

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J81D19000000009

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO –  
“AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1:NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE  
ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO  
SEZIONI TIPO E MURI DI SOSTEGNO**

Muri di sostegno ferroviari – Relazione di calcolo 3/3

SCALA:

-

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

NM27 01 D 26 CL CS0000 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau 	Giugno 2020	R.Lestingi 	Giugno 2020	I. Legramandi 	Giugno 2020	A. Perego Giugno 2020 

File: NM2701D26CLCS0000003A.doc

n. Elab.:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO  
NM27        01 D 26    CL        CS0000003    A        2 di 333

## Sommario

1	PREMESSA .....	6
1.1	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	13
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	14
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	14
2.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	16
3	UNITÀ DI MISURA .....	17
4	MATERIALI .....	18
4.1	CALCESTRUZZO PER MURO IN ELEVAZIONE .....	18
4.2	CALCESTRUZZO PER BATOLI DI FONDAZIONE .....	18
4.3	ACCIAIO IN BARRE PER GETTI E RETI ELETTRISALDATE .....	19
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	20
5.1	STRATIGRAFIA 1 .....	20
5.2	STRATIGRAFIA 2 .....	21
5.3	STRATIGRAFIA 3 .....	22
5.4	STRATIGRAFIA 4 .....	23
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	25
7	METODO DI CALCOLO .....	31
7.1	CONDIZIONI DI SPINTA SUL MURO IN CONDIZIONI STATICHE .....	31
7.2	CONDIZIONI DI SPINTA SUL MURO IN CONDIZIONI SISMICHE .....	33



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 3 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	--------------------

7.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	35
7.4	VERIFICHE STRUTTURALI .....	35
8	VERIFICHE.....	36
8.1	SEZ. TIPO 1 - MURO DI CONTRORIPA (RI01) PK 0+234 A 0+363.....	36
8.1.1	<i>Caratteristiche dei terreni.....</i>	36
8.1.2	<i>Dati di progetto.....</i>	37
8.1.3	<i>Analisi dei carichi.....</i>	39
8.1.4	<i>Combinazioni di carico.....</i>	41
8.1.5	<i>Verifiche.....</i>	48
8.2	SEZ. TIPO 8 - MURO DI LINEA (TR03) PK 4+796 A 5+024.....	74
8.2.1	<i>Caratteristiche dei terreni.....</i>	74
8.2.2	<i>Dati di progetto.....</i>	75
8.2.3	<i>Analisi dei carichi.....</i>	77
8.2.4	<i>Combinazioni di carico.....</i>	81
8.2.5	<i>Verifiche.....</i>	89
8.3	SEZ. TIPO 9 - MURO DI LINEA (RI05) PK 5+024 A 5+220 (BD) PK 5+024 A 5+220 (BP).....	115
8.3.1	<i>Caratteristiche dei terreni.....</i>	115
8.3.2	<i>Dati di progetto.....</i>	116
8.3.3	<i>Analisi dei carichi.....</i>	119
8.3.4	<i>Combinazioni di carico.....</i>	123
8.3.5	<i>Verifiche.....</i>	131



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 4 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	--------------------

8.4	SEZ. TIPO 11 - MURI DI SOSTEGNO NELLA ZONA DI TRANSIZIONE TRA LA TR01A A TR01B (PK 2+512) E TRA TR02B E TR02C (PK 3+671) .....	155
8.4.1	<i>Caratteristiche dei terreni</i> .....	155
8.4.2	<i>Dati di progetto</i> .....	156
8.4.3	<i>Analisi dei carichi</i> .....	158
8.4.4	<i>Combinazioni di carico</i> .....	160
8.4.5	<i>Verifiche</i> .....	169
8.5	SEZ. TIPO 10 - MURO DI LINEA IN CORRISPONDENZA DELLA NV01 (TR03) PK: 4+650 A 4+796 .....	192
8.5.1	<i>Caratteristiche dei terreni</i> .....	192
8.5.2	<i>Dati di progetto</i> .....	193
8.5.3	<i>Analisi dei carichi</i> .....	195
8.5.4	<i>Combinazioni di carico</i> .....	196
8.5.5	<i>Verifiche</i> .....	204
8.6	SEZ. TIPO MURO SOTTOPASSO NI01 – TIPO A - (PK 4+765) .....	228
8.6.1	<i>Caratteristiche dei terreni</i> .....	228
8.6.2	<i>Dati di progetto</i> .....	229
8.6.3	<i>Analisi dei carichi</i> .....	231
8.6.4	<i>Combinazioni di carico</i> .....	231
8.6.5	<i>Verifiche</i> .....	236
8.7	SEZ. TIPO MURI VIABILITÀ NV01 - TIPO A - RAMO 1 PK: 0+000 A 50+000, 150+000 A 173+819; RAMO 3 PK: 25+000 A 100+000.....	250
8.7.1	<i>Caratteristiche dei terreni</i> .....	250



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 5 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	--------------------

8.7.2	Dati di progetto.....	251
8.7.3	Analisi dei carichi.....	254
8.7.4	Combinazioni di carico.....	255
8.7.5	Verifiche.....	263
8.8	SEZ. TIPO MURI VIABILITÀ NV01 - TIPO B - RAMO 4 PK: 25+000 A 50+000.....	287
8.8.1	Caratteristiche dei terreni.....	287
8.8.2	Dati di progetto.....	288
8.8.3	Analisi dei carichi.....	290
8.8.4	Combinazioni di carico.....	293
8.8.5	Verifiche.....	298
9	INCIDENZA ARMATURA .....	322
9.1	SEZ. TIPO 1 - MURO DI CONTRORIPA (RI01) PK 0+234 A 0+363.....	322
9.2	SEZ. TIPO 8 - MURO DI LINEA (TR03) PK 4+796 A 5+024.....	323
9.3	SEZ. TIPO 9 - MURO DI LINEA (RI05) PK 5+024 A 5+220 (BD) PK 5+024 A 5+220 (BP).....	324
9.4	SEZ. TIPO 11 - MURI DI SOSTEGNO NELLA ZONA DI TRANSIZIONE TRA LA TR01A A TR01B (PK 2+512) E TRA TR02B E TR02C (PK 3+671) .....	326
9.5	SEZ. TIPO 10 - MURO DI LINEA IN CORRISPONDENZA DELLA NV01 (TR03) PK: 4+650 A 4+796 .....	327
9.6	SEZ. TIPO MURO SOTTOPASSO NI01 – TIPO A - (PK 4+765) .....	329
9.7	SEZ. TIPO MURI VIABILITÀ NV01 - TIPO A - RAMO 1 PK: 0+000 A 50+000, 150+000 A 173+819; RAMO 3 PK: 25+000 A 100+000.....	330
9.8	SEZ. TIPO MURI VIABILITÀ NV01 - TIPO B - RAMO 4 PK: 25+000 A 50+000.....	332



