



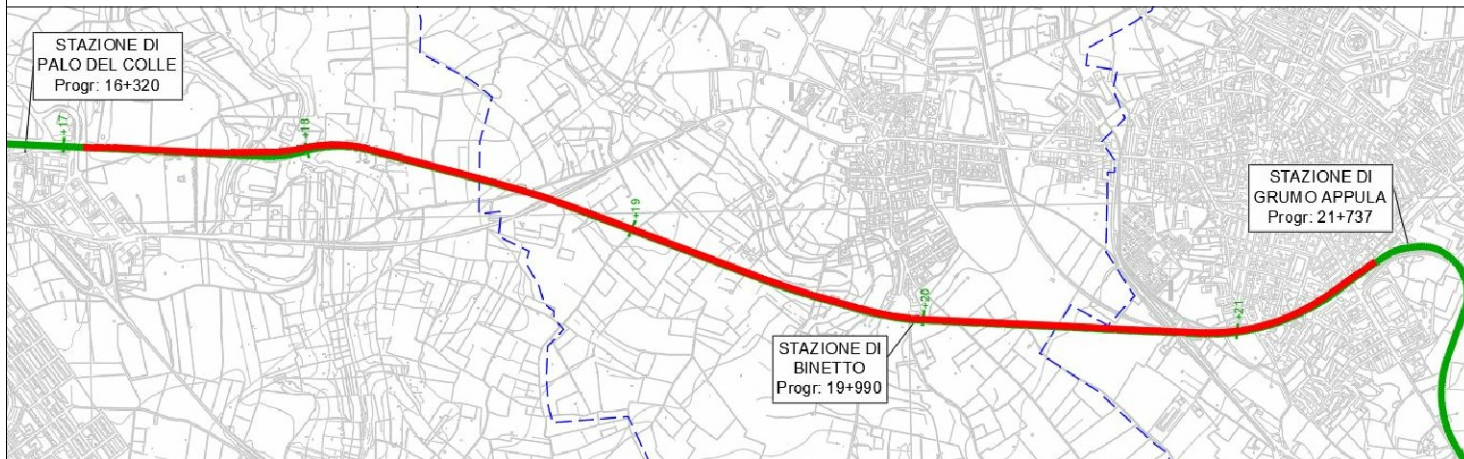
# FERROVIE APPULO LUCANE S.R.L.

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 <b>ST0029</b>		Pratica 18021_DAR	CAVALCAFERROVIA PROGR. 19+328.23			
Scala -		Codifica elaborato DAR_3RS011a	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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 1 di 130</p>
---	--	--

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVE.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>RELAZIONE SUI MATERIALI .....</b>	<b>10</b>
3.1	CALCESTRUZZO .....	10
3.1.1	<i>Calcestruzzo per opere di fondazione ed elevazione (classe C32/40).....</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Copriferro di progetto delle armature .....</i>	<i>13</i>
3.1.3	<i>Magrone di sottofondazione.....</i>	<i>13</i>
3.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO (B450C) .....	14
3.2.1	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo (acciaio B450C).....</i>	<i>15</i>
3.3	ACCIAIO DI CARPENTERIA.....	16
3.4	CONNETTORI A TAGLIO .....	17
3.5	BULLONI .....	17
3.6	SALDATURE .....	18
<b>4</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI.....</b>	<b>19</b>
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE .....	19
4.2	TERRENO A TERGO DELLE SPALLE E DEI MURI DI SOSTEGNO .....	20
4.3	FALDA FREATICA .....	20
<b>5</b>	<b>DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA .....</b>	<b>24</b>
6.1	TIPO DI ANALISI SVOLTA .....	24
6.2	MODELLI DI CALCOLO.....	25

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 2 di 130</p>
---	--	--

6.3	CODICE DI CALCOLO .....	28
6.4	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE SEZIONI .....	29
6.4.1	Travi di bordo .....	30
6.4.2	Trave centrale .....	31
6.4.3	Trasversi.....	32
6.4.4	Soletta .....	32
<b>7</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI (IMPALCATO).....</b>	<b>33</b>
7.1	FASE 1 – PESO PROPRIO (ACCIAIO + SOLETTA).....	33
7.2	FASE 2 – PERMANENTI PORTATI + RITIRO .....	33
7.3	FASE 3 – CARICHI MOBILI .....	35
7.4	AZIONE DEL VENTO .....	37
7.4.1	Velocità di riferimento.....	37
7.4.2	Pressione cinetica di riferimento .....	38
7.4.3	Pressione del vento.....	38
7.4.4	Applicazione del carico .....	42
7.5	AZIONE DELLA TEMPERATURA .....	42
7.6	AZIONE DI FRENATURA.....	42
7.7	AZIONE SISMICA .....	43
7.8	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO .....	44
<b>8</b>	<b>VERIFICA DELLA SOLETTA .....</b>	<b>45</b>
8.1	ANALISI DELLO SBALZO (URTO).....	45
8.2	ANALISI DELLO SBALZO (SLU) .....	47
8.3	ANALISI DELLA SOLETTA IN CAMPATA .....	50
<b>9</b>	<b>VERIFICA DELLE TRAVI .....</b>	<b>52</b>
9.1	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE.....	52
9.1.1	Momento flettente (KNxm) .....	52
9.1.2	Taglio (KN) .....	53
9.2	SEZIONE ALL'APPOGGIO .....	53
9.3	SEZIONE DI GIUNTO .....	54
9.4	SEZIONE IN MEZZERIA .....	55
9.5	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI VERTICALI.....	56


 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 3 di 130</p>
---	--	--

<b>10</b>	<b>VERIFICA DEI CONNETTORI A TAGLIO .....</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>APPARECCHI DI APPOGGIO E GIUNTI DI DILATAZIONE .....</b>	<b>58</b>
11.1	APPOGGI .....	58
11.1.1	<i>Stato limite SLU .....</i>	<i>59</i>
11.1.2	<i>Stato limite SLV .....</i>	<i>60</i>
11.2	GIUNTI .....	61
<b>12</b>	<b>VERIFICA DEI TRASVERSI HEB500 .....</b>	<b>62</b>
<b>13</b>	<b>VERIFICA DELLE SPALLE .....</b>	<b>63</b>
13.1	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE ALLO SPICCATO DEL PARAGHIAIA .....	65
13.2	VERIFICA DEL PARAGHIAIA.....	66
13.2.1	<i>Verifica a flessione .....</i>	<i>66</i>
13.2.2	<i>Verifica a taglio .....</i>	<i>67</i>
13.3	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE ALLO SPICCATO DEL PARAMENTO VERTICALE ..	68
13.4	VERIFICA DEL PARAMENTO VERTICALE .....	69
13.4.1	<i>Verifica a flessione .....</i>	<i>69</i>
13.4.2	<i>Verifica a taglio .....</i>	<i>70</i>
13.5	VERIFICA DELLA FONDAZIONE.....	71
13.5.1	<i>Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....</i>	<i>71</i>
13.5.2	<i>Verifica a flessione della fondazione (filo interno) .....</i>	<i>72</i>
13.5.3	<i>Verifica a taglio della fondazione (filo interno) .....</i>	<i>73</i>
13.5.4	<i>Verifica a flessione della fondazione (filo esterno) .....</i>	<i>74</i>
13.5.5	<i>Verifica a taglio della fondazione (filo esterno) .....</i>	<i>75</i>
13.6	CARICHI A INTRADOSSO FONDAZIONE .....	76
13.7	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	77
<b>14</b>	<b>VERIFICA DEI MURI.....</b>	<b>78</b>
14.1	MURO $6.50M < H \leq 7.50M$ .....	78
14.1.1	<i>Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato .....</i>	<i>79</i>
14.1.2	<i>Verifica a flessione del muro.....</i>	<i>80</i>
14.1.3	<i>Verifica a taglio del muro .....</i>	<i>81</i>
14.1.4	<i>Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....</i>	<i>82</i>
14.1.5	<i>Verifica a flessione della fondazione .....</i>	<i>83</i>



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b> C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 4 di 130</p>
---	---	--

14.1.6	Verifica a taglio della fondazione .....	84
14.1.7	Carichi a intradosso fondazione .....	85
14.1.8	Verifiche geotecniche.....	86
14.2	MURO 5.50M < H ≤ 6.50M.....	87
14.2.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato .....	88
14.2.2	Verifica a flessione del muro.....	89
14.2.3	Verifica a taglio del muro .....	90
14.2.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....	91
14.2.5	Verifica a flessione della fondazione .....	92
14.2.6	Verifica a taglio della fondazione .....	93
14.2.7	Carichi a intradosso fondazione .....	94
14.2.8	Verifiche geotecniche.....	95
14.3	MURO 4.50M < H ≤ 5.50M.....	96
14.3.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato .....	97
14.3.2	Verifica a flessione del muro.....	98
14.3.3	Verifica a taglio del muro .....	99
14.3.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....	99
14.3.5	Verifica a flessione della fondazione .....	100
14.3.6	Verifica a taglio della fondazione .....	101
14.3.7	Carichi a intradosso fondazione .....	103
14.3.8	Verifiche geotecniche.....	104
14.4	MURO 3.50M < H ≤ 4.50M.....	105
14.4.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato .....	106
14.4.2	Verifica a flessione del paramento verticale .....	107
14.4.3	Verifica a taglio del paramento verticale.....	108
14.4.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....	108
14.4.5	Verifica a flessione della fondazione .....	109
14.4.6	Verifica a taglio della fondazione .....	110
14.4.7	Carichi a intradosso fondazione .....	112
14.4.8	Verifiche geotecniche.....	113
14.5	MURO 2.50M < H ≤ 3.50M.....	114
14.5.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato .....	115
14.5.2	Verifica a flessione del paramento verticale .....	116
14.5.3	Verifica a taglio del paramento verticale.....	117
14.5.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....	117

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b> C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 5 di 130</p>
---	---	--

14.5.5	Verifica a flessione della fondazione .....	118
14.5.6	Verifica a taglio della fondazione .....	119
14.5.7	Carichi a intradosso fondazione .....	121
14.5.8	Verifiche geotecniche.....	122
14.6	MURO $H \leq 2.50M$ .....	123
14.6.1	Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato .....	124
14.6.2	Verifica a flessione del paramento verticale .....	125
14.6.3	Verifica a taglio del paramento verticale.....	126
14.6.4	Caratteristiche di sollecitazione sulla zattera di fondazione .....	126
14.6.5	Verifica a flessione della fondazione .....	127
14.6.6	Verifica a taglio della fondazione .....	128
14.6.7	Carichi a intradosso fondazione .....	129
14.6.8	Verifiche geotecniche.....	130



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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

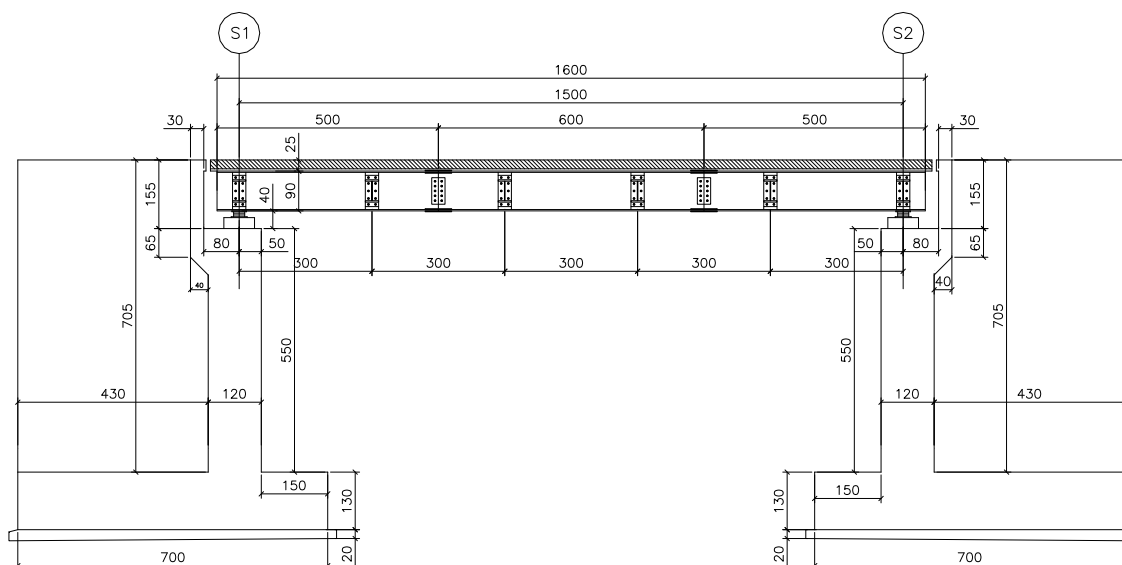
DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 6 di 130

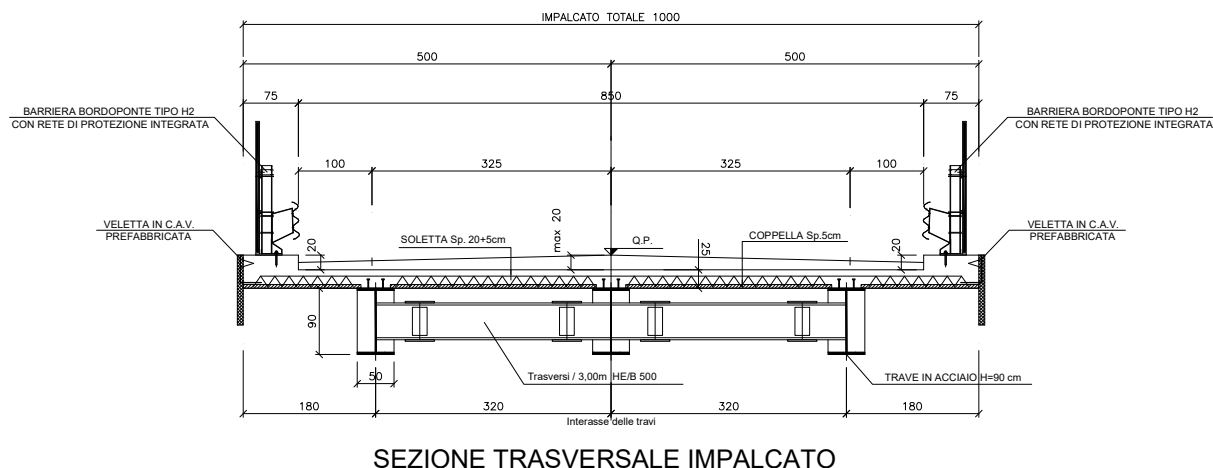
## 1 PREMESSA

Il presente documento riporta la relazione di calcolo strutturale del progetto definitivo del Cavalcaferrovia da realizzare al km19+328.23 dell'intervento di raddoppio della linea delle Ferrovie Appulo Lucane compresa tra la stazione di Palo del Colle e quella di Grumo Appula. L'opera è caratterizzata da un impalcato metallico costituito da 3 travi composte saldate di altezza 90cm, disposte ad interasse di 3.20m, appoggiate su 2 spalle in cemento armate su una luce di calcolo di 15m. Le travi, collegate trasversalmente da 6 trasversi HEB500, sorreggono una soletta in cemento armato di spessore 25cm (5+20) e larghezza totale 10m. L'impalcato sarà appoggiato alle spalle su appoggi a disco elastomerico confinato. Le spalle, geometricamente uguali, sono caratterizzate da un paraghiaia di altezza 1.55m e spessore 30cm, un paramento verticale di altezza 5.50m e spessore 1.20m e da una fondazione diretta di larghezza 7.00m e spessore 1.30m. Si riporta di seguito lo schema analizzato nella presente relazione:



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 7 di 130</p>
---	--	--

Si riporta di seguito la sezione trasversale dell'impalcato:



La presente relazione riporta anche i calcoli delle diverse tipologie dei muri di sostegno, inseriti nel progetto, caratterizzati da altezze e geometrie diverse:

- Muro  $6.50\text{m} < H \leq 7.50\text{m}$
- Muro  $5.50\text{m} < H \leq 6.50\text{m}$
- Muro  $4.50\text{m} < H \leq 5.50\text{m}$
- Muro  $3.50\text{m} < H \leq 4.50\text{m}$
- Muro  $2.50\text{m} < H \leq 3.50\text{m}$
- Muro  $H \leq 2.50\text{m}$

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  $\gamma_F$  quelli riportati nella colonna "A1 STR" della tabella 5.1.V del decreto e come coefficienti parziali  $\gamma_M$  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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 8 di 130</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)**

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 9 di 130</p>
---	--	--

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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 10 di 130</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 SO<sub>3</sub> da determinarsi con la procedura prevista dalla UNI-EN 1744-1 punto 12) dovrà risultare inferiore allo 0.2% sulla massa dell'aggregato indipendentemente se l'aggregato è grosso oppure fine (aggregati con classe di contenuto di solfati AS0,2); - il contenuto totale di zolfo (da determinarsi con UNI-EN 1744-1 punto 11) dovrà risultare inferiore allo 0.1%; - non dovranno contenere forme di silice amorfa alcali-reattiva o in alternativa dovranno evidenziare espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 11 di 130
---	---	--

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

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

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

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

Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:

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

### **Acque di impasto**

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

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

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 12 di 130
---	---	--


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

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche e di calcolo relative al calcestruzzo di classe C32/40 previsto per il progetto delle opere di fondazione ed elevazione, inclusa la soletta d'impalcato:

#### Calcestruzzo per opere di fondazione ed elevazione (inclusa soletta d'impalcato) 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	
$\rho$	25 kN/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	
Classe e tipo di cemento	42.5	Conforme alla UNI EN 197-1
$\gamma_c$	1,5	Coefficiente di sicurezza
$\alpha_{cc}$	0,85	Coeff. Per resistenza a lunga durata
$\nu$	0,2	Coefficiente di Poisson
$\varepsilon_{c2}$	0,2%	Allungamento al limite elastico
$\varepsilon_{cu}$	0,35%	Allungamento a rottura
$\alpha$	0,00001 C <sup>-1</sup>	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	$f_{ctm} = 1.2f_{ctm} = 3.72 \text{ MPa}$
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	$f_{cd} = 0.85f_{ck}/1.5 = 18.81 \text{ MPa}$
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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 13 di 130
---	---	--

### 3.1.2 Copriferro di progetto delle armature

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

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

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

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

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

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

### 3.1.3 Magrone di sottofondazione

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

- cemento 42.5R                      dosato a 150Kg/m<sup>3</sup>
- 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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 14 di 130
---	---	--

### 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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 15 di 130
---	---	--

### 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 in progetto:

#### Acciaio per c.a. B450C

Classe di resistenza	B450C	<i>Tipo di acciaio per c.a.</i>
$\rho$	78.50 KN/m <sup>3</sup>	<i>Peso specifico</i>
Modulo elastico	210000 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo di Young</i>
$\gamma_s$	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 <sub>nom</sub> ) caratteristico (10%)	$(fy/fy_{nom})_k \leq 1.25$
Allungamento (Agt) caratteristico (10%)	$(Agt)_k \geq 7.5\%$
Tensione di calcolo a snervamento	$f_{yd} = 450/1.15 = 391\ Mpa$



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 16 di 130</p>
---	--	---


### 3.3 Acciaio di carpenteria

Per la realizzazione delle strutture metalliche di impalcato si dovrà utilizzare un acciaio Corten non verniciato avente le seguenti caratteristiche (UNI EN 10025-5):

- Elementi in acciaio saldati di spessore  $s \leq 40\text{mm}$  S355J2
- Elementi non saldati e coprigiunti S355J0

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio risultano:

- Resistenza nominale a rottura ( $t \leq 40\text{mm}$ )  $R_m = 510 \text{ MPa}$
- Resistenza nominale a snervamento ( $t \leq 40\text{mm}$ )  $R_{eH} = 355 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica a rottura  $f_{tk} = 510 \text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo delle sezioni (1-2-3-4)  **$f_{yd} = 338 \text{ Mpa}$**
  
- Modulo elastico  $E = 210000 \text{ Mpa}$
- Modulo di elasticità trasversale  $G = 80769 \text{ Mpa}$
- Coefficiente di espansione termica lineare  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- Peso di volume  $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 17 di 130</p>
---	--	---

### 3.4 Connettori a taglio

I connettori a taglio per il collegamento tra le travi metalliche e la soletta in c.a. saranno conformi alla norma UNI EN ISO 13918 ed avranno le seguenti caratteristiche:

- Pioli tipo Nelson  $2\Phi 19/20$ ,  $H=175\text{mm}$
- Acciaio S235J2G3+C450 (ex ST37-3K)
- $f_y > 350\text{ Mpa}$
- $f_u > 450\text{ Mpa}$
- Allungamento  $> 15\%$
- Strizione  $> 50\%$

### 3.5 Bulloni

I bulloni della carpenteria metallica d'impalcato, dovranno essere di tipo "non precaricato" ("non a serraggio controllato") e rispondere al punto A del paragrafo 11.1 delle NTC2018 in conformità alla norma europea armonizzata UNI EN 15048-1.

Con riferimento alla UNI EN 15048-1 i bulloni dovranno essere formati da:

- Vite classe 8.8 (UNI EN ISO 898-1:2013)
- Dado classe 8 (UNI EN 898-2:2012)
- Rosette durezza minima 100 HV (UNI EN 14399-5,6)

I bulloni disposti verticalmente avranno la testa della vite rivolta verso l'alto e il dado rivolto verso il basso. I bulloni dovranno essere montati con una rosetta sotto la testa della vite e una sotto il dado. I fori dovranno avere diametro uguale a quello del bullone maggiorato di 1mm per diametri fino a 20mm, e maggiorato di 1.5mm per diametri superiori.

Le caratteristiche meccaniche del bullone (cl.8.8) risultano:

- Resistenza caratteristica a rottura  $f_{tb} = 800\text{ MPa}$
- Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} = 640\text{ MPa}$

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 18 di 130</p>
---	--	---

### 3.6 Saldature

Le saldature dovranno essere realizzate con procedimenti ad arco elettrico secondo UNI EN ISO 4063:2011 di tipo preferibilmente automatico o robotizzato in officina.

Gli operatori dei procedimenti automatici dovranno essere certificati secondo UNI EN ISO 14732:2013. Per i procedimenti semiautomatici o manuali i saldatori dovranno essere qualificati secondo UNI EN ISO 9606-1:2017

Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati mediante WPQR (qualifica del processo di saldatura) secondo UNI EN ISO 15614-1:2017

Per la saldatura ad arco di prigionieri, da utilizzare per i chiodi Nelson, si applica la UNI EN ISO 14555:2017.

Le durezze eseguite sulle macrografie non dovranno essere superiori a 350 HV30.

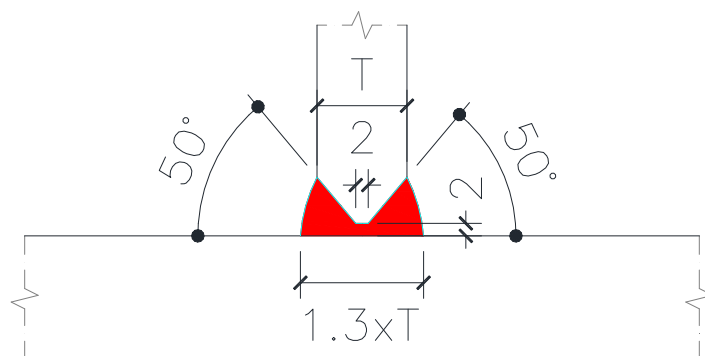
Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base.

Dovranno essere rispettate le norme UNI EN 1011-1:2009 e UNI EN 1011-2:2005 per gli acciai ferritici e UNI EN 1011-3:2005 per gli acciai inossidabili.

Per la preparazione dei lembi si applicherà la UNI EN ISO 9692-1:2013

Per i controlli da eseguire sulle saldature, si rimanda al paragrafo 11.3.4.5 del D.M. 17/01/2018 e al capitolato speciale d'appalto.

Si riporta di seguito il dettaglio delle saldature a completa penetrazione da adottare per le strutture in oggetto:



essendo "T" lo spessore minimo dei lembi da saldare, preparati a "K".

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 19 di 130</p>
---	--	---

## 4 PARAMETRI GEOTECNICI

### 4.1 Terreno di fondazione

Le indagini svolte nella zona d'intervento (n.2 sondaggi a carotaggio continuo S4\_1, S4\_2, n.1 prospezione sismica MASW M4\_1, analisi di laboratorio sui campioni prelevati), descritte nella relazione geologica, hanno permesso di accertare la presenza in sito di una sola *“unità geotecnica principale”*:

- *un unico livello Ca2 (da 0.00m sino alla profondità d'interesse) costituito da un calcare fratturato, carsificato, con possibile sacche di forte alterazione ( $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ )*

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


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

Ai fini delle verifiche geotecniche di scorrimento delle spalle del cavalcaferrovia e dei muri di sostegno, si assumono per il terreno di fondazione, le seguenti caratteristiche geotecniche riportate dalla relazione geologica:

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

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

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

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 20 di 130</p>
---	--	---

## 4.2 Terreno a tergo delle spalle e dei muri di sostegno

Il terreno a tergo delle spalle del cavalcaferrovia e dei muri di sostegno, 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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 21 di 130
---	---	--

## 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 = 16,7052°

Latitudine Nord = 41,0294°

### Stati limite analizzati

SLC	Stato limite ultimo di prevenzione del collasso (SLC)
<b>SLV</b>	<b>Stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)</b>
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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 22 di 130</p>
---	--	---

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

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 - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="90"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="151"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1424"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

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**

**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 23 di 130

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

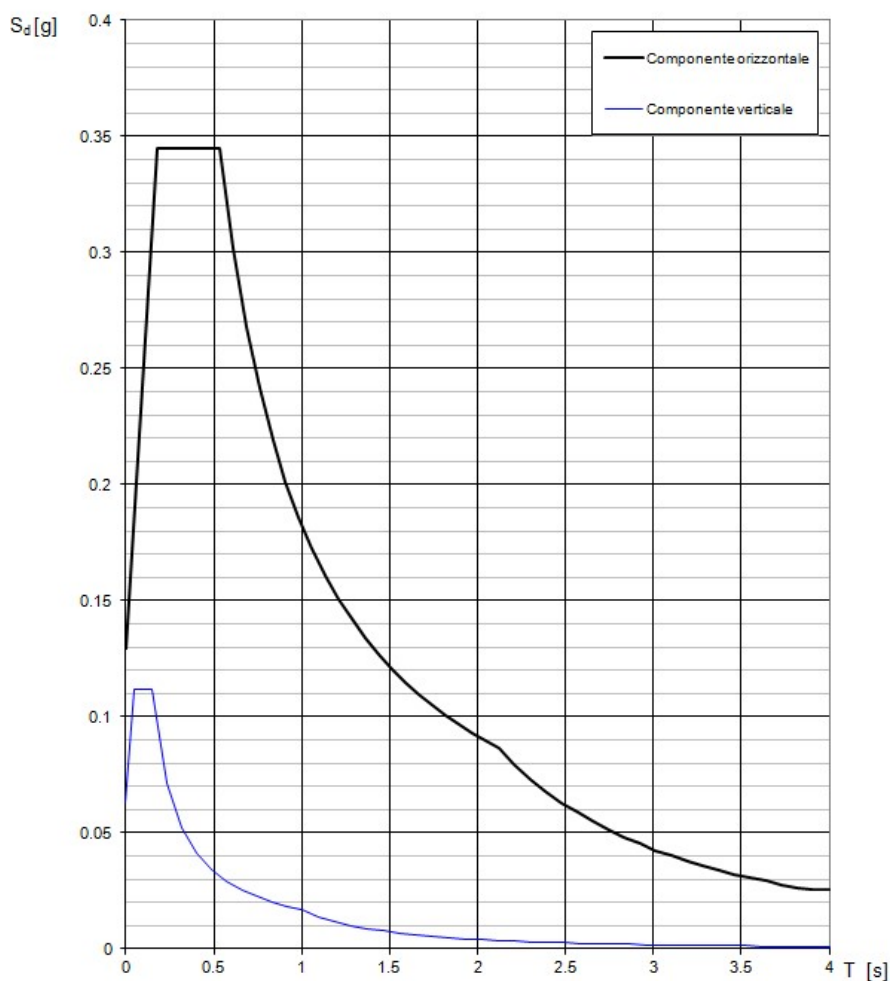
**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.130 g
$F_0$	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
$\eta$	1.000
$T_B$	0.177 s
$T_C$	0.530 s
$T_D$	2.119 s

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



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 24 di 130
---	---	--

## 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 (vento per l'impalcato o spinta statica delle terre per i muri di sostegno) e termici (per l'impalcato), 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 svolta un'analisi sismica di tipo statico lineare con spettro di risposta elastico con il quale è stato possibile analizzare l'involuppo delle seguenti combinazioni di carico:

- Combinazioni allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV

Come sarà illustrato in seguito, l'analisi sismica è stata eseguita secondo le prescrizioni di legge in campo elastico assumendo un fattore di struttura di valore unitario.

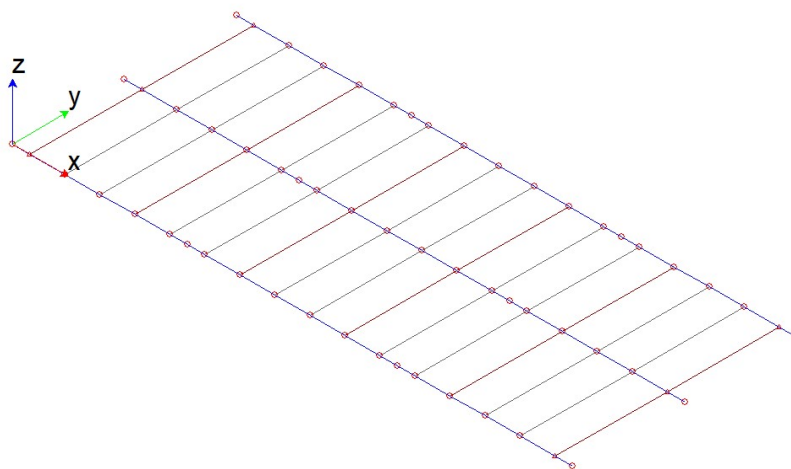
 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 25 di 130
---	---	--

## 6.2 Modelli di calcolo

L'analisi statica dell'impalcato è stata eseguita per mezzo di tre modelli di calcolo piani agli elementi finiti (monodimensionali) realizzati e risolti con l'ausilio del codice di calcolo WinStrand della En.Ex.Sys. S.r.l.

