 \times 740) = 0.0034$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 54 di 84</p>
---	---	--

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

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

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 116 \text{ kN/m}$ - $V_r = 302 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 302/116 = \mathbf{2.60 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $V_d = 121 \text{ kN/m}$ - $V_r = 302 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 302/121 = \mathbf{2.49 > 1}$
--	--

10.1.13 Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione

Si riportano di seguito le sollecitazioni sulla zattera di fondazione calcolate sull'asse in corrispondenza delle due sezioni a filo muro:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=5.5m

SEZIONE A FILO INTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-73	KN/m	Nd	-75	KN/m	Nd	-75	KN/m	Nd	-55	KN/m
Vd	262	KN/m	Vd	230	KN/m	Vd	221	KN/m	Vd	188	KN/m
Md	264	KNxm/m	Md	308	KNxm/m	Md	305	KNxm/m	Md	197	KNxm/m

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

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.51	m	B'	2.92	m	B'	2.84	m	B'	3.53	m
q_{med}	179	Kpa	q_{med}	164	Kpa	q_{med}	160	Kpa	q_{med}	136	Kpa
q_{max}	357	Kpa	q_{max}	327	Kpa	q_{max}	321	Kpa	q_{max}	272	Kpa
q_{int}	205	Kpa	q_{int}	159	Kpa	q_{int}	151	Kpa	q_{int}	156	Kpa
$q_{med \text{ int}}$	281	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	243	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	236	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	214	Kpa

SEZIONE A FILO ESTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	25	KN/m	Nd	26	KN/m	Nd	25	KN/m	Nd	19	KN/m
Vd	242	KN/m	Vd	213	KN/m	Vd	207	KN/m	Vd	178	KN/m
Md	114	KNxm/m	Md	102	KNxm/m	Md	99	KNxm/m	Md	84	KNxm/m

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

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.51	m	B'	2.92	m	B'	2.84	m	B'	3.53	m
q_{med}	179	Kpa	q_{med}	164	Kpa	q_{med}	160	Kpa	q_{med}	136	Kpa
q_{max}	357	Kpa	q_{max}	327	Kpa	q_{max}	321	Kpa	q_{max}	272	Kpa
q_{est}	271	Kpa	q_{est}	232	Kpa	q_{est}	225	Kpa	q_{est}	206	Kpa
$q_{med \text{ est}}$	314	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	280	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	273	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	239	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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 55 di 84

10.1.14 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari $1\Phi 20/10$ 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>SLV</u> |
| - $N_d = -73 \text{ kN/m}$ | - $N_d = -75 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 264 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 308 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 963 \text{ kNm}$ | - $M_r = 962 \text{ kNm}$ |
| - $\gamma_s = 963/264 = 3.64 > 1$ | - $\gamma_s = 962/308 = 3.12 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 5.50m - Fondazione 90cm

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	90

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31.42	6
2	15.71	84

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} [-75] kN M_{Ed} [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

M_{xRd} [-962.5] kNm

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]

σ_c [-18.81] N/mm² σ_s [391.3] N/mm² ϵ_c [3.5] ‰ ϵ_s [40.03] ‰ d [84] cm x [6.754] x/d [0.08041] δ [0.7]

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi a T Circolare 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

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 56 di 84</p>
---	---	--

10.1.15 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- \mathbf{V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 346 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 840 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.488$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 314)/(1000 \times 840) = 0.0037$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

$$V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 307 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 262 \text{ kN/m}$ - $V_r = 346 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 346/262 = \mathbf{1.32 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV1-SLV2</u> - $V_d = 230 \text{ kN/m}$ - $V_r = 346 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 346/230 = \mathbf{1.50 > 1}$
--	--



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 57 di 84

10.1.16 Carichi a intradosso fondazione

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

SOTTOVIA BINETTO			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=5.5m								
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA			SISMICA 1 (kh+Kv)			SISMICA 2 (Kh-Kv)		
B - Lunghezza fondazione	4.00	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	2.00	m	Nd	89.4	KN/m	Nd	89.4	KN/m	Nd	89.4	KN/m
			X _N	2.83	m	X _N	2.83	m	X _N	2.83	m
			Md	73.7	KNxm/m	Md	73.7	KNxm/m	Md	73.7	KNxm/m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			PESO FONDAZIONE			PESO FONDAZIONE			PESO FONDAZIONE		
A - Area	4.00	m ² /m	Nd	90.0	KN/m	Nd	90.0	KN/m	Nd	90.0	KN/m
W - Modulo di resistenza	2.67	m ³ /m	TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)		
			Nd	275.0	KN/m	Nd	275.0	KN/m	Nd	275.0	KN/m
			X _N	1.25	m	X _N	1.25	m	X _N	1.25	m
			Vd	100.1	KN/m	Vd	100.1	KN/m	Vd	100.1	KN/m
			Md	7.3	KNxm/m	Md	7.3	KNxm/m	Md	7.3	KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		
			Nd	25.0	KN/m	Nd	12.5	KN/m	Nd	12.5	KN/m
			X _N	1.25	m	X _N	1.25	m	X _N	1.25	m
			Vd	15.6	KN/m	Vd	7.8	KN/m	Vd	7.8	KN/m
			Md	31.3	KN/m	Md	15.7	KN/m	Md	15.7	KN/m
			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO		
			Nd	0.0	KN/m	Nd	0.0	KN/m	Nd	0.0	KN/m
			X _N	2.83	m	X _N	2.83	m	X _N	2.83	m
			Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m
			Md	0.0	KN/m	Md	0.0	KN/m	Md	0.0	KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			INCREMENTO SPINTA SISMICA			INCREMENTO SPINTA SISMICA		
			Nd	628	KN/m	Vd	12.3	KN/m	Vd	13.0	KN/m
			Vd	154	KN/m	Md	39.5	KNxm/m	Md	41.6	KNxm/m
			Md	152	KNxm/m						
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE			FORZA D'INERZIA SUL MURO			FORZA D'INERZIA SUL MURO		
			Nd	479	KN/m	Nd	4.4	KN/m	Nd	-4.4	KN/m
			Vd	116	KN/m	Vd	9.1	KN/m	Vd	8.6	KN/m
			Md	112	KNxm/m	Md	20.4	KNxm/m	Md	19.5	KNxm/m
						FORZA D'INERZIA SUL TERRENO			FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		
						Nd	6.8	KN/m	Nd	-6.8	KN/m
						Vd	24.7	KN/m	Vd	23.5	KN/m
						Md	91.8	KNxm/m	Md	97.3	KNxm/m
						FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		
						Nd	0.3	KN/m	Nd	-0.3	KN/m
						Vd	1.5	KN/m	Vd	1.4	KN/m
						Md	9.2	KNxm/m	Md	9.2	KNxm/m
						SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		
						Nd	478	KN/m	Nd	455	KN/m
						Vd	156	KN/m	Vd	155	KN/m
						Md	258	KNxm/m	Md	264	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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 58 di 84

