



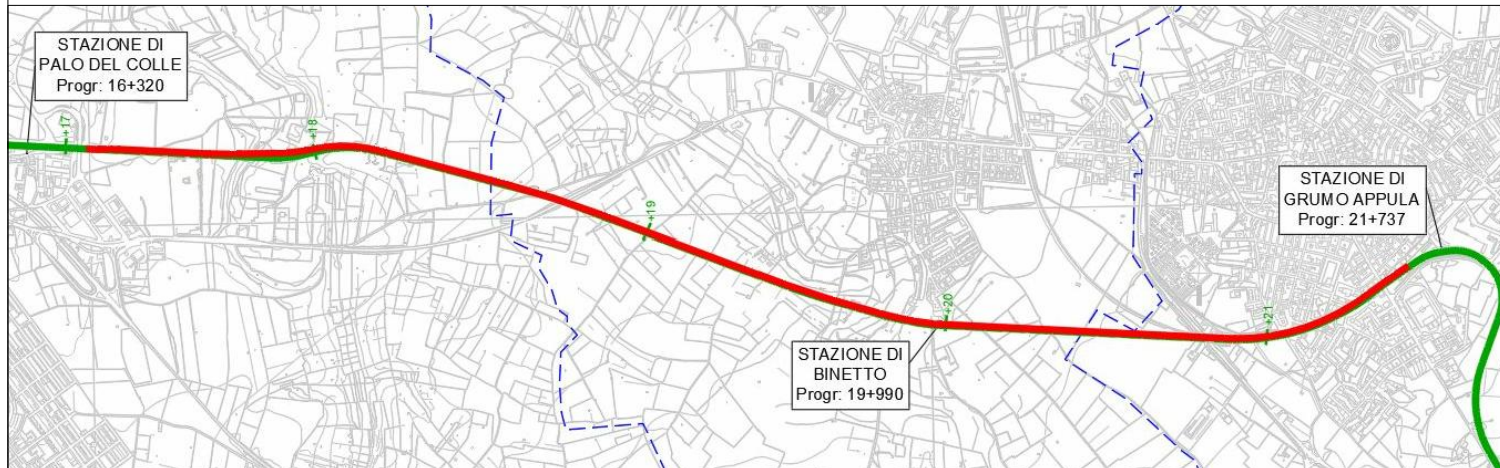
FERROVIE APPULO LUCANE S.R.L.

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 ST0010	Pratica 18021_DAR	PONTE Progr. 19+648.37				
Scala -	Codifica elaborato DAR_3RS003a	RELAZIONE DI CALCOLO				
A	GIUGNO 2020	PRIMA EMISSIONE	PAGLIA	PAGLIA	PELLEGRINI	M. RASIMELLI
Rev.	Data	Motivazione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato


 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 1 di 44</p>
---	--	---

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVE.....	5
3	RELAZIONE SUI MATERIALI	7
3.1	CALCESTRUZZO	7
3.1.1	<i>Calcestruzzo per strutture di fondazione ed elevazione (classe C32/40).....</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Copriferro di progetto delle armature</i>	<i>10</i>
3.1.3	<i>Magrone di sottofondazione.....</i>	<i>10</i>
3.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO (B450C).....	11
3.2.1	<i>Caratteristiche meccaniche e di calcolo (acciaio B450C).....</i>	<i>12</i>
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	13
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE	13
4.2	TERRENO A TERGO DELLO SCATOLARE E DEI MURI DI SOSTEGNO	14
4.3	FALDA FREATICA	14
5	DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA	15
6	CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA	18
6.1	TIPO DI ANALISI SVOLTA.....	18
6.2	MODELLI DI CALCOLO.....	19
6.3	CODICE DI CALCOLO	21
7	ANALISI DEI CARICHI	22
7.1	PESO PROPRIO	22
7.2	SOVRACCARICO PERMANENTE	22

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 2 di 44</p>
---	--	---

7.3	SOVRACCARICO FERROVIARIO SULLA COPERTURA.....	22
7.4	SOVRACCARICO STRADALE SULLA FONDAZIONE	23
7.5	SPINTA STATICA DEL TERRENO	24
7.6	SPINTA STATICA DEL SOVRACCARICO FERROVIARIO A TERGO	25
7.7	FORZE D'INERZIA SISMICHE	26
7.8	INCREMENTO DI SPINTA SISMICA DEL TERRENO.....	27
7.9	SCHEMI DI CALCOLO	28
8	CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO	30
8.1	CONDIZIONI DI CARICO.....	30
8.2	COMBINAZIONI DI CARICO (PONTICELLO H=2.0M)	31
8.3	COMBINAZIONI DI CARICO (MURI AD U)	32
9	VERIFICA DEL PONTICELLO H=2.00M	33
9.1	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	33
9.2	VERIFICA DELLA SOLETTA DI COPERTURA E DI FONDAZIONE	34
9.3	VERIFICA DELLE PARETI	36
9.4	VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO	38
10	VERIFICA DEI MURI AD U	39
10.1	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	39
10.2	VERIFICA DELLA FONDAZIONE	40
10.3	VERIFICA DELLE PARETI	42
10.4	VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO	44

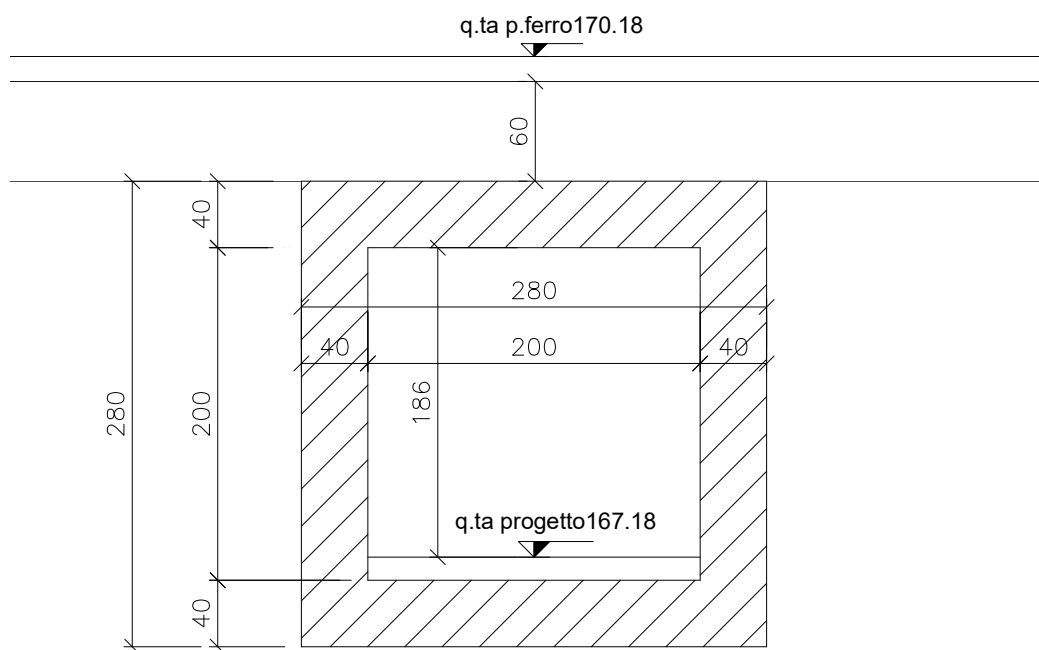
 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 3 di 44
---	--	--

1 PREMESSA

Il presente documento riporta la relazione di calcolo strutturale del progetto definitivo del Ponticello da realizzare al km19+648.37 dell'intervento di raddoppio della linea delle Ferrovie Appulo Lucane compresa tra la stazione di Palo del Colle e quella di Grumo Appula.


Per interferire il meno possibile con il traffico ferroviario, si è ipotizzato di realizzare la struttura in adiacenza alla posizione definitiva e posizionarla in opera successivamente mediante l'utilizzo di 2 gru cingolate.