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

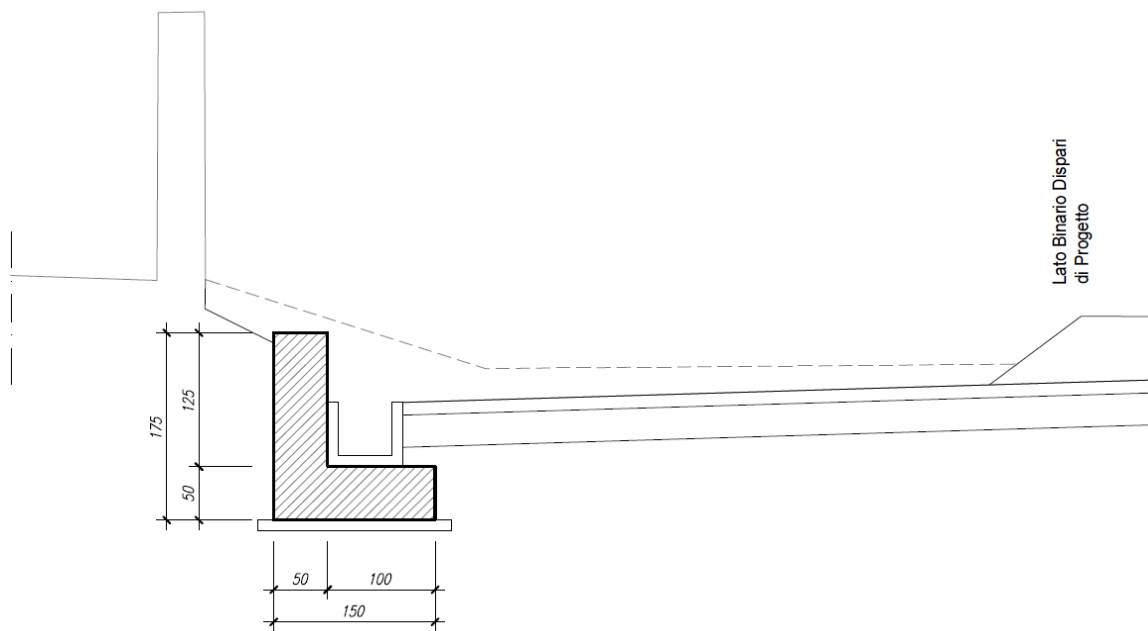
**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO  
NM27        01 D 26    CL        CS0000003    A        6 di 333

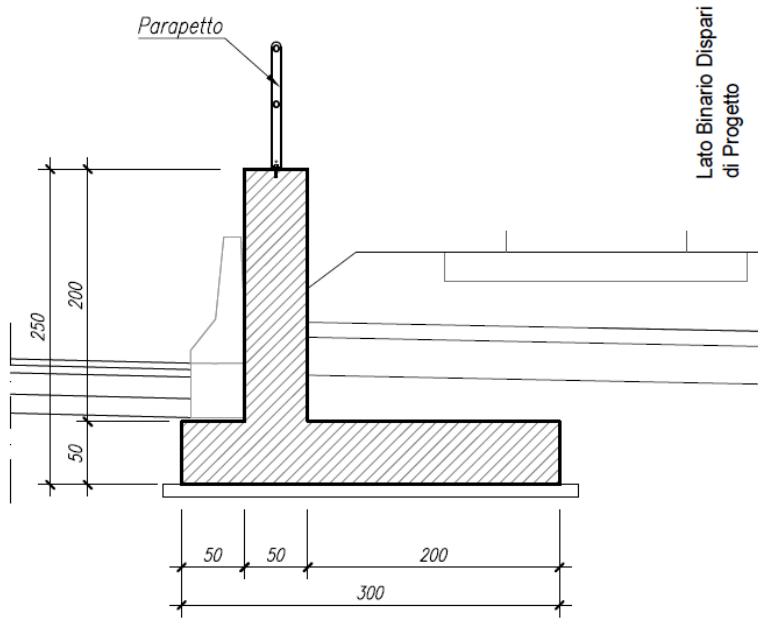
## 1 PREMESSA

La presente relazione ha come oggetto il dimensionamento dei muri di sostegno, in fase di progettazione definitiva, che si sviluppa lungo la linea ferroviaria di collegamento tra l'aeroporto di Orio Al Serio e la stazione di Bergamo.

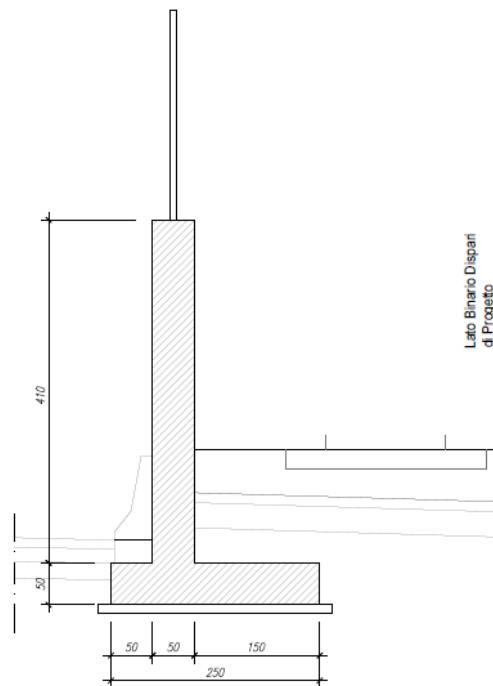
Nello specifico, si riporta il dimensionamento e le verifiche di sette tipologie di muri contro terra previsti tra varie progressive lungo la linea ferroviaria e la nuova viabilità di accesso all'aeroporto. I tipologici riguardano un muro di sottoscarpa dell'RI01, un muro posto nella zona di transizione tra la TR01A e la TR01B e altre 5 tipologie di muri ubicati tra la TR03 e RI05. Tre di queste cinque tipologie sono utili a evitare l'interferenza tra la NV01 e la linea in progetto. Nelle figure sottostanti sono riportate le dimensioni dei tipologici in progetto, la situazione planimetrica e le progressive di riferimento:



**Figura 1-1: pk 0+234 a 0+363 (Corrispondente a Sezione tipo 1 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000003A)**



**Figura 1-2: pk 4+796 a 4+918 (Corrispondente a Sezione tipo 8 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000005A)**



**Figura 1-3: 4+918 a 5+302 (BD) pk 4+918 a 5+223 (BP) (Corrispondente a Sezione tipo 9 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000005A)**