10.1.17 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 BINETTO			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=5.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	29	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	600	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	628	KN/m			478	KN/m		455	KN/m
Md - Momento flettente	152	KNxm/m			258	KNxm/m		264	KNxm/m
e - Eccentricità	0.24	m			0.54	m		0.58	m
B' - Larghezza ridotta	3.51	m			2.92	m		2.84	m
q medio (SLU)	179	Mpa			164	Mpa		160	Mpa
q limite di progetto	600	Mpa			600	Mpa		600	Mpa
Coefficiente di sicurezza	3.36	> 1.40	VERIFICA		3.67	> 1.20	VERIFICA	3.74	> 1.20
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	154	KN			156	KN		155	KN
Azione resistente	348	KN			265	KN		252	KN
Coefficiente di sicurezza	2.27	> 1.10	VERIFICA		1.70	> 1.00	VERIFICA	1.63	> 1.00
VERIFICA AL RIBALTAMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	353	KNxm			401	KNxm		397	KNxm
Momento resistente	1371	KNxm			1100	KNxm		1051	KNxm
Coefficiente di sicurezza	3.89	> 1.15	VERIFICA		2.74	> 1.00	VERIFICA	2.64	> 1.00

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

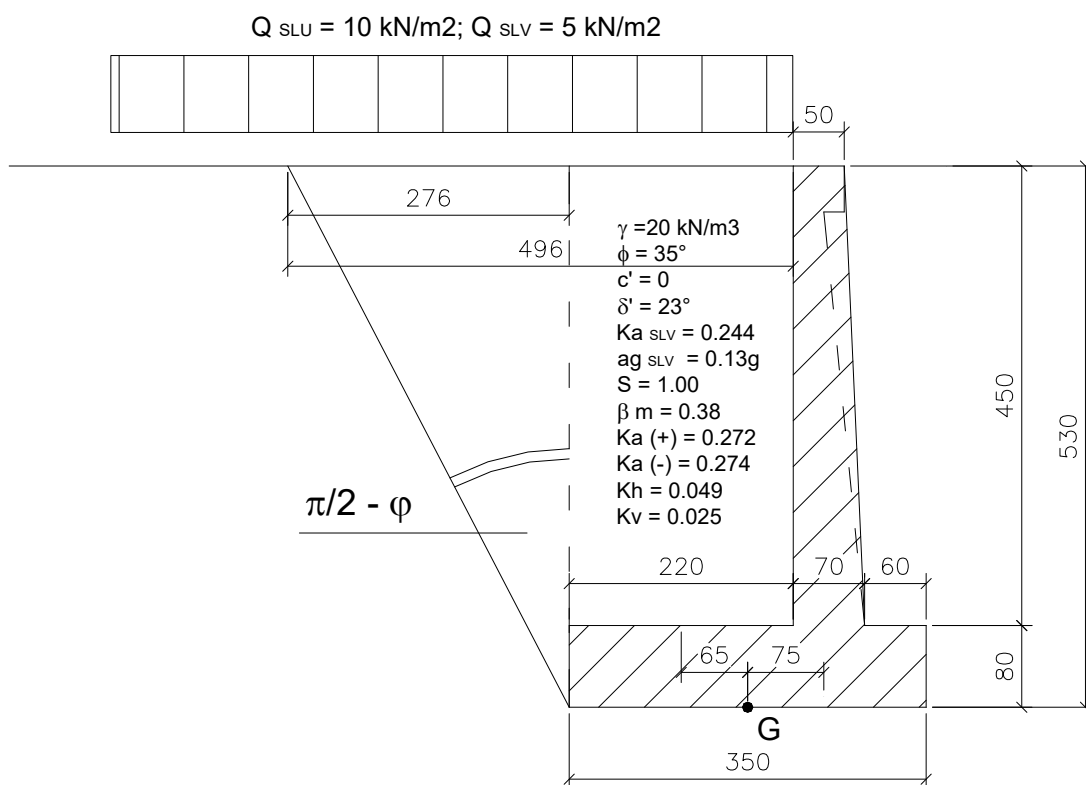
DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 59 di 84

10.2 Muro $3.50\text{m} < H \leq 4.50\text{m}$

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza compresa tra 3.50m e 4.50m:





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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 60 di 84

10.2.1 Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato

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

SOTTOVIA BINETTO		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=4.5m					
GEOMETRIA		STATICA		SISMICA 1 (Kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro	0.60 m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	4.50 m						
Altezza fondazione	0.80 m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Lunghezza mensola interna	2.20 m	Nd	67.5 KN/m	Nd	67.5 KN/m	Nd	67.5 KN/m
Lunghezza mensola esterna	0.70 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza totale fondazione	3.50 m	Vd	49.5 KN/m	Vd	49.5 KN/m	Vd	49.5 KN/m
		Md	74.2 KNxm/m	Md	74.2 KNxm/m	Md	74.2 KNxm/m
PARAMETRI SISMICI		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	11.0 KN/m	Vd	5.5 KN/m	Vd	5.5 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	24.7 KN/m	Md	12.4 KN/m	Md	12.4 KN/m
Coefficiente di riduzione β_m	0.38	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.025	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
TERRENO		SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Peso di volume	20.00 KN/m ³	Nd	88 KN/m	Vd	6.3 KN/m	Vd	6.6 KN/m
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Vd	81 KN/m	Md	14.1 KNxm/m	Md	14.9 KNxm/m
Coesione	0.00 KN/m ²	Md	134 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		Nd	1.7 KN/m	Nd	-1.7 KN/m
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	Nd	68 KN/m	Vd	3.4 KN/m	Vd	3.3 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Vd	60 KN/m	Md	7.7 KNxm/m	Md	7.3 KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Md	99 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
Lunghezza cuneo di spinta	2.76 m			Vd	17.4 KN/m	Vd	16.6 KN/m
				Md	42.8 KNxm/m	Md	40.7 KNxm/m
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Intensità carico	10.00 KN/m ²			Vd	1.3 KN/m	Vd	1.2 KN/m
				Md	5.6 KNxm/m	Md	5.4 KNxm/m
CARICHI TESTA MURO				SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
Valore del carico Nd	0.0 KN/m			Nd	69 KN/m	Nd	68 KN/m
Valore del taglio Td	0.0 KN/m			Vd	83 KN/m	Vd	83 KN/m
Valore del momento Md	0.0 KN/m			Md	157 KNxm/m	Md	155 KNxm/m
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE							
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	9.90 m ³						
Volume cuneo di spinta	7.31 m ³						
Volume totale di terreno mobilitato	17.21 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 61 di 84