Si riporta di seguito la sezione trasversale del ponticello analizzata nella presente relazione di calcolo:




Sezione trasversale del ponticello H=2.00m

Oltre alla verifica dello scatolare, il documento riporta anche la verifica strutturale dei muri ad U di altezza e spessore variabile da 1.10m/25cm a 2.90m/40cm, da realizzare in prosecuzione del sottopasso. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

 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 Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 4 di 44
---	---	--

Le analisi e le verifiche di calcolo sono condotte agli stati limite secondo le prescrizioni della vigente normativa italiana (**DM 17/01/2018** e **CM 21/01/2019**) facendo riferimento per la definizione dell'azione sismica ai parametri di calcolo prodotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e riportati in allegato alle precedenti NTC in funzione delle coordinate geografiche del sito di progetto. Si fa presente che per le verifiche strutturali allo stato limite ultimo si fa riferimento all'approccio 2, che considera come coefficienti parziali delle azioni γ_F quelli riportati nella colonna "A1 STR" della tabella 5.1.V del decreto e come coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici del terreno valore unitario come risulta dai valori riportati nella colonna "M1" della tabella 6.2.II.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 5 di 44</p>
---	--	---

2 NORMATIVE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 6 di 44
---	---	--

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

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

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

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

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


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

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

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

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

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 7 di 44</p>
---	--	---

3 RELAZIONE SUI MATERIALI

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

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

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

3.1 Calcestruzzo


I componenti del calcestruzzo devono avere le seguenti caratteristiche:

Leganti

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

Aggregati

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 8 di 44</p>
---	--	---

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

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

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

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

Assortimento granulometrico in composizione compresa tra le curve granulometriche sperimentali:


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

Acque di impasto

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

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

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 9 di 44</p>
---	--	---


3.1.1 Calcestruzzo per strutture 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 le opere di progetto:

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

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

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

 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 Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 10 di 44
---	---	---

3.1.2 Copriferro di progetto delle armature

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

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C _{min}	C _o	ambiente	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o	C ≥ C _o	C _{min} ≤ C < C _o
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 = 50mm

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

3.1.3 Magrone di sottofondazione

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

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 11 di 44
---	--	---

3.2 Acciaio per Cemento Armato (B450C)

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

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

Saldabilità

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


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

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

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

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

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 12 di 44
---	---	---

3.2.1 Caratteristiche meccaniche e di calcolo (acciaio B450C)

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

Acciaio per c.a. B450C

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

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 13 di 44</p>
---	--	--

4 PARAMETRI GEOTECNICI

4.1 Terreno di fondazione

Le indagini svolte nella zona d'intervento (n.2 sondaggi a carotaggio continuo S5_1, S5_2, n.1 prospezione sismiche MASW M5_1, n.1 sondaggio geoelettrico ERT E5_1, analisi di laboratorio sui campioni prelevati), descritte nella relazione geologica, hanno permesso di accertare la presenza in sito di 2 unità geotecniche principali:

1) *un livello superficiale Ca1 (da 0.00 sino a 3.00/6.00m) costituito da un calcare molto fratturato e stratificato, carsificato ($\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$)*

2) *un livello profondo Ca2 (da 3.00/6.00m sino alla profondità d'interesse) costituito da un calcare fratturato, carsificato ($\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$)*

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

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

Ai fini delle verifiche geotecniche, si assumono per il terreno di fondazione, le caratteristiche geotecniche riportate dalla relazione geologica per lo strato superficiale Ca1:


- Angolo di attrito all'interfaccia fondazione - terreno $\Phi_i = 29^\circ (\cong 2/3\Phi)$
- Coesione all'interfaccia fondazione – terreno $c = 0 \text{ KN/m}^3$ (cautelativo)

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

- $q_{sic} = q_{ult}/5 = 2.1/5 = \mathbf{0.42 \text{ Mpa}}$

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

- $K_w = 16530/B = 16530/280 \cong \mathbf{59 \text{ kg/cm}^3}$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 14 di 44
---	---	---


4.2 Terreno a tergo dello scatolare e dei muri di sostegno

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

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

4.3 Falda freatica

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 15 di 44
---	---	---

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 = 16,7042°

Latitudine Nord = 41,0267°

Stati limite analizzati

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

 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 Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 16 di 44
---	---	---

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

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

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

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<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

Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 17 di 44

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

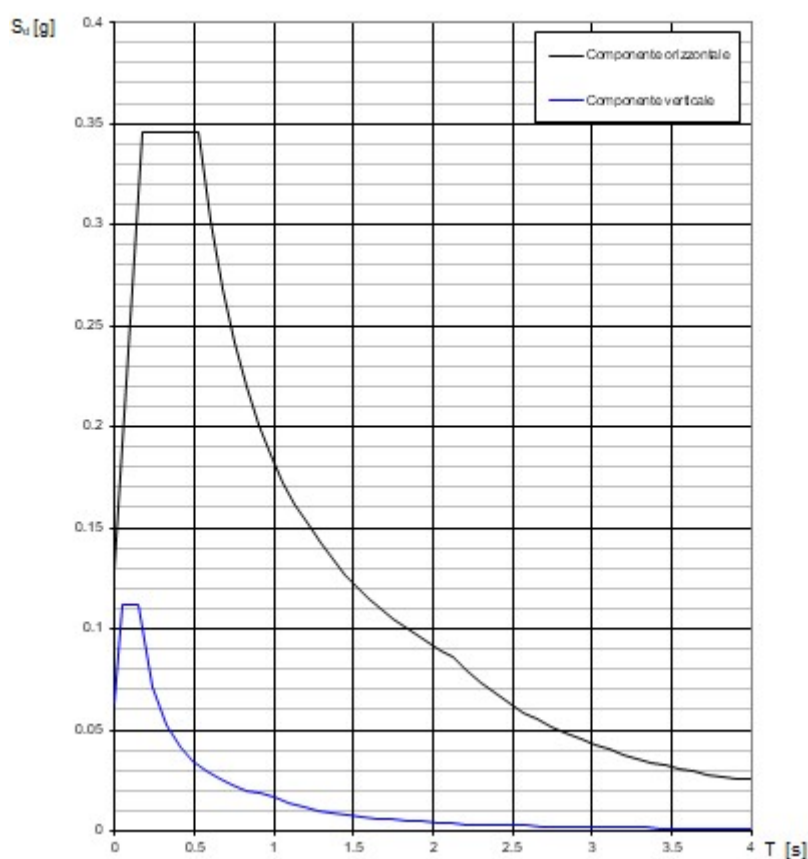
Parametri indipendenti


STATO LIMITE	SLV
a_g	0.130 g
F_o	2.657
T_C	0.530 s
S_S	1.000
C_C	1.000
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.000
η	1.000
T_B	0.177 s
T_C	0.530 s
T_D	2.120 s

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



 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 18 di 44
---	---	---

6 CRITERI GENERALI DI ANALISI E VERIFICA

6.1 TIPO DI ANALISI SVOLTA

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


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

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

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

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

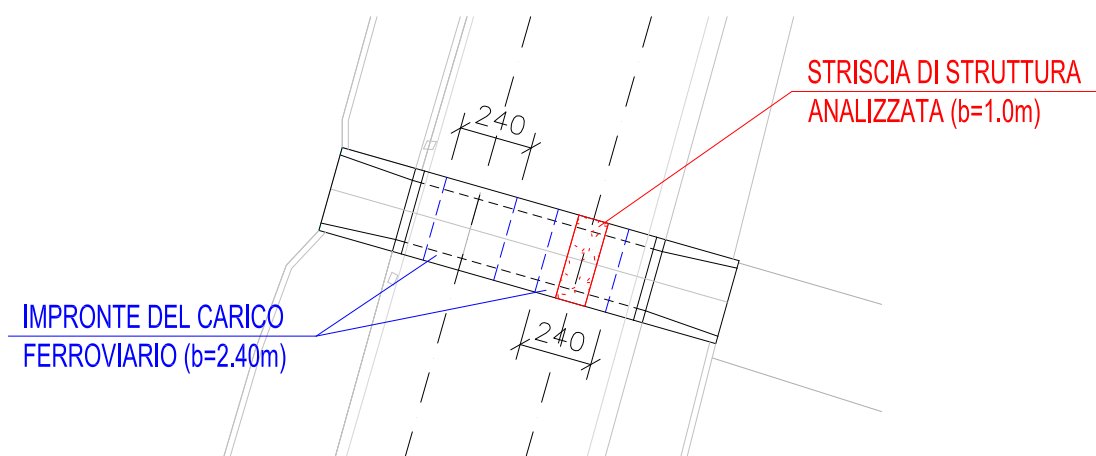
- Combinazioni allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 19 di 44</p>
---	--	--

6.2 MODELLI DI CALCOLO

L'analisi del ponticello è stata eseguita per mezzo di un modello di calcolo piano agli elementi finiti (monodimensionali) che analizza a favore di sicurezza una striscia di larghezza unitaria ($b=1.0\text{m}$), considerando l'effetto delle condizioni di carico più gravose.