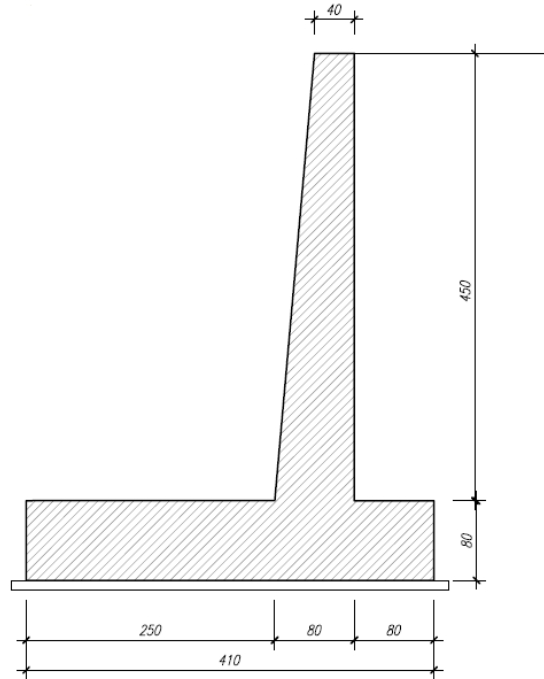


**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

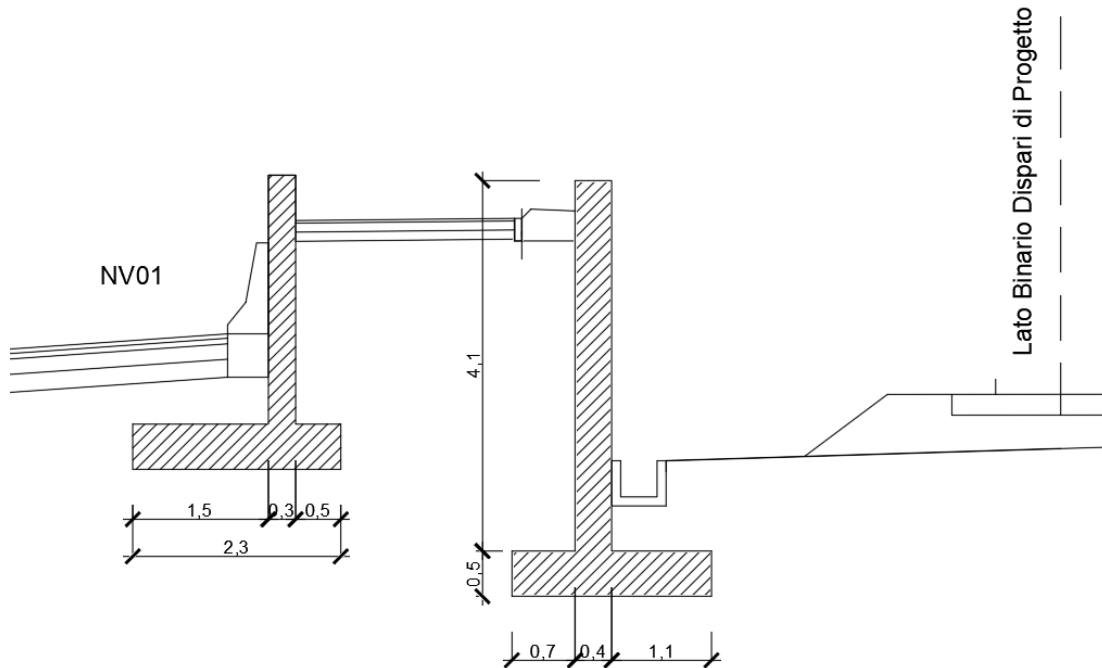
**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 8 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	--------------------

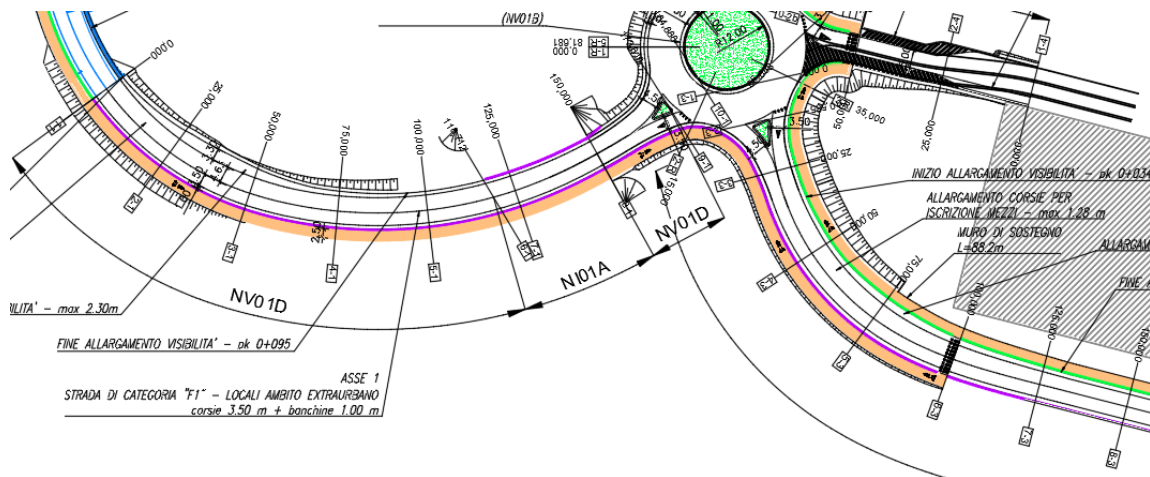


**Figura 1-4: Muri di sostegno nella zona di transizione tra la TR01A a TR01B (pk 2+512) e tra TR02B e TR02C (pk 3+671) (Corrispondente a Sezione tipo 11 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000005A)**