10.2.2 Verifica a flessione del paramento verticale

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con $1\Phi 16/10$ e quella compressa con $1\Phi 16/20$ risulta:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $N_d = 88 \text{ kN/m}$ - $M_d = 134 \text{ kNm/m}$ - $M_r = 513 \text{ kNm/m}$ - $\gamma_s = 513/134 = \mathbf{3.83 > 1}$ | <ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $N_d = 68 \text{ kN/m}$ - $M_d = 157 \text{ kNm/m}$ - $M_r = 508 \text{ kNm/m}$ - $\gamma_s = 508/157 = \mathbf{3.23 > 1}$ |
|--|--|

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:


10.2.3 Verifica a taglio del paramento verticale

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{260 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 640 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.559$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 201)/(1000 \times 640) = 0.0031$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 62 di 84</p>
---	---	--

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

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

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 81 \text{ kN/m}$ - $V_r = 260 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 260/81 = \mathbf{3.20 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $V_d = 83 \text{ kN/m}$ - $V_r = 260 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 260/83 = \mathbf{3.13 > 1}$
--	--

10.2.4 Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione

Si riportano di seguito le sollecitazioni sulla zattera di fondazione calcolate sull'asse in corrispondenza delle due sezioni a filo muro:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=4.5m

SEZIONE A FILO INTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-51	KN/m	Nd	-52	KN/m	Nd	-52	KN/m	Nd	-38	KN/m
Vd	187	KN/m	Vd	159	KN/m	Vd	153	KN/m	Vd	133	KN/m
Md	154	KNxm/m	Md	178	KNxm/m	Md	176	KNxm/m	Md	114	KNxm/m

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

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.13	m	B'	2.66	m	B'	2.59	m	B'	3.15	m
q_{med}	150	Kpa	q_{med}	133	Kpa	q_{med}	130	Kpa	q_{med}	114	Kpa
q_{max}	300	Kpa	q_{max}	267	Kpa	q_{max}	261	Kpa	q_{max}	227	Kpa
q_{int}	175	Kpa	q_{int}	136	Kpa	q_{int}	130	Kpa	q_{int}	133	Kpa
$q_{med \text{ int}}$	237	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	202	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	195	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	180	Kpa

SEZIONE A FILO ESTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	16	KN/m	Nd	17	KN/m	Nd	17	KN/m	Nd	12	KN/m
Vd	168	KN/m	Vd	144	KN/m	Vd	140	KN/m	Vd	123	KN/m
Md	65	KNxm/m	Md	57	KNxm/m	Md	56	KNxm/m	Md	48	KNxm/m

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

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.13	m	B'	2.66	m	B'	2.59	m	B'	3.15	m
q_{med}	150	Kpa	q_{med}	133	Kpa	q_{med}	130	Kpa	q_{med}	114	Kpa
q_{max}	300	Kpa	q_{max}	267	Kpa	q_{max}	261	Kpa	q_{max}	227	Kpa
q_{est}	233	Kpa	q_{est}	197	Kpa	q_{est}	190	Kpa	q_{est}	177	Kpa
$q_{med \text{ est}}$	266	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	232	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	226	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	202	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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 63 di 84

10.2.5 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari $1\Phi 18/10$ superiore e $1\Phi 18/20$ inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV</u> |
| - $N_d = -51 \text{ kN/m}$ | - $N_d = -52 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 154 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 178 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 692 \text{ kNm}$ | - $M_r = 688 \text{ kNm}$ |
| - $\gamma_s = 692/154 = 4.49 > 1$ | - $\gamma_s = 688/178 = 3.86 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 4.50m - Fondazione 80cm

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	25.45	6
2	12.72	74

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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -52 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}	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

M_{xRd} -691.6 kNm

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 39.01 ‰
d 74 cm
x 6.092 x/d 0.08233
 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 64 di 84</p>
---	---	--

10.2.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- \mathbf{V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 302 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 740 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.520$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 254)/(1000 \times 740) = 0.0034$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

$$- V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 280 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 187 \text{ kN/m}$ - $V_r = 302 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 302/187 = \mathbf{1.61 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $V_d = 159 \text{ kN/m}$ - $V_r = 302 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 302/159 = \mathbf{1.90 > 1}$
--	--



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 65 di 84

10.2.7 Carichi a intradosso fondazione

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

SOTTOVIA BINETTO			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=4.5m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione	3.50	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	1.75	m	Nd	67.5 KN/m	Nd	67.5 KN/m	Nd	67.5 KN/m
			X _N	2.50 m	X _N	2.50 m	X _N	2.50 m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			Md	50.6 KNxm/m	Md	50.6 KNxm/m	Md	50.6 KNxm/m
A - Area	3.50	m ² /m	PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
W - Modulo di resistenza	2.04	m ³ /m	Nd	70.0 KN/m	Nd	70.0 KN/m	Nd	70.0 KN/m
			TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Nd	198.0 KN/m	Nd	198.0 KN/m	Nd	198.0 KN/m
			X _N	1.10 m	X _N	1.10 m	X _N	1.10 m
			Vd	68.7 KN/m	Vd	68.7 KN/m	Vd	68.7 KN/m
			Md	-7.4 KNxm/m	Md	-7.4 KNxm/m	Md	-7.4 KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
			Nd	22.0 KN/m	Nd	11.0 KN/m	Nd	11.0 KN/m
			X _N	1.10 m	X _N	1.10 m	X _N	1.10 m
			Vd	13.0 KN/m	Vd	6.5 KN/m	Vd	6.5 KN/m
			Md	20.0 KN/m	Md	10.0 KN/m	Md	10.0 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m
			X _N	2.50 m	X _N	2.50 m	X _N	2.50 m
			Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
			Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	469 KN/m	Vd	8.6 KN/m	Vd	9.0 KN/m
			Vd	109 KN/m	Md	22.8 KNxm/m	Md	24.0 KNxm/m
			Md	86 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	358 KN/m	Nd	3.4 KN/m	Nd	-3.4 KN/m
			Vd	82 KN/m	Vd	7.0 KN/m	Vd	6.6 KN/m
			Md	63 KNxm/m	Md	13.1 KNxm/m	Md	12.5 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
			Nd	4.9 KN/m	Nd	4.9 KN/m	Nd	-4.9 KN/m
			Vd	17.4 KN/m	Vd	17.4 KN/m	Vd	16.6 KN/m
			Md	53.5 KNxm/m	Md	53.5 KNxm/m	Md	57.2 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
			Nd	0.3 KN/m	Nd	0.3 KN/m	Nd	-0.3 KN/m
			Vd	1.3 KN/m	Vd	1.3 KN/m	Vd	1.2 KN/m
			Md	6.5 KNxm/m	Md	6.5 KNxm/m	Md	6.5 KNxm/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
			Nd	355 KN/m	Nd	355 KN/m	Nd	338 KN/m
			Vd	109 KN/m	Vd	109 KN/m	Vd	109 KN/m
			Md	149 KNxm/m	Md	149 KNxm/m	Md	153 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 66 di 84