L'interazione tra il terreno e la fondazione viene schematizzata mediante un legame elastico lineare alla Winkler, attribuendo alla costante di sottofondo sia il valore di 59 Kg/cm^3 suggerito dalla relazione geotecnica, sia un valore cautelativo di 5.9 Kg/cm^3 . La rigidità orizzontale del terreno di rinfiando dello scatolare, viene trascurata a favore di sicurezza.




Il terreno a tergo dello scatolare e dei muri ad "U" è stato considerato in condizione di spinta a riposo in esercizio, e in condizioni di spinta attiva sotto sisma.

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

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

dove

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

 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 Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 20 di 44
---	---	---


Le forze sismiche d'inerzia agenti sullo scatolare e sui muri ad U, sono state calcolate senza alcuna riduzione adottando un coefficiente β_m di valore unitario. Si riportano di seguito i parametri geotecnici considerati nell'analisi sismica di tali opere:

PARAMETRI SISMICI		TERRENO	
Accelerazione a_g (SLV)	0.130 g	Peso di volume	20.00 KN/m ³
Coefficiente di sottosuolo S	1.000	Angolo di attrito del terreno	35.00 °
Coefficiente di riduzione β_m	1.00	Coesione	0.00 KN/m ²
Coefficiente sismico orizzontale	0.130	Angolo d'attrito terra - muro	23.00 °
Coefficiente sismico verticale (\pm)	0.065	Coefficiente di spinta attiva K_a	0.244
		Coefficiente di spinta sismica K_s (+)	0.322
		Coefficiente di spinta sismica K_s (-)	0.334

Le verifiche dei muri ad U sono state svolte analizzando 2 differenti combinazioni di carico.

La prima combinazione relativa allo stato limite ultimo SLU, considera le azioni del peso proprio, della spinta statica del terreno (a riposo), e la spinta statica di un sovraccarico accidentale a tergo di 10kN/m². Tali carichi sono opportunamente incrementati con i coefficienti parziali γ indicati dalla colonna A1 della tabella 2.6.I delle NTC2018.


La seconda combinazione di carico, relativa allo stato limite SLV, con sisma verticale rivolto verso il basso, considera le azioni statiche del peso proprio, della spinta attiva del terreno e di quella relativa ad un sovraccarico accidentale a tergo di 2kN/m², sommate alle azioni sismiche relative all'incremento di spinta del terreno e alle forze d'inerzia esercitate sulle masse del muro, del cuneo di spinta e del sovraccarico accidentale presente sul cuneo.

 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 Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 21 di 44
---	---	---

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>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 22 di 44</p>
---	--	--

7 ANALISI DEI CARICHI

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

7.1 PESO PROPRIO

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

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

7.2 SOVRACCARICO PERMANENTE

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

- $P_k (\text{soletta}) = 18 \times 0.8 = 14.4 \text{ kN/m}^2$

Sulla soletta di fondazione si considera il peso proprio di un pacchetto stradale di spessore 15cm, valutato considerando un peso di volume di 22kN/m³:

- $P_k (\text{fondazione}) = 22 \times 0.15 = 3.30 \text{ kN/m}^2$

7.3 SOVRACCARICO FERROVIARIO SULLA COPERTURA

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

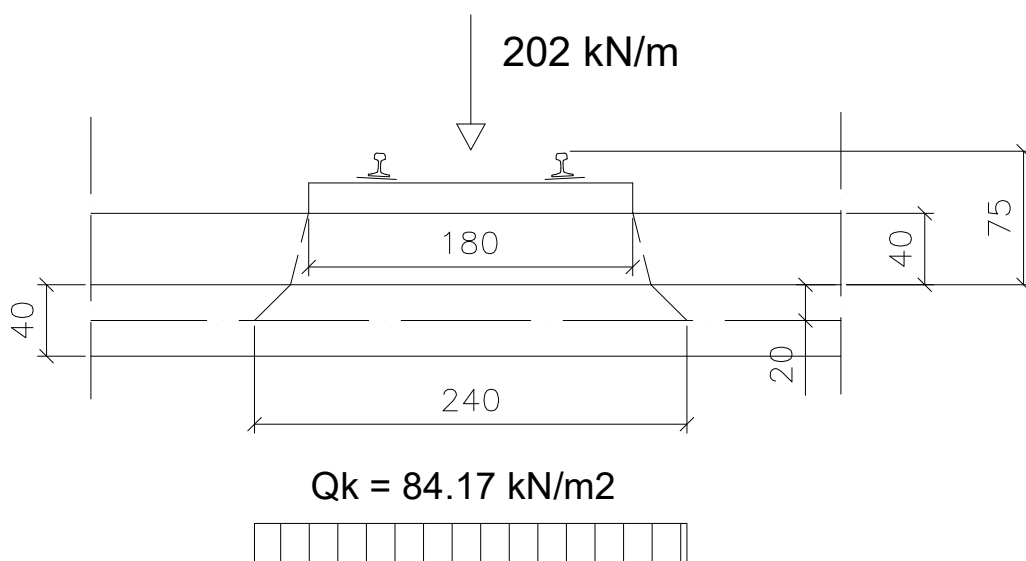
Tale coefficiente viene valutato per un ridotto standard manutentivo con riferimento al punto 5.4 della tabella 5.2.II delle NTC2018:

- $\Phi_3 = 1.35$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 23 di 44</p>
---	---	--

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


- B ripartizione = 2.40m
- $Q_k = 1.35 \times 150 / 2.40 = 84.17 \text{ kN/m}^2$



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

7.4 SOVRACCARICO STRADALE SULLA FONDAZIONE

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

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 24 di 44</p>
---	--	--

7.5 SPINTA STATICA DEL TERRENO

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

Nella spinta viene incluso anche il contributo relativo al peso del ballast e dell'armamento ferroviario, pari a $P_k = 14.4 \text{ kN/m}^2$.