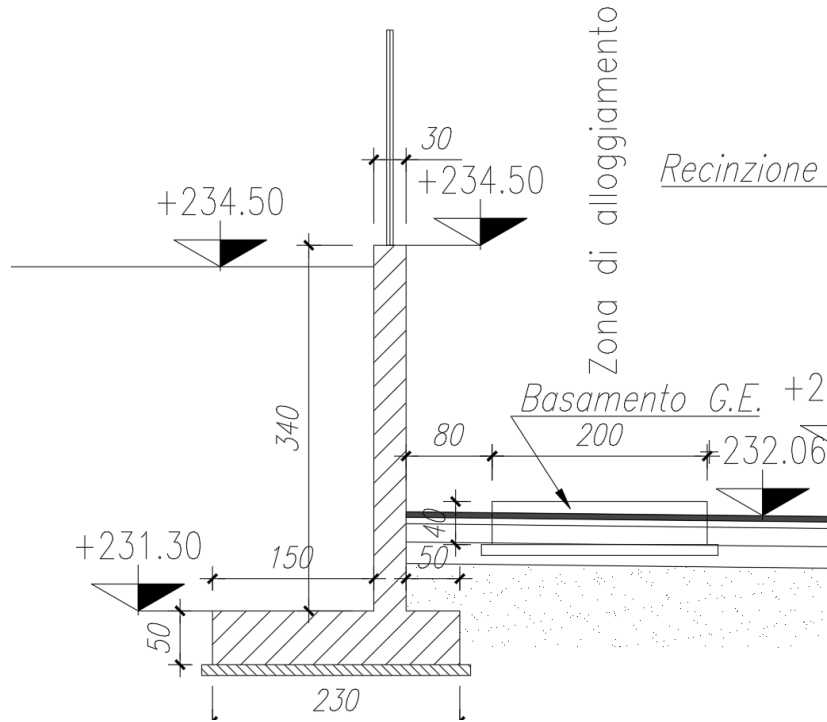




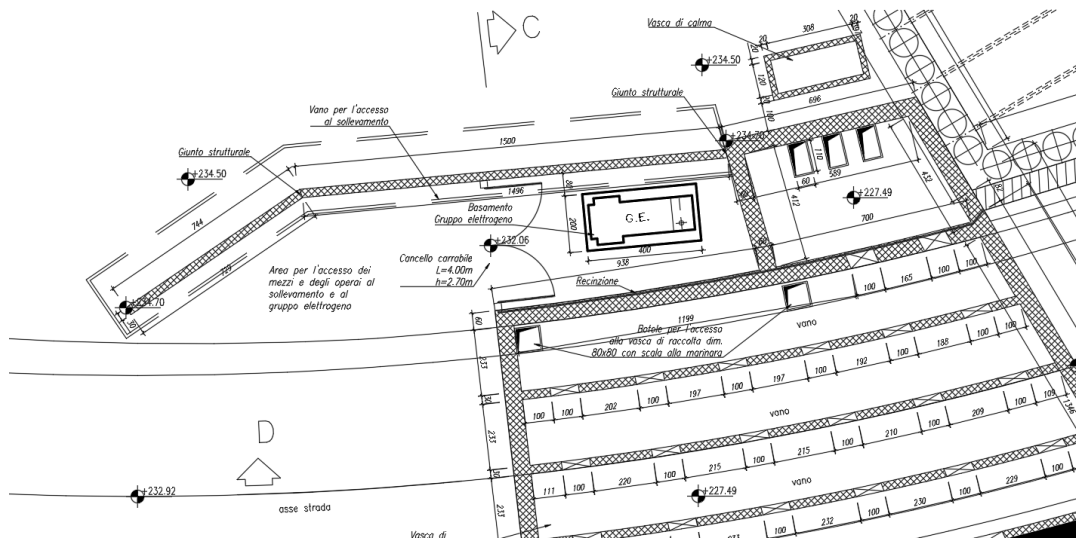
**Figura 1-5: Muro di linea in corrispondenza della NV01 (TR03) pk: 4+650 a 4+796 (Corrispondente a Sezione tipo 10 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000005A)**



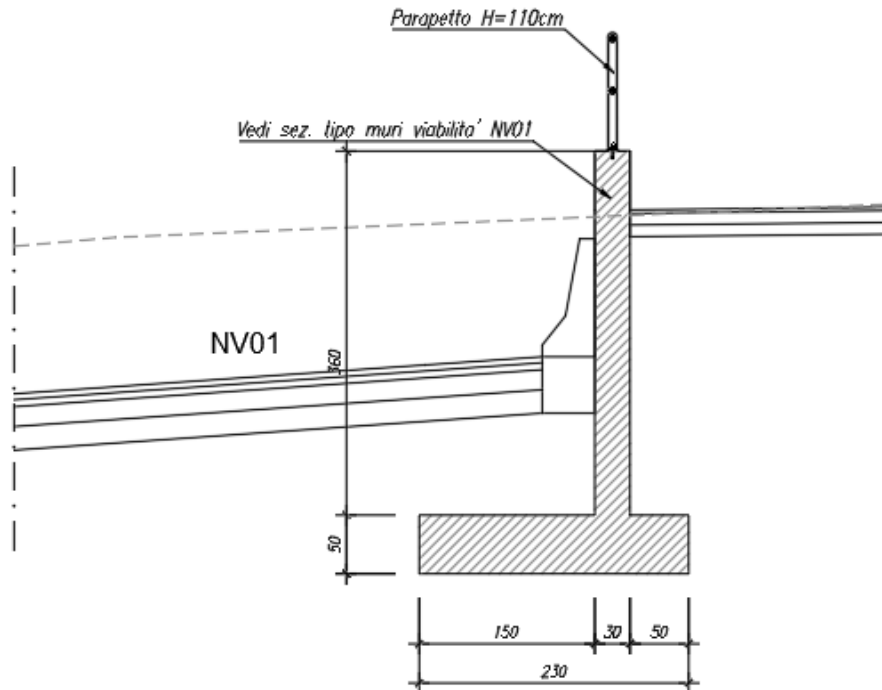
**Figura 1-6: Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo A - Ramo 1 PK: 0+000 a 50+000, 150+000 a 173+819; Ramo 3 PK: 25+000 a 100+000- vista in pianta**



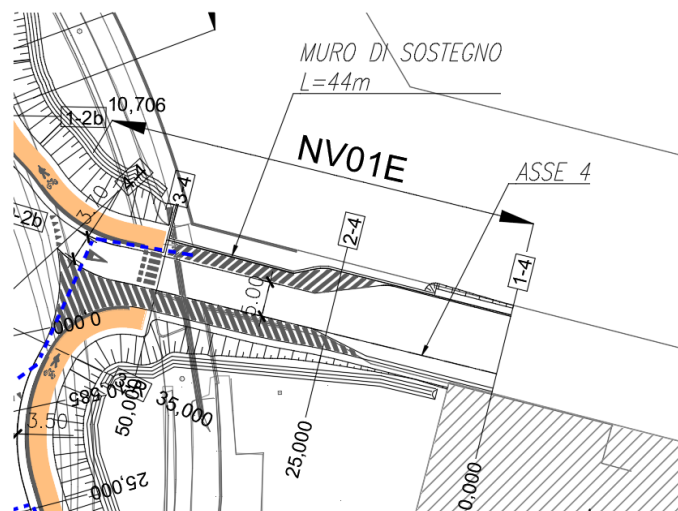
**Figura 1-7 – Sez. Tipo Muro sottopasso NI01 – Tipo A - (pk 4+765)**



**Figura 1-8 - Sez. Tipo Muro sottopasso NI01 – Tipo A - (pk 4+765) – vista in pianta**



**Figura 1-9: NV01 - Tipo A - Ramo 1 PK: 0+000 a 50+000, 150+000 a 173+819; Ramo 3 PK: 25+000 a 100+000 (Corrispondente a Sez. Tipo Muri viabilità elab. di rif.NM2701D26WBSCS0000005A)**



**Figura 1-10: Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo B - Ramo 4 PK: 25+000 a 50+000 – vista in pianta**

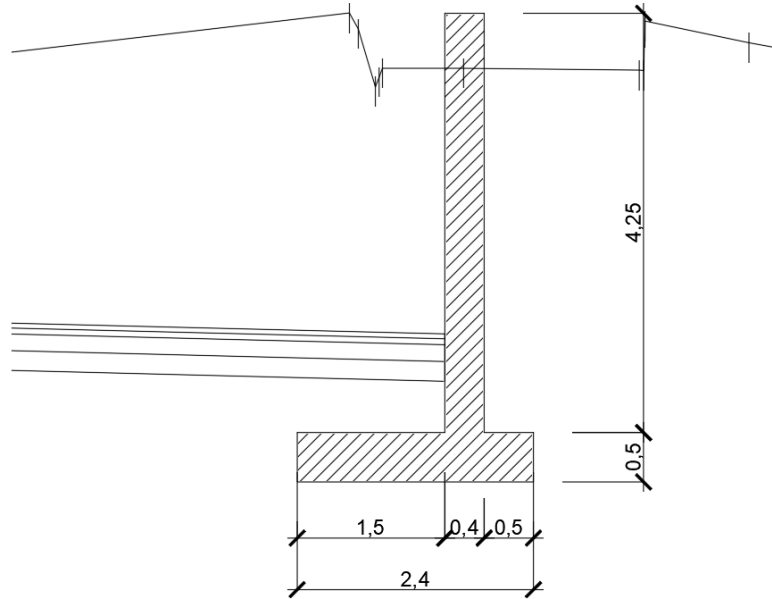


**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 12 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------



**Figura 1-11: Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo B - Ramo 4 PK: 25+000 a 50+000 (Corrispondente a Sez. Tipo Muri viabilità elab. di rif.NM2701D26WBCS0000005A)**

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 13 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 13 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 13 di 333		

### 1.1 Scopo del documento

Scopo del presente documento è quello di verificare le opere di sostegno presenti lungo la linea ferroviaria e la nuova viabilità di accesso all'aeroporto NV01.