10.2.8 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 BINETTO			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=4.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	29	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	600	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	469	KN/m			355	KN/m		338	KN/m
Md - Momento flettente	86	KNxm/m			149	KNxm/m		153	KNxm/m
e - Eccentricità	0.18	m			0.42	m		0.45	m
B' - Larghezza ridotta	3.13	m			2.66	m		2.59	m
q medio (SLU)	150	Mpa			133	Mpa		130	Mpa
q limite di progetto	600	Mpa			600	Mpa		600	Mpa
Coefficiente di sicurezza	4.01	> 1.40	VERIFICA		4.50	> 1.20	VERIFICA	4.60	> 1.20
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	109	KN			109	KN		109	KN
Azione resistente	260	KN			197	KN		187	KN
Coefficiente di sicurezza	2.39	> 1.10	VERIFICA		1.80	> 1.00	VERIFICA	1.73	> 1.00
VERIFICA AL RIBALTAMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	209	KNxm			234	KNxm		232	KNxm
Momento resistente	887	KNxm			707	KNxm		676	KNxm
Coefficiente di sicurezza	4.24	> 1.15	VERIFICA		3.02	> 1.00	VERIFICA	2.91	> 1.00

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.



Ferrovie Appulo Lucane

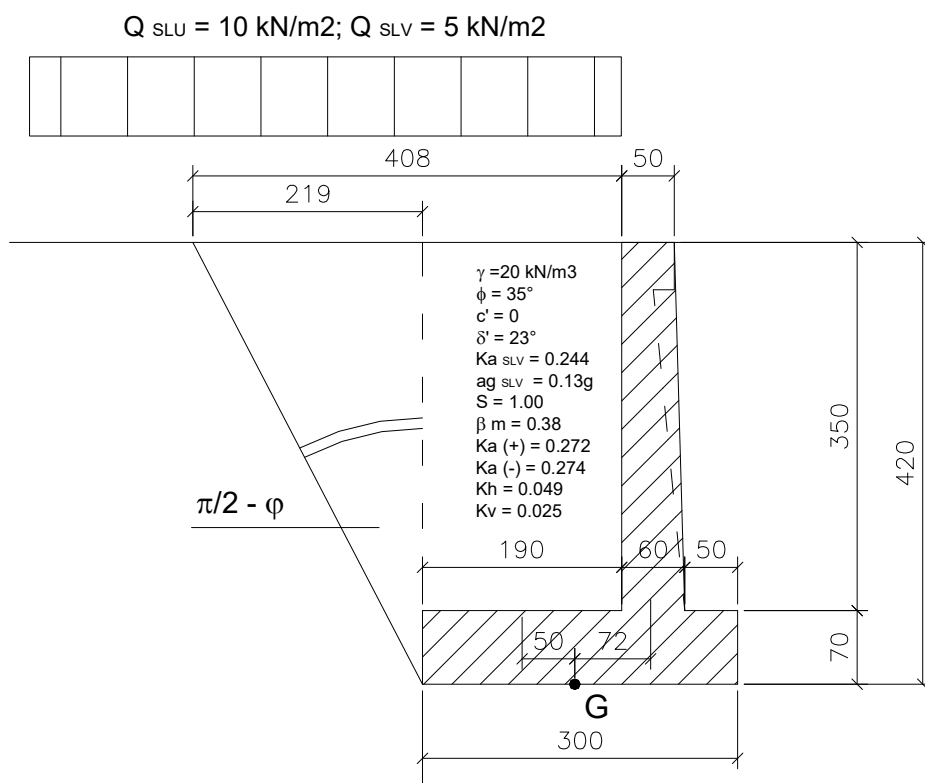
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 67 di 84

10.3 Muro $H \leq 3.50\text{m}$

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza massima pari a 3.50m:





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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 68 di 84

10.3.1 Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato

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

SOTTOVIA BINETTO			SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO - MURO H=3.5m					
GEOMETRIA			STATICA		SISMICA 1 (Kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro	0.55 m		cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	3.50 m							
Altezza fondazione	0.70 m		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Lunghezza mensola interna	1.90 m		Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m
Lunghezza mensola esterna	0.55 m							
Lunghezza totale fondazione	3.00 m		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Vd	29.9 KN/m	Vd	29.9 KN/m	Vd	29.9 KN/m
			Md	34.9 KNxm/m	Md	34.9 KNxm/m	Md	34.9 KNxm/m
PARAMETRI SISMICI			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g		Vd	8.6 KN/m	Vd	4.3 KN/m	Vd	4.3 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000		Md	15.0 KN/m	Md	7.5 KN/m	Md	7.5 KN/m
Coefficiente di riduzione β_m	0.38							
Coefficiente sismico orizzontale	0.049							
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.025							
TERRENO			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Peso di volume	20.00 KN/m ³		Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m
Angolo di attrito del terreno	35.00 °		Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
Coesione	0.00 KN/m ²		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 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	63 KN/m	Vd	3.9 KN/m	Vd	4.1 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272		Vd	52 KN/m	Md	6.8 KNxm/m	Md	7.2 KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274		Md	68 KNxm/m				
Lunghezza cuneo di spinta	2.19 m		SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO			Nd	48 KN/m	Nd	1.2 KN/m	Nd	-1.2 KN/m
Intensità carico	10.00 KN/m ²		Vd	38 KN/m	Vd	2.4 KN/m	Vd	2.3 KN/m
			Md	50 KNxm/m	Md	4.3 KNxm/m	Md	4.1 KNxm/m
CARICHI TESTA MURO					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
Valore del carico Nd	0.0 KN/m				Vd	11.4 KN/m	Vd	10.8 KN/m
Valore del taglioTd	0.0 KN/m				Md	21.5 KNxm/m	Md	20.5 KNxm/m
Valore del momento Md	0.0 KN/m							
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Peso proprio (muro - terreno)	1.30				Vd	1.0 KN/m	Vd	1.0 KN/m
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.50				Md	3.6 KNxm/m	Md	3.4 KNxm/m
					SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
Partecipazione sism. Accidentale	50%				Nd	49 KN/m	Nd	48 KN/m
					Vd	53 KN/m	Vd	52 KN/m
					Md	79 KNxm/m	Md	78 KNxm/m
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA								
Volume terreno su zattera interna	6.65 m ³							
Volume cuneo di spinta	4.59 m ³							
Volume totale di terreno mobilitato	11.24 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 69 di 84