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

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

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

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

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


$$H = 2.80\text{m}$$

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

$$p_2 (\text{ripos}) = 6.13 + 20 \times 0.426 \times 2.80 = 29.98 \text{ kN/m}^2$$

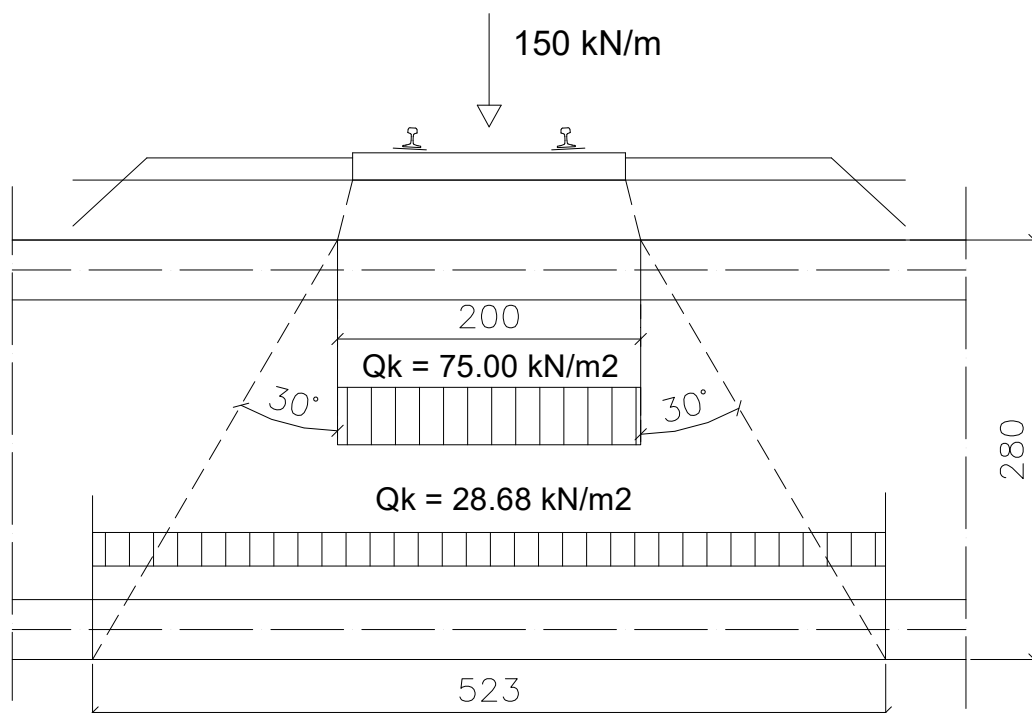
Analogamente, in condizioni sismiche per effetto degli spostamenti dello scatolare, il terreno si porta in condizioni di spinta attiva, i cui valori estremi di pressione risultano:

- $p_1 (\text{attiva}) = 0.244 \times 14.4 = 3.51 \text{ kN/m}^2$
- $p_2 (\text{attiva}) = 0.244 \times 14.4 + 20 \times 0.244 \times 2.80 = 17.18 \text{ kN/m}^2$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 25 di 44</p>
---	--	--


7.6 SPINTA STATICA DEL SOVRACCARICO FERROVIARIO A TERGO

Il sovraccarico ferroviario a tergo dello scatolare, viene trasmesso con inclinazione 1:4 attraverso la massicciata e con angolo di 30° nel terreno a partire dal piano del ballast, coincidente con l'estradosso della soletta. Pertanto all'estradosso della copertura dello scatolare il treno di carico SW/2 di 150 kN/m si ripartisce su una larghezza di 2.00m, mentre all'intradosso della fondazione si ripartisce su una larghezza di 5.23m.



Per effetto della variabilità delle pressioni verticali con l'altezza, pari a 75.00 kN/m² in copertura e 28.68 kN/m² in fondazione, anche la spinta orizzontale è variabile:

- $p1 \text{ (riposo)} = 0.426 \times 75.00 = 31.95 \text{ kN/m}^2$
- $p2 \text{ (riposo)} = 0.426 \times 28.68 = 12.22 \text{ kN/m}^2$
- $p1 \text{ (attiva)} = (0.244/0.426) \times 31.95 = 0.57 \times 31.95 = 18.30 \text{ kN/m}^2$
- $p2 \text{ (attiva)} = (0.244/0.426) \times 12.22 = 0.57 \times 12.22 = 6.96 \text{ kN/m}^2$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 26 di 44
---	---	---

7.7 FORZE D'INERZIA SISMICHE

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

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

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

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

Le forze d'inerzia si applicano alla massa delle pareti verticali, della soletta, dei carichi permanenti e accidentali (ridotti al 20%) e al cuneo di spinta, compreso tra la parete sotto sisma e il piano di scivolamento inclinato dallo spigolo della fondazione di un angolo pari a 27.5° (ossia $45^\circ - \Phi/2$). Le pressioni da applicare per effetto della forza d'inerzia sul cuneo di spinta assumono un diagramma triangolare, con valore massimo in corrispondenza della copertura.

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

- Forze orizzontali

$$f_{1h} (g+p+0.2q)_{\text{soletta}} = 0.139 \times (25 \times 0.4 + 14.40 + 0.2 \times 75.00) = 5.48 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{2h} (g)_{\text{parete dx}} = 0.139 \times 25 \times 0.4 = 1.39 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{3h} (g+p+0.2q)_{\text{parete sx}} = 1.39 + (0.139 \times 0.5 \times 20 \times 2.80^2 \times \tan 27.5^\circ) / 2.80 +$$


$$+ 0.139 \times 2.80 \times \tan 27.5^\circ (14.4 + 0.2 \times 75.00) / 2.80 = 1.39 + 2.03 + 2.13 = 5.55 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{4h} (g+p)_{\text{fondazione}} = 0.139 \times (25 \times 0.4 + 3.30) = 1.85 \text{ kN/m}^2$$
- Forze verticali

$$f_{1v} \text{ soletta } (g+p+0.2q) = 0.065 \times (25 \times 0.4 + 14.4 + 0.2 \times 75.00) = 2.56 \text{ kN/m}^2$$

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

$$f_{3v} \text{ (fondazione)} = 0.065 \times (25 \times 0.4 + 3.30) = 0.86 \text{ kN/m}^2$$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 27 di 44</p>
---	--	--

7.8 INCREMENTO DI SPINTA SISMICA DEL TERRENO

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

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

L'incremento di spinta così determinato risulta:

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

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

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

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

$$H = 2.80\text{m}$$

$$\Delta F_s = 0.40 \times 2.80^2 = 3.14 \text{ KN/m}$$

$$\Delta p_s = 3.14 / 2.80 = 1.12 \text{ KN/m}^2$$



Ferrovie Appulo Lucane

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

PROGETTO DEFINITIVO
Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

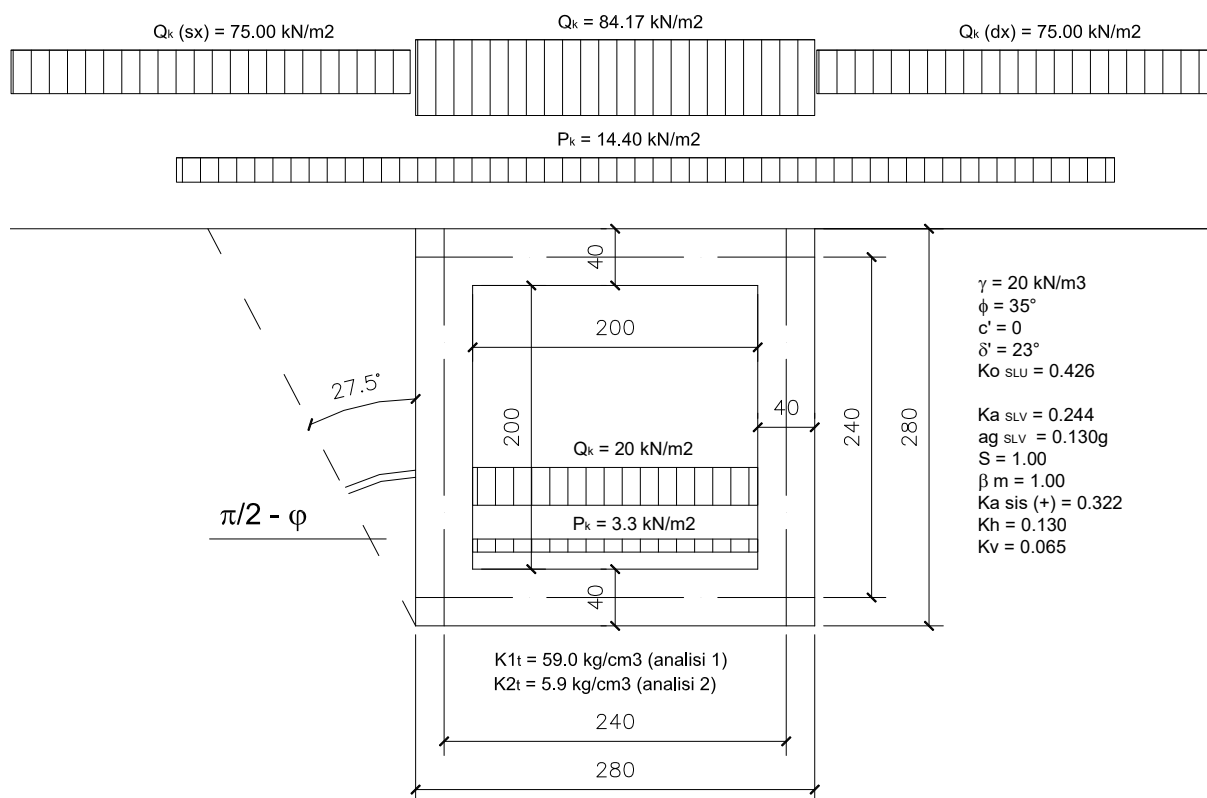
DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 28 di 44