I tre modelli uguali nella geometria, si distinguono per le proprietà meccaniche delle sezioni di calcolo delle travi relative per ciascun modello alla fase di carico corrispondente. In particolare il primo modello schematizza il comportamento dell'impalcato nella prima fase di carico corrispondente all'azione dei pesi propri della struttura metallica e della soletta in fase di getto. In tale modello le caratteristiche meccaniche delle travi vengono calcolate senza considerare il contributo della soletta.

Il secondo modello schematizza il comportamento dell'impalcato nella seconda fase di carico corrispondente all'azione del ritiro e dei sovraccarichi permanenti (finiture) per i quali la soletta subisce delle deformazioni di tipo viscoso. In tale modello sempre a momento positivo, le caratteristiche meccaniche delle travi sono calcolate considerando il contributo della soletta, riducendone però il modulo elastico per tenere conto della viscosità. Il terzo modello schematizza il comportamento dell'impalcato nella terza fase di carico corrispondente all'azione dei carichi di breve durata, come ad esempio i sovraccarichi stradali, l'azione del vento e le variazioni termiche. In tale modello le caratteristiche meccaniche delle travi sono calcolate considerando l'effettivo contributo della soletta (senza riduzione del modulo elastico).



Modello di terza fase

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 26 di 130</p>
---	--	---

Il terreno a tergo delle spalle, così come quello a tergo dei muri, è stato considerato sempre in condizione di spinta attiva sia in esercizio che 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

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

Le forze sismiche d'inerzia agenti sulle spalle del cavalcaferrovia, sono state calcolate senza alcuna riduzione adottando un coefficiente  $\beta_m$  di valore unitario. Si riportano di seguito i parametri geotecnici considerati nell'analisi sismica delle spalle:

PARAMETRI SISMICI		TERRENO	
Accelerazione $a_g$ (SLV)	0.130 g	Peso di volume	20.00 kN/m3
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Angolo di attrito del terreno	35.00 °
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	1.00	Coesione	0.00 kN/m2
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
		Lunghezza cuneo di spinta	4.35 m

Le verifiche dei muri sono state eseguite analizzando differenti tipologie di sezione trasversale, caratterizzate da paramenti di altezza differente pari a 7.50, 6.50, 5.50, 4.50, 3.50 e 2.50m. 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:

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 27 di 130</p>
---	--	---

PARAMETRI SISMICI	0.130 g	TERRENO	20.00 KN/m3
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Peso di volume	20.00 KN/m3
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Angolo di attrito del terreno	35.00 °
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	0.38	Coesione	0.00 KN/m2
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °
Coefficiente sismico verticale ( $\pm$ )	0.025	Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244
		Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272
		Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274

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

La prima combinazione relativa allo stato limite ultimo SLU, considera le azioni del peso proprio, della spinta statica del terreno considerato in condizioni attive, e la spinta statica del sovraccarico stradale di 600kN ripartito su una superficie rettangolare di dimensioni 3.0x2.20m come indicato dal paragrafo 5.1.3.3.5.1 della C.M.21/01/2019. Tali carichi sono opportunamente incrementati con i coefficienti parziali  $\gamma$  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 al sovraccarico stradale a tergo ridotto al 20%, 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  $\beta_m$  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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 28 di 130
---	---	--

### 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.

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 29 di 130</p>
---	--	---

#### 6.4 Caratteristiche geometriche delle sezioni

L'analisi delle caratteristiche di sollecitazione viene fatta analizzando separatamente 3 differenti fasi di carico.

La prima è la fase di getto della soletta, in cui si considera solo il contributo delle travi in acciaio (si considera nullo il modulo elastico del calcestruzzo). Il coefficiente di omogeneizzazione, pari al rapporto tra il modulo elastico dell'acciaio e quello del calcestruzzo, per i carichi di prima fase risulta pertanto infinito:

- $n_1 = \text{infinito}$

La seconda fase di carico è relativa all'applicazione dei sovraccarichi permanenti, dovuti alla pavimentazione, ai cordoli, alle finiture (barriere e parapetti) e al fenomeno del ritiro. Per tali carichi tenendo conto della viscosità del calcestruzzo, il modulo elastico viene ridotto considerando un'umidità relativa del 55% e un tempo iniziale di messa in carico di 7 giorni:

- $E^*_c = E_c / (1 + \Phi) = 33643 / 3.94 = 8539 \text{ MPa}$

essendo

$$h_o = 2A_c / u = 2 \times 10000 \times 200 / (10000 + 2 \times 200) = 385 \text{ mm}$$

$$\Phi (7 \text{ giorni}) = 3.00 - 0.2 \times 85 / 300 = 2.94$$

Il coefficiente di omogeneizzazione per i carichi di seconda fase risulta pertanto pari a:

- $n_2 = 210000 / 8539 = 24.6$

La terza fase di carico è relativa all'applicazione dei sovraccarichi accidentali e alle variazioni termiche differenziali tra soletta e impalcato ( $DT=10^\circ\text{C}$ ). Il coefficiente di omogeneizzazione risulta:

- $n_3 = 210000 / 33643 = 6.2$



Ferrovie Appulo Lucane

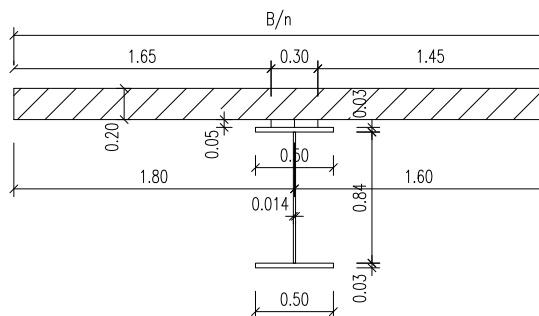
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -  
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA  
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 30 di 130

#### 6.4.1 Travi di bordo

Per le travi di bordo dell'impalcato, si considera la seguente schematizzazione:



dove

$$b = b_o + b_{e1} + b_{e2} = 0.30 + 1.65 + 1.45 = 3.40\text{m}$$

essendo

$$b_o = 0.80\text{m} \quad (\text{distanza assi connettori})$$

$$b_{e1} = \min (L_e/8; b_i - b_o/2) = \min (15/8, 1.65) = 1.65\text{m}$$

$$b_{e2} = \min (L_e/8; b_i - b_o/2) = \min (15/8, 1.45) = 1.45\text{m}$$

con

$$L_e = 15\text{m}$$

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche e meccaniche delle travi di bordo:

n	inf	24.6	6.2
A (m <sup>2</sup> )	0.0418	0.0694	0.1507
Y <sub>s</sub> (m)	0.450	0.461	0.266
Y <sub>i</sub> (m)	0.450	0.689	0.884
J (m <sup>4</sup> )	0.00637	0.0125	0.0176
W <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> )	/	0.02701	0.06610
W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0.01416	0.05901	1.08216
W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0.01416	0.01807	0.01992

L'inerzia orizzontale delle travi di bordo sarà pari a:

- Jo (fase 1) =  $2 \times 0.03 \times 0.50^3 / 12 = 0.000625 \text{ m}^4$
- Jo (fase 2) =  $[(0.20/24.6) \times 10.0^3 / 12] \times 3.4 / 10.0 = 0.2303 \text{ m}^4$
- Jo (fase 3) =  $[(0.20/6.2) \times 10.0^3 / 12] \times 3.4 / 10.0 = 0.9140 \text{ m}^4$



Ferrovie Appulo Lucane

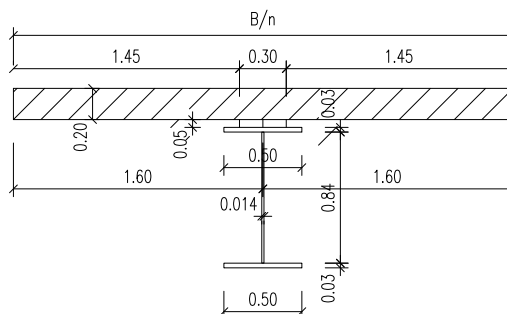
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -  
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA  
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 31 di 130

#### 6.4.2 Trave centrale

Per la trave centrale dell'impalcato, si considera la seguente schematizzazione:



dove

$$b = b_o + b_{e1} + b_{e2} = 0.30 + 1.45 + 1.45 = 3.20\text{m}$$

essendo

$$b_o = 0.80\text{m} \quad (\text{distanza assi connettori})$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \min (L_e/8; b_i - b_o/2) = \min (15/8, 1.45) = 1.45\text{m}$$

con

$$L_e = 15\text{m}$$

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche e meccaniche della trave centrale:

n	inf	24.6	6.2
A (m <sup>2</sup> )	0.0418	0.0678	0.1443
Y <sub>s</sub> (m)	0.450	0.470	0.274
Y <sub>i</sub> (m)	0.450	0.680	0.876
J (m <sup>4</sup> )	0.00637	0.0122	0.0174
W <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> )	/	0.02604	0.06357
W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0.01416	0.05567	0.73554
W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0.01416	0.01797	0.01985

L'inerzia orizzontale delle travi di bordo sarà pari a:

- Jo (fase 1) =  $2 \times 0.03 \times 0.50^3 / 12 = 0.000625 \text{ m}^4$
- Jo (fase 2) =  $[(0.20/24.6) \times 10.0^3 / 12] \times 3.2 / 10.0 = 0.2168 \text{ m}^4$
- Jo (fase 3) =  $[(0.20/6.2) \times 10.0^3 / 12] \times 3.2 / 10.0 = 0.8602 \text{ m}^4$

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 32 di 130</p>
---	--	---

### 6.4.3 Trasversi

I trasversi sono modellati per mezzo di elementi in acciaio tessuti tra le travi che comprendono oltre al profilo (HEB500) anche una fascia di soletta di larghezza 1m.

Il distacco tra soletta e trasverso rende i 2 elementi funzionanti in parallelo per quanto riguarda la rigidezza verticale e lo sforzo assiale.

I trasversi saranno pertanto schematizzati con elementi in acciaio caratterizzati da:

Fase 1

- $A = 239 \text{ cm}^2$
- $I_x = 107200 \text{ cm}^4$
- $I_y = 12620 \text{ cm}^4$

Fase 2

- $A = 239 + 100 \times 20 / 24.6 = 320 \text{ cm}^2$
- $I_x = 107200 + 100 \times 20^3 / (12 \times 24.6) = 107200 + 2710 = 109910 \text{ cm}^4$
- $I_y = 50 \text{ cm}^4$  (valore trascurabile)

Fase 3

- $A = 239 + 100 \times 20 / 6.2 = 562 \text{ cm}^2$
- $I_x = 107200 + 100 \times 20^3 / (12 \times 6.2) = 107200 + 10752 = 117952 \text{ cm}^4$
- $I_y = 50 \text{ cm}^4$  (valore trascurabile)

### 6.4.4 Soletta

La soletta sarà modellata in seconda e terza fase per mezzo di elementi di acciaio tessuti tra le travi, disposti ad interasse di 1m, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Fase 2

- $A = 100 \times 20 / 24.6 = 81 \text{ cm}^2$
- $I_x = 100 \times 20^3 / (12 \times 24.6) = 2710 \text{ cm}^4$
- $I_y = 50 \text{ cm}^4$  (valore trascurabile)

Fase 3

- $A = 100 \times 20 / 6.2 = 323 \text{ cm}^2$
- $I_x = 100 \times 20^3 / (12 \times 6.2) = 10752 \text{ cm}^4$
- $I_y = 50 \text{ cm}^4$  (valore trascurabile)

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 33 di 130
---	---	--

## 7 ANALISI DEI CARICHI (IMPALCATO)

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 Fase 1 – Peso proprio (acciaio + soletta)

Il peso della struttura metallica dell'impalcato, pari a circa 160 kg/m<sup>2</sup>, viene applicato in automatico dal programma di calcolo ai profili del modello, in funzione della sezione geometrica degli elementi e del peso di volume dell'acciaio ( $\gamma_s=78.5$  kN/m<sup>3</sup>):

- gk travi (acciaio) =  $78.5 \times 418 \times 10^{-4} = 3.28$  kN/m
- gk trasversi (acciaio) =  $78.5 \times 239 \times 10^{-4} = 1.88$  kN/m

Per tenere in considerazione il peso delle bullonature e del piastrame, il carico viene incrementato di un 10%.

Il peso della soletta da 20cm gettata su lastre prefabbricate da 5cm, pari a 62.5 kN/m, viene applicato in funzione delle reazioni trasferite alle travi secondo lo schema di trave appoggiata di luce 3.20 con sbalzo da 1.80:

- gk travi perimetrali (soletta) =  $25 \times 0.25 \times (1.80 + 3.20/2) \times 1.15 = 24.4$  kN/m
- gk trave centrale (soletta) =  $25 \times 0.25 \times 10 - 2 \times 24.4 = 13.7$  kN/m

### 7.2 Fase 2 – Permanenti portati + ritiro

Il peso complessivo dei carichi di seconda fase risulta pari a:

Cordoli	$2 \times 25 \times 0.75 \times 0.20$	=	7,50	KN/m
Pavimentazione	$0.5 \times (0.10 + 0.20) \times 21 \times 8.50$	=	26,78	KN/m
Barriere	$2 \times 1.0$	=	2,00	KN/m
Velette in c.a.v.	$2 \times 2.00$	=	<u>4,00</u>	KN/m
			40,28	KN/m

Tale carico viene applicato alle travi in funzione delle reazioni trasferite da uno schema di calcolo a trave continua su 2 campate di luce 3.20 con 2 sbalzi da 1.80:

- gk travi perimetrali (permanenti) = 18.31 kN/m
- gk trave centrale (permanenti) = 3.65 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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 34 di 130
---	---	--

Le azioni indotte dal ritiro vengono calcolate considerando un'umidità relativa del 55%:

$$N = \sigma_{cs} \times A_s = - 2.73 \times 10000 \times 200 / 1000 = 5460 \text{ KN}$$

essendo

$$\sigma_{cs} = \epsilon_{cs} \times E^*c = - 2.73 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = - 0.320 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{cd} = K_h \times \epsilon_{co} = - 0.262 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{co} = - (0.275 + 0.24 \times 7 / 20) = - 0.359$$

$$K_h = 0.75 - 0.05 \times 85 / 200 = 0.729 \quad (h_o = 385 \text{ mm})$$

$$\epsilon_{ca} = - 2.5 \times (33.2 - 10) \times 10^{-6} \times 1000 = - 0.058 \text{ ‰}$$

$$E^*c = 8539 \text{ Mpa}$$

La soletta per effetto del ritiro va in trazione del carico N. Tale carico viene equilibrato da una compressione che si genera nel baricentro della sezione composta trave + soletta e da un momento flettente positivo pari alla forza per il suo braccio.



Ferrovie Appulo Lucane

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

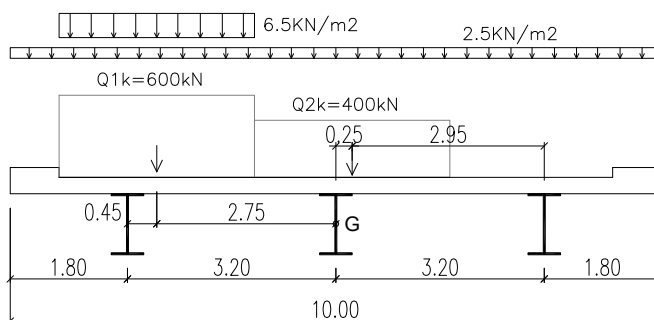
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

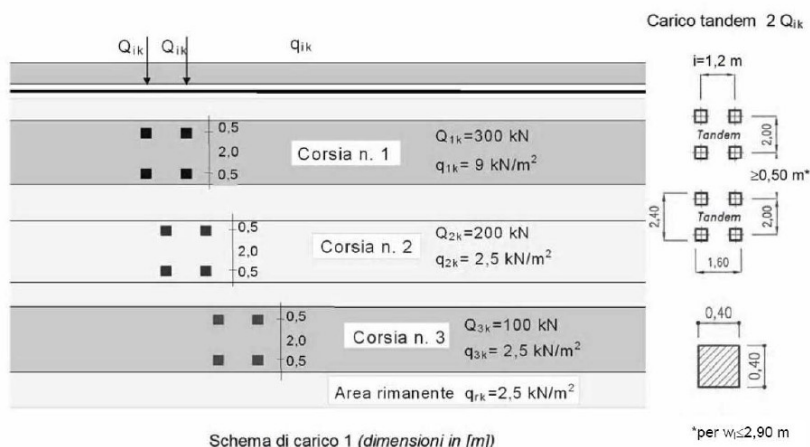
Data: Giugno 2020

Pag. 35 di 130

### 7.3 Fase 3 – Carichi mobili



#### DISPOSIZIONE TRASVERSALE



#### DISPOSIZIONE LONGITUDINALE

I carichi di terza fase vengono applicati sulle travi nel seguente modo:

- Carichi distribuiti

$$q_1 = (2.5 \times 10.0 + 6.5 \times 3) / 3 + 6.5 \times 3 \times 2.75 / 6.4 = 23.21 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = (2.5 \times 10.0 + 6.5 \times 3) / 3 = 14.84 \text{ kN/m}$$

$$q_3 = (2.5 \times 10.0 + 6.5 \times 3) / 3 + 6.5 \times 3 \times 2.75 / 6.4 = 6.45 \text{ kN/m}$$

- Carichi concentrati

$$Q_1 = (600 + 400) / 3 + (600 \times 2.75 - 400 \times 0.25) / 6.4 = 576 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 1000 / 3 = 333 \text{ kN}$$

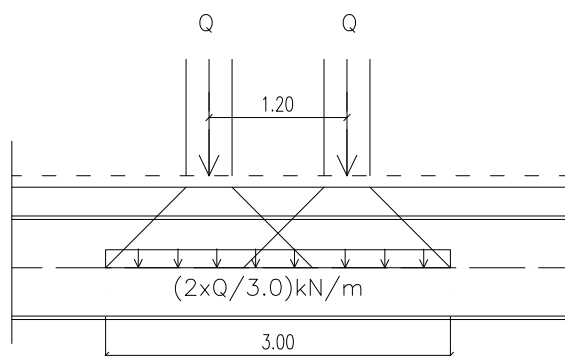
$$Q_3 = (600 + 400) / 3 - (600 \times 2.75 - 400 \times 0.25) / 6.4 = 91 \text{ kN}$$



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b> C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 36 di 130</p>
---	---	---

Considerando l'interasse longitudinale tra i carichi concentrati pari a 1.20m e ripartendoli verticalmente a 45° dall'impronta sulla pavimentazione, fino all'asse della trave, la coppia di carichi sarà applicata alle travi come carico distribuito su segmenti di lunghezza pari a:

$$- b = 1.20 + 2 \times (0.20 + 0.25 + 0.90/2) = 3.00\text{m}$$



Il carico da applicare per simulare i carichi concentrati risulta pertanto pari a:

- $q1' = 576/3.00 = 192.00 \text{ kN/m}$
- $q2' = 333/3.00 = 111.00 \text{ kN/m}$
- $q3' = 91/3.00 = 30.33 \text{ kN/m}$

I carichi concentrati saranno considerati una volta in mezzeria e una volta agli appoggi per valutare le massime sollecitazioni a flessione e a taglio sulle travi e i massimi carichi trasmessi agli appoggi.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 37 di 130</p>
---	--	---

## 7.4 Azione del vento

### 7.4.1 Velocità di riferimento

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. In mancanza di specifiche indagini statistiche essa è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500m$$

dove:

- $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I NTC2018 e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Fig. 3.3.1 NTC2008;
- $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

**Tabella 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$**

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020



**Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano**

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 38 di 130</p>
---	--	---

Il ponte in oggetto è localizzato in Zona 3 ad una quota  $a_s = 166\text{m}$  s.l.m., risulta pertanto:

- $v_{b,o} = 27 \text{ m/s}$
- $a_o = 500\text{m}$
- $k_a = 0.020 \text{ s}^{-1}$

Il coefficiente maggiorativo relativo ad un periodo di ritorno di 100 anni è pari a:

- $\alpha_{R \ 100\text{anni}} = 0.75 \times \sqrt{(1 - 0.2 \times \ln[-\ln(1 - 1/100)])} = 1.039$

La velocità di riferimento del vento risulta pertanto pari a:

- $v_b = 1.039 \times 27 = 28.06 \text{ m/s}$

#### **7.4.2 Pressione cinetica di riferimento**

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  [ $\text{N/m}^2$ ] è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

dove:

$v_b$  è la velocità di riferimento del vento [ $\text{m/s}$ ];

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

La pressione cinetica di riferimento risulta pertanto:

- $q_b = 0.5 \times 1.25 \times 28.06^2 = 492 \text{ N/m}^2 = 0.49 \text{ KN/m}^2$

#### **7.4.3 Pressione del vento**

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

$q_b$  è la pressione cinetica di riferimento (§3.3.6 – NTC2008);

$c_e$  è il coefficiente di esposizione (§3.3.7 – NTC2008);

$c_p$  è il coefficiente di forma (o coef. aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento (§3.3.10 – NTC2008);

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 39 di 130</p>
---	--	---

$c_d$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali (§ 3.3.8– NTC2008).

Nel caso in esame risulta:

$$- p = 0.49 \times 2.037 \times 1.40 = \mathbf{1.40 \text{ KN/m}^2}$$

Si riporta di seguito la determinazione dei vari coefficienti adottati.

#### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di specifiche analisi, per altezze sul suolo non maggiori di  $z=200\text{m}$ , esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

dove:

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.II-NTC2008 in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

Per il sito in esame si adotta per il terreno una **classe di rugosità di tipo D** (aree prive di ostacoli). Data la distanza dal mare compresa tra i 10 e i 30Km e l'altitudine del sito, la **categoria di esposizione** risulta essere la **II**.

**Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione**

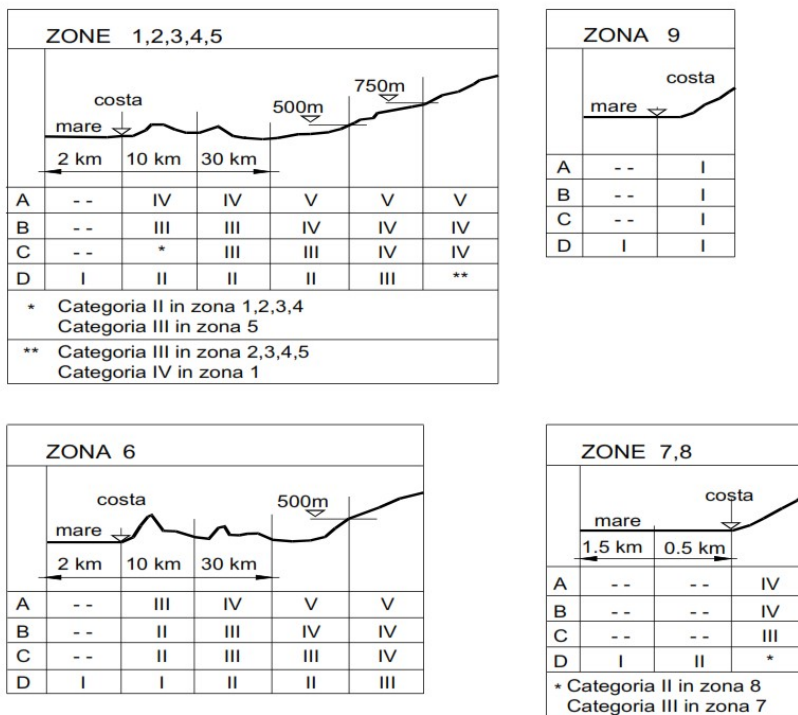
Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 40 di 130</p>
---	--	---

**Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno**

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.



**Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione**

Il **coefficiente di topografia**  $c_t$  è posto generalmente pari a **1**, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. In questo caso, la Fig 3.3.3-NTC2008 riporta le leggi di variazione del coefficiente di esposizione al variare della quota e della categoria del sito.

Per il calcolo si adotta una **quota di progetto** dell'impalcato pari a **6.00m**.



Ferrovie Appulo Lucane

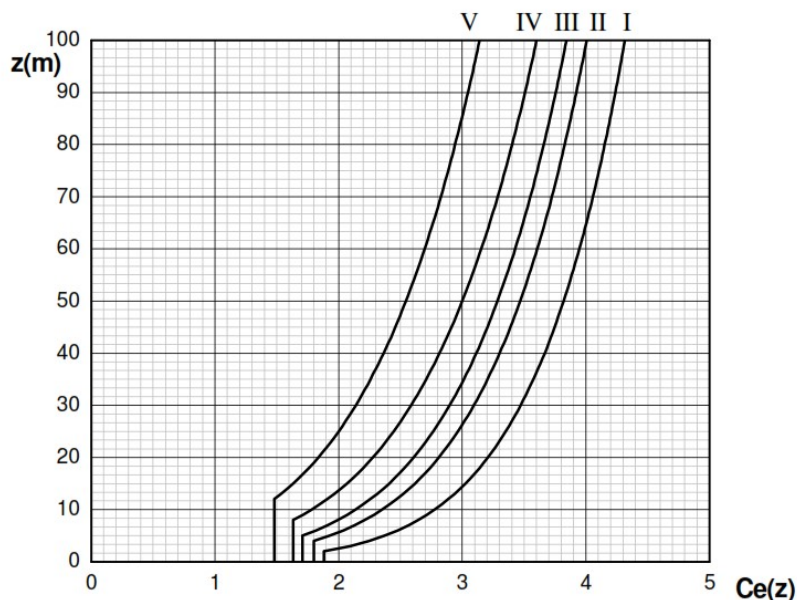
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -  
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA  
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 41 di 130



**Figura 3.3.3** - Andamento del coefficiente di esposizione  $c_e$  con la quota (per  $c_t = 1$ )


Il coefficiente di esposizione che ne consegue risulta pari a  $C_e=2.037$

**Coefficiente dinamico**

Il coefficiente dinamico può esser assunto cautelativamente pari ad **1** nelle costruzioni di tipologia ricorrente (edifici con altezza minore di 80m, capannoni industriali, ecc.). Pertanto, esso è stato considerato unitario.

**Coefficiente di forma**

Per ciò che concerne la valutazione del coefficiente di forma  $c_p$  si rimanda al paragrafo C3.3.10 delle NTC2008. Tuttavia, per il caso in esame si assume per tale coefficiente un valore pari a **1.4**.

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 42 di 130</p>
---	--	---

#### **7.4.4 Applicazione del carico**

L'azione del vento è riconducibile, in accordo a quanto prescritto dalle NTC18 ad un carico orizzontale uniforme ed ortogonale all'asse longitudinale del ponte. Vengono analizzati effetti a ponte carico. La superficie di carico esposta al vento è assimilata ad una parete rettangolare continua di altezza costante e pari a 3.00m dalla pavimentazione stradale. Considerando l'altezza dell'impalcato di 1.15m, comprensiva della soletta, e lo spessore medio della pavimentazione pari a 0.15m, risulta:

$$H = 1.15 + 0.15 + 3.00 = 4.30\text{m}$$

$$F_v = 1.40 \times 4.30 + 2 \times 1.40 \times 0.90 = 8.54 \text{ KN/m}$$

$$E = H/2 = 4.30/2 = 2.15\text{m}$$

$$M_t = 8.54 \times (2.15 - 0.88) = 10.9 \text{ KNxm/m}$$

L'azione così applicata da luogo ad una sollecitazione torcente sull'impalcato che viene considerata nelle verifiche dei traversi di testata.

#### **7.5 Azione della temperatura**

Ai fini della verifica delle travi, si considera l'effetto di una variazione termica differenziale della soletta pari a:

- $\Delta T = \pm 10^\circ\text{C}$

Ai fini della verifica dei giunti, si considera l'effetto di una variazione termica uniforme dell'impalcato pari a:

- $\Delta T = \pm 25^\circ\text{C}$

#### **7.6 Azione di frenatura**

Ai fini della verifica statica delle spalle, si considera l'effetto di una forza di frenatura di entità pari a:

$$H_f (\text{SLE}) = 0.6 \times 600 + 0.1 \times 9 \times 3 \times 16 = 403 \text{ KN}$$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 43 di 130
---	---	--

## 7.7 Azione sismica

Data la rigidità delle sottostrutture, l'azione sismica agente sull'impalcato viene calcolata attraverso un'analisi statica di tipo elastico lineare fatta con spettro di risposta in accelerazione considerando le due direzioni principali di ingresso:

- direzione X                      longitudinale al ponte                      (sisma 0)
- direzione Y                      trasversale al ponte                      (sisma 90)

In conformità a quanto suggerito dalla normativa (paragrafo 5.1.3.12 delle NTC) l'azione sismica viene definita considerando solamente le masse corrispondenti ai pesi propri ed ai sovraccarichi permanenti.

Allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) per le azioni sismiche orizzontali si è considerato uno spettro elastico di progetto definito dai seguenti parametri:

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_n$	0.130 g
$F_n$	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
$\eta$	1.000
$T_B$	0.177 s
$T_C$	0.530 s
$T_D$	2.119 s



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b> C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 44 di 130</p>
---	---	---

## 7.8 Condizioni e combinazioni di carico

Si riassumono di seguito le condizioni di carico considerate complessivamente nell'analisi dell'opera in oggetto:

- G = Peso proprio della carpenteria metallica e della soletta
- P = Peso dei sovraccarichi permanenti (pavimentazione, cordoli, barriere)
- R = Ritiro della soletta
- Q = Carichi mobili nelle posizioni più gravose
- V = Vento
- T1 = Variazione termica della soletta di  $\pm 10^{\circ}\text{C}$
- T2 = Variazione sismica omogenea di  $\pm 25^{\circ}\text{C}$
- $SL_{SLV}$  = Sisma longitudinale allo SLV
- $ST_{SLV}$  = Sisma trasversale allo SLV

Le combinazioni dei carichi che sono state prevalentemente considerate nell'analisi dell'opera sono le seguenti:

- $SLU = 1.35G + 1.5P + 1.2R + 1.35Q + 0.6 \times 1.5V + 1.5T$
- $SLE = G + P + R + Q + 0.6V + T$
- $SL_{SLV} = SL_{SLV} \pm 0.3 ST_{SLV}$
- $ST_{SLV} = ST_{SLV} \pm 0.3 SL_{SLV}$

Si rimanda ai relativi paragrafi di verifica per ulteriori dettagli.