10.3.2 Verifica a flessione del paramento verticale

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con $1\Phi 14/10$ e quella compressa con $1\Phi 14/20$ risulta:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV</u> |
| - $N_d = 63 \text{ kN/m}$ | - $N_d = 48 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 68 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 79 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 334 \text{ kNm/m}$ | - $M_r = 330 \text{ kNm/m}$ |
| - $\gamma_s = 334/68 = 4.91 > 1$ | - $\gamma_s = 330/79 = 4.17 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:


10.3.3 Verifica a taglio del paramento verticale

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$V_r = V_r \min = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 222 \text{ KN}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 540 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.608$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 154)/(1000 \times 540) = 0.00285$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 70 di 84</p>
---	---	--

Il valore del taglio resistente minimo appena calcolato risulta maggiore del seguente valore:

$$- V_r \min > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 220 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 52 \text{ kN/m}$ - $V_r = 222 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 222/52 = 4.26 > 1$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $V_d = 53 \text{ kN/m}$ - $V_r = 222 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 222/53 = 4.19 > 1$
---	---

10.3.4 Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione

Si riportano di seguito le sollecitazioni sulla zattera di fondazione calcolate sull'asse in corrispondenza delle due sezioni a filo muro:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=3.5m

SEZIONE A FILO INTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-33	KN/m	Nd	-34	KN/m	Nd	-33	KN/m	Nd	-24	KN/m
Vd	125	KN/m	Vd	102	KN/m	Vd	98	KN/m	Vd	88	KN/m
Md	79	KNxm/m	Md	90	KNxm/m	Md	89	KNxm/m	Md	58	KNxm/m

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

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.75	m	B'	2.39	m	B'	2.33	m	B'	2.76	m
q_{med}	121	Kpa	q_{med}	104	Kpa	q_{med}	102	Kpa	q_{med}	92	Kpa
q_{max}	242	Kpa	q_{max}	209	Kpa	q_{max}	203	Kpa	q_{max}	183	Kpa
q_{int}	145	Kpa	q_{int}	113	Kpa	q_{int}	107	Kpa	q_{int}	110	Kpa
$q_{med \text{ int}}$	194	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	161	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	155	Kpa	$q_{med \text{ int}}$	147	Kpa

SEZIONE A FILO ESTERNO

SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	9	KN/m	Nd	10	KN/m	Nd	10	KN/m	Nd	7	KN/m
Vd	107	KN/m	Vd	89	KN/m	Vd	86	KN/m	Vd	78	KN/m
Md	33	KNxm/m	Md	28	KNxm/m	Md	27	KNxm/m	Md	24	KNxm/m

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

SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.75	m	B'	2.39	m	B'	2.33	m	B'	2.76	m
q_{med}	121	Kpa	q_{med}	104	Kpa	q_{med}	102	Kpa	q_{med}	92	Kpa
q_{max}	242	Kpa	q_{max}	209	Kpa	q_{max}	203	Kpa	q_{max}	183	Kpa
q_{est}	194	Kpa	q_{est}	161	Kpa	q_{est}	155	Kpa	q_{est}	147	Kpa
$q_{med \text{ est}}$	218	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	185	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	179	Kpa	$q_{med \text{ est}}$	165	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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 71 di 84

10.3.5 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari $1\Phi 16/10$ superiore e $1\Phi 16/20$ inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - <u>SLU</u> | - <u>SLV</u> |
| - $N_d = -33 \text{ kN/m}$ | - $N_d = -34 \text{ kN/m}$ |
| - $M_d = 79 \text{ kNm/m}$ | - $M_d = 90 \text{ kNm/m}$ |
| - $M_r = 478 \text{ kNm}$ | - $M_r = 477 \text{ kNm}$ |
| - $\gamma_s = 478/79 = 6.05 > 1$ | - $\gamma_s = 477/90 = 5.30 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 3.50m - Fondazione 70cm

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	20.11	6
2	10.05	64

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -34 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} 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} -477.4 kNm

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 37.82 ‰
d 64 cm
x 5.422 x/d 0.08471
 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 72 di 84</p>
---	---	--

10.3.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- \mathbf{V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 260 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$, $d = 640 \text{ mm}$, $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.559$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 201)/(1000 \times 640) = 0.0031$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$, $\gamma_c = 1.5$

Il valore del taglio resistente appena calcolato risulta maggiore del seguente valore minimo:

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

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLU</u> - $V_d = 125 \text{ kN/m}$ - $V_r = 260 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 260/125 = \mathbf{2.08 > 1}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>SLV</u> - $V_d = 102 \text{ kN/m}$ - $V_r = 260 \text{ kN/m}$ - $\gamma_s = 260/102 = \mathbf{2.55 > 1}$
--	--



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 73 di 84

10.3.7 Caratteristiche di sollecitazione in fondazione

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

SOTTOVIA BINETTO			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=3.5m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione	3.00	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	1.50	m	Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m
			X _N	2.18 m	X _N	2.18 m	X _N	2.18 m
			Md	32.5 KNxm/m	Md	32.5 KNxm/m	Md	32.5 KNxm/m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
A - Area	3.00	m ² /m	Nd	52.5 KN/m	Nd	52.5 KN/m	Nd	52.5 KN/m
W - Modulo di resistenza	1.50	m ³ /m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
			Nd	133.0 KN/m	Nd	133.0 KN/m	Nd	133.0 KN/m
			X _N	0.95 m	X _N	0.95 m	X _N	0.95 m
			Vd	43.1 KN/m	Vd	43.1 KN/m	Vd	43.1 KN/m
			Md	-12.8 KNxm/m	Md	-12.8 KNxm/m	Md	-12.8 KNxm/m
			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
			Nd	19.0 KN/m	Nd	9.5 KN/m	Nd	9.5 KN/m
			X _N	0.95 m	X _N	0.95 m	X _N	0.95 m
			Vd	10.3 KN/m	Vd	5.1 KN/m	Vd	5.1 KN/m
			Md	11.1 KN/m	Md	5.6 KN/m	Md	5.6 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m	Nd	0.0 KN/m
			X _N	2.18 m	X _N	2.18 m	X _N	2.18 m
			Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
			Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	332 KN/m	Vd	5.5 KN/m	Vd	5.8 KN/m
			Vd	71 KN/m	Md	11.6 KNxm/m	Md	12.2 KNxm/m
			Md	42 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	253 KN/m	Nd	2.5 KN/m	Nd	-2.5 KN/m
			Vd	53 KN/m	Vd	5.1 KN/m	Vd	4.8 KN/m
			Md	31 KNxm/m	Md	7.7 KNxm/m	Md	7.4 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
					Nd	3.3 KN/m	Nd	-3.3 KN/m
					Vd	11.4 KN/m	Vd	10.8 KN/m
					Md	27.7 KNxm/m	Md	29.9 KNxm/m
					FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
					Nd	0.2 KN/m	Nd	-0.2 KN/m
					Vd	1.0 KN/m	Vd	1.0 KN/m
					Md	4.2 KNxm/m	Md	4.3 KNxm/m
					SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
					Nd	249 KN/m	Nd	237 KN/m
					Vd	71 KN/m	Vd	71 KN/m
					Md	76 KNxm/m	Md	79 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 74 di 84