La relazione comprende le verifiche delle seguenti opere:

- Sez. Tipo 1 - Muro di controripa (RI01) pk 0+234 a 0+363
- Sez. Tipo 8 - Muro di linea (TR03) pk 4+796 a 5+024
- Sez. Tipo 9 - Muro di linea (RI05) pk 5+024 a 5+220 (BD) pk 5+024 a 5+220 (BP)
- Sez. Tipo 11 - Muri di sostegno nella zona di transizione tra la TR01A a TR01B (pk 2+512) e tra TR02B e TR02C (pk 3+671)
- Sez. Tipo 10 - Muro di linea in corrispondenza della NV01 (TR03) pk: 4+650 a 4+796
- Sez. Tipo Muro sottopasso NI01 – Tipo A - (pk 4+765)
- Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo A - Ramo 1 PK: 0+000 a 50+000, 150+000 a 173+819; Ramo 3 PK: 25+000 a 100+000
- Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo B - Ramo 4 PK: 25+000 a 50+000

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 14 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 14 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 14 di 333		

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

### 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. del 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (NTC 2018);
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17.01.2018;
- UNI EN 206:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI EN 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione. prestazione. produzione e conformità - Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206;
- EN 1991-2:2003/AC:2010 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”.
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali”.
- UNI EN 1998-1:2013 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 2 – “Ponti e strutture” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 3 – “Corpo stradale” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – “Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili”.
- UIC CODE 777-2R “Structures built over railway lines-Construction requirements in the track zone”
- Norme STI
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019; Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 15 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

- Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell'Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019
- Regolamento UE N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019
- Regolamento (UE) N. 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea modificata con la Rettifica del 15 giugno 2016 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/772 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica il regolamento (UE) n. 1300/2014 per quanto riguarda l'inventario delle attività al fine di individuare le barriere all'accessibilità, fornire informazioni agli utenti e monitorare e valutare i progressi compiuti in materia di accessibilità.
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/776 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.





	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 17 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 17 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 17 di 333		

### 3 UNITÀ DI MISURA

Nei calcoli si farà uso delle seguenti unità di misura:

- per i carichi:  $\text{kN/m}^2$ ,  $\text{kN/m}$ ,  $\text{kN}$
- per i momenti:  $\text{kNm}$
- per i tagli e sforzi normali:  $\text{kN}$
- per le tensioni:  $\text{N/mm}^2$
- per le accelerazioni:  $\text{m/s}^2$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 18 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 18 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 18 di 333		

## 4 MATERIALI

### 4.1 Calcestruzzo per muro in elevazione

- Classe di resistenza: C32/40
- Classe di esposizione: XC4
- Rapporto massimo acqua/cemento: 0,55
- Copriferro netto minimo: 50 mm
- Peso per unità di volume:  $\gamma = 25,00 \text{ kN/m}^3$
- Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 40,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 32,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza cilindrica media:  $f_{cm} = 40,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione:  $f_{cd} = 18,10 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a trazione semplice (assiale):  $f_{ctm} = 3,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione semplice (frattile 5%):  $f_{ctk} = 2,03 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice:  $f_{ctd} = 1,40 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico medio:  $E_{cm} = 33346 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente parziale di sicurezza:  $\gamma_c = 1,50$
- Deformazione al raggiungimento della massima tensione:  $\epsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰}$
- Deformazione ultima:  $\epsilon_{cu} = 3,50 \text{ ‰}$
- Coefficiente di dilatazione termica:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

### 4.2 Calcestruzzo per batoli di fondazione

- Classe di resistenza: C30/37
- Classe di esposizione: XA1
- Rapporto massimo acqua/cemento: 0,55
- Copriferro netto minimo: 50 mm
- Peso per unità di volume:  $\gamma = 25,00 \text{ kN/m}^3$
- Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 37,00 \text{ N/mm}^2$



## NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”

### LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 19 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

- Resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 30.71 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza cilindrica media:  $f_{cm} = 38.71 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione:  $f_{cd} = 17.40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a trazione semplice (assiale):  $f_{ctm} = 2.90 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione semplice (frattile 5%):  $f_{ctk} = 2.03 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice:  $f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico medio:  $E_{cm} = 32836.57 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente parziale di sicurezza:  $\gamma_c = 1,50$
- Deformazione al raggiungimento della massima tensione:  $\varepsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰}$
- Deformazione ultima:  $\varepsilon_{cu} = 3,50 \text{ ‰}$
- Coefficiente di dilatazione termica:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

#### 4.3 Acciaio in barre per getti e reti elettrosaldate

Per la realizzazione delle armature lente delle opere in cemento armato verrà fatto uso di acciaio tipo **B450C** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Resistenza nominale di snervamento:  $f_{yk} = 450,00 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza nominale di rottura:  $F_{tk} = 540,00 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico:  $E_s = 210.000,00 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente parziale di sicurezza:  $\gamma_c = 1,15$
- Resistenza di calcolo:  $f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **20 di 333**

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Stratigrafia 1

La stratigrafia è valida per il seguente tipologico:

- Sez. Tipo 1 - Muro di controripa (RI01) pk 0+234 a 0+363

Nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l'opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: PD S.Pietro S3 e PDOR-S1. La falda si ipotizza ad una profondità media di 35 metri da p.c.