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 45 di 130</p>
---	--	---

## 8 VERIFICA DELLA SOLETTA

### 8.1 Analisi dello sbalzo (urto)

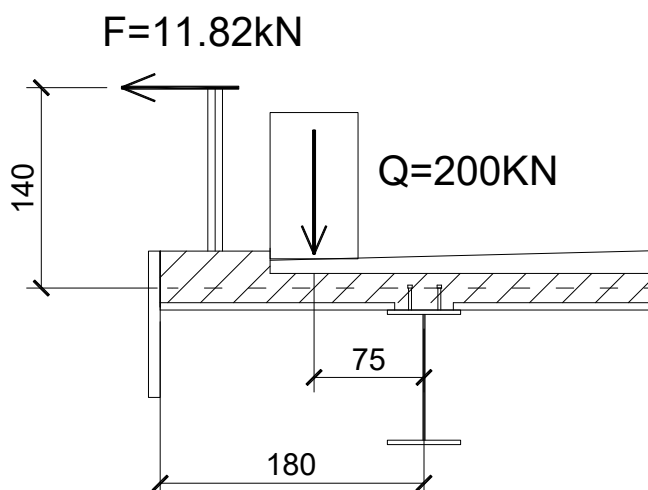
La prima condizione di carico analizzata, è relativa allo sbalzo sollecitato dall'urto di un veicolo in svio. Le sollecitazioni sono calcolate con riferimento al paragrafo 5.1.3.10 delle NTC2018 a partire dalla resistenza caratteristica degli elementi strutturali principali (i montanti della barriera), incrementando le azioni orizzontali allo SLU del 50% e assumendo un coefficiente di sicurezza unitario dei materiali.

Considerando che il progetto prevede una barriera bordo ponte di classe H2 con rete integrata, le azioni orizzontali provocate dall'urto di un veicolo in svio sono calcolate con riferimento a montanti a sezione scatolare 120x80x4 in acciaio S235JR disposti ad interasse di 2.25m.

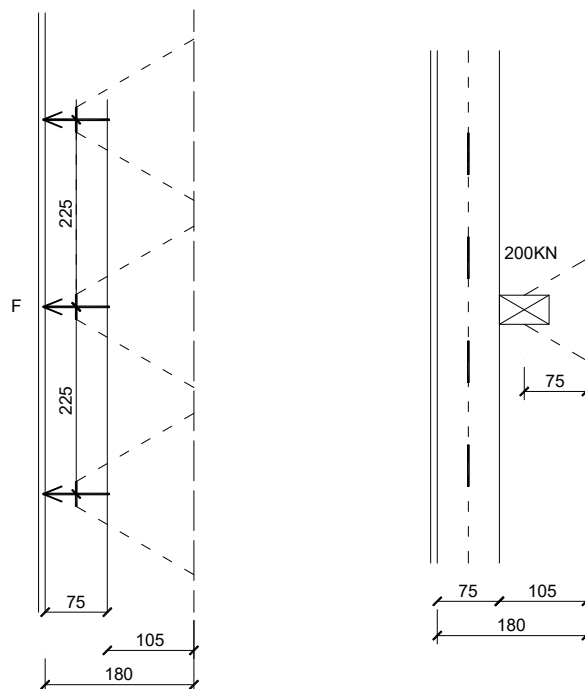
Il momento resistente della sezione del montante risulta:

- $W_p = 58 \text{ cm}^3$
- $M_p = 58000 \times 235 / (1.05 \times 10^6) = 13 \text{ kNm}$

Tale momento può essere associato ad una forza orizzontale di 11.82kN applicata a 1.10m dall'estradosso del cordolo e allo schema di carico 2 (impronta di carico da 200kN di dimensioni 35x60cm) applicato a filo della pavimentazione stradale:

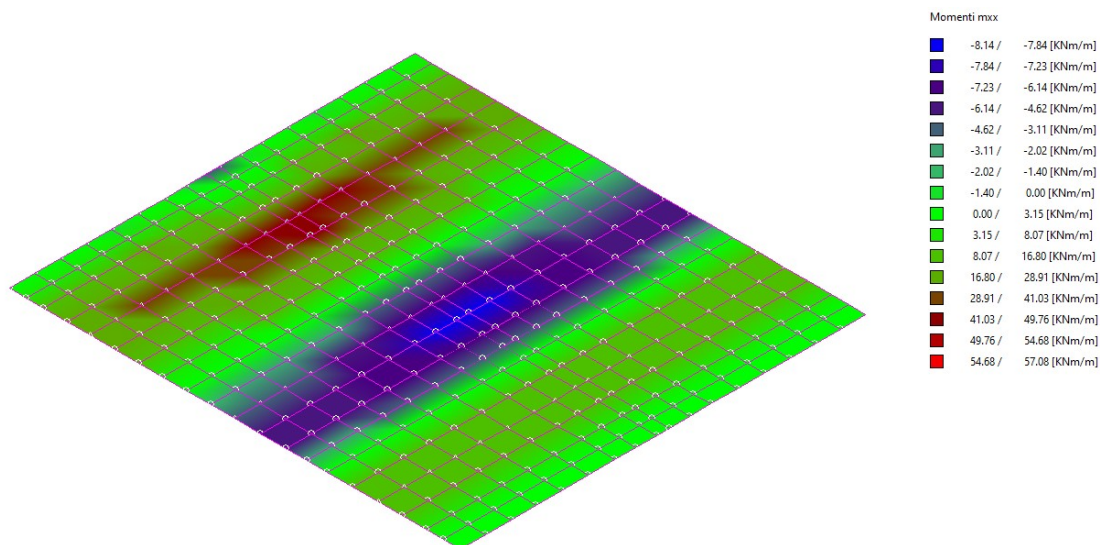


Si riporta di seguito uno schema di diffusione del carico verso l'appoggio sulla trave, calcolata con un angolo di 30°:



Da un modello di calcolo realizzato con elementi finiti piani, che schematizza una fascia di soletta di larghezza 9.00m appoggiata su 3 travi, si ottengono le seguenti caratteristiche di sollecitazione massime relative alla combinazione eccezionale associata all'urto:

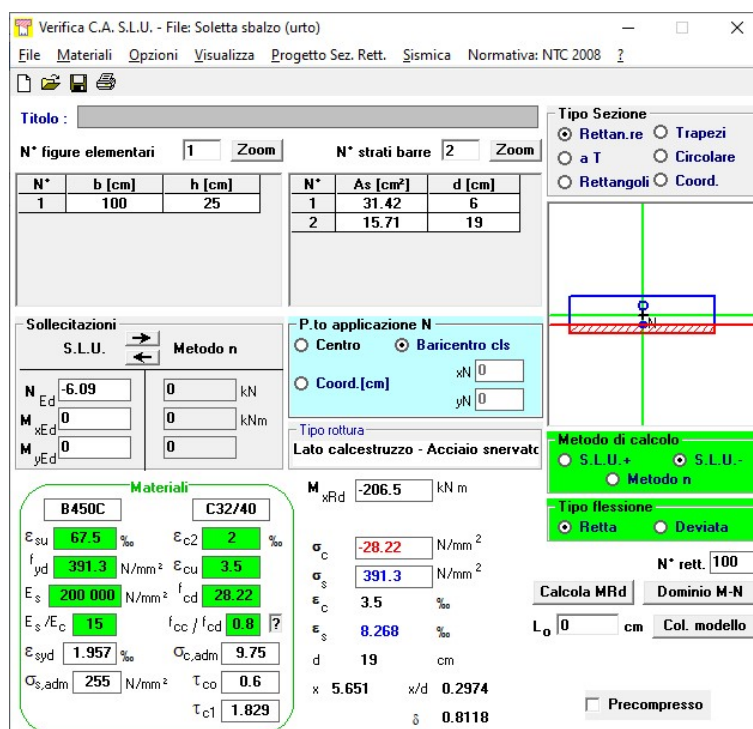
- $N_d = 6.1 \text{ kN/m}$
- $M_d = -57.1 \text{ kNm/m}$



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 47 di 130</p>
---	--	---

Considerando la soletta armata sullo sbalzo con  $1\Phi 20/10$  superiore e  $1\Phi 20/20$  inferiore la verifica a flessione risulta soddisfatta:

- $N_d = - 6.1 \text{ KN}$  (di trazione)
- $M_d = - 57.1 \text{ KNxm/m}$
- $M_r = - 206 \text{ KNxm/m} > M_d$
- $\gamma_s = 206/57 = \mathbf{3.61 > 1}$



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

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	25	1	31.42	6
			2	15.71	19

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N Ed: -6.09 kN  
M\_xEd: 0 kNm  
M\_yEd: 0 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
E<sub>s</sub>: 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 28.22  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 9.75  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.6  
τ<sub>c1</sub>: 1.829

M\_xRd: -206.5 kNm  
σ<sub>c</sub>: -28.22 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 8.268 ‰  
d: 19 cm  
x: 5.651 x/d: 0.2974  
ξ: 0.8118

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

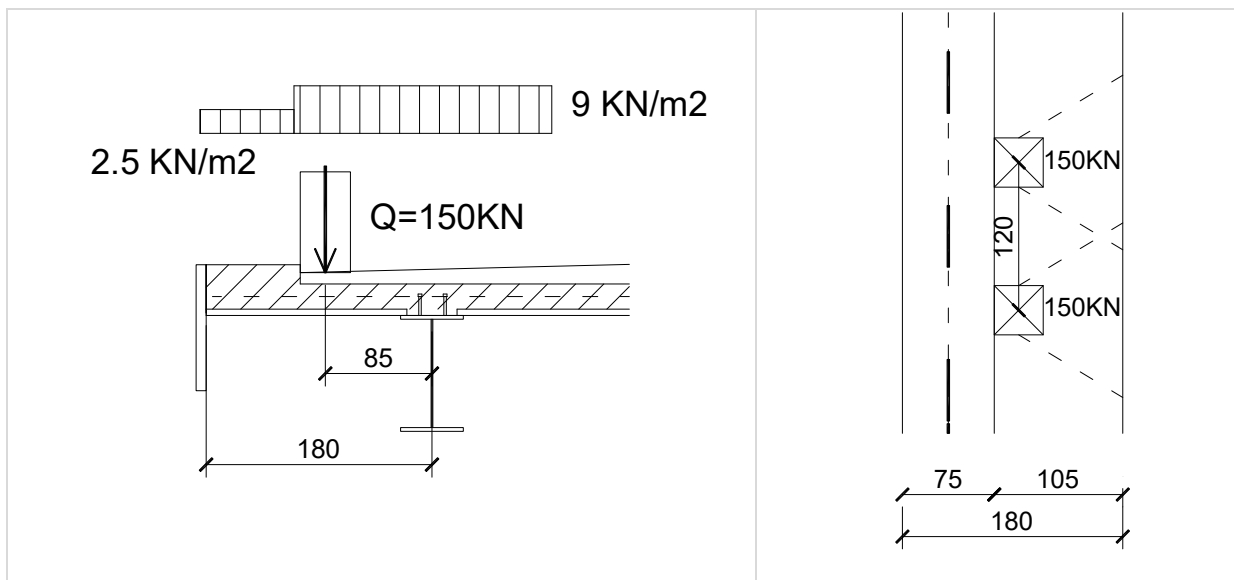
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

## 8.2 Analisi dello sbalzo (SLU)

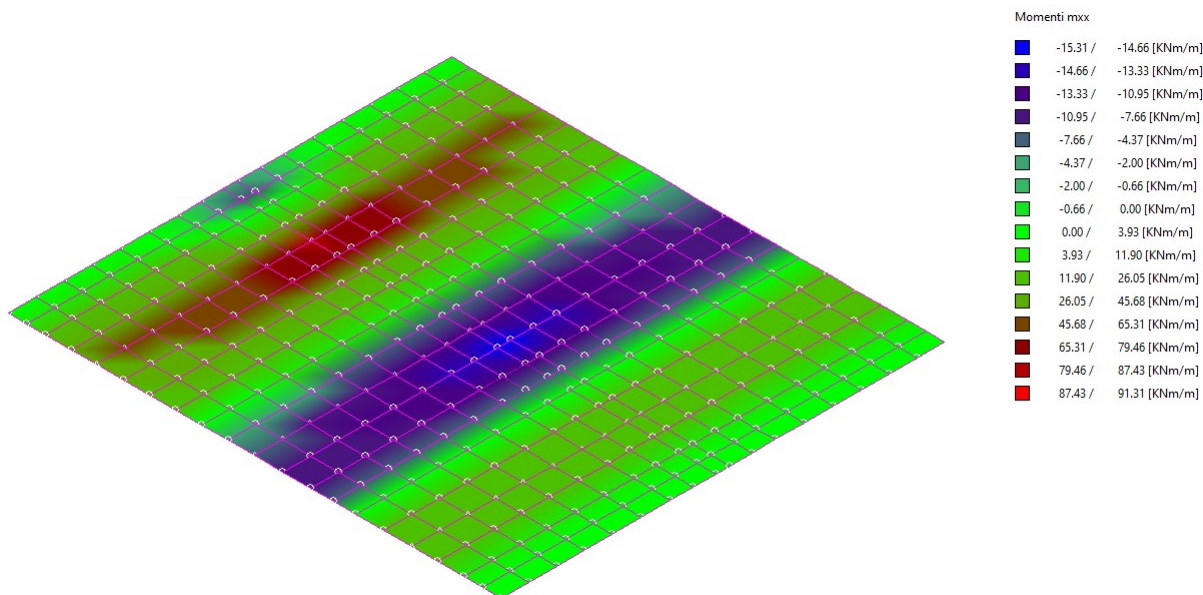
La seconda condizione di carico, relativa allo sbalzo sinistro con cordolo da 0.75m, è la condizione ultima dovuta allo schema di carico 1 disposto nella posizione che massimizza le sollecitazioni sullo sbalzo. Si considerano 2 impronte quadrate di lato 0.40m da 150KN ad interasse longitudinale di 1.20m oltre al carico distribuito di 9KN/m² sulla pavimentazione e 2.50KN/m² sul cordolo.

Anche in questo caso si riporta di seguito uno schema di diffusione dei carichi verso l'appoggio sulla trave, calcolata con un angolo di circa 30°:



Dal modello di calcolo della soletta realizzato con elementi finiti piani, si ottiene la seguente sollecitazione massima sullo sbalzo allo SLU:

-  $M_d = - 91.3 \text{ kNm/m}$





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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 49 di 130

Considerando la soletta armata sullo sbalzo con 1 $\Phi$ 20/10 superiore e 1 $\Phi$ 16/20 inferiore la verifica a flessione risulta soddisfatta:

- $M_d = -91 \text{ KNxm/m}$
- $M_r = -156 \text{ KNxm/m} > M_d$
- $\gamma_s = 156/91 = 1.71 > 1$

Verifica C.A. S.L.U. - File: Soletta - sbalzo sx (SLU)

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	25

N°	As [cm²]	d [cm]
1	34,71	4
2	15,71	22

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 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

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  210.000 N/mm²  $f_{cd}$  18,81 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 [?]  $\sigma_{c,adm}$  9,75 N/mm²  
 $\epsilon_{syd}$  1,863 ‰  $\tau_{co}$  0,6 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{c1}$  1,829 N/mm²

M<sub>xRd</sub> -250,5 kN m  
 $\sigma_c$  -18,81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  9,904 ‰  
d 21 cm  
x 5,483 x/d 0,2611  
 $\delta$  0,7664

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

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

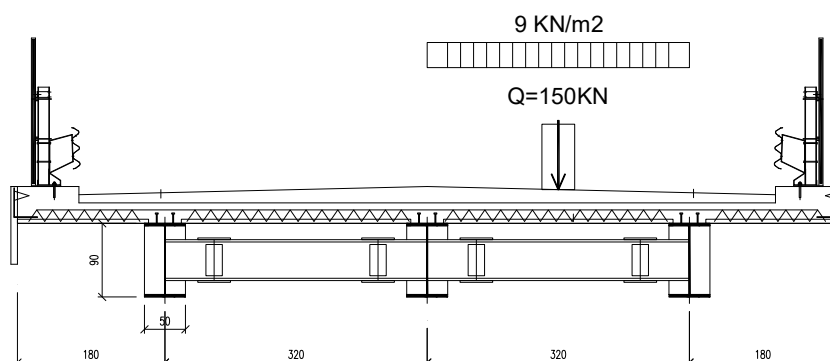
Tipo flessione: ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

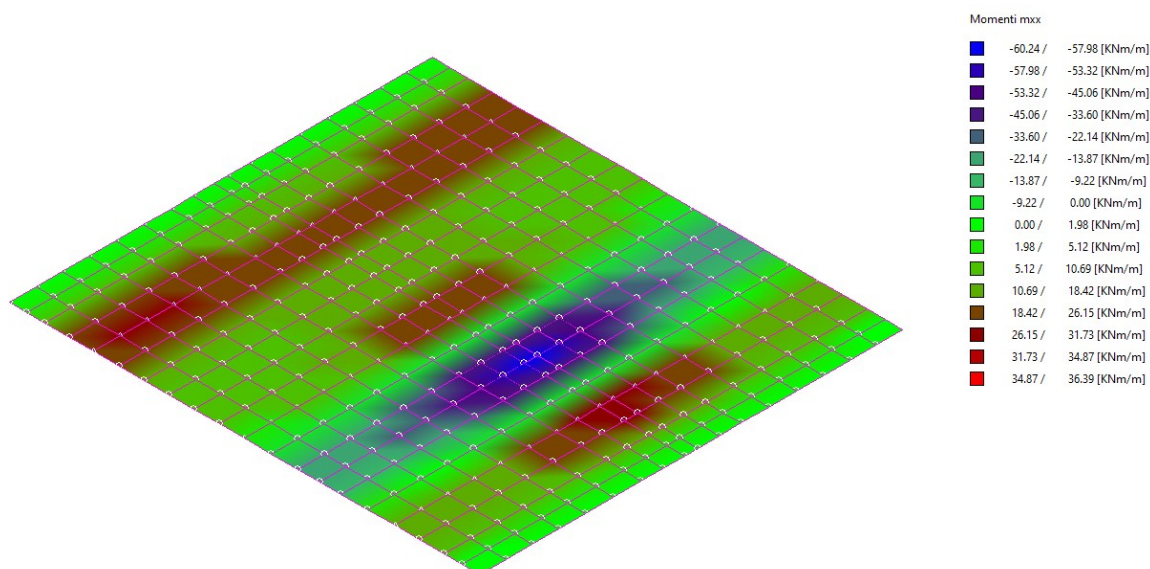
### 8.3 Analisi della soletta in campata

La terza condizione di carico analizzata è la condizione ultima dovuta allo schema di carico 1 disposto nella posizione che massimizza le sollecitazioni sulle zone di campata della soletta. Si considera 1 impronta quadrata di lato 0.40m da 150KN oltre al carico di 9KN/m<sup>2</sup> distribuito su una larghezza di 3.2m.



Dal modello di calcolo della soletta realizzato con elementi finiti piani, si ottiene la seguente sollecitazione massima in campata allo SLU:

-  $M_d = 60.2 \text{ kNm/m}$







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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 51 di 130

Considerando la soletta armata in campata con 1+11 $\Phi$ 20/20 la verifica a flessione risulta soddisfatta:

- $M_d = 60 \text{ KNxm/m}$
- $M_r = 110 \text{ KNxm/m} > M_d$
- $\gamma_s = 110/60 = \mathbf{1.83} > 1$

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

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	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	15.71	19

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0

P.to applicazione N

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

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  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 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6 N/mm²  
 $\tau_{c1}$  1.829 N/mm²

M<sub>xRd</sub> 110.2 kN m

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  9.339 ‰  
d 19 cm  
x 5.18 x/d 0.2726  
 $\delta$  0.7808

Metodo di calcolo

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

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso





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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 52 di 130

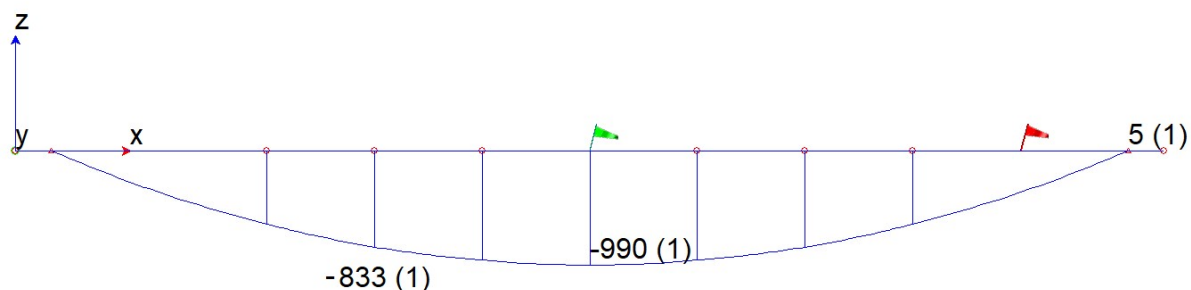
## 9 VERIFICA DELLE TRAVI

### 9.1 Caratteristiche di sollecitazione

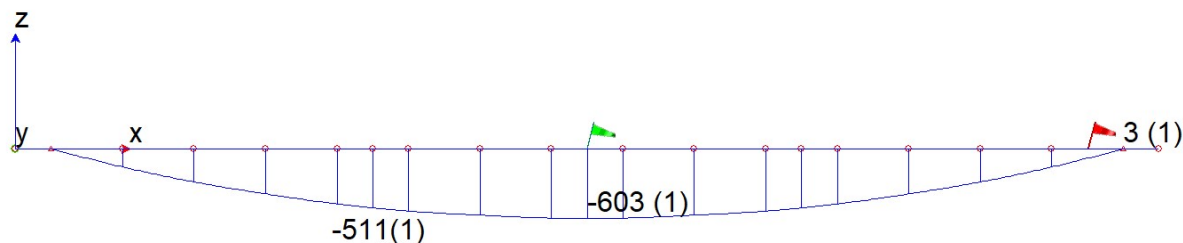
Si riportano di seguito i diagrammi di involuppo delle caratteristiche di sollecitazione (momento e taglio) ottenute dall'analisi dell'impalcato sulla trave più sollecitata allo SLU.

#### 9.1.1 Momento flettente (KNxm)

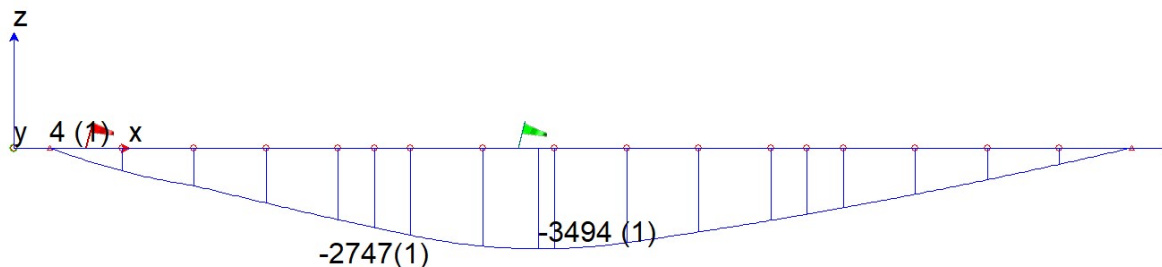
Carichi di prima fase



Carichi di seconda fase



Carichi di terza fase





Ferrovie Appulo Lucane

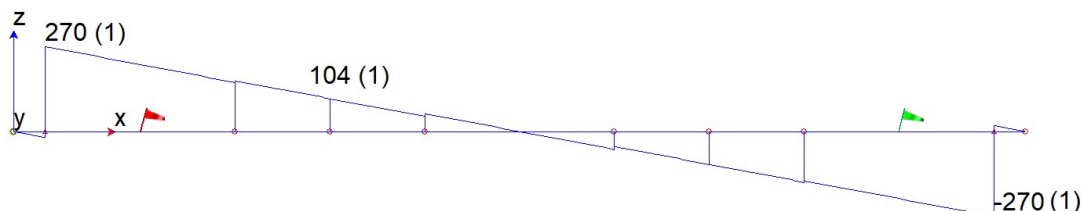
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -  
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA  
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

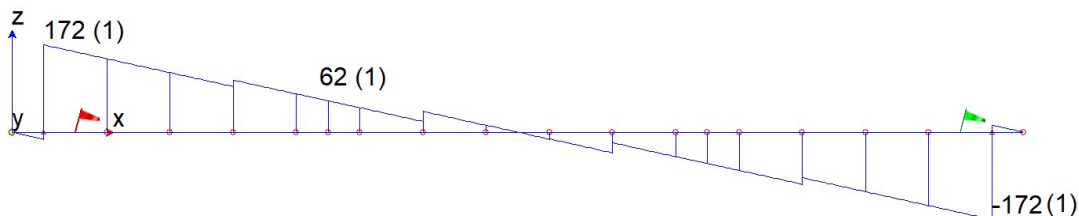
DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 53 di 130

### 9.1.2 Taglio (KN)

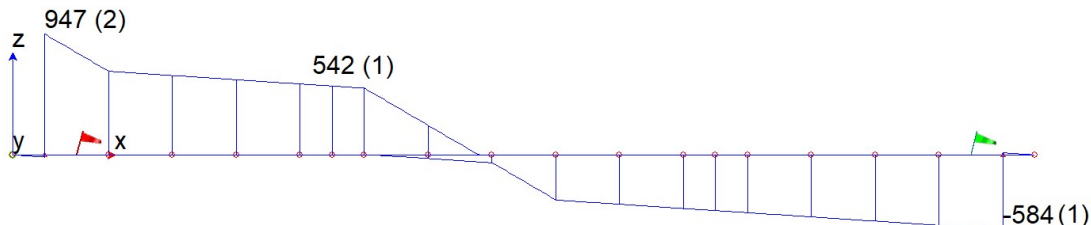
Carichi di prima fase



Carichi di seconda fase



Carichi di terza fase



### 9.2 Sezione all'appoggio

Il taglio massimo sulle travi agli appoggi, dato dalla somma delle tre fasi di carico, risulta:

-  $T_{\max} (\text{appoggi}) = 270 + 172 + 947 = 1389 \text{ KN}$

Dalla verifica a taglio risulta:

- $T_d = 1389 \text{ KN}$
- $A_v = 840 \times 14 = 11760 \text{ mm}^2$
- $\tau_s \max = 1389 \times 10^3 / 11760 = 118 \text{ Mpa} < 195 \text{ Mpa} (f_{yd} / \sqrt{3})$
- $\gamma_s = 195 / 118 = 1.65 > 1$



Ferrovie Appulo Lucane

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

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 54 di 130

## PROGETTO DEFINITIVO

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

## 9.3 Sezione di giunto

Si riporta di seguito la verifica della trave nel giunto svolta allo SLU considerando la riduzione della sezione per la presenza dei fori:

TRAVE MISTA ACCIAIO - CALCESTRUZZO CON SOLETTA COMPRESSA									
OPERA		FAL : CAVALCAFERROVIA							
SEZIONE		Trave H=900mm (giunto)							
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE									
Modulo elastico $E_c$			336430	Kg/cm2	Caratteristiche meccaniche della sezione				
Modulo elastico ridotto $E_c^*$			85388	Kg/cm2	Rck	(Kg/cm2)	400		
Tensione di calcolo cls			188	Kg/cm2	Coefficiente di viscosità $\Phi$		2.94		
$\tau$ di calcolo acciaio			2120	Kg/cm2	Deformazione di ritiro finale		0.00032		
					Modulo elastico acciaio	(Kg/cm2)	2100000		
					Tensione di calcolo acciaio	(Kg/cm2)	3672		
					Caratteristiche geometriche della sezione				
n	inf	24.6	6.2						
A (m <sup>2</sup> )	0.1062	0.1338	0.2151	Larghezza soletta $b_s$	(m)	3.40			
Y <sub>s</sub> (m)	0.450	0.576	0.396	Altezza soletta $h_s$	(m)	0.20			
Y <sub>i</sub> (m)	0.450	0.574	0.754	Larghezza flangia superiore $b_1$	(m)	0.398	4M24		
J (m <sup>4</sup> )	0.00936	0.0174	0.0291	Altezza flangia superiore $h_1$	(m)	0.030			
W <sub>c</sub> (m <sup>3</sup> )	/	0.03012	0.07341	Larghezza anima $b_2$	(m)	0.098	12M20		
W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0.02080	0.05321	0.19896	Altezza anima $h_2$	(m)	0.840			
W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0.02080	0.03023	0.03858	Larghezza flangia inferiore $b_3$	(m)	0.398	4M24		
					Altezza flangia inferiore $h_3$	(m)	0.030		
					Altezza predalle $h_p$	(m)	0.05		
					Armatura compressa della soletta				
					Armatura superiore soletta (mm)	0	passo (m)	0.20	
					Armatura inferiore soletta (mm)	0	passo (m)	0.20	
					Copri ferro		(m)	0.04	
CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE									
		N (t)	T (t)	M (txm)	$\sigma_c$ (Kg/cm2)	$\sigma_s$ (Kg/cm2)	$\sigma_i$ (Kg/cm2)	$\tau$ (Kg/cm2)	
Carichi di prima fase	Pesi propri	0	10.4	83.3	/	-400	400	13	
Carichi di seconda fase	Sovraccarichi permanenti	0	6.2	51.1	-7	-96	169	8	
	Ritiro	223	0	106	33 -7 -14	0 -167 -199	0 -167 351		
Carichi di terza fase	Sovraccarico accidentale	0	54.2	274.7	-60	-138	712	66	
	$\Delta T$ soletta - trave (°C)	15	87	0	26	13 -6 -6	0 -40 -13	0 -40 67	
					-54	-1054	1492	86	
VERIFICHE DI RESISTENZA									
Le tensioni massime che si ottengono nella sezione risultano:									
$\sigma_c$	=	-54	(Kg/cm2)	O.K.					
$\sigma_s$	=	-1054	(Kg/cm2)	O.K.					
$\sigma_i$	=	1492	(Kg/cm2)	O.K.					
$\tau$	=	86	(Kg/cm2)	O.K.					
$\sigma_{id\ max}$	=	1500	(Kg/cm2)	O.K.					
$\gamma$	=	2.45	> 1						



Ferrovie Appulo Lucane

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

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 55 di 130

## PROGETTO DEFINITIVO

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

#### 9.4 Sezione in mezzzeria

Si riporta di seguito la verifica della trave in mezzzeria svolta allo SLU:

TRAVE MISTA ACCIAIO - CALCESTRUZZO CON SOLETTA COMPRESSA									
OPERA		FAL : CAVALCAFERROVIA							
SEZIONE		Trave H=900mm (mezzeria)							
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE									
Modulo elastico $E_c$		336430	Kg/cm2	Caratteristiche meccaniche della sezione					
Modulo elastico ridotto $E_c^*$		85388	Kg/cm2	Rck		(Kg/cm2)	400		
Tensione di calcolo cls		188	Kg/cm2	Coefficiente di viscosità $\Phi$			2.94		
$\tau$ di calcolo acciaio		1951	Kg/cm2	Deformazione di ritiro finale			0.00032		
				Modulo elastico acciaio		(Kg/cm2)	2100000		
				Tensione di calcolo acciaio		(Kg/cm2)	3380		
n	inf	24.6	6.2	Caratteristiche geometriche della sezione					
A (m²)	0.0418	0.0694	0.1507	Larghezza soletta $b_s$		(m)	3.40		
Y <sub>s</sub> (m)	0.450	0.461	0.266	Altezza soletta $h_s$		(m)	0.20		
Y <sub>i</sub> (m)	0.450	0.689	0.884	Larghezza flangia superiore $b_1$		(m)	0.50		
J (m⁴)	0.00637	0.0125	0.0176	Altezza flangia superiore $h_1$		(m)	0.030		
W <sub>c</sub> (m³)	/	0.02701	0.06610	Larghezza anima $b_2$		(m)	0.014		
W <sub>s</sub> (m³)	0.01416	0.05901	1.08216	Altezza anima $h_2$		(m)	0.840		
W <sub>i</sub> (m³)	0.01416	0.01807	0.01992	Larghezza flangia inferiore $b_3$		(m)	0.50		
				Altezza flangia inferiore $h_3$		(m)	0.030		
				Altezza predalle $h_p$		(m)	0.05		
				Armatura compressa della soletta					
				Armatura superiore soletta (mm)		0	passo (m)	0.20	
				Armatura inferiore soletta (mm)		0	passo (m)	0.20	
				Copriferro			(m)	0.04	
CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE									
		N (t)	T (t)	M (txm)	$\sigma_c$ (Kg/cm2)	$\sigma_s$ (Kg/cm2)	$\sigma_i$ (Kg/cm2)	$\tau$ (Kg/cm2)	
Carichi di prima fase		Pesi propri	0	0	99	/	-699	699	0
Carichi di seconda fase		Sovraccarichi permanenti	0	0	60.3	-9	-102	334	0
		Ritiro	223	0	80	33	0	0	
						-13	-321	-321	
						-12	-136	445	
Carichi di terza fase		Sovraccarico accidentale	0	0	349.4	-85	-32	1754	0
		$\Delta T$ soletta - trave (°C)	15	87	0	14	13	0	0
							-9	-58	-58
							-4	-1	73
							-86	-1351	2926
									0
VERIFICHE DI RESISTENZA									
Le tensioni massime che si ottengono nella sezione risultano:									
$\sigma_c$	=	-86	(Kg/cm2)	O.K.					
$\sigma_s$	=	-1351	(Kg/cm2)	O.K.					
$\sigma_i$	=	2926	(Kg/cm2)	O.K.					
$\tau$	=	0	(Kg/cm2)	O.K.					
$\sigma_{id\ max}$	=	2926	(Kg/cm2)	O.K.					
$\gamma$	=	1.16	> 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

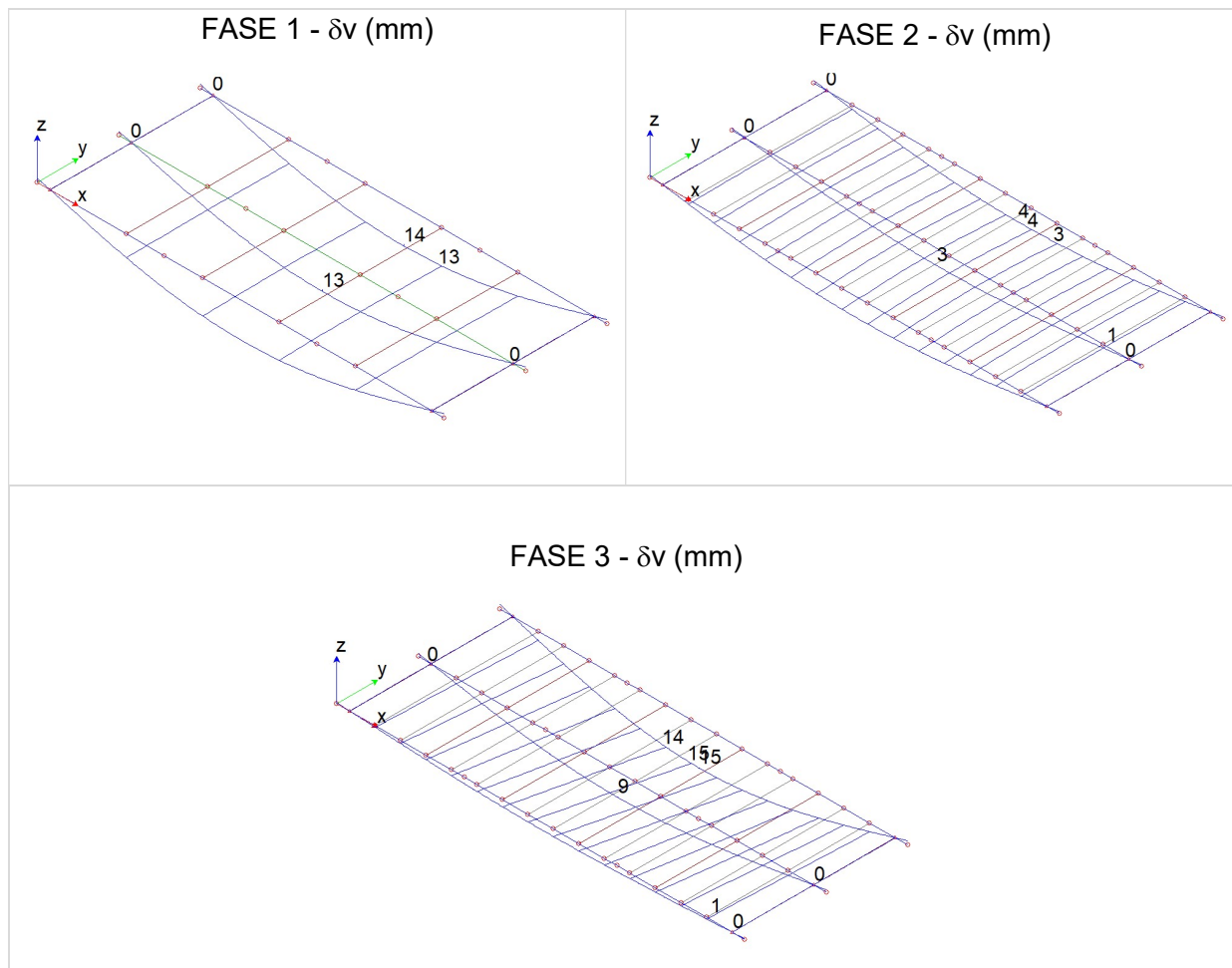
DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 56 di 130

## 9.5 Verifica degli spostamenti verticali

Si riportano di seguito i diagrammi di spostamento riscontrati allo stato limite di esercizio SLE.



Lo spostamento massimo in mezzeria riscontrato allo stato limite di esercizio risulta:

$$- \delta_{\max} = 14 + 4 + 15 = 33 \text{ mm} \quad (\cong L/454)$$

Tale spostamento compatibile con la destinazione d'uso della struttura è tale da non arrecare disturbo al transito dei carichi mobili alla velocità di progetto della strada.

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 57 di 130</p>
---	--	---

## 10 VERIFICA DEI CONNETTORI A TAGLIO

Per garantire la connessione tra le travi di acciaio e la soletta in c.a. si prevedono su tutta la lunghezza, 2 pioli  $\Phi 19/20$  H175mm in acciaio S235J2+C450, dotati di testa e saldati in modo automatico con collare di saldatura normale.

La resistenza dei connettori a taglio viene assunta pari a:

$$- Prd = \min (Prd,a; Prd,c) = 82 \text{ KN}$$

essendo

$$- Prd,a = 0.8 \times 450 \times (\pi \times 19^2 / 4) / (1.25 \times 1000) = 82 \text{ KN}$$

$$- Prd,c = 0.29 \times 1 \times 19^2 \times (33 \times 33643)^{0.5} / (1.25 \times 1000) = 88 \text{ KN}$$

La verifica allo SLU dei connettori viene fatta calcolando la forza di scorrimento a partire dalla massima compressione riscontrata sulla soletta in mezzera della trave:

$$- \sigma_{\text{max}} = 8.6 \text{ Mpa}$$

$$- N = 8.6 \times 3400 \times 200 / 1000 = 5848 \text{ KN}$$

Considerando il comportamento duttile dei connettori, tale sforzo può essere ripartito uniformemente sui connettori presenti su metà trave:

$$- n \text{ connettori} = 7.50 / 0.20 = 37$$

$$- F \text{ piolo} = 5848 / (2 \times 37) = 79 \text{ KN}$$

Dal confronto tra le azioni e la resistenza di calcolo, i connettori risultano verificati:

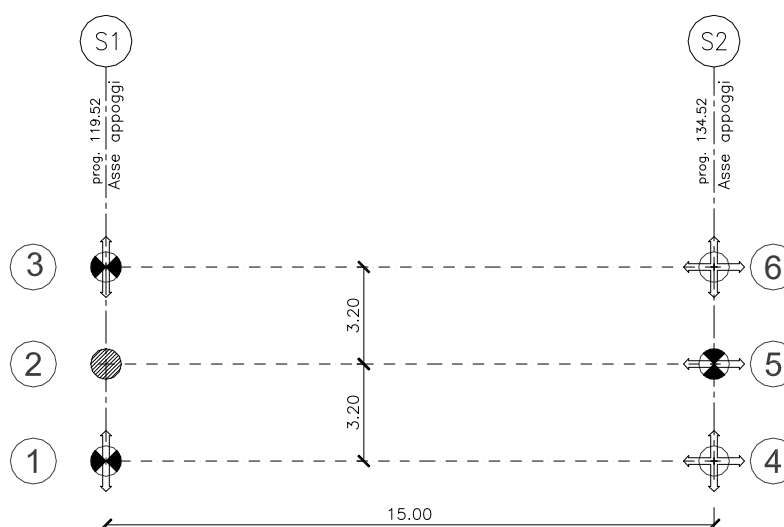
$$- F_d = 79 \text{ KN} < 82 \text{ KN}$$

$$- \gamma_s = 82 / 79 = \mathbf{1.04} > \mathbf{1.0}$$

## 11 APPARECCHI DI APPOGGIO E GIUNTI DI DILATAZIONE

### 11.1 Appoggi

Per gli apparecchi di appoggio si prevede l'uso di 6 dispositivi in acciaio teflon, di cui uno fisso (appoggio n.2), due unidirezionali trasversali (appoggi n.1 e n.3), uno unidirezionale longitudinale (appoggio n.5) e due multidirezionali (appoggi n.4 e n.6), disposti secondo il seguente schema:



Gli appoggi, progettati per le massime azioni verticali e orizzontali e per i massimi scorrimenti, presentano le seguenti caratteristiche:

Appoggio	Tipologia	$N_{sd}$ SLU (KN)	$V_L$ SLU (KN)	$V_T$ SLU (KN)	$S_L$ (mm)	$S_T$ (mm)
n.2	Fisso	2000	200	200	-	-
n.1-3	Unidirezionale trasversale	2000	200	-	-	$\pm 50$
n.5	Unidirezionale longitudinale	2000	-	200	$\pm 50$	-
n.4-6	Multidirezionale	2000	-	-	$\pm 50$	$\pm 50$



 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 59 di 130</p>
---	--	---

### 11.1.1 Stato limite SLU

I massimi carichi verticali agli appoggi allo SLU vengono calcolati considerando gli effetti del peso proprio, dei sovraccarichi permanenti e accidentali e dell'azione trasversale del vento. In particolare risulta:

- $R_v (G) = 292 \text{ KN}$
- $R_v (P) = 185 \text{ KN}$
- $R_v (Q+0.6V) = 963 \text{ KN}$

Combinando gli effetti, il carico massimo verticale agli appoggi allo SLU risulta:

- $R_{\max} = 292+185+963 = \mathbf{1440 \text{ KN} < 2000 \text{ kN}}$

Le massime azioni orizzontali longitudinali agli appoggi allo SLU vengono calcolate combinando le forze di frenatura con quelle di attrito, determinate considerando un coefficiente di 0.03:

- $HL (Q) = 1.35 \times 403/3 = 181 \text{ KN}$
- $HL (A) = 0.03 \times (292+185+724) = 36 \text{ KN}$

Combinando gli effetti, il carico massimo longitudinale agli appoggi allo SLU risulta:

- $HL_{\max} = 181+0.6 \times 36 \cong \mathbf{200 \text{ kN}}$

Le massime azioni orizzontali trasversali agli appoggi allo SLU vengono calcolate combinando l'azione del vento con quelle di attrito:

- $HT (V) = 1.5 \times 8.54 \times 16.0/2 = 102 \text{ KN}$
- $HT (A) = 0.03 \times (292+185+724) = 36 \text{ KN}$

Combinando gli effetti, il carico massimo trasversale agli appoggi allo SLU risulta:

- $HT_{\max} = 102+0.6 \times 36 = \mathbf{124 \text{ KN} < 200 \text{ kN}}$



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 60 di 130
---	---	--

Si riassumono di seguito le azioni massime assorbite dagli appoggi allo SLU:

Appoggio	Tipologia	Rv (KN)	HL (KN)	HT (KN)
n.2	Fisso	1440	200	124
n.1-3	Unidirezionale trasversale	1440	200	-
n.5	Unidirezionale longitudinale	1440	-	124
n.4-6	Multidirezionale	1440	-	-

#### 11.1.2 Stato limite SLV

I massimi carichi verticali agli appoggi allo SLV vengono calcolati considerando gli effetti del peso proprio, dei sovraccarichi permanenti e dell'azione trasversale del sisma. In particolare risulta:

- $R_v (G) = 216 \text{ KN}$
- $R_v (P) = 124 \text{ KN}$

Per effetto dell'azione del sisma, considerando la distanza del baricentro dell'impalcato dal piano degli appoggi pari a circa 0.88m, risulta:

- $R_v (V) = 0.130 \times 1.00 \times 3 \times (216 + 124) \times 0.88 / 6.40 = 18 \text{ KN}$

Combinando gli effetti, il carico massimo verticale agli appoggi allo SLV risulta:


- $R_{\max} = 216 + 124 + 18 = \mathbf{358 \text{ KN} < 2000 \text{ kN}}$

Le massime azioni orizzontali longitudinali agli appoggi allo SLV vengono calcolate per la sola azione sismica longitudinale:

- $HL_{\max} = 0.130 \times 1.00 \times (216 + 124) \times 2 = \mathbf{88 \text{ KN} < 200 \text{ kN}}$

Le massime azioni orizzontali trasversali agli appoggi allo SLV vengono calcolate per la sola azione sismica trasversale:

- $HT_{\max} = 0.130 \times 1.00 \times 3 \times (216 + 124) = \mathbf{132 \text{ KN} < 200 \text{ kN}}$

 Ferrovie Appulo Lucane	<b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b> C.U.P.: G21E16000380001      C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 61 di 130
---	--	--

Si riassumono di seguito le azioni massime assorbite dagli appoggi allo SLV:

Appoggio	Tipologia	Rv (KN)	HL (KN)	HT (KN)
n.1	Fisso	358	88	132
n.2	Unidirezionale trasversale	358	88	-
n.3	Unidirezionale longitudinale	358	-	132
n.4	Multidirezionale	358	-	-

## 11.2 GIUNTI

Per i giunti della soletta si prevede l'uso di giunti in gomma armata aventi le seguenti caratteristiche:


- Spalla S2 (mobili)                      scorrimento massimo 50mm ( $\pm 25$ mm)
- Spalla S1 (fissi)                        scorrimento massimo 50mm ( $\pm 25$ mm)

La corsa massima degli appoggi mobili e la conseguente escursione massima del giunto sulla spalla S2, è stata verificata allo SLU per le deformazioni termiche relative ad una variazione uniforme di 25°C (le deformazioni legate alla frenatura sono trascurabili:

- $\Delta L = 1.5 \times 0.000012 \times 25 \times 15000 \cong 7.0 \text{ mm}$

Avendo previsto sulla spalla S2 un giunto con escursione massima pari a +25mm, la verifica risulta soddisfatta:

- $\gamma_s = 25/7 = \mathbf{3.57 > 1}$

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 62 di 130</p>
---	--	---

## 12 VERIFICA DEI TRASVERSI HEB500

La verifica dei trasversi viene svolta con riferimento al trasverso di testata, svolta a partire dalle reazioni trasmesse agli appoggi nella condizione di massimo squilibrio:

- $R1 = R_{max} 292+185+963 = 1440 \text{ kN}$
- $R2 = 261+113+564 = 938 \text{ kN}$
- $R3 = R_{min} = 292+185+169 = 646 \text{ kN}$

Con riferimento alla parte di trasverso più sollecitata, che collega la trave centrale (n.2) alla trave più caricata (n.1), il momento massimo di calcolo assorbito dalle sezioni terminali supposte incastrate, risulta:

- $M_d \text{ max} = (1440 - 938) \times 3.20 / 2 = 803 \text{ kNm}$

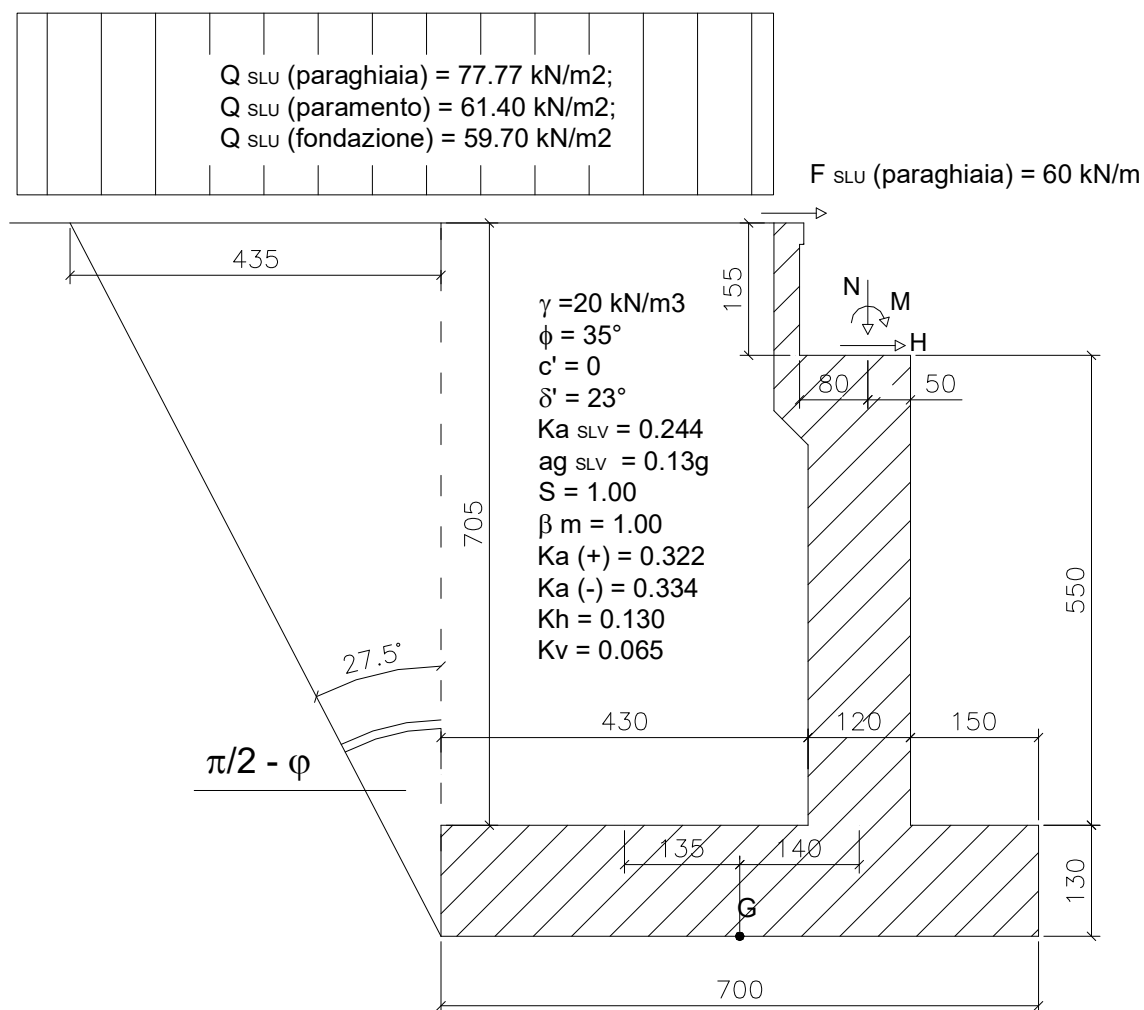
Dalla verifica di resistenza a flessione del trasverso HEB500, fatta allo SLU in campo plastico, risulta:

- $W_p = 4820 \text{ cm}^3$
- $M_p = 355 \times 4820 / (1.05 \times 1000) = 1630 \text{ kNm}$
- $\gamma_s = 1630 / 803 = \mathbf{2.03 > 1}$



## 13 VERIFICA DELLE SPALLE

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi delle spalle:




I valori caratteristici dei carichi da considerare agli appoggi si ottengono dalla sommatoria delle reazioni agli appoggi ripartite sulla larghezza del paramento della spalla, pari a 9.80m. Oltre ai carichi verticali ed orizzontali, si considera in testa un momento flettente per considerare l'eccentricità orizzontale di 10cm tra appoggi e paramento e quella verticale di 40cm tra appoggi ed estradosso paramento:

- Carichi di prima fase

$$N1 = (216 \times 2 + 194) / 9.80 = 63.88 \text{ kN/m}$$

$$V_1 = 0$$

$$M1 = 63.88 \times 0.1 = 6.39 \text{ kNm/m}$$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 64 di 130</p>
---	--	---

- Carichi di seconda fase

$$N2 = (124 \times 2 + 75) / 9.80 = 32.96 \text{ kN/m}$$

$$V2 = 0$$

$$M2 = 32.96 \times 0.1 = 3.30 \text{ kNxm/m}$$

- Carichi di terza fase

$$N3 = [(9.0 \times 3 + 2.5 \times 7.0) \times 16 / 2] / 9.80 = 36.32 \text{ kN/m}$$

$$V3 = 403 / 9.80 = 41.12 \text{ kN/m}$$

$$M3 = 36.32 \times 0.1 + 41.12 \times 0.40 = 20.08 \text{ kNxm}$$

Combinando le 3 fasi di carico si ottengono i valori caratteristici dei carichi complessivi considerati in testa al paramento verticale:

- $Nd = 63.88 + 32.96 + 36.32 = 133.16 \text{ kN/m}$
- $Vd = 41.12 \text{ kN/m}$
- $Md = 6.39 + 3.30 + 20.08 = 29.77 \text{ kNxm/m}$



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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 65 di 130

### 13.1 Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato del paraghiaia

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

CAVALCAFERROVIA			SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL PARAGHIAIA - H = 1.55m								
GEOMETRIA			STATICA			SISMICA 1 (Kh+Kv)			SISMICA 2 (Kh-Kv)		
Spessore medio del muro		0.30 m	cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
Altezza paraghiaia		1.55 m									
Altezza fondazione+paramento		6.80 m	PESO PROPRIO			PESO PROPRIO			PESO PROPRIO		
Lunghezza mensola interna		4.30 m	Nd	11.6	KN/m	Nd	11.6	KN/m	Nd	11.6	KN/m
Lunghezza mensola esterna		1.50 m									
Lunghezza totale fondazione		6.10 m	TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)			TERRENO A TERGO (attiva)		
			Vd	5.9	KN/m	Vd	5.9	KN/m	Vd	5.9	KN/m
			Md	3.0	KNxm/m	Md	3.0	KNxm/m	Md	3.0	KNxm/m
PARAMETRI SISMICI			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)			SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		
Accelerazione ag (SLV)		0.130 g	Vd	29.5	KN/m	Vd	5.9	KN/m	Vd	5.9	KN/m
Coefficiente di sottosuolo S		1.000	Md	22.8	KN/m	Md	4.6	KN/m	Md	4.6	KN/m
Coefficiente di riduzione βm		1.00									
Coefficiente sismico orizzontale		0.130									
Coefficiente sismico verticale (±)		0.065									
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	60.0	KN/m	Vd	12.0	KN/m	Vd	12.0	KN/m
Coesione		0.00 KN/m2	Md	93.0	KN/m	Md	18.6	KN/m	Md	18.6	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	15	KN/m	Vd	3.7	KN/m	Vd	4.3	KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)		0.322	Vd	142	KN/m	Md	2.9	KNxm/m	Md	3.3	KNxm/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)		0.334	Md	178	KNxm/m						
Lunghezza cuneo di spinta		4.35 m	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE			FORZA D'INERZIA SUL MURO			FORZA D'INERZIA SUL MURO		
			Nd	12	KN/m	Nd	0.8	KN/m	Nd	-0.8	KN/m
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO			Vd	95	KN/m	Vd	1.6	KN/m	Vd	1.4	KN/m
Carico		600 KN	Md	119	KNxm/m	Md	1.2	KNxm/m	Md	1.1	KNxm/m
Lunghezza impronta		2.20 m				FORZA D'INERZIA SUL TERRENO			FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		
Larghezza impronta		3.00 m				Vd	12.8	KN/m	Vd	11.2	KN/m
Intensità carico (in testa)		90.91 KN/m2				Md	9.9	KNxm/m	Md	8.7	KNxm/m
Lunghezza base proiezione		3.09 m				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		
Larghezza base proiezione		3.00 m				Vd	18.6	KN/m	Vd	16.3	KN/m
Intensità carico (alla base)		64.62 KN/m2				Md	28.9	KNxm/m	Md	25.3	KNxm/m
Intensità carico (valore medio)		77.77 KN/m2				SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2		
CARICHI TESTA PARAGHIAIA (FRENATURA)						Nd	12	KN/m	Nd	12	KN/m
Valore del carico Nd		0.0 KN/m				Vd	60	KN/m	Vd	57	KN/m
Valore del taglioTd		60.0 KN/m				Md	69	KNxm/m	Md	65	KNxm/m
Valore del momento Md		0.0 KN/m									
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE											
Peso proprio (muro - terreno)		1.30									
Accidentale a tergo + carichi in testa		1.50									
Partecipazione sism. Accidentale		20%									
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA											
Volume terreno su zattera interna		6.67 m3									
Volume cuneo di spinta		18.15 m3									
Volume totale di terreno mobilitato		24.81 m3									
Volume afferente al paraghiaia		4.61 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 66 di 130

## 13.2 Verifica del paraghiaia

### 13.2.1 Verifica a flessione

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  $1\Phi 16/20$  risulta:

- |  |   |
|--|---|
| - <u>SLU</u>                               | - <u>SLV1-SLV2</u>                        |
| - $N_d = 15 \text{ kN/m}$                  | - $N_d = 12 \text{ kN/m}$                 |
| - $M_d = 178 \text{ kNm/m}$                | - $M_d = 69 \text{ kNm/m}$                |
| - $M_r = 255 \text{ kNm/m}$                | - $M_r = 255 \text{ kNm/m}$               |
| - $\gamma_s = 255/178 = \mathbf{1.43 > 1}$ | - $\gamma_s = 255/69 = \mathbf{3.69 > 1}$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Paraghiaia (spalla)

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	10.05	6
2	31.42	24

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 15 0 kN

M<sub>Ed</sub> 0 0 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 255.6 kN m

Materiali

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰

$E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8

$\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6

$\tau_{c1}$  1.829

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²

$\sigma_s$  391.3 N/mm²

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  7.957 ‰

d 24 cm

x 7.331 x/d 0.3055

$\phi$  0.8218

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

L<sub>0</sub> 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 67 di 130</p>
---	--	---

### 13.2.2 Verifica a taglio

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$- \mathbf{V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 194 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 240 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.913$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 314)/(1000 \times 240) = 0.0131$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$

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

$$- \mathbf{V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 128 \text{ KN}}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 142 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 194 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 194/142 = \mathbf{1.36 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 60 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 194 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 194/60 = \mathbf{3.23 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--





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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 68 di 130

### 13.3 Caratteristiche di sollecitazione allo spiccato del paramento verticale

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

CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL PARAMENTO - H = 7.05m					
GEOMETRIA		STATICA		SISMICA 1 (Kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
Spessore medio del muro	1.20 m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza paraghiaia+paramento	7.05 m						
Altezza fondazione	1.30 m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Lunghezza mensola interna	4.30 m	Nd 211.5 KN/m		Nd 211.5 KN/m		Nd 211.5 KN/m	
Lunghezza mensola esterna	1.50 m						
Lunghezza totale fondazione	7.00 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
		Vd 121.5 KN/m		Vd 121.5 KN/m		Vd 121.5 KN/m	
		Md 285.5 KNxm/m		Md 285.5 KNxm/m		Md 285.5 KNxm/m	
PARAMETRI SISMICI		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd 105.8 KN/m		Vd 21.2 KN/m		Vd 21.2 KN/m	
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md 373.0 KN/m		Md 74.6 KN/m		Md 74.6 KN/m	
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	1.00						
Coefficiente sismico orizzontale	0.130	CARICHI TESTA PARAMENTO		CARICHI TESTA PARAMENTO		CARICHI TESTA PARAMENTO	
Coefficiente sismico verticale ( $\pm$ )	0.065	Nd 133.2 KN/m		Nd 133.2 KN/m		Nd 133.2 KN/m	
		Vd 41.1 KN/m		Vd 41.1 KN/m		Vd 41.1 KN/m	
		Md 255.9 KN/m		Md 255.9 KN/m		Md 255.9 KN/m	
TERRENO		SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Peso di volume	20.00 KN/m <sup>3</sup>	Nd 465 KN/m		Vd 45.0 KN/m		Vd 52.4 KN/m	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Vd 362 KN/m		Md 158.7 KNxm/m		Md 184.6 KNxm/m	
Coesione	0.00 KN/m <sup>2</sup>	Md 1234 KNxm/m					
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	Nd 345 KN/m		Nd 22.4 KN/m		Nd -22.4 KN/m	
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.322	Vd 268 KN/m		Vd 47.7 KN/m		Vd 41.9 KN/m	
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.334	Md 914 KNxm/m		Md 168.2 KNxm/m		Md 147.7 KNxm/m	
Lunghezza cuneo di spinta	4.35 m			FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
				Vd 113.3 KN/m		Vd 99.5 KN/m	
				Md 399.4 KNxm/m		Md 350.6 KNxm/m	
SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO				FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Carico	600 KN			Vd 14.7 KN/m		Vd 12.9 KN/m	
Lunghezza impronta	2.20 m			Md 103.6 KNxm/m		Md 91.0 KNxm/m	
Larghezza impronta	3.00 m			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m <sup>2</sup>			Nd 367 KN/m		Nd 345 KN/m	
Lunghezza base proiezione	6.27 m			Vd 405 KN/m		Vd 390 KN/m	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Md 1446 KNxm/m		Md 1390 KNxm/m	
Intensità carico (alla base)	31.90 KN/m <sup>2</sup>						
Intensità carico (valore medio)	61.40 KN/m <sup>2</sup>						
CARICHI IMPALCATO IN TESTA PARAMENTO							
Valore del carico Nd	133.2 KN/m						
Valore del taglio Td	41.1 KN/m						
Valore del momento Md	29.8 KN/m						
COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
TERRENO MOBILITATO DAL SISMA							
Volume terreno su zattera interna	30.32 m <sup>3</sup>						
Volume cuneo di spinta	18.15 m <sup>3</sup>						
Volume totale di terreno mobilitato	48.46 m <sup>3</sup>						
Volume afferente al paramento	40.92 m <sup>3</sup>						