10.3.8 Verifiche geotecniche a scorrimento e ribaltamento

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 BINETTO			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=3.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	29	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	600	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	332	KN/m		249	KN/m		237	KN/m	
Md - Momento flettente	42	KNxm/m		76	KNxm/m		79	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.13	m		0.31	m		0.33	m	
B' - Larghezza ridotta	2.75	m		2.39	m		2.33	m	
q medio (SLU)	121	Mpa		104	Mpa		102	Mpa	
q limite di progetto	600	Mpa		600	Mpa		600	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	4.96	> 1.40	VERIFICA	5.75	> 1.20	VERIFICA	5.91	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	71	KN		71	KN		71	KN	
Azione resistente	184	KN		138	KN		131	KN	
Coefficiente di sicurezza	2.58	> 1.10	VERIFICA	1.94	> 1.00	VERIFICA	1.86	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	111	KNxm		122	KNxm		120	KNxm	
Momento resistente	531	KNxm		420	KNxm		401	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	4.79	> 1.15	VERIFICA	3.45	> 1.00	VERIFICA	3.34	> 1.00	VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.



Ferrovie Appulo Lucane

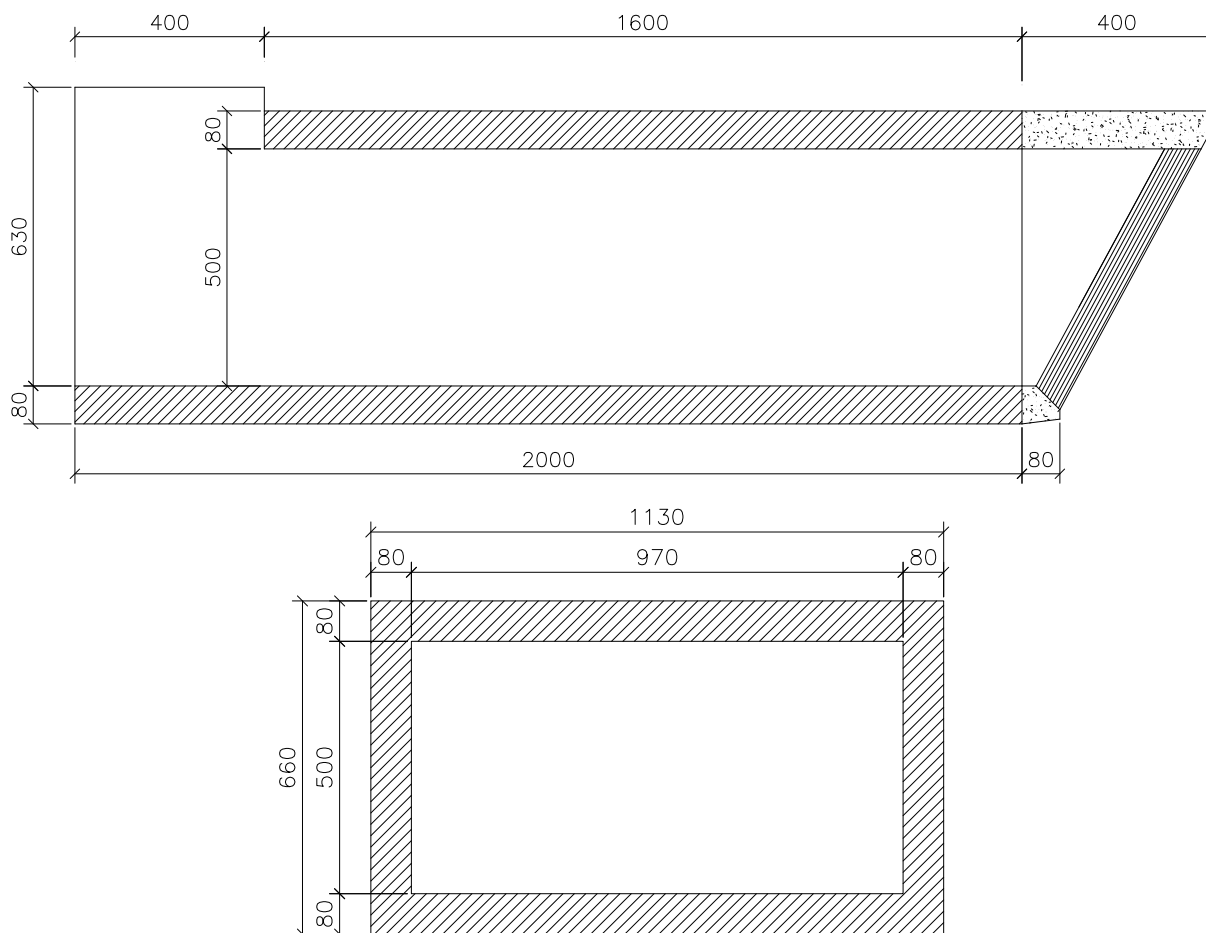
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Sottovia Progr. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 75 di 84

11 VERIFICA DELLE STRUTTURE DI VARO

Per dimensionare le strutture di varo è necessario conoscere il peso dello scatolare



Risulta:

- Fondazione	25x20.80x11.30x0.8	= 4701 kN
- Pareti	2x25x0.8x(6.30x4.00+5.00x16.00+2.40x5.00)	= 4688 kN
- Soletta	25x20x11.30x0.8	= 4520 kN
TOTALE		= 13909 kN

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 76 di 84</p>
---	---	--

11.1 PLATEA DI VARO

La platea di varo riceve la sua massima sollecitazione in corrispondenza della fase iniziale della spinta. In tale circostanza i martinetti devono vincere l'attrito tra lo scatolare e la platea di varo, per il quale si può assumere un valore di primo distacco pari a 1.05.

La forza massima di trazione trasferita dal monolite alla platea di varo risulta pari a:

$$- F_h = 13909 \times 1.05 = 14605 \text{ kN}$$

Tale forza è parzialmente contrastata dall'attrito tra il terreno e la platea di varo, che considerando un angolo di attrito pari 24° , si può assumere pari a 0.445.