7.9 SCHEMI DI CALCOLO

Con riferimento all'analisi dei carichi svolta, si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per la verifica del ponticello H=2.0m:



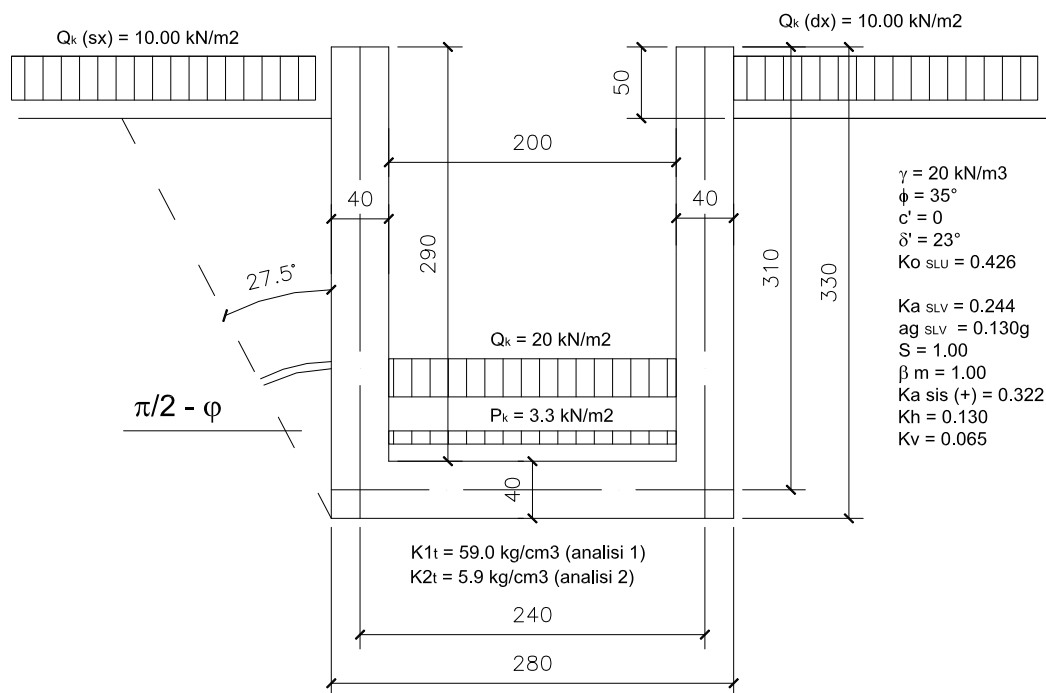



PROGETTO DEFINITIVO

Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

Pag. 29 di 44

Si riporta di seguito lo schema di calcolo utilizzato per la verifica dei muri ad 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>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 30 di 44</p>
---	--	--

8 CONDIZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO


8.1 CONDIZIONI DI CARICO

Si riportano di seguito le condizioni di carico considerate nell'analisi del ponticello H=2.0m:

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

Si riportano di seguito le condizioni di carico considerate nell'analisi dei muri ad U:

- Cond. 1: Pesi propri
- Cond. 2: Carichi permanenti sulla fondazione
- Cond. 3: Sovraccarico accidentale su fondazione
- Cond. 4: Spinta del terreno sulle pareti (condizioni a riposo Ko)
- Cond. 5: Spinta del sovraccarico a tergo sulla parete sinistra (a riposo Ko)
- Cond. 6: Spinta del sovraccarico a tergo sulla parete destra (a riposo Ko)
- Cond. 7: Forza d'inerzia orizzontale
- Cond. 8: Forza d'inerzia verticale in basso
- Cond. 9 Incremento sismico (+) calcolato per sisma in basso

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 31 di 44
---	---	---

8.2 COMBINAZIONI DI CARICO (PONTICELLO H=2.0m)

Si riportano di seguito le combinazioni di carico allo stato limite ultimo considerate per l'analisi del modello di calcolo del ponticello H=2.00m:

Stato limite ultimo statico SLU

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

Stato limite ultimo SLV

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

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

Stato limite di esercizio SLE (comb. rara)

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

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo	DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 32 di 44
---	---	---

8.3 COMBINAZIONI DI CARICO (MURI AD U)

Si riportano di seguito le combinazioni di carico allo stato limite ultimo considerate per l'analisi del modello di calcolo dei muri ad U:

Stato limite ultimo statico SLU

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6
1	1.35	1.5	1.5	1.35	1.45	
2	1.35	1.5	1.5	1.35	1.45	1.45
3	1.35	1.5	1.5	1.35		
4	1.35	1.5	1.5	0.77	0.83	
5	1.35	1.5	1.5	0.77	0.83	0.83
6	1.35	1.5	1.5	0.77		

Stato limite ultimo SLV

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

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

Stato limite di esercizio SLE (comb. rara)

Comb.\Cond	1	2	3	4	5	6
8	1	1	1	1	1	
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1		
11	1	1	1	0.57	0.57	
12	1	1	1	0.57	0.57	0.57
13	1	1	1	0.57		