Strato	Profondità media		Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
<b>A</b>	0	1	A,L	Terreno di riporto
<b>DG</b>	1	11	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi
<b>DLA1</b>	11	21	L,A, L(G), L(A)	Depositi di limo/argilla con ghiaia
<b>CG</b>	21	-	Cong,G	Alternanza di conglomerato e ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
<b>A</b>	18	0.53	28	5	-	40	100	5÷15	8÷24	0.25	1.00E-07
<b>DG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	50÷150	125÷375	15 + 3·z	24 + 5·z	0.25	1.00E-05
<b>DLA1</b>	18	0.53	28	5	50 + 6·z	225÷425	225÷425	20 + 1.7·z	30 + 3·z	0.25	1.00E-07 ÷ 1.00E-08
<b>CG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	400	1000	100	100	0.25	1.00E-06

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità. Laddove invece è indicata la variazione funzione di z, si intende con z a partire dal tetto dell'unità.
- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$  per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .
- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di “primo carico” (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **21 di 333**

**5.2 Stratigrafia 2**

La stratigrafia è valida per i seguenti tipologici:

- Sez. Tipo 8 - Muro di linea (TR03) pk 4+796 a 5+024
- Sez. Tipo 10 - Muro di linea in corrispondenza della NV01 (TR03) pk: 4+650 a 4+796
- Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo A - Ramo 1 PK: 0+000 a 50+000, 150+000 a 173+819; Ramo 3 PK: 25+000 a 100+000
- Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo B - Ramo 4 PK: 25+000 a 50+000
- Sez. Tipo Muro sottopaso NI01 – Tipo A - (pk 4+765)

Nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l’opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: PDOR-S7, PDOR-S8 e S3 (PFTE). La falda si ipotizza ad una profondità media di 30 metri da p.c.

Strato	Profondità media		Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
<b>A</b>	0	1	A,L	Terreno di riporto
<b>DG</b>	1	12	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi
<b>DLA1</b>	12	25	L,A, L(G), L(A)	Depositi di limo/argilla con ghiaia
<b>CG</b>	25	-	Cong,G	Alternanza di conglomerato e ghiaia

Strato			Parametri di resistenza			Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
<b>A</b>	18	0.53	28	5	-	40	100	5÷15	8÷24	0.25	1.00E-07
<b>DG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	50÷150	125÷375	15 + 3·z	24 + 5·z	0.25	1.00E-05
<b>DLA1</b>	18	0.53	28	5	50 + 6·z	225÷425	225÷425	20 + 1.7·z	30 + 3·z	0.25	1.00E-07 ÷ 1.00E-08
<b>CG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	400	1000	100	100	0.25	1.00E-06

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità. Laddove invece è indicata la variazione funzione di z, si intende con z a partire dal tetto dell’unità.



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **22 di 333**

- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$  per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .
- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di “primo carico” (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

### 5.3 Stratigrafia 3

La stratigrafia è valida per il seguente tipologico:

- Sez. Tipo 9 - Muro di linea (RI05) pk 5+024 a 5+220 (BD) pk 5+024 a 5+220 (BP)

Nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l’opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: S5 (2010)\_SACBO, S4 (2010)\_SACBO PD e PDOR-S9. La falda si ipotizza ad una profondità media di 30 metri da p.c.

Strato	Profondità media		Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
<b>A</b>	0	1	A,L	Terreno di riporto
<b>DG</b>	1	16	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi
<b>DLA1</b>	16	18	L,A, L(G), L(A)	Depositi di limo/argilla con ghiaia
<b>CG</b>	18	-	Cong,G	Alternanza di conglomerato e ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
<b>A</b>	18	0.53	28	5	-	40	100	5÷15	8÷24	0.25	1.00E-07
<b>DG</b>	18	0.40	36÷3 8	0	-	50÷150	125÷375	15 + 3·z	24 + 5·z	0.25	1.00E-05
<b>DLA1</b>	18	0.53	28	5	50 + 6·z	225÷42 5	225÷425	20 + 1.7·z	30 + 3·z	0.25	1.00E-07 ÷ 1.00E-08
<b>CG</b>	18	0.40	36÷3 8	0	-	400	1000	100	100	0.25	1.00E-06

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità. Laddove invece è indicata la variazione funzione di z, si intende con z a partire dal tetto dell’unità.
- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$  per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>23 di 333</b>

- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di “primo carico” (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

#### 5.4 Stratigrafia 4

La stratigrafia è valida per il seguente tipologico:

- Sez. Tipo 11 - Muri di sostegno nella zona di transizione tra la TR01A a TR01B (pk 2+512) e tra TR02B e TR02C (pk 3+671)

Nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l’opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: PDOR-S5, PDOR-S5bis. La falda si ipotizza ad una profondità media di 30 metri da p.c.

Strato	Profondità media		Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
<b>A</b>	0	1.5	A,L	Terreno di riporto
<b>DG</b>	1.5	2.5	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi
<b>DSA</b>	2.5	6.5	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi con scarso addensamento
<b>DG</b>	6.5	11.5	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi
<b>DLA1</b>	11.5	23	L,A,L(G), L(A)	Depositi di limo/argilla con ghiaia
<b>CG</b>	23	25	Cong,G	Alternanza di conglomerato e ghiaia
<b>DLA2</b>	25	27	L(S)	Limo sabbioso
<b>CG</b>	27	-	Cong,G	Alternanza di conglomerato e ghiaia



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 24 di 333

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$v'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
<b>A</b>	18	0.53	28	5	-	40	100	5÷15	8÷24	0.25	1.00E-07
<b>DG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	50÷150	125÷375	15 + 3·z	24 + 5·z	0.25	1.00E-05
<b>DSA</b>	18	0.53	28	0	-	20	50	5	5	0.25	1.00E-05
<b>DG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	50÷150	125÷375	15 + 3·z	24 + 5·z	0.25	1.00E-05
<b>DLA1</b>	18	0.53	28	5	50 + 6·z	225÷425	225÷425	20 + 1.7·z	30 + 3·z	0.25	1.00E-07 ÷ 1.00E-08
<b>CG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	400	1000	100	100	0.25	1.00E-06
<b>DLA2</b>	18	0.53	28	0	18	80	200	20÷30	30÷50	0.25	1.00E-07
<b>CG</b>	18	0.40	36÷38	0	-	400	1000	100	100	0.25	1.00E-06

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità. Laddove invece è indicata la variazione funzione di z, si intende con z a partire dal tetto dell'unità.
- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$  per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .
- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di “primo carico” (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).



	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 25 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 25 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 25 di 333		

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per la definizione dell’azione sismica sono necessarie delle valutazioni preliminari relative alle seguenti caratteristiche proprie della costruzione :

- Vita Nominale ( $V_N$ );
- Classe d’uso ( $C_u$ );
- Periodo di Riferimento ( $V_R$ ).

La linea in progetto non ricade nell’ambito delle linee facenti parte del “sistema di grande viabilità ferroviaria”, tuttavia si assume che rientri nell’ambito delle “opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso” definite nell’elenco B del Decreto n. 3685 del 21.10.2003, e che faccia parte delle opere infrastrutturali rilevanti ai sensi del Decreto del Dirigente dell’Unità Organizzativa del 21 novembre 2003 - n. 19904 (Elenco 2 “EDIFICI ED OPERE RILEVANTI” – OPERE INFRASTRUTTURALI – punti a e b).

Alla luce di ciò, si assume che l’opera in oggetto ricada nell’ambito “Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza” definito dalle NTC 2018, per le quali si prevede una Classe d’Uso III.

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d’uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Vengono, dunque, utilizzati i seguenti valori:  $V_N=75$  anni e classe d’uso III a cui corrisponde un coefficiente d’uso  $C_U = 1.5$ .