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 69 di 130</p>
---	--	---

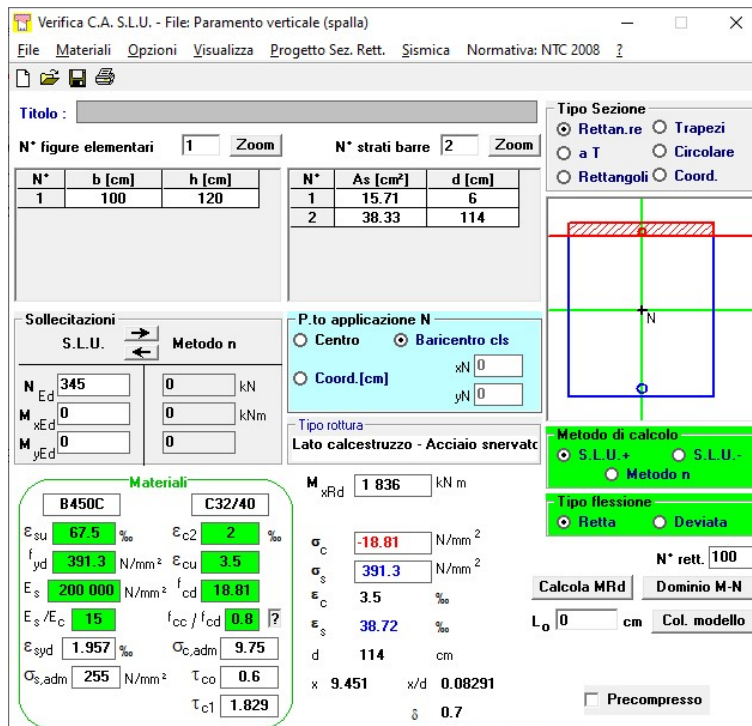
## 13.4 Verifica del paramento verticale

### 13.4.1 Verifica a flessione

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con 1Φ20/20+1Φ24/20 e quella compressa con 1Φ20/20 risulta:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>N_d = 465 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 1234 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1899 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1899/1234 = \mathbf{1.54} &gt; 1</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>N_d = 345 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 1446 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1836 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1836/1446 = \mathbf{1.27} &gt; 1</math></li> </ul> |
|---|---|

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:



**Verifica C.A. S.L.U. - File: Paramento verticale (spalla)**

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	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	6
2	38.33	114

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 345 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C C32/40  
ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.81 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9.75 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829

**M<sub>Rd</sub>** 1836 kNm  
σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 38.72 ‰  
d 114 cm  
x 9.451 x/d 0.08291  
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  
L<sub>0</sub> 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 70 di 130</p>
---	--	---

### 13.4.2 Verifica a taglio

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$- V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{434 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 1140 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.419$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 314 + 5 \times 452)/(1000 \times 1140) = 0.00336$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$

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

$$- V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 388 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 362 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 434 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 434/362 = \mathbf{1.20 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 405 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 434 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 434/405 = \mathbf{1.07 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 71 di 130</p>
---	--	---

## 13.5 Verifica della fondazione

### 13.5.1 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

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

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

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

- Sezione a filo esterno

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

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

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

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - SPALLA H=8.35m											
SEZIONE A FILO INTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-223	KN/m	Nd	-261	KN/m	Nd	-251	KN/m	Nd	-165	KN/m
Vd	769	KN/m	Vd	581	KN/m	Vd	515	KN/m	Vd	540	KN/m
Md	1379	KNxm/m	Md	1689	KNxm/m	Md	1618	KNxm/m	Md	1022	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'	6.06	m	B'	4.79	m	B'	4.44	m	B'	6.06	m
$q_{\text{med}}$	321	Kpa	$q_{\text{med}}$	274	Kpa	$q_{\text{med}}$	259	Kpa	$q_{\text{med}}$	238	Kpa
$q_{\text{max}}$	643	Kpa	$q_{\text{max}}$	548	Kpa	$q_{\text{max}}$	518	Kpa	$q_{\text{max}}$	476	Kpa
$q_{\text{int}}$	356	Kpa	$q_{\text{int}}$	239	Kpa	$q_{\text{int}}$	203	Kpa	$q_{\text{int}}$	264	Kpa
$q_{\text{med int}}$	500	Kpa	$q_{\text{med int}}$	393	Kpa	$q_{\text{med int}}$	361	Kpa	$q_{\text{med int}}$	370	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	78	KN/m	Nd	91	KN/m	Nd	88	KN/m	Nd	58	KN/m
Vd	781	KN/m	Vd	630	KN/m	Vd	583	KN/m	Vd	562	KN/m
Md	637	KNxm/m	Md	532	KNxm/m	Md	494	KNxm/m	Md	459	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'	6.06	m	B'	4.79	m	B'	4.44	m	B'	6.06	m
$q_{\text{med}}$	321	Kpa	$q_{\text{med}}$	274	Kpa	$q_{\text{med}}$	259	Kpa	$q_{\text{med}}$	238	Kpa
$q_{\text{max}}$	643	Kpa	$q_{\text{max}}$	548	Kpa	$q_{\text{max}}$	518	Kpa	$q_{\text{max}}$	476	Kpa
$q_{\text{est}}$	484	Kpa	$q_{\text{est}}$	376	Kpa	$q_{\text{est}}$	343	Kpa	$q_{\text{est}}$	358	Kpa
$q_{\text{med est}}$	563	Kpa	$q_{\text{med est}}$	462	Kpa	$q_{\text{med est}}$	431	Kpa	$q_{\text{med est}}$	417	Kpa

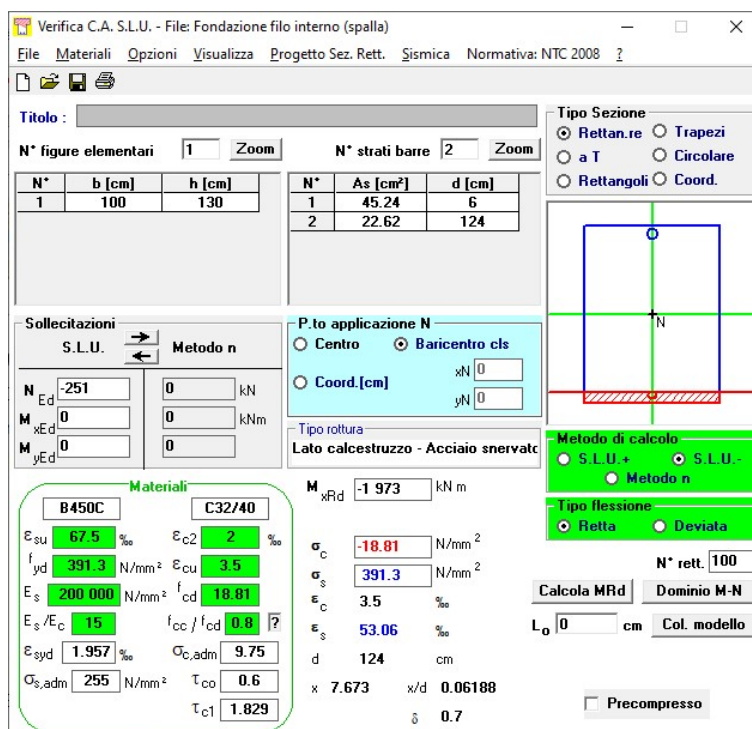
 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 72 di 130</p>
---	--	---

### 13.5.2 Verifica a flessione della fondazione (filo interno)

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari  $1\Phi 24/10$  superiore e  $1\Phi 24/20$  inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>N_d = -223 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 1379 \text{ kNxm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1990 \text{ kNxm}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1990/1379 = \mathbf{1.44 &gt; 1}</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>N_d = -251 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 1689 \text{ kNxm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1973 \text{ KN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1973/1689 = \mathbf{1.17 &gt; 1}</math></li> </ul> |
|--|--|

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:



Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazione filo interno (spalla)

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	130	1	45.24	6
			2	22.62	124

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -251 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.81 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9.75 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829

M<sub>xRd</sub> -1 973 kN m  
σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 53.06 ‰  
d 124 cm  
x 7.673 x/d 0.06188  
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  
L<sub>o</sub> 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 73 di 130</p>
---	--	---

### 13.5.3 Verifica a taglio della fondazione (filo interno)

La resistenza a taglio della fondazione (filo interno) risulta:

$$- V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 478 \text{ KN} < V_d$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 1240 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.401$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 452)/(1000 \times 1240) = 0.00364$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$

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

$$- V_{r \min} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 414 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- SLU</li> <li>- <math>V_d = 769 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 478 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 478/769 = 0.62 &lt; 1</math></li> <li>- <u>E' richiesta armatura a taglio</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 581 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 478 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 478/581 = 0.82 &lt; 1</math></li> <li>- <u>E' richiesta armatura a taglio</u></li> </ul>
---	--

Armando la fondazione a taglio con spille  $\Phi 14$  disposte a interasse 40x40cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 769 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rsd}; V_{rcd}) = 1049 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1049/769 = 1.36 > 1$

essendo

- $V_{rsd} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 1049 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 3617 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 1240 \text{ mm}$ ;  $b_w = 1000 \text{ mm}$ ;  $A_{sw}/s = 154/0.4/400 = 0.962$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$ ;  $\alpha = 90$  ( $\cot \alpha = 0$ ;  $\sin \alpha = 1$ )  $\cot \theta = 2.5$ ;
- $\alpha_c = 1$ ;  $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$





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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 74 di 130

### 13.5.4 Verifica a flessione della fondazione (filo esterno)

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari  $1\Phi 24/10$  superiore e  $1\Phi 24/20$  inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera esterna e il paramento verticale, risulta:

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| - <u>SLU</u>                       | - <u>SLV1-SLV2</u>                 |
| - $N_d = 78 \text{ kN/m}$          | - $N_d = 88 \text{ kN/m}$          |
| - $M_d = 637 \text{ kNxm/m}$       | - $M_d = 532 \text{ kNxm/m}$       |
| - $M_r = 1122 \text{ kNxm}$        | - $M_r = 1128 \text{ KN/m}$        |
| - $\gamma_s = 1122/637 = 1.76 > 1$ | - $\gamma_s = 1128/532 = 2.12 > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazione filo esterno (spalla)

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	130

N°	As [cm²]	d [cm]
1	45.24	6
2	22.62	124

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

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 88 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato acciaio - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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


Precompresso

Materiali

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

M<sub>xRd</sub> 1 128 kN m

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.481 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
d 124 cm  
x 6.081 x/d 0.04904  
 $\delta$  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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 75 di 130</p>
---	--	---

### 13.5.5 Verifica a taglio della fondazione (filo esterno)

La resistenza a taglio della fondazione (filo esterno) risulta:

$$- V_r = V_r \min = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 414 \text{ KN} < V_d$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 1240 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.401$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 452)/(1000 \times 1240) = 0.00182$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$

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

$$- V_r \min > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 379 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- SLU</li> <li>- <math>V_d = 781 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 414 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 414/781 = 0.53 &lt; 1</math></li> <li>- <u>E' richiesta armatura a taglio</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 630 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 414 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 414/630 = 0.66 &lt; 1</math></li> <li>- <u>E' richiesta armatura a taglio</u></li> </ul>
---	--

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

- $V_d = 781 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rsd}; V_{rcd}) = 1049 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1049/781 = 1.34 > 1$

essendo

- $V_{rsd} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 1049 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 3617 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 1240 \text{ mm}$ ;  $b_w = 1000 \text{ mm}$ ;  $A_{sw}/s = 154/0.4/400 = 0.962$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$ ;  $\alpha = 90$  ( $\cot \alpha = 0$ ;  $\sin \alpha = 1$ )  $\cot \theta = 2.5$ ;
- $\alpha_c = 1$ ;  $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$





Ferrovie Appulo Lucane

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

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 76 di 130

## PROGETTO DEFINITIVO

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

## 13.6 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - SPALLA H=8.35m											
<b>LARGHEZZA FONDAZIONE</b>			<b>STATICA</b>				<b>SISMICA 1 (kh+Kv)</b>				<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>			
B - Lunghezza fondazione	7.00	m	cond. di spinta attiva				cond. di spinta attiva+sismica				cond. di spinta attiva+sismica			
<b>BARICENTRO FONDAZIONE</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>				<b>PESO PROPRIO MURO</b>				<b>PESO PROPRIO MURO</b>			
Xg - Distanza dal filo più interno	3.50	m	Nd	211.5	KN/m		Nd	211.5	KN/m		Nd	211.5	KN/m	
			Xn	4.90	m		Xn	4.90	m		Xn	4.90	m	
<b>CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA</b>			Md	296.1	KNxm/m		Md	296.1	KNxm/m		Md	296.1	KNxm/m	
A - Area	7.00	m <sup>2</sup> /m	<b>PESO FONDAZIONE</b>				<b>PESO FONDAZIONE</b>				<b>PESO FONDAZIONE</b>			
W - Modulo di resistenza	8.17	m <sup>3</sup> /m	Nd	227.5	KN/m		Nd	227.5	KN/m		Nd	227.5	KN/m	
			<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>				<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>				<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>			
			Nd	606.3	KN/m		Nd	606.3	KN/m		Nd	606.3	KN/m	
			Xn	2.15	m		Xn	2.15	m		Xn	2.15	m	
			Vd	170.4	KN/m		Vd	170.4	KN/m		Vd	170.4	KN/m	
			Md	-344.2	KNxm/m		Md	-344.2	KNxm/m		Md	-344.2	KNxm/m	
			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>				<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>				<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>			
			Nd	264.0	KN/m		Nd	52.8	KN/m		Nd	52.8	KN/m	
			Xn	2.15	m		Xn	2.15	m		Xn	2.15	m	
			Vd	125.3	KN/m		Vd	25.1	KN/m		Vd	25.1	KN/m	
			Md	166.8	KN/m		Md	33.4	KN/m		Md	33.4	KN/m	
			<b>CARICHI TESTA MURO</b>				<b>CARICHI TESTA MURO</b>				<b>CARICHI TESTA MURO</b>			
			Nd	133.2	KN/m		Nd	133.2	KN/m		Nd	133.2	KN/m	
			Xn	4.90	m		Xn	4.90	m		Xn	4.90	m	
			Vd	41.1	KN/m		Vd	41.1	KN/m		Vd	41.1	KN/m	
			Md	495.8	KN/m		Md	495.8	KN/m		Md	495.8	KN/m	
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>				<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>				<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>			
			Nd	1947	KN/m		Vd	61.7	KN/m		Vd	71.8	KN/m	
			Vd	455	KN/m		Md	257.6	KNxm/m		Md	299.6	KNxm/m	
			Md	830	KNxm/m									
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>				<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>				<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>			
			Nd	1442	KN/m		Nd	37.2	KN/m		Nd	-37.2	KN/m	
			Vd	337	KN/m		Vd	79.2	KN/m		Vd	69.5	KN/m	
			Md	615	KNxm/m		Md	347.1	KNxm/m		Md	308.5	KNxm/m	
							<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>				<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>			
							Nd	39.4	KN/m		Nd	-39.4	KN/m	
							Vd	134.2	KN/m		Vd	117.8	KN/m	
							Md	631.5	KNxm/m		Md	654.4	KNxm/m	
							<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>				<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>			
							Nd	3.4	KN/m		Nd	-3.4	KN/m	
							Vd	14.7	KN/m		Vd	12.9	KN/m	
							Md	118.1	KNxm/m		Md	112.4	KNxm/m	
							<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>				<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>			
							Nd	1311	KN/m		Nd	1151	KN/m	
							Vd	526	KN/m		Vd	509	KN/m	
							Md	1835	KNxm/m		Md	1856	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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 77 di 130
---	---	--

### 13.7 Verifiche geotecniche

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

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - SPALLA H=8.35m					
<b>CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE</b>								
Angolo di attrito	33	°						
Coesione	0	KN/m2						
Carico limite di progetto	1170	Kpa						
<b>VERIFICA AL CARICO LIMITE</b>			<b>SLU</b>		<b>SLV1 (kh+kv)</b>		<b>SLV2 (kh-kv)</b>	
Nd - Carico assiale	1947	KN/m			1311	KN/m	1151	KN/m
Md - Momento flettente	830	KNxm/m			1835	KNxm/m	1856	KNxm/m
e - Eccentricità	0.43	m			1.40	m	1.61	m
B' - Larghezza ridotta	6.15	m			4.20	m	3.78	m
q medio (SLU)	317	Mpa			312	Mpa	305	Mpa
q limite di progetto	1170	Mpa			1170	Mpa	1170	Mpa
Coefficiente di sicurezza	3.69	> 1.40	VERIFICA		3.75	> 1.20	VERIFICA	3.84 > 1.20 VERIFICA
<b>VERIFICA ALLO SCORRIMENTO</b>			<b>SLU</b>		<b>SLV1 (kh+kv)</b>		<b>SLV2 (kh-kv)</b>	
Azione spingente	455	KN			526	KN	509	KN
Azione resistente	1265	KN			852	KN	748	KN
Coefficiente di sicurezza	2.78	> 1.10	VERIFICA		1.62	> 1.00	VERIFICA	1.47 > 1.00 VERIFICA
<b>VERIFICA AL RIBALTAMENTO</b>			<b>SLU</b>		<b>SLV1 (kh+kv)</b>		<b>SLV2 (kh-kv)</b>	
Momento ribaltante	1810	KNxm			2165	KNxm	2087	KNxm
Momento resistente	7316	KNxm			5003	KNxm	4431	KNxm
Coefficiente di sicurezza	4.04	> 1.15	VERIFICA		2.31	> 1.00	VERIFICA	2.12 > 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

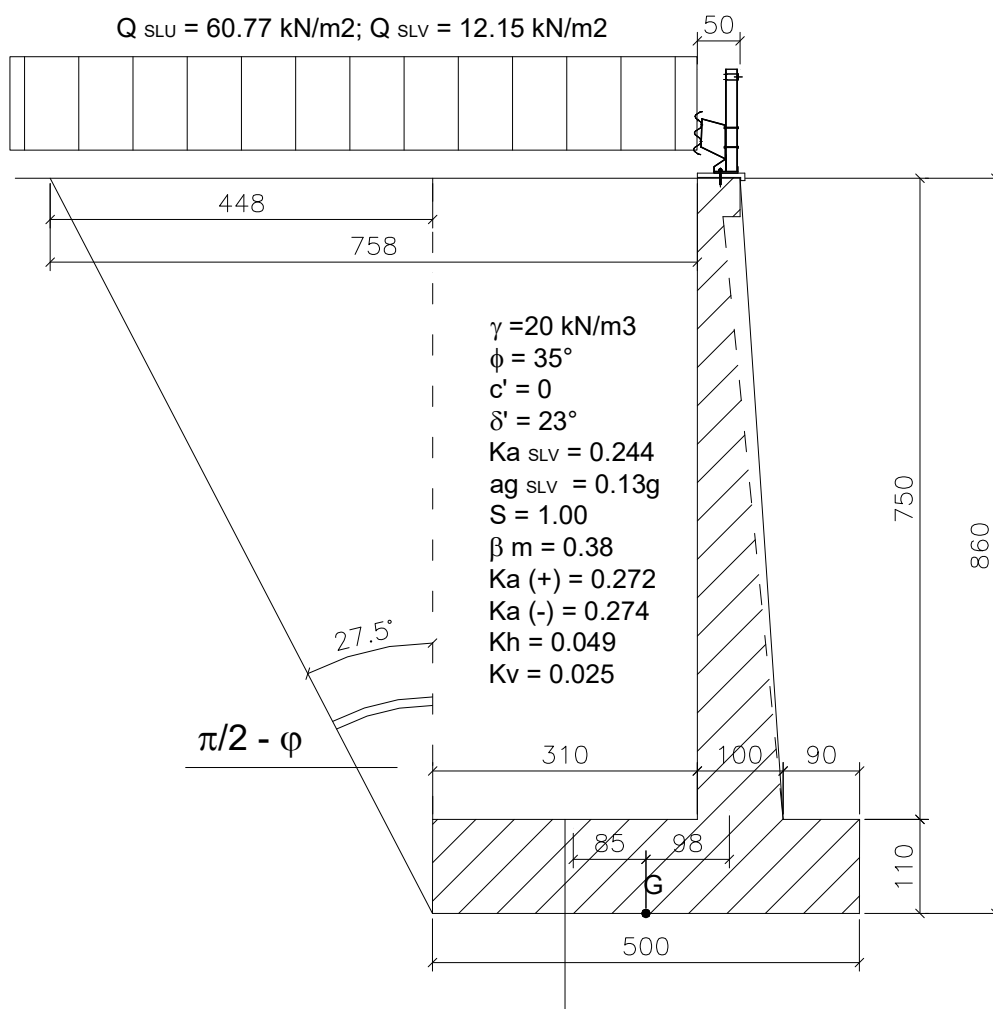
Data: Giugno 2020

Pag. 78 di 130

## 14 VERIFICA DEI MURI

### 14.1 Muro $6.50\text{m} < H \leq 7.50\text{m}$

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza compresa tra 6.50m e 7.50m:





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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 79 di 130

#### 14.1.1 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:

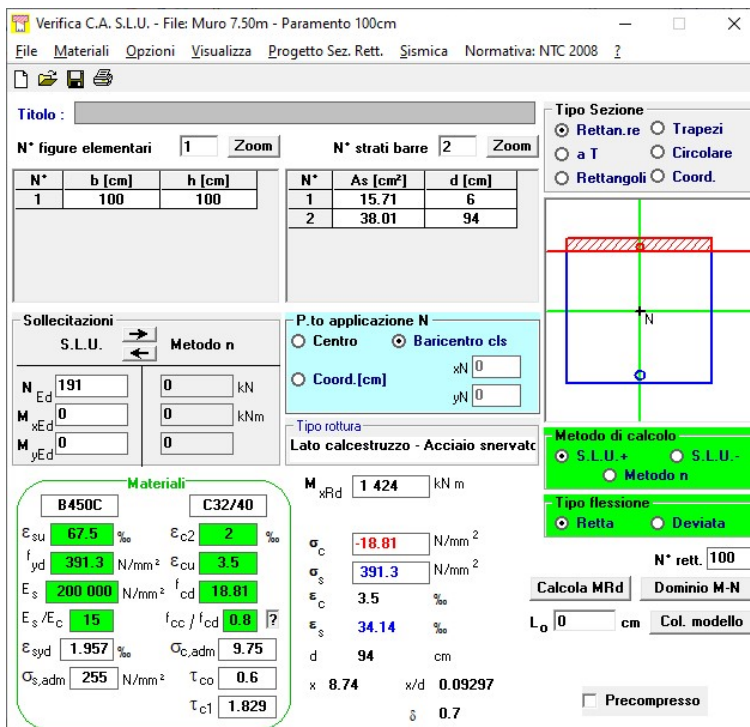
CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL MURO - H = 7.5m					
<b>GEOMETRIA</b>		<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (Kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
Spessore medio del muro	0.75 m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	7.50 m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	1.10 m	Nd	140.6 KN/m	Nd	140.6 KN/m	Nd	140.6 KN/m
Lunghezza mensola interna	3.10 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	1.15 m	Vd	137.5 KN/m	Vd	137.5 KN/m	Vd	137.5 KN/m
Lunghezza totale fondazione	5.00 m	Md	343.7 KNxm/m	Md	343.7 KNxm/m	Md	343.7 KNxm/m
<b>PARAMETRI SISMICI</b>		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	111.4 KN/m	Vd	22.3 KN/m	Vd	22.3 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	417.8 KN/m	Md	83.6 KN/m	Md	83.6 KN/m
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	0.38	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale ( $\pm$ )	0.025	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
<b>TERRENO</b>		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
Peso di volume	20.00 KN/m <sup>3</sup>	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Nd	191 KN/m	Vd	18.3 KN/m	Vd	19.2 KN/m
Coesione	0.00 KN/m <sup>2</sup>	Vd	336 KN/m	Md	68.5 KNxm/m	Md	72.2 KNxm/m
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	Md	1028 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		Nd	3.5 KN/m	Nd	-3.5 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Nd	142 KN/m	Vd	7.2 KN/m	Vd	6.8 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Vd	249 KNxm/m	Md	26.9 KNxm/m	Md	25.6 KNxm/m
Lunghezza cuneo di spinta	4.48 m	Md	761 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
<b>SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO</b>				Vd	43.0 KN/m	Vd	41.0 KN/m
Carico	600 KN			Md	161.4 KNxm/m	Md	153.6 KNxm/m
Lunghezza impronta	2.20 m			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Larghezza impronta	3.00 m			Vd	4.7 KN/m	Vd	4.4 KN/m
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m <sup>2</sup>			Md	35.0 KNxm/m	Md	33.3 KNxm/m
Lunghezza base proiezione	6.53 m			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Nd	145 KN/m	Nd	142 KN/m
Intensità carico (alla base)	30.63 KN/m <sup>2</sup>			Vd	233 KN/m	Vd	231 KN/m
Intensità carico (valore medio)	60.77 KN/m <sup>2</sup>			Md	719 KNxm/m	Md	712 KNxm/m
<b>CARICHI IN TESTA PARAMENTO</b>							
Valore del carico Nd	1.0 KN/m						
Valore del taglio Td	0.0 KN/m						
Valore del momento Md	0.0 KN/m						
<b>COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE</b>							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
<b>TERRENO MOBILITATO DAL SISMA</b>							
Volume terreno su zattera interna	23.25 m <sup>3</sup>						
Volume cuneo di spinta	19.25 m <sup>3</sup>						
Volume totale di terreno mobilitato	42.50 m <sup>3</sup>						
Volume afferente alla fondazione	42.50 m <sup>3</sup>						

#### 14.1.2 Verifica a flessione del muro

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con  $1\Phi 22/10$  e quella compressa con  $1\Phi 20/20$  risulta:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>N_d = 191 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 1028 \text{ kNxm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1424 \text{ kNxm/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1424/1028 = \mathbf{1.38 &gt; 1}</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>N_d = 142 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 719 \text{ kNxm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1403 \text{ kNxm/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1403/719 = \mathbf{1.95 &gt; 1}</math></li> </ul> |
|---|---|

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The title bar indicates 'File: Muro 7.50m - Paramento 100cm'. The main window contains several input fields and tables for material properties, section data, and load application.