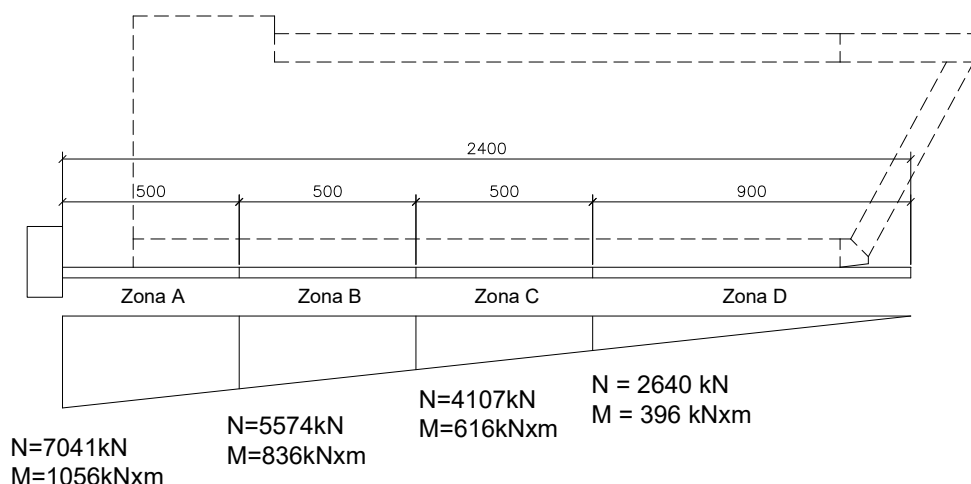
Considerando le dimensioni della platea di varo pari a $24 \times 13.30 \times 0.30$, la forza resistente prodotta dall'attrito sul terreno risulta:

$$- R_h = 0.445 \times (14605 + 25 \times 24 \times 13.30 \times 0.30) = 7564 \text{ kN}$$

La platea di varo è sollecitata da uno stato di tenso flessione che raggiunge il suo massimo nella sezione di incastro con la trave reggispinga, pari a:

$$- N_d = 14605 - 7564 = 7041 \text{ kN}$$

$$- M_d = 7041 \times 0.15 = 1056 \text{ kNm}$$





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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 77 di 84

Verifica della zona A

Armando i primi 5m della platea di varo (zona A) superiormente con $1\Phi 20/20 + 1\Phi 16/20$ e inferiormente con $1\Phi 16/20$, dalla verifica a metro lineare allo stato limite ultimo SLU risulta:

- $N_d = 1.5 \times 7041 / 13.30 = - 794 \text{ kN/m}$
- $M_d = - 794 \times 0.15 = - 119 \text{ kNm/m}$
- $M_r = - 137 \text{ kNm}$
- $\gamma_s = 137 / 119 = \mathbf{1.15 > 1}$

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea di varo (zona A)

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	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	25.76	5
2	10.05	25

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -794 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		C25/30	
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}	14.17
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}	1.029

M_{xRd} -137.1 kNm

σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 19.53 ‰
d 25 cm
x 3.799 x/d 0.152
 δ 0.7



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 78 di 84

Verifica della zona B

Armando i secondi 5m della platea di varo (zona B) con $1\Phi 16/10$ superiore e $1\Phi 16/20$ inferiore, dalla verifica a metro lineare allo stato limite ultimo SLU risulta:

- $N_d = 1.5 \times 5574 / 13.30 = -628 \text{ kN/m}$
- $M_d = -628 \times 0.15 = -94 \text{ kNm/m}$
- $M_r = -109 \text{ kNm}$
- $\gamma_s = 109/94 = 1.16 > 1$

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea di varo (zona B)

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	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.11	5
2	10.05	25

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

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N Ed -628 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 C25/30

Proprietà	B450C	C25/30
ϵ_{su}	67.5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	3.5
E_s	200 000 N/mm²	14.17
E_s/E_c	15	
ϵ_{syd}	1.957 ‰	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0.6
τ_{cl}		1.829

M_{xRd} -109.2 kNm

σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 20.47 ‰
d 25 cm
x 3.65 x/d 0.146
 δ 0.7



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 79 di 84

Verifica della zona C

Armando il terzo tratto da 5m della platea di varo (zona C) superiormente con $1\Phi 16/20 + 1\Phi 12/20$ e inferiormente con $1\Phi 12/20$, dalla verifica a metro lineare allo stato limite ultimo SLU risulta:

- $N_d = 1.5 \times 4107 / 13.30 = -463 \text{ kN/m}$
- $M_d = -463 \times 0.15 = -70 \text{ kNm/m}$
- $M_r = -90 \text{ kNm}$
- $\gamma_s = 90/70 = \mathbf{1.28 > 1}$

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea di varo (zona C)

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	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	5.65	25

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -463 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 sezione
☒ Rettang. re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

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	C25/30
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} 14.17
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} -90.18 kNm

σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 23.66 ‰
d 25 cm
x 3.222 x/d 0.1289
 δ 0.7



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. 19+896.06 - Relazione di calcolo

DAR_3RS007A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 80 di 84

Verifica della zona D

Armando gli ultimi 9 metri della platea di varo (zona D) con $1\Phi 16/20$ superiore e $1\Phi 12/20$ inferiore, dalla verifica a metro lineare allo stato limite ultimo SLU risulta:

- $N_d = 1.5 \times 2640 / 13.30 = -298 \text{ kN/m}$
- $M_d = -298 \times 0.15 = -45 \text{ kNm/m}$
- $M_r = -61 \text{ kNm}$
- $\gamma_s = 61/45 = \mathbf{1.35 > 1}$

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Platea di varo (zona D)

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	30	1	10.05	5
			2	5.65	25

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -298 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	C25/30
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} 14.17
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} -61.03 kNm

σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 28.29 ‰
d 25 cm
x 2.752 x/d 0.1101
 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 81 di 84</p>
---	---	--

11.2 VERIFICA DELLA TRAVE REGGISPINTA

La trave reggispinga riceve la sua massima sollecitazione in corrispondenza delle fasi finali dell'avanzamento, quando il monolite ha superato la platea di varo e risulta minimo il contributo resistente dell'attrito tra la platea ed il terreno.

La forza che si trasmetterà alla trave reggispinga, sarà data dalla somma degli attriti con il terreno che si esercitano all'intradosso della fondazione e sulle pareti laterali, decurtando la resistenza offerta dalla platea di varo.