Ferrovie Appulo Lucane

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

PROGETTO DEFINITIVO

Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

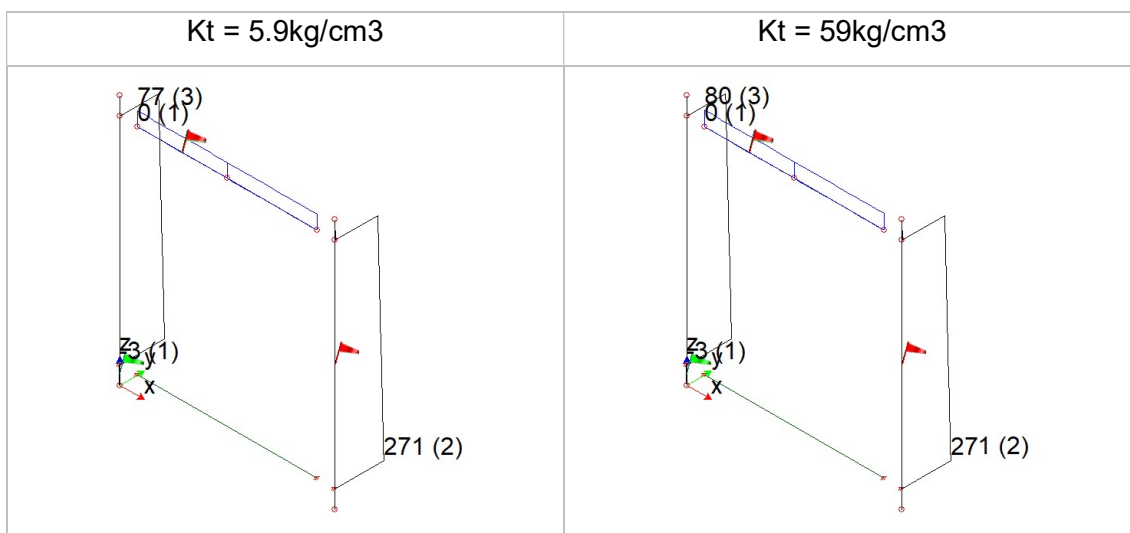
Pag. 33 di 44

9 VERIFICA DEL PONTICELLO H=2.00m

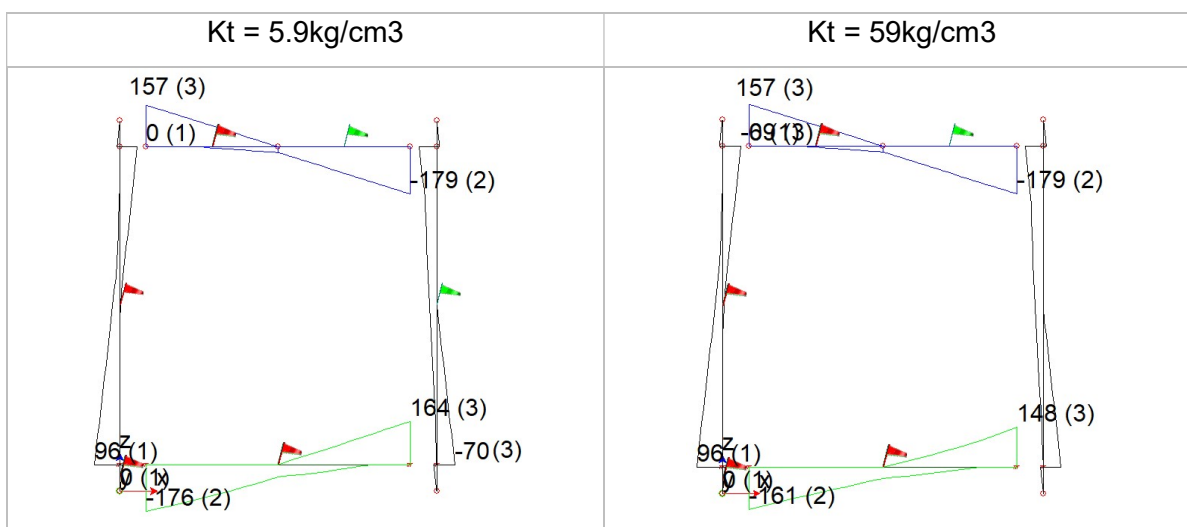
9.1 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

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

Nd (KN/m)



Vd (KN/m)





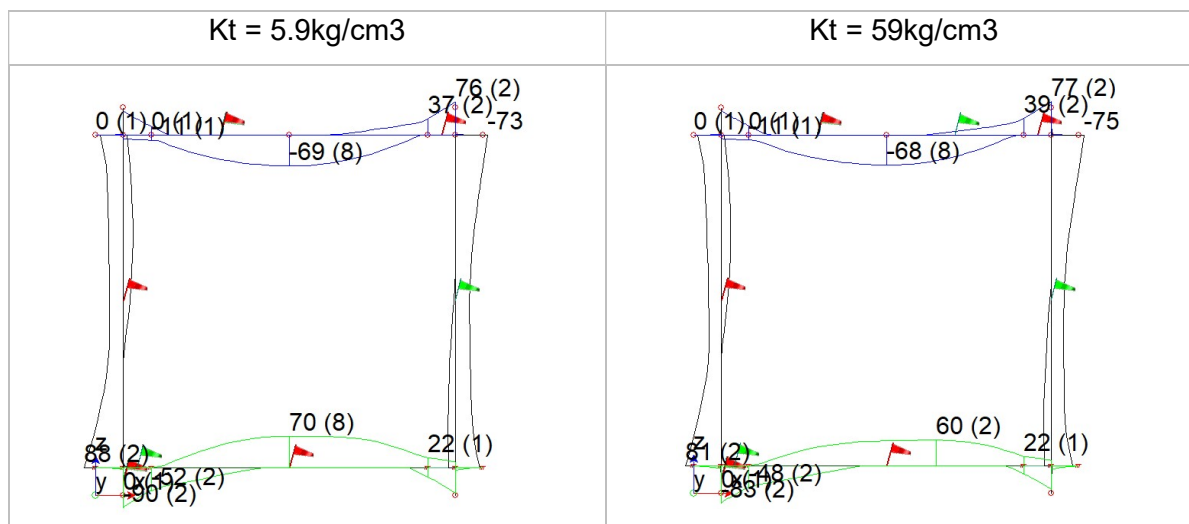
Ferrovie Appulo Lucane

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

PROGETTO DEFINITIVO
Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 34 di 44

Md (KNxm/m)



9.2 VERIFICA DELLA SOLETTA DI COPERTURA E DI FONDAZIONE

Si riporta di seguito la verifica a flessione della soletta di copertura e di fondazione fatta per le massime sollecitazioni allo stato limite SLU/SLV che si verificano in fondazione all'appoggio (mediando il valore in asse e quello a filo):

- Sezione di calcolo rettangolare 100x40
- Armatura inferiore tesa $5\Phi 14$
- Armatura superiore compressa $5\Phi 14$
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = (90+52)/2 = 71 \text{ KNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 110 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 110/71 = 1.55 > 1$



Ferrovie Appulo Lucane

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

PROGETTO DEFINITIVO

Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 35 di 44

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della sezione analizzata:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Ponticello h=2.0m - Soletta

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

Titolo: _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	7.70	6
			2	7.70	34

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

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

M_{xRd} 110.3 kN m

σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 27.09 ‰
d 34 cm
x 3.891 x/d 0.1144
 δ 0.7

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

Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:


- $V_d = 179 \text{ KN/m}$
- $V_r = V_{rmin} = (0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 340 / 1000 = 161 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 161/179 = 0.90 < 1$ **è necessario armare a taglio**

essendo

- $V_{rmin} > [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5] \times 1000 \times 340 / 1000 = 142 \text{ KN/m}$
-
- $k = 1 + (200/340)^{0.5} = 1.77$
- $\rho_l = 5 \times 154 / (1000 \times 340) = 0.0023$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$

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

- $V_d = 179 \text{ KN/m}$
- $V_{rd} = \min(V_{rds}; V_{rcd}) = 211 \text{ KN}$
- $\gamma_s = 211/179 = 1.18 > 1$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 36 di 44</p>
---	--	--

essendo

- $V_{rzd} = 0.9 d (A_{sw}/s) f_{yd} (\cotg\alpha + \cotg\theta) \sin\alpha = 211 \text{ KN}$
- $V_{rzd} = 0.9 d b_w \alpha_c f'_{cd} (\cotg\alpha + \cotg\theta) / (1 + \cotg^2\theta) = 992 \text{ KN}$

avendo posto:

- $d = 340 \text{ mm}$
- $b_w = 1000 \text{ mm}$
- $A_{sw}/s = 113/0.4/400 = 0.706$
- $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- $\alpha = 90$ ($\cotg\alpha = 0$; $\sin\alpha = 1$)
- $\cotg\theta = 2.5$
- $\alpha_c = 1$
- $f'_{cd} = 0.5 \times 18.81 = 9.40 \text{ N/mm}^2$

9.3 VERIFICA DELLE PARETI

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

- | | |
|---------------------------------|---|
| - Sezione di calcolo | rettangolare 100x40 |
| - Armatura | 5 Φ 14 + 5 Φ 14 |
| - Copriferro | 6cm |
| - Momento di calcolo | $M_d = 88 \text{ KNxm/m}$ |
| - Sforzo assiale corrispondente | $N_d = 228 \text{ KN/m}$ |
| - Momento resistente | $M_r = 145 \text{ KNxm/m}$ |
| - Coefficiente di sicurezza | $\gamma_s = 145/88 = \mathbf{1.65 > 1}$ |

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



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

Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 37 di 44

Verifica C.A. S.L.U. - File: Ponticello h=2.0m - Parete

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

Titolo:

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	7.70	6
			2	7.70	34

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N Ed 228 0 kN
M xEd 0 0 kNm
M yEd 0 0

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

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


M xRd -144.8 kN m
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 22.52 ‰
d 34 cm
x 4.574 x/d 0.1345
δ 0.7