**Materiali:**

Material	$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_s/E_c$	$\epsilon_{syd}$ [‰]	$\sigma_{s,adm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
B450C	200 000	391.3	15	1.957	255
C32/40	32 000	18.81	0.8	9.75	0.6

**Sezione:**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	100	100	1	15.71	6
2			2	38.01	94

**Sollecitazioni:**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$  191 kN  
 $M_{xEd}$  0 kNm  
 $M_{yEd}$  0 kNm

**P.to applicazione N:**

Centro Baricentro cls

$x_N$  0  
 $y_N$  0

**Tipo rottura:**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo:**

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

**Tipo flessione:**

Retta Deviata

**Calcoli:**

$M_{xRd}$  1 424 kN m  
 $\sigma_c$  -18.81 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  34.14 ‰  
 $d$  94 cm  
 $x$  8.74  
 $x/d$  0.09297  
 $\delta$  0.7

**Parametri:**

$N^*$  rett. 100  
 $L_0$  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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 81 di 130</p>
---	--	---

#### 14.1.3 Verifica a taglio del muro

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

$$- V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{391 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 940 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.461$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 380)/(1000 \times 940) = 0.00404$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$


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"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 336 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 391 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 391/336 = \mathbf{1.16 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 233 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 391 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 391/233 = \mathbf{1.68 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 82 di 130</p>
---	--	---

#### 14.1.4 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=7.5m											
SEZIONE A FILO INTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-208	KN/m	Nd	-144	KN/m	Nd	-143	KN/m	Nd	-154	KN/m
Vd	694	KN/m	Vd	446	KN/m	Vd	431	KN/m	Vd	497	KN/m
Md	1143	KNxm/m	Md	798	KNxm/m	Md	791	KNxm/m	Md	846	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'	3.75	m	B'	3.29	m	B'	3.16	m	B'	3.75	m
$q_{\text{med}}$	336	Kpa	$q_{\text{med}}$	244	Kpa	$q_{\text{med}}$	241	Kpa	$q_{\text{med}}$	249	Kpa
$q_{\text{max}}$	672	Kpa	$q_{\text{max}}$	488	Kpa	$q_{\text{max}}$	482	Kpa	$q_{\text{max}}$	498	Kpa
$q_{\text{int}}$	331	Kpa	$q_{\text{int}}$	206	Kpa	$q_{\text{int}}$	192	Kpa	$q_{\text{int}}$	245	Kpa
$q_{\text{med int}}$	502	Kpa	$q_{\text{med int}}$	347	Kpa	$q_{\text{med int}}$	337	Kpa	$q_{\text{med int}}$	372	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	77	KN/m	Nd	54	KN/m	Nd	53	KN/m	Nd	57	KN/m
Vd	613	KN/m	Vd	421	KN/m	Vd	413	KN/m	Vd	444	KN/m
Md	395	KNxm/m	Md	272	KNxm/m	Md	267	KNxm/m	Md	287	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'	3.75	m	B'	3.29	m	B'	3.16	m	B'	3.75	m
$q_{\text{med}}$	336	Kpa	$q_{\text{med}}$	244	Kpa	$q_{\text{med}}$	241	Kpa	$q_{\text{med}}$	249	Kpa
$q_{\text{max}}$	672	Kpa	$q_{\text{max}}$	488	Kpa	$q_{\text{max}}$	482	Kpa	$q_{\text{max}}$	498	Kpa
$q_{\text{est}}$	466	Kpa	$q_{\text{est}}$	317	Kpa	$q_{\text{est}}$	307	Kpa	$q_{\text{est}}$	345	Kpa
$q_{\text{med est}}$	569	Kpa	$q_{\text{med est}}$	402	Kpa	$q_{\text{med est}}$	395	Kpa	$q_{\text{med est}}$	421	Kpa

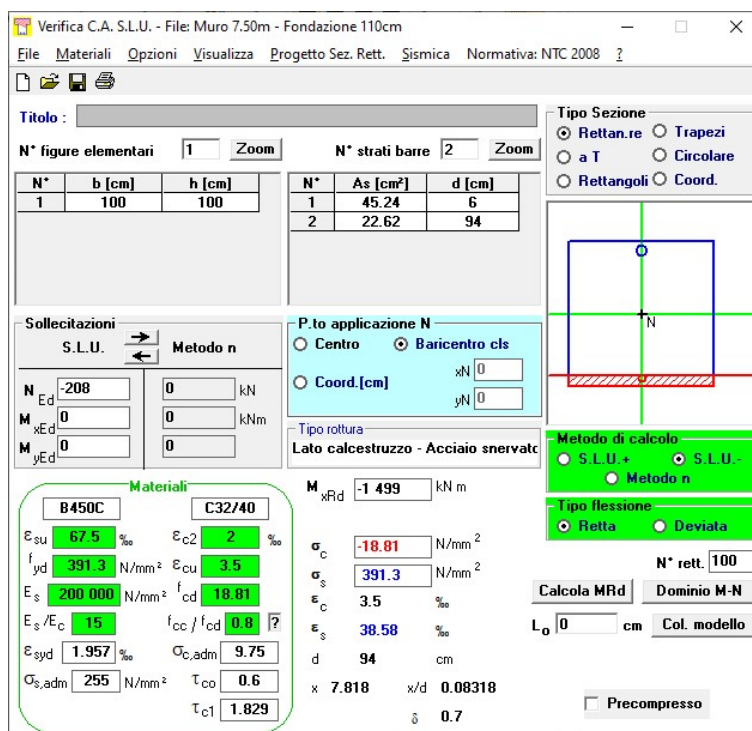
 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 83 di 130</p>
---	--	---

#### 14.1.5 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari  $1\Phi 24/10$  superiore e  $1\Phi 24/20$  inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>N_d = -208 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 1143 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1499 \text{ kNm}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1499/1143 = \mathbf{1.31} &gt; 1</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>N_d = -144 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 798 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1527 \text{ kNm}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1527/798 = \mathbf{1.91} &gt; 1</math></li> </ul> |
|--|--|

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:



Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 7.50m - Fondazione 110cm

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	45.24	6
			2	22.62	94

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -208 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 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

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

Precompresso

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.81 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9.75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829

M<sub>xRd</sub> -1 499 kNm  
σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 38.58 ‰  
d 94 cm  
x 7.818 x/d 0.08318  
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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 84 di 130</p>
---	--	---

#### 14.1.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

$$- V_r = (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = \mathbf{436 \text{ KN}}$$

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 1040 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.438$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (10 \times 452)/(1000 \times 1040) = 0.00434$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$

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

$$- V_{r \text{ min}} = (0.035 \times K^{3/2} \times f_{ck}^{1/2}) \times b \times d = 362 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 694 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 436 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 436/694 = \mathbf{0.63 &lt; 1}</math></li> <li>- <u>è necessaria armatura a taglio</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 446 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 436 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 436/446 = \mathbf{0.98 &lt; 1}</math></li> <li>- <u>è necessaria armatura a taglio</u></li> </ul>
---	---

Armando la fondazione a taglio con spille  $\Phi 14$  disposte a interasse  $40 \times 30 \text{ cm}$ , dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 694 \text{ kN/m}$
- $V_{rd} = \min(V_{rsd}; V_{rcd}) = 1174 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 1174/694 = \mathbf{1.69 > 1}$

essendo

- $V_{rsd} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 1174 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 3034 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 940 \text{ mm}$ ;  $b_w = 1000 \text{ mm}$ ;  $A_{sw}/s = 154/0.4/300 = 1.283$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$ ;  $\alpha = 90$  ( $\cot \alpha = 0$ ;  $\sin \alpha = 1$ )  $\cot \theta = 2.5$ ;
- $\alpha_c = 1$ ;  $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$



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

## Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 85 di 130

### 14.1.7 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=7.5m					
<b>LARGHEZZA FONDAZIONE</b>			<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
B - Lunghezza fondazione	5.00	m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
<b>BARICENTRO FONDAZIONE</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>		<b>PESO PROPRIO MURO</b>		<b>PESO PROPRIO MURO</b>	
X <sub>G</sub> - Distanza dal filo più interno	2.50	m	Nd	140.6 KN/m	Nd	140.6 KN/m	Nd	140.6 KN/m
			X <sub>N</sub>	3.48 m	X <sub>N</sub>	3.48 m	X <sub>N</sub>	3.48 m
			Md	137.1 KNxm/m	Md	137.1 KNxm/m	Md	137.1 KNxm/m
<b>CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>		<b>PESO FONDAZIONE</b>		<b>PESO FONDAZIONE</b>	
A - Area	5.00	m <sup>2</sup> /m	Nd	137.5 KN/m	Nd	137.5 KN/m	Nd	137.5 KN/m
W - Modulo di resistenza	4.17	m <sup>3</sup> /m	<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>		<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>		<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>	
			Nd	465.0 KN/m	Nd	465.0 KN/m	Nd	465.0 KN/m
			X <sub>N</sub>	1.55 m	X <sub>N</sub>	1.55 m	X <sub>N</sub>	1.55 m
			Vd	180.8 KN/m	Vd	180.8 KN/m	Vd	180.8 KN/m
			Md	76.5 KNxm/m	Md	76.5 KNxm/m	Md	76.5 KNxm/m
			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>		<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>		<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>	
			Nd	188.4 KN/m	Nd	37.7 KN/m	Nd	37.7 KN/m
			X <sub>N</sub>	1.55 m	X <sub>N</sub>	1.55 m	X <sub>N</sub>	1.55 m
			Vd	127.7 KN/m	Vd	25.5 KN/m	Vd	25.5 KN/m
			Md	370.3 KN/m	Md	74.1 KN/m	Md	74.1 KN/m
			<b>CARICHI TESTA MURO</b>		<b>CARICHI TESTA MURO</b>		<b>CARICHI TESTA MURO</b>	
			Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m
			X <sub>N</sub>	3.48 m	X <sub>N</sub>	3.48 m	X <sub>N</sub>	3.48 m
			Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
			Md	1.0 KN/m	Md	1.0 KN/m	Md	1.0 KN/m
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>		<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>	
			Nd	1259 KN/m	Vd	23.6 KN/m	Vd	24.9 KN/m
			Vd	417 KN/m	Md	101.4 KNxm/m	Md	106.9 KNxm/m
			Md	790 KNxm/m				
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>		<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>	
			Nd	933 KN/m	Nd	6.9 KN/m	Nd	-6.9 KN/m
			Vd	309 KN/m	Vd	14.1 KN/m	Vd	13.4 KN/m
			Md	585 KNxm/m	Md	42.2 KNxm/m	Md	40.3 KNxm/m
					<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>		<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>	
			Nd		Nd	11.5 KN/m	Nd	-11.5 KN/m
			Vd		Vd	43.0 KN/m	Vd	41.0 KN/m
			Md		Md	215.0 KNxm/m	Md	225.9 KNxm/m
					<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>		<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>	
			Nd		Nd	0.9 KN/m	Nd	-0.9 KN/m
			Vd		Vd	4.7 KN/m	Vd	4.4 KN/m
			Md		Md	39.2 KNxm/m	Md	39.0 KNxm/m
					<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
			Nd	801 KN/m	Nd	801 KN/m	Nd	762 KN/m
			Vd	292 KN/m	Vd	292 KN/m	Vd	290 KN/m
			Md	686 KNxm/m	Md	686 KNxm/m	Md	701 KNxm/m

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 86 di 130</p>
---	--	---

#### 14.1.8 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:

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=7.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	33	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	1170	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	1259	KN/m		801	KN/m		762	KN/m	
Md - Momento flettente	790	KNxm/m		686	KNxm/m		701	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.63	m		0.86	m		0.92	m	
B' - Larghezza ridotta	3.75	m		3.29	m		3.16	m	
q medio (SLU)	336	Mpa		244	Mpa		241	Mpa	
q limite di progetto	1170	Mpa		1170	Mpa		1170	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	3.48	> 1.40	VERIFICA	4.80	> 1.20	VERIFICA	4.85	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	417	KN		292	KN		290	KN	
Azione resistente	818	KN		520	KN		495	KN	
Coefficiente di sicurezza	1.96	> 1.10	VERIFICA	1.78	> 1.00	VERIFICA	1.71	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	1441	KNxm		1012	KNxm		1004	KNxm	
Momento resistente	3603	KNxm		2347	KNxm		2241	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	2.50	> 1.15	VERIFICA	2.32	> 1.00	VERIFICA	2.23	> 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

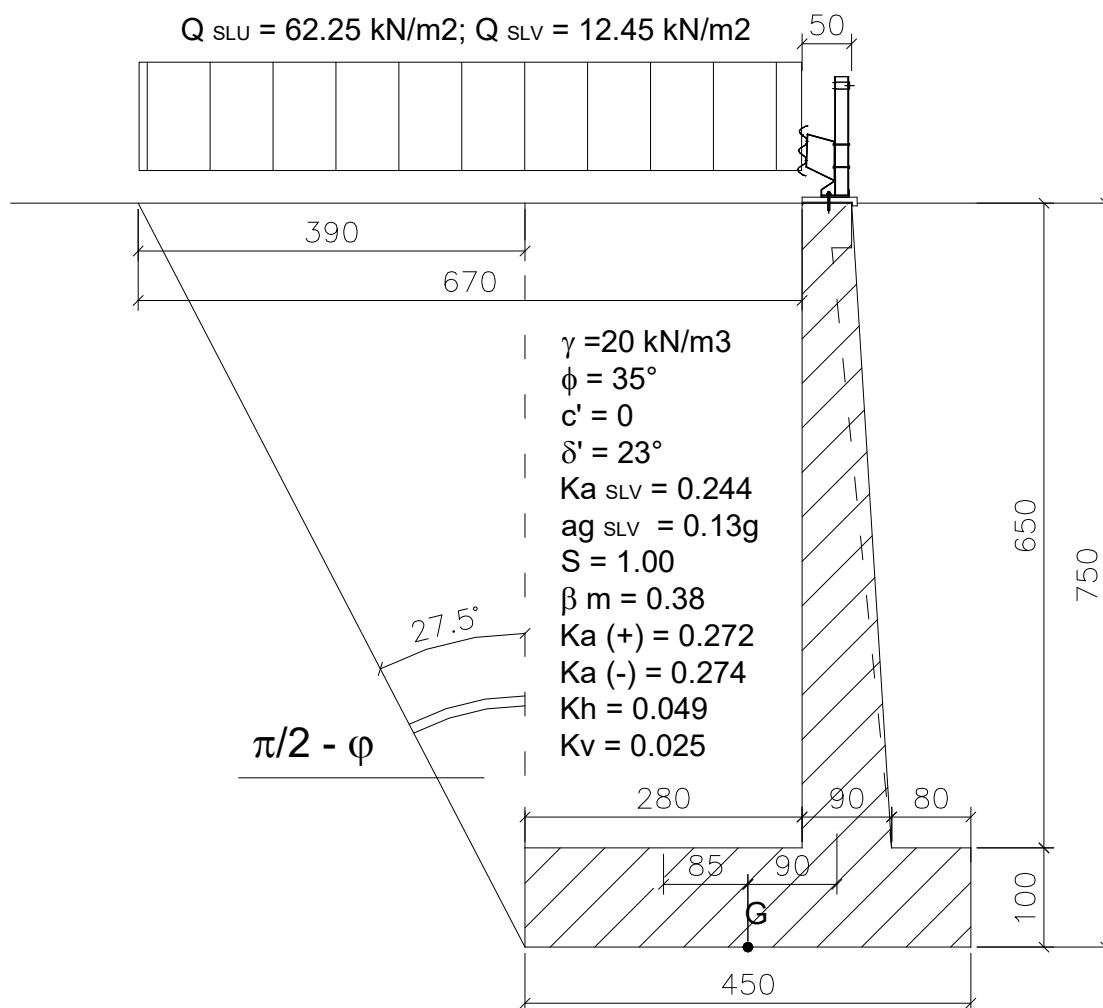
DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 87 di 130

## 14.2 Muro 5.50m < H ≤ 6.50m

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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 88 di 130

#### 14.2.1 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:

CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL MURO - H = 6.5m					
<b>GEOMETRIA</b>		<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (Kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
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	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	1.00 m	Nd	113.8 KN/m	Nd	113.8 KN/m	Nd	113.8 KN/m
Lunghezza mensola interna	2.80 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	1.00 m	Vd	103.3 KN/m	Vd	103.3 KN/m	Vd	103.3 KN/m
Lunghezza totale fondazione	4.50 m	Md	223.8 KNxm/m	Md	223.8 KNxm/m	Md	223.8 KNxm/m
<b>PARAMETRI SISMICI</b>		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	98.9 KN/m	Vd	19.8 KN/m	Vd	19.8 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	321.4 KN/m	Md	64.3 KN/m	Md	64.3 KN/m
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	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
<b>TERRENO</b>		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
Peso di volume	20.00 KN/m <sup>3</sup>	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Nd	154 KN/m	Vd	14.1 KN/m	Vd	14.8 KN/m
Coesione	0.00 KN/m <sup>2</sup>	Vd	273 KN/m	Md	45.7 KNxm/m	Md	48.2 KNxm/m
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	Md	736 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		Nd	2.8 KN/m	Nd	-2.8 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Nd	114 KN/m	Vd	5.8 KN/m	Vd	5.5 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Vd	202 KN/m	Md	18.7 KNxm/m	Md	17.8 KNxm/m
Lunghezza cuneo di spinta	3.90 m	Md	545 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
<b>SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO</b>				Vd	33.2 KN/m	Vd	31.6 KN/m
Carico	600 KN			Md	108.1 KNxm/m	Md	102.8 KNxm/m
Lunghezza impronta	2.20 m			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Larghezza impronta	3.00 m			Vd	4.2 KN/m	Vd	4.0 KN/m
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m <sup>2</sup>			Md	27.5 KNxm/m	Md	26.1 KNxm/m
Lunghezza base proiezione	5.95 m			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Nd	117 KN/m	Nd	114 KN/m
Intensità carico (alla base)	33.60 KN/m <sup>2</sup>			Vd	180 KN/m	Vd	179 KN/m
Intensità carico (valore medio)	62.25 KN/m <sup>2</sup>			Md	488 KNxm/m	Md	483 KNxm/m
<b>CARICHI IN TESTA PARAMENTO</b>							
Valore del carico Nd	0.0 KN/m						
Valore del taglio Td	0.0 KN/m						
Valore del momento Md	0.0 KN/m						
<b>COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE</b>							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
<b>TERRENO MOBILITATO DAL SISMA</b>							
Volume terreno su zattera interna	18.20 m <sup>3</sup>						
Volume cuneo di spinta	14.64 m <sup>3</sup>						
Volume totale di terreno mobilitato	32.84 m <sup>3</sup>						
Volume afferente alla fondazione	32.84 m <sup>3</sup>						





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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 89 di 130

#### 14.2.2 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>                          |
| - $N_d = 154 \text{ kN/m}$                  | - $N_d = 114 \text{ kN/m}$                  |
| - $M_d = 736 \text{ kNm/m}$                 | - $M_d = 488 \text{ kNm/m}$                 |
| - $M_r = 1052 \text{ kNm/m}$                | - $M_r = 1036 \text{ kNm/m}$                |
| - $\gamma_s = 1052/736 = \mathbf{1.43 > 1}$ | - $\gamma_s = 1036/488 = \mathbf{2.12 > 1}$ |

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**

$N_{Ed}$  154  $M_{Ed}$  0  $M_{yEd}$  0

**P.to applicazione N**  
☐ Centro ☒ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm]  $x_N$  0  $y_N$  0

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

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**

Proprietà	B450C	C32/40
$\epsilon_{su}$ ‰	67.5	2
$f_{yd}$ N/mm²	391.3	3.5
$E_s$ N/mm²	200 000	18.81
$E_s/E_c$	15	0.8
$\epsilon_{syd}$ ‰	1.957	9.75
$\sigma_{s,adm}$ N/mm²	255	0.6
$\tau_{c1}$		1.829

$M_{xRd}$  1 052 kN m

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  35.34 ‰  
 $d$  84 cm  
 $x$  7.57  $x/d$  0.09012  
 $\delta$  0.7

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

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

$N^{\circ}$  rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

$L_0$  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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 90 di 130</p>
---	--	---

#### 14.2.3 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"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 273 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 346 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 346/273 = \mathbf{1.27 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 180 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 346 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 346/180 = \mathbf{1.92 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 91 di 130</p>
---	--	---

#### 14.2.4 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

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

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

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

- Sezione a filo esterno

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

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

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

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=6.5m											
SEZIONE A FILO INTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-170	KN/m	Nd	-112	KN/m	Nd	-111	KN/m	Nd	-126	KN/m
Vd	564	KN/m	Vd	344	KN/m	Vd	333	KN/m	Vd	403	KN/m
Md	821	KNxm/m	Md	544	KNxm/m	Md	539	KNxm/m	Md	608	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'	3.41	m	B'	3.04	m	B'	2.93	m	B'	3.41	m
$q_{\text{med}}$	303	Kpa	$q_{\text{med}}$	211	Kpa	$q_{\text{med}}$	208	Kpa	$q_{\text{med}}$	224	Kpa
$q_{\text{max}}$	605	Kpa	$q_{\text{max}}$	421	Kpa	$q_{\text{max}}$	416	Kpa	$q_{\text{max}}$	448	Kpa
$q_{\text{int}}$	304	Kpa	$q_{\text{int}}$	186	Kpa	$q_{\text{int}}$	175	Kpa	$q_{\text{int}}$	225	Kpa
$q_{\text{med int}}$	454	Kpa	$q_{\text{med int}}$	303	Kpa	$q_{\text{med int}}$	295	Kpa	$q_{\text{med int}}$	337	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	61	KN/m	Nd	40	KN/m	Nd	40	KN/m	Nd	45	KN/m
Vd	484	KN/m	Vd	319	KN/m	Vd	312	KN/m	Vd	350	KN/m
Md	272	KNxm/m	Md	180	KNxm/m	Md	176	KNxm/m	Md	198	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'	3.41	m	B'	3.04	m	B'	2.93	m	B'	3.41	m
$q_{\text{med}}$	303	Kpa	$q_{\text{med}}$	211	Kpa	$q_{\text{med}}$	208	Kpa	$q_{\text{med}}$	224	Kpa
$q_{\text{max}}$	605	Kpa	$q_{\text{max}}$	421	Kpa	$q_{\text{max}}$	416	Kpa	$q_{\text{max}}$	448	Kpa
$q_{\text{est}}$	428	Kpa	$q_{\text{est}}$	283	Kpa	$q_{\text{est}}$	274	Kpa	$q_{\text{est}}$	317	Kpa
$q_{\text{med est}}$	517	Kpa	$q_{\text{med est}}$	352	Kpa	$q_{\text{med est}}$	345	Kpa	$q_{\text{med est}}$	383	Kpa



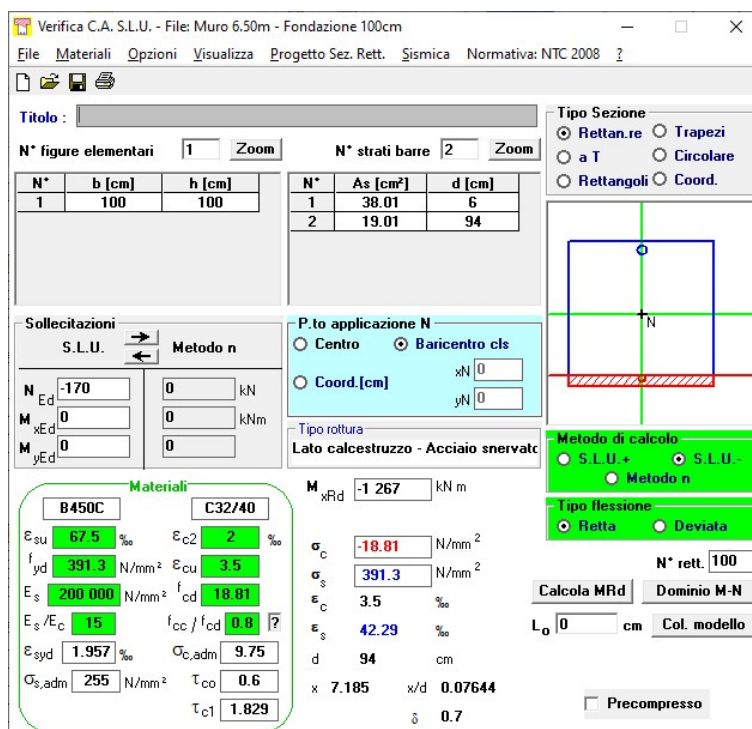
 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 92 di 130</p>
---	--	---

### 14.2.5 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:

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>N_d = -170 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 821 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1267 \text{ kNm}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1267/821 = \mathbf{1.54 &gt; 1}</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>N_d = -112 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>M_d = 544 \text{ kNm/m}</math></li> <li>- <math>M_r = 1292 \text{ kNm}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 1292/544 = \mathbf{2.37 &gt; 1}</math></li> </ul> |
|--|--|

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

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

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -170 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 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

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

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.81 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 9.75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6  
 τ<sub>c1</sub> 1.829

M<sub>xRd</sub> -1 267 kNm

σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 42.29 ‰  
 d 94 cm  
 x 7.185 x/d 0.07644  
 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 93 di 130</p>
---	--	---

#### 14.2.6 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"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 564 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 390 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 390/564 = \mathbf{0.69 &lt; 1}</math></li> <li>- <u>è necessaria armatura a taglio</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV1-SLV2</u></li> <li>- <math>V_d = 344 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 390 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 390/344 = \mathbf{1.13 &gt; 1}</math></li> </ul>
---	--

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

- $V_d = 564 \text{ kN/m}$
- $V_{rd} = \min(V_{rds}; V_{rcd}) = 795 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 795/564 = \mathbf{1.41 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha = 795 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f'_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 2742 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 940 \text{ mm}$ ;  $b_w = 1000 \text{ mm}$ ;  $A_{sw}/s = 154/0.4/400 = 0.962$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$ ;  $\alpha = 90$  ( $\cot \alpha = 0$ ;  $\sin \alpha = 1$ )  $\cot \theta = 2.5$ ;
- $\alpha_c = 1$ ;  $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$



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

## Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 94 di 130

### 14.2.7 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=6.5m								
<b>LARGHEZZA FONDAZIONE</b>			<b>STATICA</b>			<b>SISMICA 1 (kh+Kv)</b>			<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>		
B - Lunghezza fondazione	4.50	m	cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
<b>BARICENTRO FONDAZIONE</b>			PESO PROPRIO MURO			PESO PROPRIO MURO			PESO PROPRIO MURO		
X <sub>G</sub> - Distanza dal filo più interno	2.25	m	Nd	113.8	KN/m	Nd	113.8	KN/m	Nd	113.8	KN/m
			X <sub>N</sub>	3.15	m	X <sub>N</sub>	3.15	m	X <sub>N</sub>	3.15	m
			Md	102.4	KNxm/m	Md	102.4	KNxm/m	Md	102.4	KNxm/m
<b>CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA</b>			PESO FONDAZIONE			PESO FONDAZIONE			PESO FONDAZIONE		
A - Area	4.50	m <sup>2</sup> /m	Nd	112.5	KN/m	Nd	112.5	KN/m	Nd	112.5	KN/m
W - Modulo di resistenza	3.38	m <sup>3</sup> /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 <sub>N</sub>	1.40	m	X <sub>N</sub>	1.40	m	X <sub>N</sub>	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	174.3	KN/m	Nd	34.9	KN/m	Nd	34.9	KN/m
			X <sub>N</sub>	1.40	m	X <sub>N</sub>	1.40	m	X <sub>N</sub>	1.40	m
			Vd	114.1	KN/m	Vd	22.8	KN/m	Vd	22.8	KN/m
			Md	279.8	KN/m	Md	56.0	KN/m	Md	56.0	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 <sub>N</sub>	3.15	m	X <sub>N</sub>	3.15	m	X <sub>N</sub>	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
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>			INCREMENTO SPINTA SISMICA			INCREMENTO SPINTA SISMICA		
			Nd	1032	KN/m	Vd	18.3	KN/m	Vd	19.3	KN/m
			Vd	340	KN/m	Md	68.7	KNxm/m	Md	72.4	KNxm/m
			Md	562	KNxm/m						
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>			FORZA D'INERZIA SUL MURO			FORZA D'INERZIA SUL MURO		
			Nd	765	KN/m	Nd	5.6	KN/m	Nd	-5.6	KN/m
			Vd	252	KN/m	Vd	11.5	KN/m	Vd	10.9	KN/m
			Md	417	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	0.9	KN/m	Nd	-0.9	KN/m
						Vd	4.2	KN/m	Vd	4.0	KN/m
						Md	31.0	KNxm/m	Md	30.9	KNxm/m
						<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>		
						Nd	641	KN/m	Nd	610	KN/m
						Vd	228	KN/m	Vd	226	KN/m
						Md	467	KNxm/m	Md	477	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  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 95 di 130
---	---	--

### 14.2.8 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:

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=6.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	33	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	1170	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	1032	KN/m		641	KN/m		610	KN/m	
Md - Momento flettente	562	KNxm/m		467	KNxm/m		477	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.54	m		0.73	m		0.78	m	
B' - Larghezza ridotta	3.41	m		3.04	m		2.93	m	
q medio (SLU)	303	Mpa		211	Mpa		208	Mpa	
q limite di progetto	1170	Mpa		1170	Mpa		1170	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	3.87	> 1.40	VERIFICA	5.56	> 1.20	VERIFICA	5.63	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	340	KN		228	KN		226	KN	
Azione resistente	670	KN		416	KN		396	KN	
Coefficiente di sicurezza	1.97	> 1.10	VERIFICA	1.83	> 1.00	VERIFICA	1.75	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	1042	KNxm		690	KNxm		684	KNxm	
Momento resistente	2660	KNxm		1681	KNxm		1605	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	2.55	> 1.15	VERIFICA	2.44	> 1.00	VERIFICA	2.35	> 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

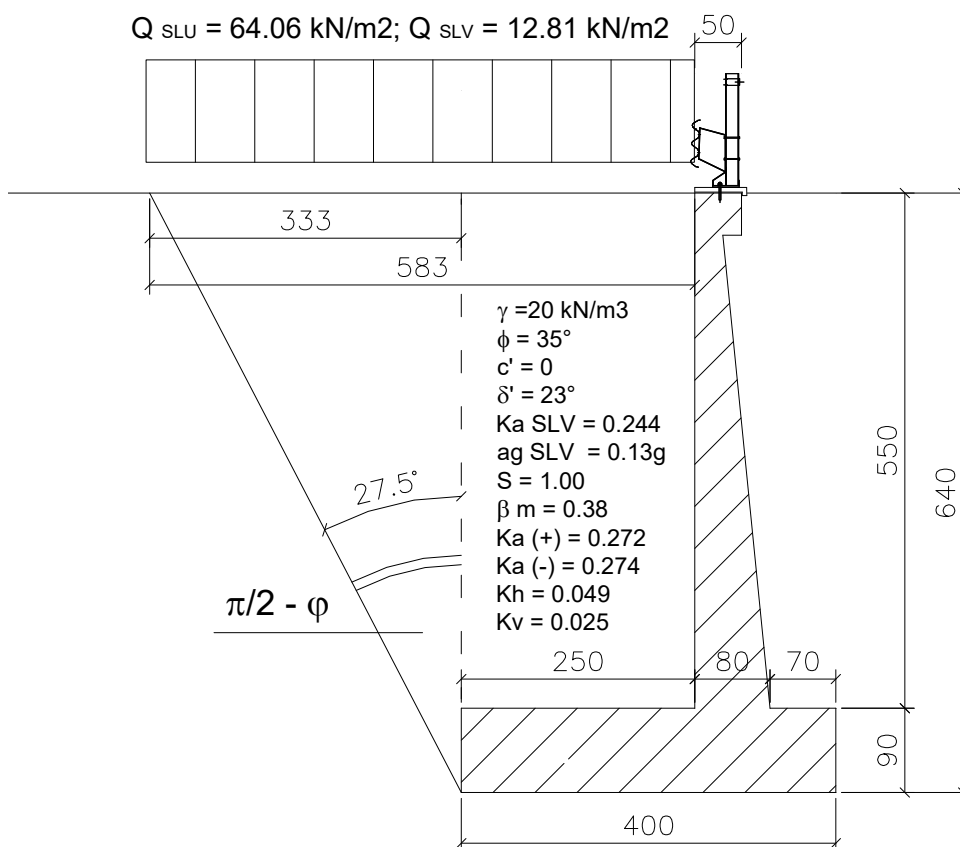
DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 96 di 130

### 14.3 Muro $4.50\text{m} < H \leq 5.50\text{m}$

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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 97 di 130

### 14.3.1 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:

CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL MURO - H = 5.5m					
<b>GEOMETRIA</b>		<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (Kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
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	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	0.90 m	Nd	89.4 KN/m	Nd	89.4 KN/m	Nd	89.4 KN/m
Lunghezza mensola interna	2.50 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	0.85 m	Vd	73.9 KN/m	Vd	73.9 KN/m	Vd	73.9 KN/m
Lunghezza totale fondazione	4.00 m	Md	135.6 KNxm/m	Md	135.6 KNxm/m	Md	135.6 KNxm/m
<b>PARAMETRI SISMICI</b>		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	86.1 KN/m	Vd	17.2 KN/m	Vd	17.2 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	236.8 KN/m	Md	47.4 KN/m	Md	47.4 KN/m
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	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
<b>TERRENO</b>		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
Peso di volume	20.00 KN/m <sup>3</sup>	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Nd	121 KN/m	Vd	10.4 KN/m	Vd	11.0 KN/m
Coesione	0.00 KN/m <sup>2</sup>	Vd	216 KN/m	Md	28.7 KNxm/m	Md	30.2 KNxm/m
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	Md	503 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		Nd	2.2 KN/m	Nd	-2.2 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Nd	89 KN/m	Vd	4.5 KN/m	Vd	4.3 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Vd	160 KNxm/m	Md	12.4 KNxm/m	Md	11.8 KNxm/m
Lunghezza cuneo di spinta	3.33 m	Md	372 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
<b>SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO</b>				Vd	24.7 KN/m	Vd	23.5 KN/m
Carico	600 KN			Md	68.0 KNxm/m	Md	64.7 KNxm/m
Lunghezza impronta	2.20 m			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Larghezza impronta	3.00 m			Vd	3.8 KN/m	Vd	3.6 KN/m
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m <sup>2</sup>			Md	20.8 KNxm/m	Md	19.8 KNxm/m
Lunghezza base proiezione	5.38 m			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Nd	92 KN/m	Nd	89 KN/m
Intensità carico (alla base)	37.21 KN/m <sup>2</sup>			Vd	135 KN/m	Vd	134 KN/m
Intensità carico (valore medio)	64.06 KN/m <sup>2</sup>			Md	313 KNxm/m	Md	309 KNxm/m
<b>CARICHI IN TESTA PARAMENTO</b>							
Valore del carico Nd	0.0 KN/m						
Valore del taglio Td	0.0 KN/m						
Valore del momento Md	0.0 KN/m						
<b>COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE</b>							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
<b>TERRENO MOBILITATO DAL SISMA</b>							
Volume terreno su zattera interna	13.75 m <sup>3</sup>						
Volume cuneo di spinta	10.66 m <sup>3</sup>						
Volume totale di terreno mobilitato	24.41 m <sup>3</sup>						
Volume afferente alla fondazione	24.41 m <sup>3</sup>						