La valutazione della spinta viene fatta sulla base delle seguenti ipotesi:

- coefficiente di attrito fondazione – terreno 0.8
- coefficiente di attrito pareti laterali – terreno 0.445
- coefficiente di attrito platea di varo – terreno 0.445

La forza di attrito all'intradosso del monolite, conoscendo il peso della struttura, risulta:

- $F1 = 0.8 \times 13909 = 11127 \text{ kN}$

La forza di attrito sulle superfici laterali delle pareti è funzione della pressione media del terreno, che in condizioni di spinta a riposo, può esprimersi pari a:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^2$
- $\varphi = 35^\circ$
- $Ko = 1 - \tan 35^\circ = 0.426$
- $H = 4.00\text{m}$ (distanza del baricentro della parete dal piano campagna)
- $p = 0.426 \times 20 \times 4 = 34 \text{ kN/m}^2$
- $A = 2 \times 20 \times 6.6 = 264\text{m}^2$ superficie delle pareti laterali
- $F2 = 0.445 \times 34 \times 264 = 3994 \text{ kN}$

La forza resistente sulla platea di varo risulta:

- $R = 0.445 \times 25 \times 0.3 \times 13.3 \times 24 = 1065 \text{ kN}$

La forza trasmessa allo stato limite ultimo alla trave reggispinga risulta:

- $F \text{ (SLU)} = (11127 + 3994 - 1065) \times 1.50 = 21084 \text{ kN}$

 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. 19+896.06 - Relazione di calcolo	DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 82 di 84
---	--	---

La resistenza offerta dal terreno viene calcolata considerando un'inclinazione del rilevato a tergo del muro reggispinta pari a circa 29° e un angolo di attrito tra muro e terreno pari cautelativamente a 15°:

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

- $\gamma = 19 \text{ kN/m}^2$
- $\varphi = 35^\circ$
- $i = 29^\circ$
- $\delta = 15^\circ$
- $\beta = 0^\circ$
- $H = 2.00\text{m}$ (distanza del baricentro della parete dal piano campagna)
- $K_p = 73.47$
- $S_p = 0.5 \times 73.47 \times 19 \times 2.0^2 \times 13.3 = 37131 \text{ kN} > 21084 \text{ kN}$
- $\gamma_s = 37131/21084 = \mathbf{1.76 > 1}$

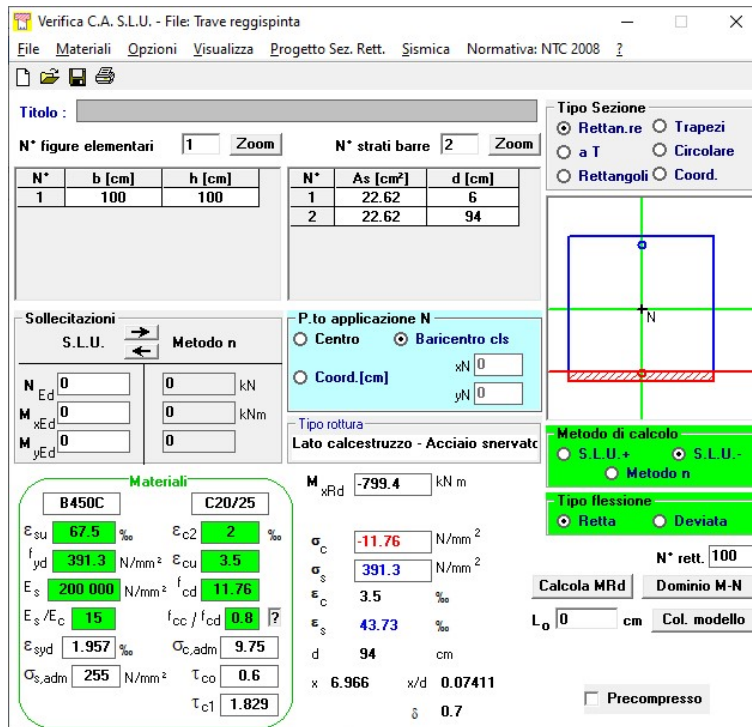
Le sollecitazioni massime trasversali alla trave si verificano in corrispondenza della fascia dei martinetti di spinta, il cui asse è posto a 1.30m dalla testa trave e risultano pari a:

- $V_{\max} = 0.5 \times 73.47 \times 19 \times 1.30^2 = 1180 \text{ kN/m}$
- $M_{\max} = 1180 \times 1.30/3 = 511 \text{ kNm/m}$

Si riporta di seguito la verifica a flessione dell'armatura trasversale della trave reggispinta fatta allo stato limite SLU/SLV:

- | | |
|------------------------------|--|
| - Sezione di calcolo | rettangolare 100x100 |
| - Armatura interna tesa | 5Φ24 |
| - Armatura esterna compressa | 5Φ24 |
| - Copriferro | 5cm |
| - Momento di calcolo | $M_d = 511 \text{ kNm/m}$ |
| - Momento resistente | $M_r = 799 \text{ kNm/m}$ |
| - Coefficiente di sicurezza | $\gamma_s = 799/511 = \mathbf{1.56 > 1}$ |

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



Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave reggispinta

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	100	1	22.62	6
			2	22.62	94

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C20/25

Proprietà	B450C	C20/25
ϵ_{su}	67.5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd} 11.76
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

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

Risultati:
M_{Rd} -799.4 kN m
 σ_c -11.76 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 43.73 ‰
d 94 cm
x 6.966 x/d 0.07411
 δ 0.7


☐ Precompresso

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:

- $V_d = 1180 \text{ KN/m}$
- $V_r = [0.18 \text{ k} (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 940 / 1000 = 281 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 281 / 1180 = \mathbf{0.24} < \mathbf{1}$ **è necessario armare a taglio**

essendo

- $V_{rmin} = (0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 940 / 1000 = 265 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200 / 940)^{0.5} = 1.46$
- $\rho_l = 5 \times 452 / (1000 \times 940) = 0.0024$
- $f_{ck} = 20.8 \text{ Mpa}$

 <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. 19+896.06 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS007A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 84 di 84</p>
---	---	--

Armando la trave reggisplinta a taglio con spille $\Phi 14$ disposte a interasse 40x25cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 1180 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rds}; V_{rzd}) = 1273 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1273/1180 = \mathbf{1.08 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 1273 \text{ KN}$
- $V_{rzd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 1715 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 940 \text{ mm}$
- $b_w = 1000 \text{ mm}$
- $A_{sw}/s = 154/0.4/250 = 1.54$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 90$ ($\cot \alpha = 0$; $\sin \alpha = 1$)
- $\cot \theta = 2.5$
- $\alpha_c = 1$
- $f'_{cd} = 0.5 \times 11.76 = 5.88 \text{ N/mm}^2$