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

- Vd = 96 kN/m (valore a filo estradosso fondazione)
- Nd = 57 kN/m (sforzo assiale corrispondente)
- Vr = Vrmin = $(0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 340 / 1000 = 161$ kN/m
- $\gamma_s = 161/96 = 1.68 > 1$

essendo

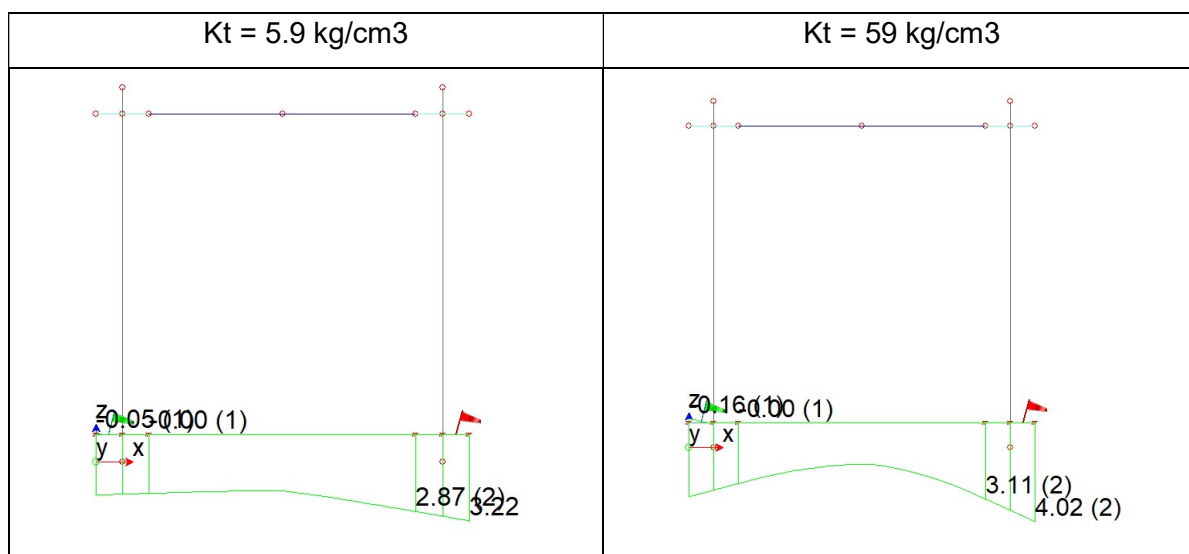
- Vrmin > $[0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5 + 0.15 \sigma_{cp}] \times 1000 \times 340 / 1000 = 149$ kN/m
- $k = 1 + (200/340)^{0.5} = 1.77$
- $\rho_l = (5 \times 154) / (1000 \times 340) = 0.0023$
- fck = 33.2 Mpa
- $\sigma_{cp} = Nd / Ac = 57000 / (1000 \times 400) = 0.14$ Mpa

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 38 di 44</p>
---	--	--

9.4 VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO

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

q SLU/SLV (Kg/cm2)



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

- $pd_{max} = 4.02 \text{ kg/cm}^2 \cong 0.40 \text{ MPa}$
- $q_{sic} = 0.42 \text{ Mpa} > pd_{max}$
- $\gamma_s = 0.42/0.40 = \mathbf{1.05} > 1$



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
Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

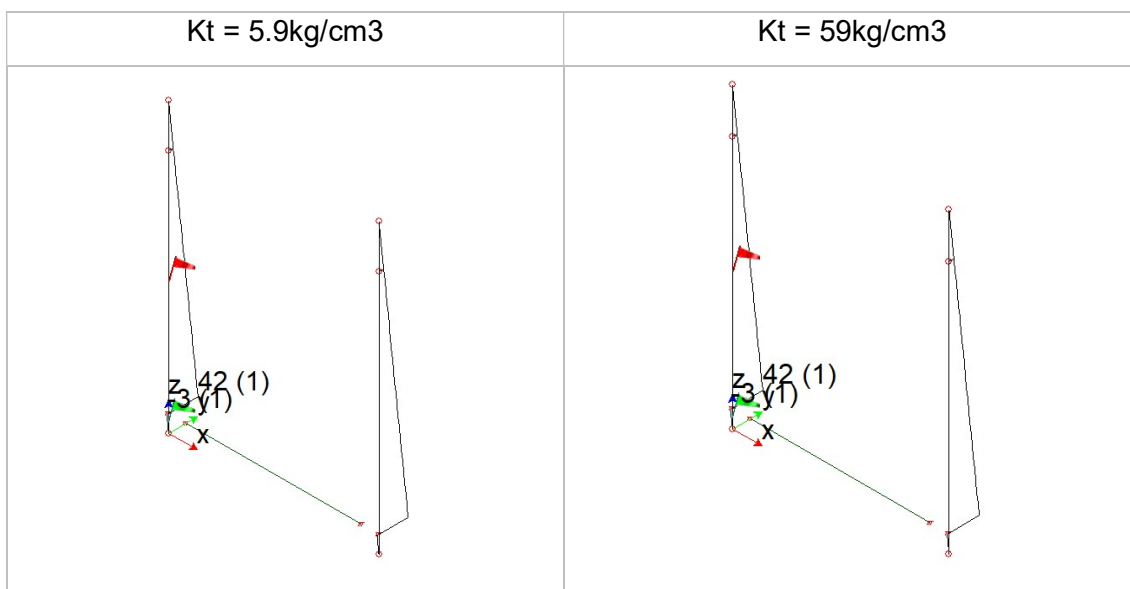
Pag. 39 di 44

10 VERIFICA DEI MURI AD U

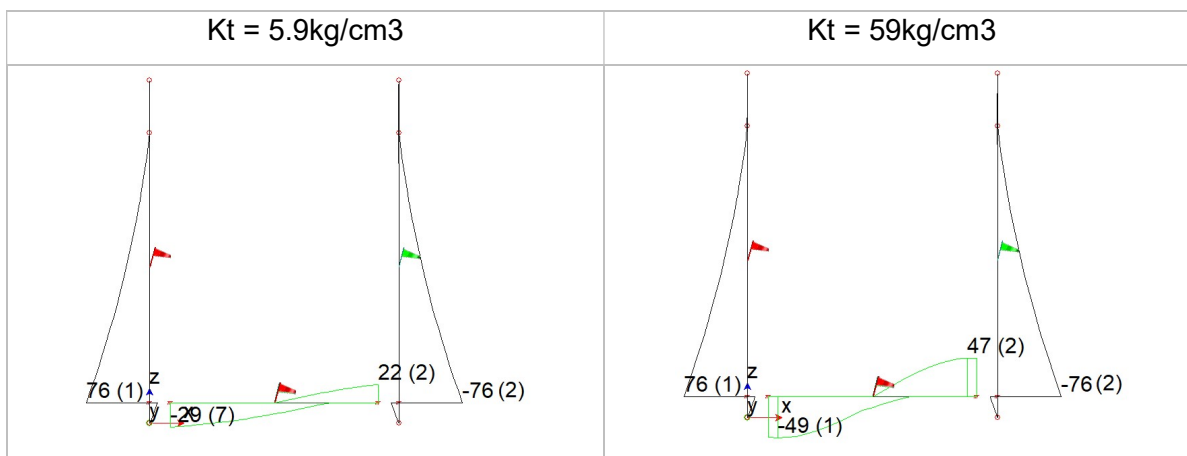
10.1 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

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

Nd (KN/m)



Vd (KN/m)