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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 98 di 130

### 14.3.2 Verifica a flessione del muro

Dalla verifica a pressoflessione della sezione di spiccato, nell'ipotesi di armare la zona tesa contro terra con  $1\Phi 18/10$  e quella compressa con  $1\Phi 18/20$  risulta:

- |  |  |
|--|--|
| - <u>SLU</u>                               | - <u>SLV</u>                               |
| - $N_d = 121 \text{ kN/m}$                 | - $N_d = 89 \text{ kN/m}$                  |
| - $M_d = 503 \text{ kNm/m}$                | - $M_d = 313 \text{ kNm/m}$                |
| - $M_r = 751 \text{ kNm/m}$                | - $M_r = 740 \text{ kNm/m}$                |
| - $\gamma_s = 751/503 = \mathbf{1.49 > 1}$ | - $\gamma_s = 740/313 = \mathbf{2.36 > 1}$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 5.50m - Paramento 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	12.72	6
2	25.45	74

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 121 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C32/40

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

M<sub>Rd</sub> 751 kNm  
 $\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  35.13 ‰  
d 74 cm  
x 6.705 x/d 0.0906  
 $\delta$  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  
L<sub>0</sub> 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 99 di 130</p>
---	--	---

#### 14.3.3 Verifica a taglio del muro

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

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

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:

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

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 216 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 302 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 302/216 = \mathbf{1.40 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- <math>V_d = 135 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 302 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 302/135 = \mathbf{2.23 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--

#### 14.3.4 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

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

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

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



 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 100 di 130</p>
---	--	--

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

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	-135	KN/m	Nd	-84	KN/m	Nd	-83	KN/m	Nd	-100	KN/m
Vd	446	KN/m	Vd	256	KN/m	Vd	247	KN/m	Vd	319	KN/m
Md	563	KNxm/m	Md	351	KNxm/m	Md	347	KNxm/m	Md	417	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ int}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.08	m	B'	2.79	m	B'	2.70	m	B'	3.08	m
$q_{med}$	269	Kpa	$q_{med}$	178	Kpa	$q_{med}$	176	Kpa	$q_{med}$	199	Kpa
$q_{max}$	538	Kpa	$q_{max}$	357	Kpa	$q_{max}$	351	Kpa	$q_{max}$	399	Kpa
$q_{int}$	276	Kpa	$q_{int}$	165	Kpa	$q_{int}$	156	Kpa	$q_{int}$	205	Kpa
$q_{med\ int}$	407	Kpa	$q_{med\ int}$	261	Kpa	$q_{med\ int}$	254	Kpa	$q_{med\ int}$	302	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	46	KN/m	Nd	29	KN/m	Nd	28	KN/m	Nd	34	KN/m
Vd	369	KN/m	Vd	232	KN/m	Vd	227	KN/m	Vd	267	KN/m
Md	178	KNxm/m	Md	112	KNxm/m	Md	109	KNxm/m	Md	129	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ est}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	3.08	m	B'	2.79	m	B'	2.70	m	B'	3.08	m
$q_{med}$	269	Kpa	$q_{med}$	178	Kpa	$q_{med}$	176	Kpa	$q_{med}$	199	Kpa
$q_{max}$	538	Kpa	$q_{max}$	357	Kpa	$q_{max}$	351	Kpa	$q_{max}$	399	Kpa
$q_{est}$	390	Kpa	$q_{est}$	248	Kpa	$q_{est}$	241	Kpa	$q_{est}$	289	Kpa
$q_{med\ est}$	464	Kpa	$q_{med\ est}$	303	Kpa	$q_{med\ est}$	296	Kpa	$q_{med\ est}$	344	Kpa

#### 14.3.5 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:

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- Nd = - 135 kN/m</li> <li>- Md = 563 kNxm/m</li> <li>- Mr = 939 kNxm</li> <li>- <math>\gamma_s = 939/563 = 1.67 &gt; 1</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- Nd = - 83 kN/m</li> <li>- Md = 351 kNxm/m</li> <li>- Mr = 959 kNxm</li> <li>- <math>\gamma_s = 959/351 = 2.73 &gt; 1</math></li> </ul> |
|--|---|



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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 101 di 130

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<sub>Ed</sub> -135 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>Rd</sub> -938.9 kNm

Materiali

B450C	C32/40
ε <sub>su</sub> 67.5 ‰	ε <sub>c2</sub> 2 ‰
f <sub>yd</sub> 391.3 N/mm²	ε <sub>cu</sub> 3.5 ‰
E <sub>s</sub> 200 000 N/mm²	f <sub>cd</sub> 18.81
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> 15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> 0.8
ε <sub>syd</sub> 1.957 ‰	σ <sub>c,adm</sub> 9.75
σ <sub>s,adm</sub> 255 N/mm²	τ <sub>co</sub> 0.6
	τ <sub>c1</sub> 1.829

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

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 41.35 ‰  
d 84 cm  
x 6.555 x/d 0.07803  
δ 0.7

#### 14.3.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

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

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:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| - <u>SLU</u>                            | - <u>SLV1-SLV2</u>                |
| - $V_d = 446 \text{ kN/m}$              | - $V_d = 256 \text{ kN/m}$        |
| - $V_r = 346 \text{ kN/m}$              | - $V_r = 346 \text{ kN/m}$        |
| - $\gamma_s = 346/446 = 0.78 < 1$       | - $\gamma_s = 346/256 = 1.35 > 1$ |
| - <u>è necessaria armatura a taglio</u> |                                   |

 <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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 102 di 130</p>
---	--	--

Armando la fondazione a taglio con spille  $\Phi 14$  disposte a interasse 40x40cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 446 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rds}; V_{rcd}) = 711 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 711/446 = \mathbf{1.59 > 1}$

essendo

- $V_{rds} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 711 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 2450 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 840 \text{ mm}; \quad b_w = 1000 \text{ mm}; \quad A_{sw}/s = 154/0.4/400 = 0.962$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2; \quad \alpha = 90 (\cot \alpha = 0; \sin \alpha = 1) \quad \cot \theta = 2.5;$
- $\alpha_c = 1; \quad f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$



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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC


Data: Giugno 2020

Pag. 103 di 130

#### 14.3.7 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=5.5m								
<b>LARGHEZZA FONDAZIONE</b>			<b>STATICA</b>			<b>SISMICA 1 (kh+Kv)</b>			<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>		
B - Lunghezza fondazione	4.00	m	cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
<b>BARICENTRO FONDAZIONE</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>		
X <sub>G</sub> - Distanza dal filo più interno	2.00	m	Nd	89.4	KN/m	Nd	89.4	KN/m	Nd	89.4	KN/m
			X <sub>N</sub>	2.83	m	X <sub>N</sub>	2.83	m	X <sub>N</sub>	2.83	m
			Md	73.7	KNxm/m	Md	73.7	KNxm/m	Md	73.7	KNxm/m
<b>CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>		
A - Area	4.00	m <sup>2</sup> /m	Nd	90.0	KN/m	Nd	90.0	KN/m	Nd	90.0	KN/m
W - Modulo di resistenza	2.67	m <sup>3</sup> /m	<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>			<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>			<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>		
			Nd	275.0	KN/m	Nd	275.0	KN/m	Nd	275.0	KN/m
			X <sub>N</sub>	1.25	m	X <sub>N</sub>	1.25	m	X <sub>N</sub>	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
			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>		
			Nd	160.1	KN/m	Nd	32.0	KN/m	Nd	32.0	KN/m
			X <sub>N</sub>	1.25	m	X <sub>N</sub>	1.25	m	X <sub>N</sub>	1.25	m
			Vd	100.2	KN/m	Vd	20.0	KN/m	Vd	20.0	KN/m
			Md	200.6	KN/m	Md	40.1	KN/m	Md	40.1	KN/m
			<b>CARICHI TESTA MURO</b>			<b>CARICHI TESTA MURO</b>			<b>CARICHI TESTA MURO</b>		
			Nd	0.0	KN/m	Nd	0.0	KN/m	Nd	0.0	KN/m
			X <sub>N</sub>	2.83	m	X <sub>N</sub>	2.83	m	X <sub>N</sub>	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
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>			<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>			<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>		
			Nd	830	KN/m	Vd	13.7	KN/m	Vd	14.5	KN/m
			Vd	270	KN/m	Md	44.0	KNxm/m	Md	46.3	KNxm/m
			Md	380	KNxm/m						
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>			<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>			<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>		
			Nd	615	KN/m	Nd	4.4	KN/m	Nd	-4.4	KN/m
			Vd	200	KN/m	Vd	9.1	KN/m	Vd	8.6	KN/m
			Md	282	KNxm/m	Md	20.4	KNxm/m	Md	19.5	KNxm/m
						<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>			<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>		
			Nd	6.8	KN/m	Nd	6.8	KN/m	Nd	-6.8	KN/m
			Vd	24.7	KN/m	Vd	24.7	KN/m	Vd	23.5	KN/m
			Md	91.8	KNxm/m	Md	91.8	KNxm/m	Md	97.3	KNxm/m
						<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>			<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>		
			Nd	0.8	KN/m	Nd	0.8	KN/m	Nd	-0.8	KN/m
			Vd	3.8	KN/m	Vd	3.8	KN/m	Vd	3.6	KN/m
			Md	23.6	KNxm/m	Md	23.6	KNxm/m	Md	23.6	KNxm/m
						<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>		
			Nd	498	KN/m	Nd	498	KN/m	Nd	474	KN/m
			Vd	171	KN/m	Vd	171	KN/m	Vd	170	KN/m
			Md	301	KNxm/m	Md	301	KNxm/m	Md	308	KNxm/m

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 104 di 130</p>
---	--	--

### 14.3.8 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:

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=5.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	33	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	1170	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	830	KN/m		498	KN/m		474	KN/m	
Md - Momento flettente	380	KNxm/m		301	KNxm/m		308	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.46	m		0.60	m		0.65	m	
B' - Larghezza ridotta	3.08	m		2.79	m		2.70	m	
q medio (SLU)	269	Mpa		178	Mpa		176	Mpa	
q limite di progetto	1170	Mpa		1170	Mpa		1170	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	4.35	> 1.40	VERIFICA	6.56	> 1.20	VERIFICA	6.66	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	270	KN		171	KN		170	KN	
Azione resistente	539	KN		324	KN		308	KN	
Coefficiente di sicurezza	1.99	> 1.10	VERIFICA	1.89	> 1.00	VERIFICA	1.81	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	721	KNxm		445	KNxm		441	KNxm	
Momento resistente	1900	KNxm		1155	KNxm		1103	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	2.64	> 1.15	VERIFICA	2.60	> 1.00	VERIFICA	2.50	> 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

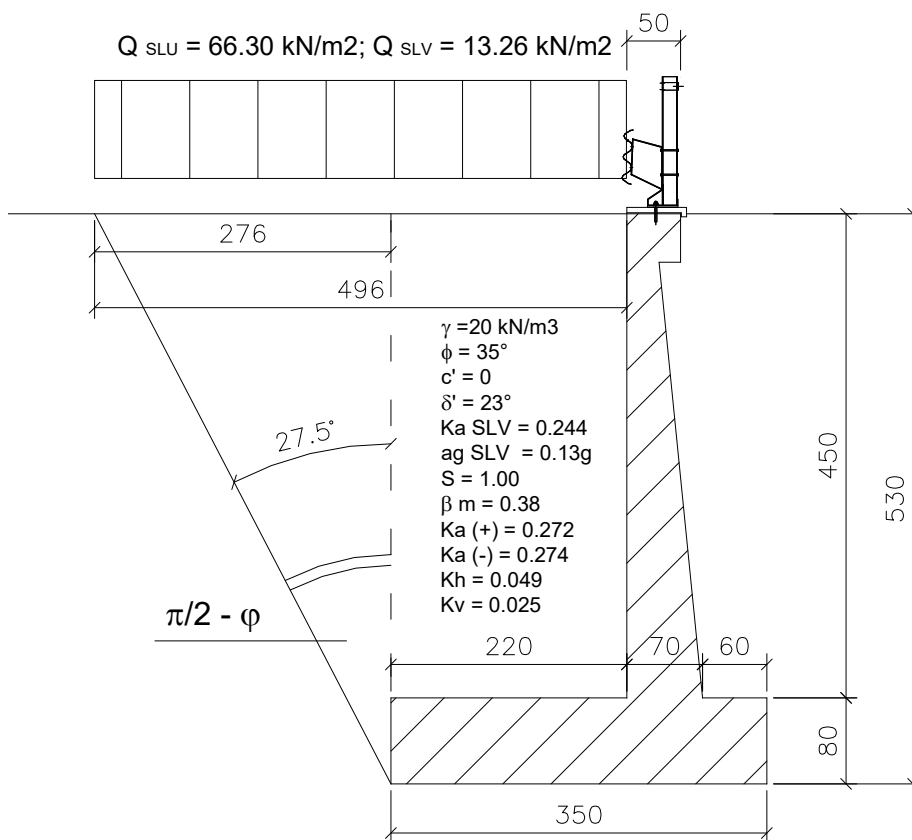
DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 105 di 130

#### 14.4 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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 106 di 130

#### 14.4.1 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:

CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL MURO - H = 4.5m					
<b>GEOMETRIA</b>		<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (Kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
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	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	0.80 m	Nd	67.5 KN/m	Nd	67.5 KN/m	Nd	67.5 KN/m
Lunghezza mensola interna	2.20 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	0.70 m	Vd	49.5 KN/m	Vd	49.5 KN/m	Vd	49.5 KN/m
Lunghezza totale fondazione	3.50 m	Md	74.2 KNxm/m	Md	74.2 KNxm/m	Md	74.2 KNxm/m
<b>PARAMETRI SISMICI</b>		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	72.9 KN/m	Vd	14.6 KN/m	Vd	14.6 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	164.1 KN/m	Md	32.8 KN/m	Md	32.8 KN/m
Coefficiente di riduzione βm	0.38	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale (±)	0.025	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
<b>TERRENO</b>		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
Peso di volume	20.00 KN/m3	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Nd	92 KN/m	Vd	7.3 KN/m	Vd	7.7 KN/m
Coesione	0.00 KN/m2	Vd	165 KN/m	Md	16.5 KNxm/m	Md	17.4 KNxm/m
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	Md	322 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		Nd	1.7 KN/m	Nd	-1.7 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Nd	69 KN/m	Vd	3.5 KN/m	Vd	3.3 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Vd	122 KN/m	Md	7.8 KNxm/m	Md	7.4 KNxm/m
Lunghezza cuneo di spinta	2.76 m	Md	238 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
<b>SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO</b>				Vd	17.4 KN/m	Vd	16.6 KN/m
Carico	600 KN			Md	39.2 KNxm/m	Md	37.3 KNxm/m
Lunghezza impronta	2.20 m			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Larghezza impronta	3.00 m			Vd	3.3 KN/m	Vd	3.2 KN/m
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m2			Md	15.0 KNxm/m	Md	14.3 KNxm/m
Lunghezza base proiezione	4.80 m			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Nd	70 KN/m	Nd	69 KN/m
Intensità carico (alla base)	41.68 KN/m2			Vd	96 KN/m	Vd	95 KN/m
Intensità carico (valore medio)	66.30 KN/m2			Md	186 KNxm/m	Md	183 KNxm/m
<b>CARICHI IN TESTA PARAMENTO</b>							
Valore del carico Nd	1.0 KN/m						
Valore del taglio Td	0.0 KN/m						
Valore del momento Md	0.0 KN/m						
<b>COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE</b>							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
<b>TERRENO MOBILITATO DAL SISMA</b>							
Volume terreno su zattera interna	9.90 m3						
Volume cuneo di spinta	7.31 m3						
Volume totale di terreno mobilitato	17.21 m3						
Volume afferente alla fondazione	17.21 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 107 di 130

#### 14.4.2 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:

- |  |  |
|--|--|
| - <u>SLU</u>                               | - <u>SLV</u>                               |
| - $N_d = 92 \text{ kN/m}$                  | - $N_d = 69 \text{ kN/m}$                  |
| - $M_d = 322 \text{ kNm/m}$                | - $M_d = 238 \text{ kNm/m}$                |
| - $M_r = 515 \text{ kNm/m}$                | - $M_r = 508 \text{ kNm/m}$                |
| - $\gamma_s = 515/322 = \mathbf{1.60 > 1}$ | - $\gamma_s = 508/238 = \mathbf{2.13 > 1}$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 4.50m - Paramento 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	10.05	6
2	20.11	64

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 92 0 kN

M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm

M<sub>yEd</sub> 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

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

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰

$E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8

$\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6

$\tau_{c1}$  1.829

M<sub>Rd</sub> 514.8 kNm

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²

$\sigma_s$  391.3 N/mm²

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  34.69 ‰

d 64 cm

x 5.865 x/d 0.09164

$\delta$  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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 108 di 130</p>
---	--	--

#### 14.4.3 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:

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

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"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 165 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 260 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 260/165 = \mathbf{1.57 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- <math>V_d = 96 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 260 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 260/96 = \mathbf{2.70 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--

#### 14.4.4 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

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

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

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 109 di 130</p>
---	--	--

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

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	-104	KN/m	Nd	-60	KN/m	Nd	-60	KN/m	Nd	-77	KN/m
Vd	342	KN/m	Vd	182	KN/m	Vd	175	KN/m	Vd	244	KN/m
Md	363	KNxm/m	Md	210	KNxm/m	Md	207	KNxm/m	Md	269	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ int}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.77	m	B'	2.54	m	B'	2.46	m	B'	2.77	m
$q_{med}$	235	Kpa	$q_{med}$	148	Kpa	$q_{med}$	145	Kpa	$q_{med}$	174	Kpa
$q_{max}$	471	Kpa	$q_{max}$	296	Kpa	$q_{max}$	290	Kpa	$q_{max}$	349	Kpa
$q_{int}$	250	Kpa	$q_{int}$	144	Kpa	$q_{int}$	137	Kpa	$q_{int}$	185	Kpa
$q_{med\ int}$	360	Kpa	$q_{med\ int}$	220	Kpa	$q_{med\ int}$	213	Kpa	$q_{med\ int}$	267	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	33	KN/m	Nd	19	KN/m	Nd	19	KN/m	Nd	24	KN/m
Vd	270	KN/m	Vd	160	KN/m	Vd	156	KN/m	Vd	195	KN/m
Md	108	KNxm/m	Md	64	KNxm/m	Md	62	KNxm/m	Md	78	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ est}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.77	m	B'	2.54	m	B'	2.46	m	B'	2.77	m
$q_{med}$	235	Kpa	$q_{med}$	148	Kpa	$q_{med}$	145	Kpa	$q_{med}$	174	Kpa
$q_{max}$	471	Kpa	$q_{max}$	296	Kpa	$q_{max}$	290	Kpa	$q_{max}$	349	Kpa
$q_{est}$	352	Kpa	$q_{est}$	214	Kpa	$q_{est}$	207	Kpa	$q_{est}$	260	Kpa
$q_{med\ est}$	411	Kpa	$q_{med\ est}$	255	Kpa	$q_{med\ est}$	249	Kpa	$q_{med\ est}$	305	Kpa

#### 14.4.5 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:

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- Nd = - 104 kN/m</li> <li>- Md = 363 kNxm/m</li> <li>- Mr = 673 kNxm</li> <li>- <math>\gamma_s = 673/363 = 1.85 &gt; 1</math></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- Nd = - 60 kN/m</li> <li>- Md = 210 kNxm/m</li> <li>- Mr = 688 kNxm</li> <li>- <math>\gamma_s = 688/210 = 3.27 &gt; 1</math></li> </ul> |
|--|---|



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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 110 di 130

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]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	80	1	25.45	6
			2	12.72	74

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -104 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> -673.7 kNm

Materiali

B450C		C32/40	
ε <sub>su</sub>	67.5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391.3 N/mm²	ε <sub>cu</sub>	3.5 ‰
E <sub>s</sub>	200 000 N/mm²	f <sub>cd</sub>	18.81
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0.8
ε <sub>syd</sub>	1.957 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	9.75
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm²	τ <sub>co</sub>	0.6
		τ <sub>c1</sub>	1.829

σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 40.26 ‰  
d 74 cm  
x 5.919 x/d 0.07998  
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  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

#### 14.4.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

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

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:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| - <u>SLU</u>                            | - <u>SLV</u>                      |
| - $V_d = 342 \text{ kN/m}$              | - $V_d = 182 \text{ kN/m}$        |
| - $V_r = 302 \text{ kN/m}$              | - $V_r = 302 \text{ kN/m}$        |
| - $\gamma_s = 302/342 = 0.88 < 1$       | - $\gamma_s = 302/182 = 1.66 > 1$ |
| - <u>è necessaria armatura a taglio</u> |                                   |

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 111 di 130
---	---	---

Armando la fondazione a taglio con spille  $\Phi 12$  disposte a interasse 40x40cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 342 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rsd}; V_{rcd}) = 459 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 459/342 = \mathbf{1.34 > 1}$

essendo

- $V_{rsd} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 459 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 2158 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 740 \text{ mm}; \quad b_w = 1000 \text{ mm}; \quad A_{sw}/s = 113/0.4/400 = 0.706$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2; \quad \alpha = 90 (\cot \alpha = 0; \sin \alpha = 1) \quad \cot \theta = 2.5;$
- $\alpha_c = 1; \quad f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$



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

## Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 112 di 130

### 14.4.7 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=4.5m								
<b>LARGHEZZA FONDAZIONE</b>			<b>STATICA</b>			<b>SISMICA 1 (kh+Kv)</b>			<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>		
B - Lunghezza fondazione	3.50	m	cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
<b>BARICENTRO FONDAZIONE</b>			PESO PROPRIO MURO			PESO PROPRIO MURO			PESO PROPRIO MURO		
X <sub>G</sub> - Distanza dal filo più interno	1.75	m	Nd	67.5	KN/m	Nd	67.5	KN/m	Nd	67.5	KN/m
			X <sub>N</sub>	2.50	m	X <sub>N</sub>	2.50	m	X <sub>N</sub>	2.50	m
			Md	50.6	KNxm/m	Md	50.6	KNxm/m	Md	50.6	KNxm/m
<b>CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA</b>			PESO FONDAZIONE			PESO FONDAZIONE			PESO FONDAZIONE		
A - Area	3.50	m <sup>2</sup> /m	Nd	70.0	KN/m	Nd	70.0	KN/m	Nd	70.0	KN/m
W - Modulo di resistenza	2.04	m <sup>3</sup> /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 <sub>N</sub>	1.10	m	X <sub>N</sub>	1.10	m	X <sub>N</sub>	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	145.9	KN/m	Nd	29.2	KN/m	Nd	29.2	KN/m
			X <sub>N</sub>	1.10	m	X <sub>N</sub>	1.10	m	X <sub>N</sub>	1.10	m
			Vd	85.9	KN/m	Vd	17.2	KN/m	Vd	17.2	KN/m
			Md	132.8	KN/m	Md	26.6	KN/m	Md	26.6	KN/m
			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO			CARICHI TESTA MURO		
			Nd	1.0	KN/m	Nd	1.0	KN/m	Nd	1.0	KN/m
			X <sub>N</sub>	2.50	m	X <sub>N</sub>	2.50	m	X <sub>N</sub>	2.50	m
			Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m
			Md	0.8	KN/m	Md	0.8	KN/m	Md	0.8	KN/m
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>			INCREMENTO SPINTA SISMICA			INCREMENTO SPINTA SISMICA		
			Nd	651	KN/m	Vd	9.8	KN/m	Vd	10.3	KN/m
			Vd	209	KN/m	Md	26.0	KNxm/m	Md	27.4	KNxm/m
			Md	239	KNxm/m						
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>			FORZA D'INERZIA SUL MURO			FORZA D'INERZIA SUL MURO		
			Nd	482	KN/m	Nd	3.4	KN/m	Nd	-3.4	KN/m
			Vd	155	KN/m	Vd	7.0	KN/m	Vd	6.7	KN/m
			Md	177	KNxm/m	Md	13.4	KNxm/m	Md	12.8	KNxm/m
						FORZA D'INERZIA SUL TERRENO			FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		
						Nd	4.9	KN/m	Nd	-4.9	KN/m
						Vd	17.4	KN/m	Vd	16.6	KN/m
						Md	53.5	KNxm/m	Md	57.2	KNxm/m
						FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		
						Nd	0.7	KN/m	Nd	-0.7	KN/m
						Vd	3.3	KN/m	Vd	3.2	KN/m
						Md	17.2	KNxm/m	Md	17.3	KNxm/m
						<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>		
						Nd	375	KN/m	Nd	357	KN/m
						Vd	123	KN/m	Vd	123	KN/m
						Md	181	KNxm/m	Md	185	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

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 113 di 130

## PROGETTO DEFINITIVO

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

#### 14.4.8 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:

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=4.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	33	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	1170	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	651	KN/m		375	KN/m		357	KN/m	
Md - Momento flettente	239	KNxm/m		181	KNxm/m		185	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.37	m		0.48	m		0.52	m	
B' - Larghezza ridotta	2.77	m		2.54	m		2.46	m	
q medio (SLU)	235	Mpa		148	Mpa		145	Mpa	
q limite di progetto	1170	Mpa		1170	Mpa		1170	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	4.97	> 1.40	VERIFICA	7.92	> 1.20	VERIFICA	8.08	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	209	KN		123	KN		123	KN	
Azione resistente	423	KN		243	KN		232	KN	
Coefficiente di sicurezza	2.03	> 1.10	VERIFICA	1.97	> 1.00	VERIFICA	1.89	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	471	KNxm		266	KNxm		264	KNxm	
Momento resistente	1305	KNxm		753	KNxm		719	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	2.77	> 1.15	VERIFICA	2.83	> 1.00	VERIFICA	2.72	> 1.00	VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.





Ferrovie Appulo Lucane

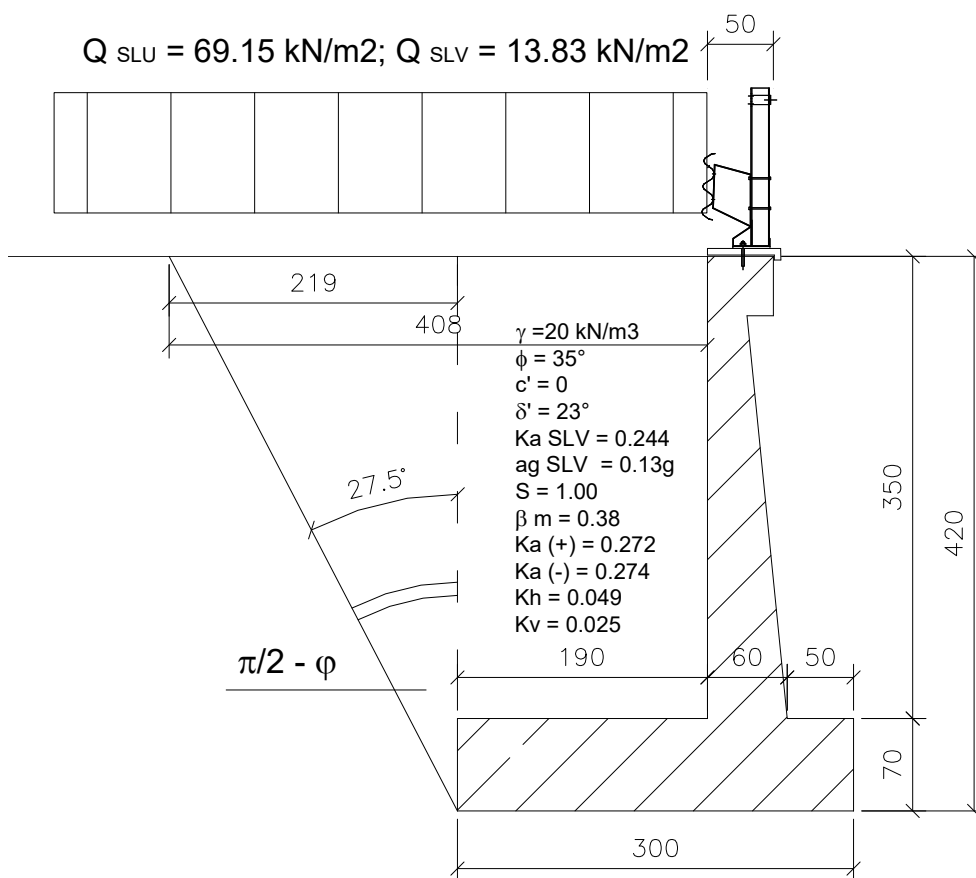
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -  
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA  
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 114 di 130

#### 14.5 Muro $2.50\text{m} < H \leq 3.50\text{m}$

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza compresa tra 2.50m e 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 115 di 130

### 14.5.1 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:

CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL MURO - H = 3.5m					
<b>GEOMETRIA</b>		<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (Kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
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	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	0.70 m	Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m
Lunghezza mensola interna	1.90 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	0.55 m	Vd	29.9 KN/m	Vd	29.9 KN/m	Vd	29.9 KN/m
Lunghezza totale fondazione	3.00 m	Md	34.9 KNxm/m	Md	34.9 KNxm/m	Md	34.9 KNxm/m
<b>PARAMETRI SISMICI</b>		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	59.2 KN/m	Vd	11.8 KN/m	Vd	11.8 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	103.5 KN/m	Md	20.7 KN/m	Md	20.7 KN/m
Coefficiente di riduzione $\beta_m$	0.38	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale ( $\pm$ )	0.025	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
<b>TERRENO</b>		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
Peso di volume	20.00 KN/m <sup>3</sup>	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Nd	66 KN/m	Vd	4.8 KN/m	Vd	5.0 KN/m
Coesione	0.00 KN/m <sup>2</sup>	Vd	120 KN/m	Md	8.4 KNxm/m	Md	8.8 KNxm/m
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	Md	187 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		Nd	1.2 KN/m	Nd	-1.2 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Nd	49 KN/m	Vd	2.5 KN/m	Vd	2.4 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Vd	89 KN/m	Md	4.4 KNxm/m	Md	4.1 KNxm/m
Lunghezza cuneo di spinta	2.19 m	Md	138 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
<b>SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO</b>				Vd	11.4 KN/m	Vd	10.8 KN/m
Carico	600 KN			Md	19.9 KNxm/m	Md	19.0 KNxm/m
Lunghezza impronta	2.20 m			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Larghezza impronta	3.00 m			Vd	2.9 KN/m	Vd	2.7 KN/m
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m <sup>2</sup>			Md	10.0 KNxm/m	Md	9.5 KNxm/m
Lunghezza base proiezione	4.22 m			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Nd	50 KN/m	Nd	49 KN/m
Intensità carico (alla base)	47.39 KN/m <sup>2</sup>			Vd	63 KN/m	Vd	63 KN/m
Intensità carico (valore medio)	69.15 KN/m <sup>2</sup>			Md	98 KNxm/m	Md	97 KNxm/m
<b>CARICHI IN TESTA PARAMENTO</b>							
Valore del carico Nd	1.0 KN/m						
Valore del taglio Td	0.0 KN/m						
Valore del momento Md	0.0 KN/m						
<b>COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE</b>							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
<b>TERRENO MOBILITATO DAL SISMA</b>							
Volume terreno su zattera interna	6.65 m <sup>3</sup>						
Volume cuneo di spinta	4.59 m <sup>3</sup>						
Volume totale di terreno mobilitato	11.24 m <sup>3</sup>						
Volume afferente alla fondazione	11.24 m <sup>3</sup>						



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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 116 di 130

#### 14.5.2 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:

- SLU
- $N_d = 66 \text{ kN/m}$
- $M_d = 187 \text{ kNm/m}$
- $M_r = 335 \text{ kNm/m}$
- $\gamma_s = 335/187 = \mathbf{1.79 > 1}$

- SLV
- $N_d = 50 \text{ kN/m}$
- $M_d = 98 \text{ kNm/m}$
- $M_r = 331 \text{ kNm/m}$
- $\gamma_s = 331/98 = \mathbf{3.37 > 1}$

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 3.50m - Paramento 60cm

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	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.7	6
2	15.39	54

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 66 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C32/40

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

M<sub>Rd</sub> 334.9 kNm  
 $\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  33.96 ‰  
d 54 cm  
x 5.046 x/d 0.09344  
 $\delta$  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  
L<sub>0</sub> 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 117 di 130</p>
---	--	--

#### 14.5.3 Verifica a taglio del paramento verticale

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

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

dove:

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

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"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 120 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 222 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 222/120 = \mathbf{1.85 &gt; 1}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- <math>V_d = 63 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 222 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 222/63 = \mathbf{3.52 &gt; 1}</math></li> </ul>
--	--

#### 14.5.4 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

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

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

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 118 di 130</p>
---	--	--

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

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	-76	KN/m	Nd	-40	KN/m	Nd	-40	KN/m	Nd	-56	KN/m
Vd	251	KN/m	Vd	121	KN/m	Vd	116	KN/m	Vd	179	KN/m
Md	214	KNxm/m	Md	112	KNxm/m	Md	111	KNxm/m	Md	158	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ int}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.47	m	B'	2.28	m	B'	2.22	m	B'	2.47	m
$q_{med}$	200	Kpa	$q_{med}$	117	Kpa	$q_{med}$	115	Kpa	$q_{med}$	148	Kpa
$q_{max}$	400	Kpa	$q_{max}$	235	Kpa	$q_{max}$	229	Kpa	$q_{max}$	296	Kpa
$q_{int}$	222	Kpa	$q_{int}$	121	Kpa	$q_{int}$	116	Kpa	$q_{int}$	164	Kpa
$q_{med\ int}$	311	Kpa	$q_{med\ int}$	178	Kpa	$q_{med\ int}$	173	Kpa	$q_{med\ int}$	230	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	22	KN/m	Nd	12	KN/m	Nd	11	KN/m	Nd	16	KN/m
Vd	183	KN/m	Vd	101	KN/m	Vd	98	KN/m	Vd	132	KN/m
Md	58	KNxm/m	Md	32	KNxm/m	Md	31	KNxm/m	Md	42	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ est}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.47	m	B'	2.28	m	B'	2.22	m	B'	2.47	m
$q_{med}$	200	Kpa	$q_{med}$	117	Kpa	$q_{med}$	115	Kpa	$q_{med}$	148	Kpa
$q_{max}$	400	Kpa	$q_{max}$	235	Kpa	$q_{max}$	229	Kpa	$q_{max}$	296	Kpa
$q_{est}$	311	Kpa	$q_{est}$	178	Kpa	$q_{est}$	173	Kpa	$q_{est}$	230	Kpa
$q_{med\ est}$	356	Kpa	$q_{med\ est}$	207	Kpa	$q_{med\ est}$	201	Kpa	$q_{med\ est}$	263	Kpa

#### 14.5.5 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:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- Nd = - 76 kN/m</li> <li>- Md = 214 kNxm/m</li> <li>- Mr = 465 kNxm</li> <li>- <math>\gamma_s = 465/214 = 2.17 &gt; 1</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- Nd = - 40 kN/m</li> <li>- Md = 112 kNxm/m</li> <li>- Mr = 475 KN/m</li> <li>- <math>\gamma_s = 475/112 = 4.24 &gt; 1</math></li> </ul>
---	---



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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 119 di 130

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]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	20.11	6
			2	10.05	64

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed -76 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

Materiali

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

M xRd -464.9 kNm

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  38.91 ‰  
d 64 cm  
x 5.281 x/d 0.08252  
 $\delta$  0.7

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

Tipo flessione  
Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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

Precompresso

#### 14.5.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

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

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:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| - <u>SLU</u>                            | - <u>SLV</u>                      |
| - $V_d = 251 \text{ kN/m}$              | - $V_d = 121 \text{ kN/m}$        |
| - $V_r = 260 \text{ kN/m}$              | - $V_r = 260 \text{ kN/m}$        |
| - $\gamma_s = 260/251 = 1.03 > 1$       | - $\gamma_s = 260/121 = 2.15 > 1$ |
| - <u>si consiglia armatura a taglio</u> |                                   |



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b>	DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 120 di 130
---	---	---

Armando la fondazione a taglio con spille  $\Phi 12$  disposte a interasse 40x40cm, dalla verifica della sezione più sollecitata risulta:

- $V_d = 251 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min (V_{rsd}; V_{rcd}) = 397 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 397/251 = \mathbf{1.58 > 1}$

essendo

- $V_{rsd} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha = 397 \text{ KN}$
- $V_{rcd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta) = 1867 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 640 \text{ mm}; \quad b_w = 1000 \text{ mm}; \quad A_{sw}/s = 113/0.4/400 = 0.706$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2; \quad \alpha = 90 (\cot \alpha = 0; \sin \alpha = 1) \quad \cot \theta = 2.5;$
- $\alpha_c = 1; \quad f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$





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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 121 di 130

#### 14.5.7 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=3.5m					
LARGHEZZA FONDAZIONE			STATICA		SISMICA 1 (kh+Kv)		SISMICA 2 (Kh-Kv)	
B - Lunghezza fondazione			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 <sub>G</sub> - Distanza dal filo più interno			Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m	Nd	48.1 KN/m
			X <sub>N</sub>	2.18 m	X <sub>N</sub>	2.18 m	X <sub>N</sub>	2.18 m
CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA			Md	32.5 KNxm/m	Md	32.5 KNxm/m	Md	32.5 KNxm/m
A - Area			PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE		PESO FONDAZIONE	
W - Modulo di resistenza			Nd	52.5 KN/m	Nd	52.5 KN/m	Nd	52.5 KN/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 <sub>N</sub>	0.95 m	X <sub>N</sub>	0.95 m	X <sub>N</sub>	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	131.4 KN/m	Nd	26.3 KN/m	Nd	26.3 KN/m
			X <sub>N</sub>	0.95 m	X <sub>N</sub>	0.95 m	X <sub>N</sub>	0.95 m
			Vd	71.0 KN/m	Vd	14.2 KN/m	Vd	14.2 KN/m
			Md	76.8 KN/m	Md	15.4 KN/m	Md	15.4 KN/m
			CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
			Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m
			X <sub>N</sub>	2.18 m	X <sub>N</sub>	2.18 m	X <sub>N</sub>	2.18 m
			Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
			Md	0.7 KN/m	Md	0.7 KN/m	Md	0.7 KN/m
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLU		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
			Nd	494 KN/m	Vd	6.6 KN/m	Vd	6.9 KN/m
			Vd	154 KN/m	Md	13.8 KNxm/m	Md	14.5 KNxm/m
			Md	131 KNxm/m				
			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
			Nd	366 KN/m	Nd	2.5 KN/m	Nd	-2.5 KN/m
			Vd	114 KN/m	Vd	5.1 KN/m	Vd	4.9 KN/m
			Md	97 KNxm/m	Md	7.9 KNxm/m	Md	7.6 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	0.6 KN/m	Nd	-0.6 KN/m
					Vd	2.9 KN/m	Vd	2.7 KN/m
					Md	11.7 KNxm/m	Md	11.8 KNxm/m
					SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1		SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2	
					Nd	267 KN/m	Nd	254 KN/m
					Vd	83 KN/m	Vd	83 KN/m
					Md	97 KNxm/m	Md	100 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 122 di 130

### 14.5.8 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:

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=3.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	33	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	1170	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	494	KN/m		267	KN/m		254	KN/m	
Md - Momento flettente	131	KNxm/m		97	KNxm/m		100	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.27	m		0.36	m		0.39	m	
B' - Larghezza ridotta	2.47	m		2.28	m		2.22	m	
q medio (SLU)	200	Mpa		117	Mpa		115	Mpa	
q limite di progetto	1170	Mpa		1170	Mpa		1170	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	5.85	> 1.40	VERIFICA	9.96	> 1.20	VERIFICA	10.20	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	154	KN		83	KN		83	KN	
Azione resistente	321	KN		174	KN		165	KN	
Coefficiente di sicurezza	2.08	> 1.10	VERIFICA	2.09	> 1.00	VERIFICA	2.00	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO		SLU		SLV1 (kh+kv)			SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	283	KNxm		143	KNxm		142	KNxm	
Momento resistente	851	KNxm		456	KNxm		436	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	3.01	> 1.15	VERIFICA	3.19	> 1.00	VERIFICA	3.07	> 1.00	VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.



Ferrovie Appulo Lucane

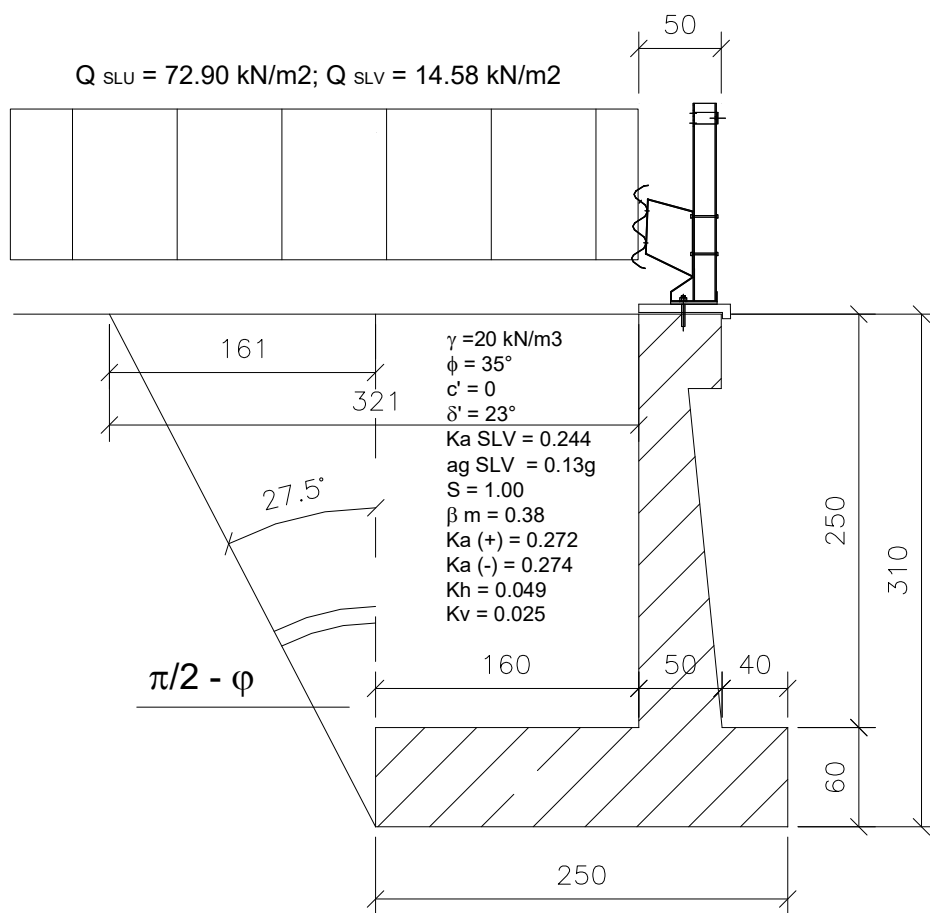
RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -  
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA  
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 123 di 130

### 14.6 Muro $H \leq 2.50\text{m}$

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per l'analisi del muro di altezza inferiore o uguale a 2.50m:





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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 124 di 130

#### 14.6.1 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:

CAVALCAFERROVIA		SOLLECITAZIONI ALLO SPICCATO DEL MURO - H = 2.5m					
<b>GEOMETRIA</b>		<b>STATICA</b>		<b>SISMICA 1 (Kh+Kv)</b>		<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>	
Spessore medio del muro	0.50 m	cond. di spinta attiva		cond. di spinta attiva+sismica		cond. di spinta attiva+sismica	
Altezza muro	2.50 m	PESO PROPRIO		PESO PROPRIO		PESO PROPRIO	
Altezza fondazione	0.60 m	Nd	31.3 KN/m	Nd	31.3 KN/m	Nd	31.3 KN/m
Lunghezza mensola interna	1.60 m	TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)		TERRENO A TERGO (attiva)	
Lunghezza mensola esterna	0.40 m	Vd	15.3 KN/m	Vd	15.3 KN/m	Vd	15.3 KN/m
Lunghezza totale fondazione	2.50 m	Md	12.7 KNxm/m	Md	12.7 KNxm/m	Md	12.7 KNxm/m
<b>PARAMETRI SISMICI</b>		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)		SOVRACCARICO A TERGO (attiva)	
Accelerazione ag (SLV)	0.130 g	Vd	44.5 KN/m	Vd	8.9 KN/m	Vd	8.9 KN/m
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Md	55.7 KN/m	Md	11.1 KN/m	Md	11.1 KN/m
Coefficiente di riduzione βm	0.38	CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO		CARICHI TESTA MURO	
Coefficiente sismico orizzontale	0.049	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m	Nd	1.0 KN/m
Coefficiente sismico verticale (±)	0.025	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m	Vd	0.0 KN/m
<b>TERRENO</b>		Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m	Md	0.0 KN/m
Peso di volume	20.00 KN/m3	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>		INCREMENTO SPINTA SISMICA		INCREMENTO SPINTA SISMICA	
Angolo di attrito del terreno	35.00 °	Nd	44 KN/m	Vd	2.8 KN/m	Vd	2.9 KN/m
Coesione	0.00 KN/m2	Vd	81 KN/m	Md	3.5 KNxm/m	Md	3.6 KNxm/m
Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °	Md	92 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL MURO		FORZA D'INERZIA SUL MURO	
Coefficiente di spinta attiva Ka	0.244	<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>		Nd	0.8 KN/m	Nd	-0.8 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (+)	0.272	Nd	32 KN/m	Vd	1.6 KN/m	Vd	1.6 KN/m
Coefficiente di spinta sismica Ks (-)	0.274	Vd	60 KN/m	Md	2.0 KNxm/m	Md	1.9 KNxm/m
Lunghezza cuneo di spinta	1.61 m	Md	68 KNxm/m	FORZA D'INERZIA SUL TERRENO		FORZA D'INERZIA SUL TERRENO	
<b>SOVRACCARICO ACCIDENTALE A TERGO</b>				Vd	6.6 KN/m	Vd	6.3 KN/m
Carico	600 KN			Md	8.2 KNxm/m	Md	7.8 KNxm/m
Lunghezza impronta	2.20 m			FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO		FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO	
Larghezza impronta	3.00 m			Vd	2.4 KN/m	Vd	2.3 KN/m
Intensità carico (in testa)	90.91 KN/m2			Md	5.9 KNxm/m	Md	5.6 KNxm/m
Lunghezza base proiezione	3.64 m			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>		<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>	
Larghezza base proiezione	3.00 m			Nd	33 KN/m	Nd	32 KN/m
Intensità carico (alla base)	54.89 KN/m2			Vd	38 KN/m	Vd	37 KN/m
Intensità carico (valore medio)	72.90 KN/m2			Md	44 KNxm/m	Md	43 KNxm/m
<b>CARICHI IN TESTA PARAMENTO</b>							
Valore del carico Nd	1.0 KN/m						
Valore del taglio Td	0.0 KN/m						
Valore del momento Md	0.0 KN/m						
<b>COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE</b>							
Peso proprio (muro - terreno)	1.35						
Accidentale a tergo + carichi in testa	1.35						
Partecipazione sism. Accidentale	20%						
<b>TERRENO MOBILITATO DAL SISMA</b>							
Volume terreno su zattera interna	4.00 m3						
Volume cuneo di spinta	2.50 m3						
Volume totale di terreno mobilitato	6.50 m3						
Volume afferente alla fondazione	6.50 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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 125 di 130

#### 14.6.2 Verifica a flessione del paramento verticale

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

- |   |   |
|---|---|
| - <u>SLU</u>                              | - <u>SLV</u>                              |
| - $N_d = 66 \text{ kN/m}$                 | - $N_d = 32 \text{ kN/m}$                 |
| - $M_d = 92 \text{ kNxm/m}$               | - $M_d = 44 \text{ kNxm/m}$               |
| - $M_r = 149 \text{ kNxm/m}$              | - $M_r = 147 \text{ kNxm/m}$              |
| - $\gamma_s = 149/92 = \mathbf{1.62} > 1$ | - $\gamma_s = 147/44 = \mathbf{3.34} > 1$ |

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 2.50m - Paramento 50cm

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

Titolo: \_\_\_\_\_

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

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.7	6
2	7.70	44

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 66 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C32/40

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

M<sub>Rd</sub> 153.8 kN m  
 $\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  34.3 ‰  
d 44 cm  
x 4.074 x/d 0.0926  
 $\delta$  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  
L<sub>0</sub> 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><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 126 di 130</p>
---	--	--

#### 14.6.3 Verifica a taglio del paramento verticale

La resistenza a taglio del paramento verticale risulta:

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

dove:

- $b = 1000 \text{ mm}$ ,  $d = 440 \text{ mm}$ ,  $K = 1 + (200/d)^{1/2} = 1.674$
- $\rho_l = A_{sl}/(b \times d) = (5 \times 154)/(1000 \times 440) = 0.00175$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $\gamma_c = 1.5$

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

$$- V_r \min > (0.18 \times K \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) \times b \times d = 159 \text{ KN}$$

Dalla verifica a taglio risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- <math>V_d = 81 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 192 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 192/81 = 2.37 &gt; 1</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- <math>V_d = 38 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>V_r = 192 \text{ kN/m}</math></li> <li>- <math>\gamma_s = 192/38 = 5.05 &gt; 1</math></li> </ul>
---	---

#### 14.6.4 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

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

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

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p><b>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA</b>  C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo</b></p>	<p>DAR_3RS011A.DOC  Data: Giugno 2020  Pag. 127 di 130</p>
---	--	--

Si riportano di seguito le sollecitazioni calcolate:

SOLLECITAZIONI SULLA ZATTERA DI FONDAZIONE - MURO H=2.5m											
SEZIONE A FILO INTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	-52	KN/m	Nd	-24	KN/m	Nd	-24	KN/m	Nd	-38	KN/m
Vd	173	KN/m	Vd	73	KN/m	Vd	69	KN/m	Vd	124	KN/m
Md	108	KNxm/m	Md	51	KNxm/m	Md	50	KNxm/m	Md	80	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ int}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.19	m	B'	2.01	m	B'	1.97	m	B'	2.19	m
$q_{med}$	164	Kpa	$q_{med}$	88	Kpa	$q_{med}$	86	Kpa	$q_{med}$	121	Kpa
$q_{max}$	328	Kpa	$q_{max}$	176	Kpa	$q_{max}$	172	Kpa	$q_{max}$	243	Kpa
$q_{int}$	193	Kpa	$q_{int}$	97	Kpa	$q_{int}$	93	Kpa	$q_{int}$	143	Kpa
$q_{med\ int}$	261	Kpa	$q_{med\ int}$	137	Kpa	$q_{med\ int}$	132	Kpa	$q_{med\ int}$	193	Kpa
SEZIONE A FILO ESTERNO											
SOLLECITAZIONI TOTALI SLU			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1			SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2			SOLLECITAZIONI TOTALI SLE		
Nd	13	KN/m	Nd	6	KN/m	Nd	6	KN/m	Nd	10	KN/m
Vd	111	KN/m	Vd	56	KN/m	Vd	54	KN/m	Vd	80	KN/m
Md	26	KNxm/m	Md	13	KNxm/m	Md	13	KNxm/m	Md	19	KNxm/m
avendo assunto per la pressione sul terreno il valore $q_{med\ est}$ calcolato a partire da una distribuzione triangolare:											
SLU			SLV1			SLV2			SLE		
B'	2.19	m	B'	2.01	m	B'	1.97	m	B'	2.19	m
$q_{med}$	164	Kpa	$q_{med}$	88	Kpa	$q_{med}$	86	Kpa	$q_{med}$	121	Kpa
$q_{max}$	328	Kpa	$q_{max}$	176	Kpa	$q_{max}$	172	Kpa	$q_{max}$	243	Kpa
$q_{est}$	268	Kpa	$q_{est}$	141	Kpa	$q_{est}$	137	Kpa	$q_{est}$	199	Kpa
$q_{med\ est}$	298	Kpa	$q_{med\ est}$	159	Kpa	$q_{med\ est}$	154	Kpa	$q_{med\ est}$	221	Kpa

#### 14.6.5 Verifica a flessione della fondazione

Dalla verifica dell'armatura di fondazione, ipotizzata pari  $1\Phi 14/10$  superiore e  $1\Phi 14/20$  inferiore, svolta in corrispondenza dell'attacco tra la zattera interna e il paramento verticale, risulta:

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLU</u></li> <li>- Nd = - 52 kN/m</li> <li>- Md = 108 kNxm/m</li> <li>- Mr = 305 kNxm</li> <li>- <math>\gamma_s = 305/108 = 2.82 &gt; 1</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>SLV</u></li> <li>- Nd = - 24 kN/m</li> <li>- Md = 73 kNxm/m</li> <li>- Mr = 312 KN/m</li> <li>- <math>\gamma_s = 312/73 = 4.27 &gt; 1</math></li> </ul>
---	---





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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 128 di 130

Si riporta di seguito il dettaglio della verifica più gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muro 2.50m - Fondazione 60cm

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	60	1	15.39	6
			2	7.70	54

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -52 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 0 kNm  
M<sub>Ed</sub> 0 0

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C32/40

E<sub>su</sub> 67.5 % E<sub>c2</sub> 2 %  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3.5 %  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.81 %  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
E<sub>syd</sub> 1.957 % σ<sub>c,adm</sub> 9.75  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.6  
τ<sub>c1</sub> 1.829

M<sub>xRd</sub> -305.3 kNm  
σ<sub>c</sub> -18.81 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 %  
ε<sub>s</sub> 37.24 %  
d 54 cm  
x 4.639 x/d 0.0859  
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  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

#### 14.6.6 Verifica a taglio della fondazione

La resistenza a taglio della fondazione risulta:

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

dove:

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

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

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

Dalla verifica a taglio risulta:

- SLU

$$V_d = 173 \text{ kN/m}$$

$$V_r = 222 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_s = 222/173 = \mathbf{1.28 > 1}$$

- SLV

$$V_d = 73 \text{ kN/m}$$

$$V_r = 222 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_s = 222/73 = \mathbf{3.04 > 1}$$



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

### Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo

DAR\_3RS011A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 129 di 130

#### 14.6.7 Carichi a intradosso fondazione

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

CAVALCAFERROVIA			CARICHI A INTRADOSO FONDAZIONE - MURO H=2.5m								
<b>LARGHEZZA FONDAZIONE</b>			<b>STATICA</b>			<b>SISMICA 1 (kh+Kv)</b>			<b>SISMICA 2 (Kh-Kv)</b>		
B - Lunghezza fondazione	2.50	m	cond. di spinta attiva			cond. di spinta attiva+sismica			cond. di spinta attiva+sismica		
<b>BARICENTRO FONDAZIONE</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>			<b>PESO PROPRIO MURO</b>		
X <sub>G</sub> - Distanza dal filo più interno	1.25	m	Nd	31.3	KN/m	Nd	31.3	KN/m	Nd	31.3	KN/m
			X <sub>N</sub>	1.85	m	X <sub>N</sub>	1.85	m	X <sub>N</sub>	1.85	m
			Md	18.8	KNxm/m	Md	18.8	KNxm/m	Md	18.8	KNxm/m
<b>CARATTERISTICHE SEZIONE IMPRONTA</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>			<b>PESO FONDAZIONE</b>		
A - Area	2.50	m <sup>2</sup> /m	Nd	37.5	KN/m	Nd	37.5	KN/m	Nd	37.5	KN/m
W - Modulo di resistenza	1.04	m <sup>3</sup> /m									
			<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>			<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>			<b>TERRENO A TERGO (attiva)</b>		
			Nd	80.0	KN/m	Nd	80.0	KN/m	Nd	80.0	KN/m
			X <sub>N</sub>	0.80	m	X <sub>N</sub>	0.80	m	X <sub>N</sub>	0.80	m
			Vd	23.5	KN/m	Vd	23.5	KN/m	Vd	23.5	KN/m
			Md	-11.7	KNxm/m	Md	-11.7	KNxm/m	Md	-11.7	KNxm/m
			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>			<b>SOVRACCARICO A TERGO (attiva)</b>		
			Nd	116.6	KN/m	Nd	23.3	KN/m	Nd	23.3	KN/m
			X <sub>N</sub>	0.80	m	X <sub>N</sub>	0.80	m	X <sub>N</sub>	0.80	m
			Vd	55.2	KN/m	Vd	11.0	KN/m	Vd	11.0	KN/m
			Md	33.1	KN/m	Md	6.6	KN/m	Md	6.6	KN/m
			<b>CARICHI TESTA MURO</b>			<b>CARICHI TESTA MURO</b>			<b>CARICHI TESTA MURO</b>		
			Nd	1.0	KN/m	Nd	1.0	KN/m	Nd	1.0	KN/m
			X <sub>N</sub>	1.85	m	X <sub>N</sub>	1.85	m	X <sub>N</sub>	1.85	m
			Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m	Vd	0.0	KN/m
			Md	0.6	KN/m	Md	0.6	KN/m	Md	0.6	KN/m
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLU</b>			<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>			<b>INCREMENTO SPINTA SISMICA</b>		
			Nd	360	KN/m	Vd	3.9	KN/m	Vd	4.2	KN/m
			Vd	106	KN/m	Md	6.1	KNxm/m	Md	6.4	KNxm/m
			Md	55	KNxm/m						
			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLE</b>			<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>			<b>FORZA D'INERZIA SUL MURO</b>		
			Nd	266	KN/m	Nd	1.7	KN/m	Nd	-1.7	KN/m
			Vd	79	KN/m	Vd	3.5	KN/m	Vd	3.4	KN/m
			Md	41	KNxm/m	Md	4.1	KNxm/m	Md	4.0	KNxm/m
						<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>			<b>FORZA D'INERZIA SUL TERRENO</b>		
						Nd	2.0	KN/m	Nd	-2.0	KN/m
						Vd	6.6	KN/m	Vd	6.3	KN/m
						Md	11.8	KNxm/m	Md	13.0	KNxm/m
						<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>			<b>FORZA D'INERZIA SOVRACCARICO</b>		
						Nd	0.6	KN/m	Nd	-0.6	KN/m
						Vd	2.4	KN/m	Vd	2.3	KN/m
						Md	7.1	KNxm/m	Md	7.3	KNxm/m
						<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV1</b>			<b>SOLLECITAZIONI TOTALI SLV2</b>		
						Nd	177	KN/m	Nd	169	KN/m
						Vd	51	KN/m	Vd	51	KN/m
						Md	43	KNxm/m	Md	45	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**  
**Cavalcaferrovia Progr. 19+328.23 - Relazione di calcolo**

DAR\_3RS011A.DOC  
Data: Giugno 2020  
Pag. 130 di 130

### 14.6.8 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:

CAVALCAFERROVIA			VERIFICHE GEOTECNICHE - MURO H=2.5m						
CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE									
Angolo di attrito	33	°							
Coesione	0	KN/m2							
Carico limite di progetto	1170	Kpa							
VERIFICA AL CARICO LIMITE			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Nd - Carico assiale	360	KN/m		177	KN/m		169	KN/m	
Md - Momento flettente	55	KNxm/m		43	KNxm/m		45	KNxm/m	
e - Eccentricità	0.15	m		0.24	m		0.27	m	
B' - Larghezza ridotta	2.19	m		2.01	m		1.97	m	
q medio (SLU)	164	Mpa		88	Mpa		86	Mpa	
q limite di progetto	1170	Mpa		1170	Mpa		1170	Mpa	
Coefficiente di sicurezza	7.14	> 1.40	VERIFICA	13.26	> 1.20	VERIFICA	13.64	> 1.20	VERIFICA
VERIFICA ALLO SCORRIMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Azione spingente	106	KN		51	KN		51	KN	
Azione resistente	234	KN		115	KN		110	KN	
Coefficiente di sicurezza	2.20	> 1.10	VERIFICA	2.26	> 1.00	VERIFICA	2.17	> 1.00	VERIFICA
VERIFICA AL RIBALTAMENTO			SLU		SLV1 (kh+kv)		SLV2 (kh-kv)		
Momento ribaltante	148	KNxm		65	KNxm		64	KNxm	
Momento resistente	519	KNxm		249	KNxm		238	KNxm	
Coefficiente di sicurezza	3.50	> 1.15	VERIFICA	3.84	> 1.00	VERIFICA	3.70	> 1.00	VERIFICA

Le verifiche risultano tutte soddisfatte.