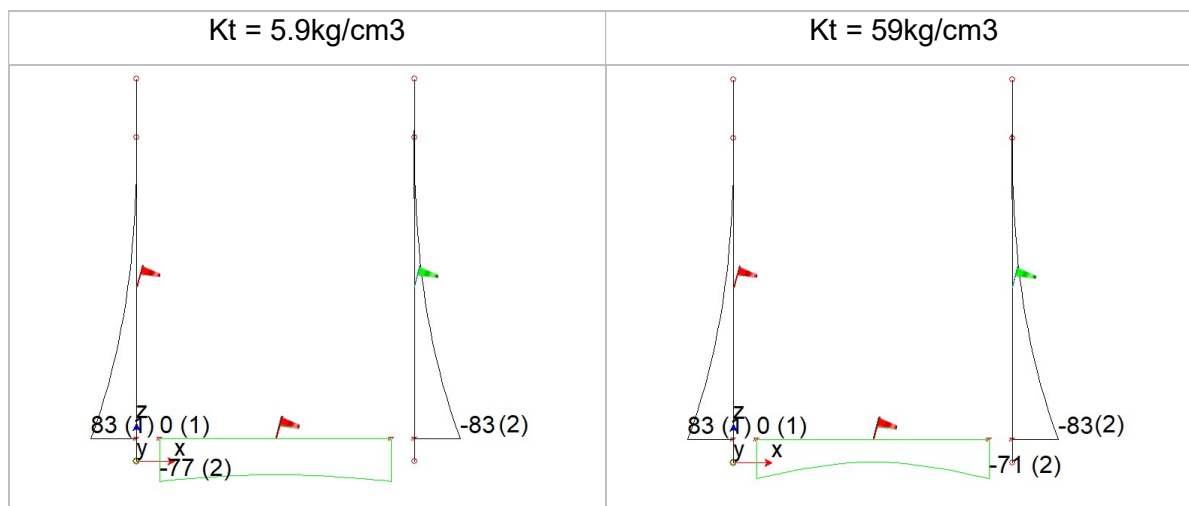
Ferrovie Appulo Lucane

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

PROGETTO DEFINITIVO
Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC
Data: Giugno 2020
Pag. 40 di 44

Md (KNxm/m)



10.2 VERIFICA DELLA FONDAZIONE

Si riporta di seguito la verifica a flessione della soletta di fondazione fatta per le massime sollecitazioni allo stato limite SLU/SLV che si verificano in fondazione all'appoggio (mediando il valore in asse e quello a filo):

- Sezione di calcolo rettangolare 100x40
- Armatura inferiore tesa 5Φ14
- Armatura superiore compressa 5Φ14
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = (83+77)/2 = 80 \text{ KNxm/m}$
- Momento resistente $M_r = 110 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 110/80 = 1.38 > 1$



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

Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo

DAR_3RS003A.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 41 di 44

Si riporta di seguito il calcolo del momento ultimo a rottura della sezione analizzata:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muri ad U - Soletta di fondazione

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

Titolo: _____

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	7.7	6
			2	7.7	34

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali B450C C32/40

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

M_{xRd} 110.3 kN m
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 27.09 ‰
d 34 cm
x 3.891 x/d 0.1144
δ 0.7

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

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

Tipo flessione
Retta Deviata


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

Dalla verifica a taglio della sezione di solo calcestruzzo risulta:

- V_d = 49 KN/m
- V_r = V_{rmin} = (0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) x 1000x340/1000 = 161 KN/m
- γ_s = 161/49 = **3.28 > 1**

essendo

- V_{rmin} > [0.18 k (100 ρ_l f_{ck})^{1/3}/1.5] x 1000 x 340/1000 = 142 KN/m
-
- k = 1+(200/340)^{0.5} = 1.77
- ρ_l = 5x154/(1000x340) = 0.0023
- f_{ck} = 33.2 Mpa

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 42 di 44</p>
---	--	--

10.3 VERIFICA DELLE PARETI

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

- Sezione di calcolo rettangolare 100x40
- Armatura $5\Phi 14 + 5\Phi 14$
- Copriferro 6cm
- Momento di calcolo $M_d = 83 \text{ KNxm/m}$
- Sforzo assiale corrispondente $N_d = 42 \text{ KN/m}$
- Momento resistente $M_r = 117 \text{ KNxm/m}$
- Coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 117/83 = 1.41 > 1$

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

Verifica C.A. S.L.U. - File: Muri ad U - Parete

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

Titolo:

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

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	7.7	6
			2	7.7	34

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 43 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	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	18.81
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

M_{xRd} -116.8 kN m


σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 26.17 ‰
d 34 cm
x 4.01 x/d 0.1179
 δ 0.7

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

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

☐ Precompresso


 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 43 di 44</p>
---	--	--

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

- $V_d = 76 \text{ KN/m}$ (valore a filo estradosso fondazione)
- $N_d = 42 \text{ kN/m}$ (sforzo assiale corrispondente)
- $V_r = V_{rmin} = (0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}) \times 1000 \times 340 / 1000 = 161 \text{ KN/m}$
- $\gamma_s = 161/76 = \mathbf{2.11 > 1}$

essendo

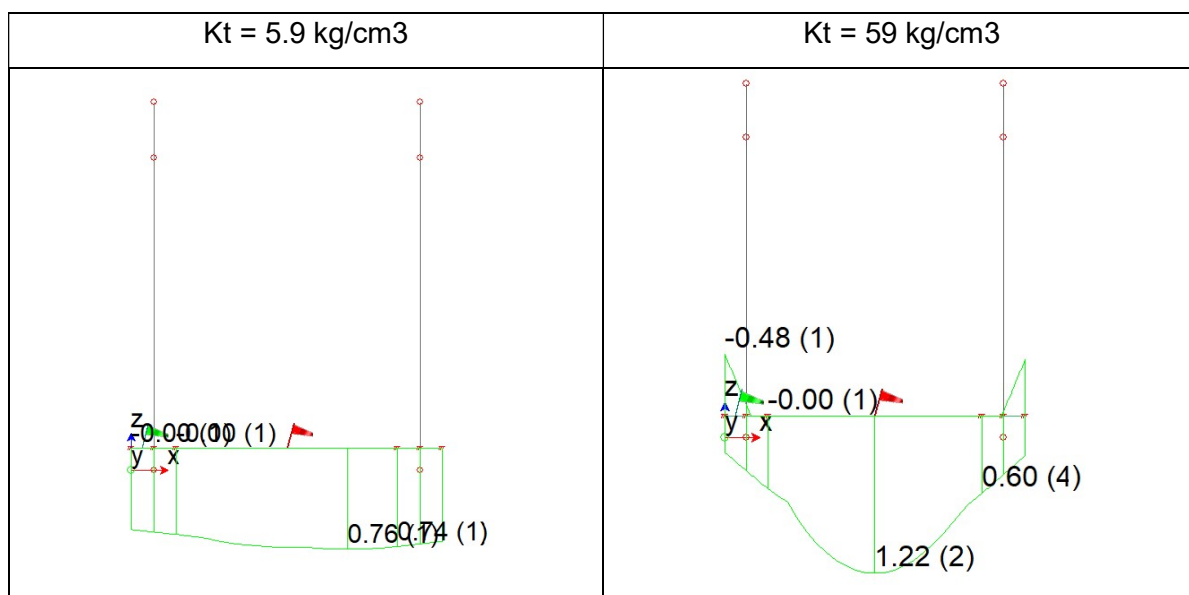
- $V_{rmin} > [0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} / 1.5 + 0.15 \sigma_{cp}] \times 1000 \times 340 / 1000 = 147 \text{ KN/m}$
- $k = 1 + (200/340)^{0.5} = 1.77$
- $\rho_l = (5 \times 154) / (1000 \times 340) = 0.0023$
- $f_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$
- $\sigma_{cp} = N_d / A_c = 42000 / (1000 \times 400) = 0.105 \text{ Mpa}$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Ponte Progr. 19+648.37 - Relazione di calcolo</p>	<p>DAR_3RS003A.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 44 di 44</p>
---	--	--

10.4 VERIFICA DELLE PRESSIONI SUL TERRENO

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

q SLU/SLV (Kg/cm2)



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

- $pd_{max} = 1.22 \text{ kg/cm}^2 \cong 0.12 \text{ MPa}$
- $q_{sic} = 0.42 \text{ Mpa} > pd_{max}$
- $\gamma_s = 0.42/0.12 = \mathbf{3.50} > 1$