Il periodo di riferimento per l’azione sismica si valuta mediante la seguente espressione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ , nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissata probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

La normativa definisce le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  – Accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>26 di 333</b>

•  $T_C^*$  - Periodo d’inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nei confronti delle azioni sismiche si definiscono due stati limite di esercizio e due ultimi, che sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso.

L’azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra loro indipendenti.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore dell’accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ . Lo spettro di risposta elastico orizzontale è descritto dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Agli stati limite ultimi le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, tenendo conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell’incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso lo spettro di progetto da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

L’accelerazione di picco assunta è pari a  $PGA = 0.156$ .

Ne consegue che lo spettro di riferimento può essere assunto come nel seguito esposto.

Amplificazione stratigrafica:

La categoria di sottosuolo risulta essere la B per l’intero intervento. In base ad NTC per il caso in esame e  $VR = 112.5$  anni,  $S_s = 1.2$ . Le linee guida regionali non comportano ulteriori amplificazioni. Analoghe considerazioni valgono anche per il coefficiente topografico, che per il sito in esame vale  $S_t = 1$ .



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 27 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

Di conseguenza si adottano  $S_s$  ed  $S_t$  ricavati con le formule/tabelle delle NTC.

Lo spettro di risposta elastico allo SLV ( $V_R = 75$  anni,  $T_R = 712$  anni) sarà caratterizzato dai seguenti valori:

$$a_{g/g} = 0.156$$

$$F_o = 2.472$$

$$S = S_s \times S_t = 1.20$$

$$\eta = 1.0$$

$$T_B = 0.131 \text{ s}$$

$$T_C = 0.393 \text{ s}$$

$$T_D = 2.225 \text{ s}$$

In particolare, il valore dello spettro di risposta vale ( $V_R=75$  anni):

$$S_e(T=0) = a_{g/g} \times S = 0.188$$

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info  
Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

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

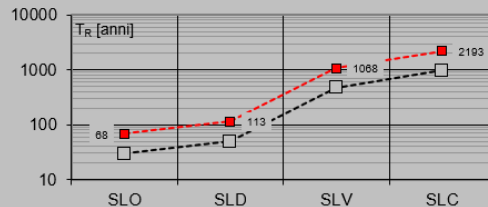
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	{ SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
	{ SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>
Stati limite ultimi - SLU	{ SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
	{ SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta



# NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”

## LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO

Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 28 di 333

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **B** info

$S_B =$  1.200

$C_C =$  1.356 info

Categoria topografica **T1** info

$h/H =$  1.000  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$S_T =$  1.000 info

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta_1 =$  1.000 info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_0$  **1** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

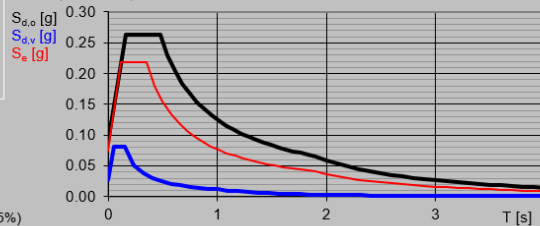
Fattore  $q$  **1**  $\eta_1 =$  1.000 info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **29 di 333**

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato \$LV\$**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.158 g
$F_0$	2.472
$T_C$	0.278 s
$S_S$	1.200
$C_C$	1.423
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_B$	0.131 s
$T_C$	0.393 s
$T_D$	2.225 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / \xi + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.187
$T_B \leftarrow$	0.131	0.483
$T_C \leftarrow$	0.393	0.483
	0.480	0.379
	0.567	0.321
	0.654	0.278
	0.742	0.245
	0.829	0.219
	0.916	0.199
	1.003	0.181
	1.091	0.167
	1.178	0.154
	1.265	0.144
	1.352	0.134
	1.439	0.126
	1.527	0.119
	1.614	0.113
	1.701	0.107
	1.788	0.102
	1.876	0.097
	1.963	0.093
	2.050	0.089
	2.137	0.085
$T_D \leftarrow$	2.225	0.082
	2.309	0.076
	2.394	0.071
	2.478	0.066
	2.563	0.062
	2.647	0.058
	2.732	0.054
	2.816	0.051
	2.901	0.048
	2.985	0.045
	3.070	0.043
	3.155	0.041
	3.239	0.039
	3.324	0.037
	3.408	0.035
	3.493	0.033
	3.577	0.032
	3.662	0.031
	3.746	0.031
	3.831	0.031
	3.915	0.031
	4.000	0.031

In base alle accelerazioni massime attese sul sito in esame si valutano, alla luce dei parametri valutati sopra nella condizione di S.L.V., i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche per i muri flessibili a L, con le espressioni che seguono:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA  
NM27

LOTTO  
01 D 26

CODIFICA  
CL

DOCUMENTO  
CS0000003

REV.  
A

FOGLIO  
30 di 333

$$k_h = 2 \cdot \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

$\beta_m$  : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima secondo - Tab. 7.11.6.2.1 – NTC 2018

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

$\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.7]$$

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.8]$$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 31 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 31 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 31 di 333		

## 7 METODO DI CALCOLO

L'analisi strutturale del muro di sostegno è stata condotta attraverso modelli di calcolo a mensola con incastro nella platea di fondazione (analisi del paramento) e con incastro nel paramento (analisi della fondazione lato valle e lato monte). Vista la geometria dell'opera a prevalente sviluppo longitudinale e le condizioni al contorno, le analisi e verifiche sono state effettuate prendendo in considerazione una porzione di muro corrispondente ad una larghezza unitaria, considerando a favore di sicurezza l'altezza massima del singolo muro (se trattasi di muri ad altezza costante) o l'altezza pari a 2/3 di quella massima (se trattasi di muri ad altezza variabile); cautelativamente si considera inoltre il minimo ricoprimento sul dente.

Si riporta di seguito una breve sintesi della procedura proposta per il calcolo delle spinte orizzontali agenti sulla parete dell'opera di sostegno e delle azioni verticali agenti sulla suola di fondazione.

### 7.1 Condizioni di spinta sul muro in condizioni statiche

Considerato un terrapieno con peso per unità di volume  $\gamma$ , sovraccarico uniforme su terrapieno  $q$ , condizioni drenate ed assenza di falda, si assume in genere la distribuzione di pressioni riportata nella Figura 7-2. Alla generica quota  $z$  dal piano campagna risulta:

$$\sigma_a = \gamma k_a z + q k_a - 2c' \sqrt{k_a}$$

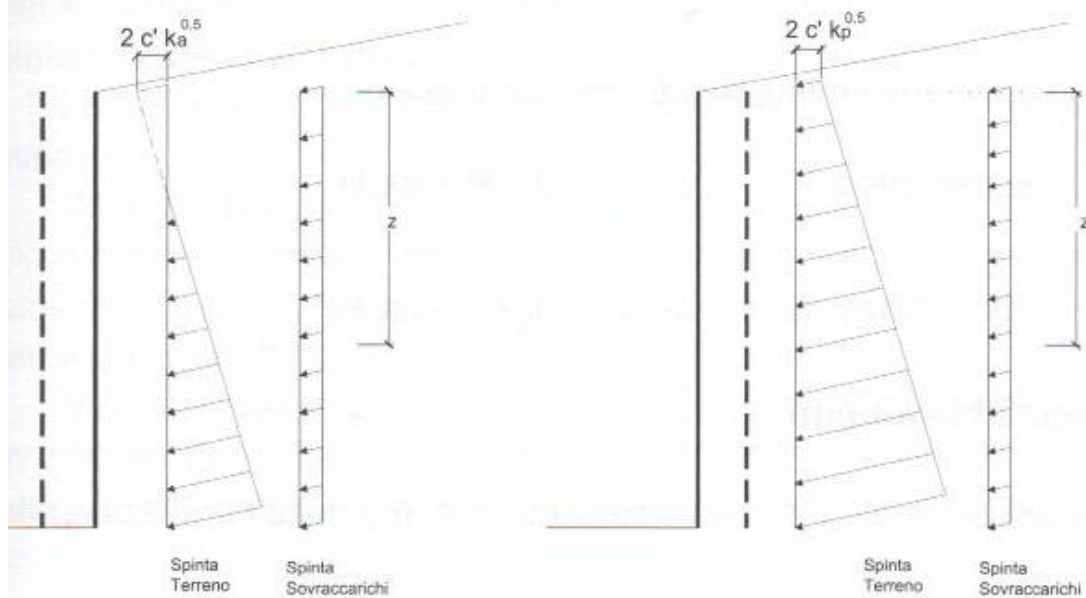
$$\sigma_p = \gamma k_p z + q k_p - 2c' \sqrt{k_p}$$

Il problema si riconduce quindi al calcolo dei coefficienti di spinta attiva  $k_a$  o passiva  $k_p$ .

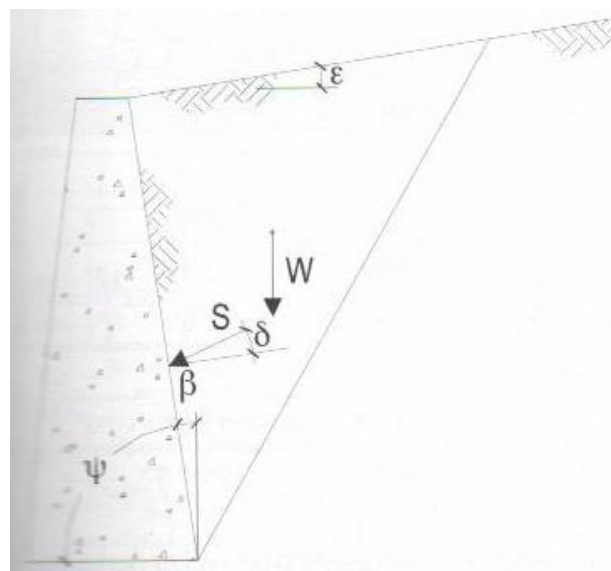
Con riferimento allo schema di Figura 7-1, in condizioni statiche il coefficiente di spinta attiva e quello di spinta passiva sono valutati attraverso le espressioni di Muller-Breslau (1924):

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi)}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \varepsilon)}{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

$$k_p = \frac{\text{sen}^2(\psi - \varphi)}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi + \varepsilon)}{\text{sen}(\psi + \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$



**Figura 7-1: Spinte orizzontali in condizioni statiche**



**Figura 7-2: Parametri geometrici per la valutazione dei coefficienti di spinta**

Il coefficiente di spinta passiva ove necessario può essere valutato con l'espressione di Caquot-Kerisel (1948) attraverso la quale si tiene in conto l'effetto sulla spinta della creazione in rottura passiva di superfici di scorrimento non piane. Non considerare tale effetto significherebbe sovrastimare considerevolmente la pressione passiva.



	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 33 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 33 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 33 di 333		

La distribuzione delle pressioni è da prassi considerata triangolare, mentre quella dei sovraccarichi è considerata costante con la profondità (rettangolare), per cui il punto di applicazione della spinta delle terre è posto a 1/3 dell'altezza del muro, mentre quella dei sovraccarichi è da considerarsi a metà dell'altezza del muro.

## 7.2 Condizioni di spinta sul muro in condizioni sismiche

L'analisi delle spinte sull'opera di sostegno in condizioni sismiche è eseguita attraverso metodi pseudo-statici. Nell'ipotesi di muro libero di muoversi in testa il metodo più appropriato è quello di Mononobe-Okabe il quale rappresenta un'estensione del criterio di Coulomb in cui il cuneo di rottura si muove come un corpo rigido soggetto ad accelerazioni verticali ed orizzontali. Tali accelerazioni sono espresse in funzione di opportuni coefficienti di intensità sismica  $k_v$  e  $k_h$ , menzionati anche dalle norme vigenti. Nel metodo considerato le condizioni di equilibrio limite sono espresse ancora da coefficienti di spinta attiva e passiva definiti a partire dalla geometria del sistema e dalle condizioni sismiche di calcolo.

Con riferimento allo schema di Figura 7-3, considerando un terreno in assenza di falda, si definisce:

$$\theta = \arctan \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

ed i coefficienti di spinta sono definiti da:

per  $\varepsilon \leq \phi' - \theta$

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta - \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \varepsilon - \theta)}{\text{sen}(\psi - \delta - \theta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

per  $\varepsilon \geq \phi' - \theta$

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

$$k_p = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi - \Theta)}{\cos \Theta \cdot \text{sen}^2 \psi \cdot \text{sen}(\psi + \Theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen} \varphi \cdot \text{sen}(\varphi + \varepsilon - \Theta)}{\text{sen}(\psi + \Theta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

La spinta del terreno in condizioni sismiche vale perciò:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) k_a H^2$$

$$S_p = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) k_p H^2$$

con inclinazione del piano di rottura valutabile attraverso l'espressione:

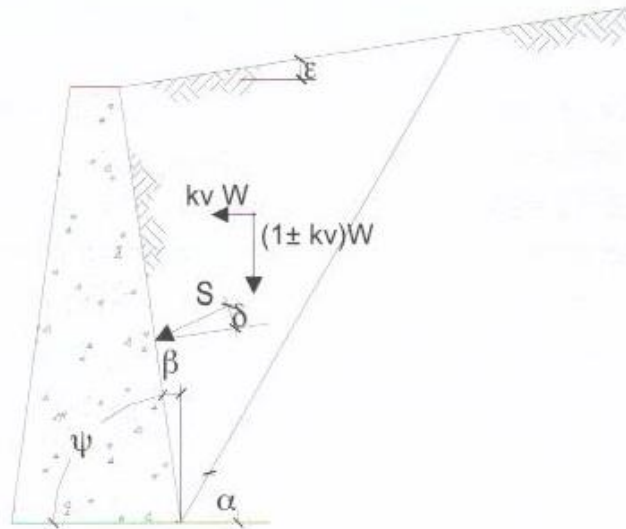
$$\alpha = \phi - \theta + \arctan \left[ \sqrt{\frac{P \cdot (P + Q) \cdot (1 + Q \cdot R) - P}{1 + R \cdot (P + Q)}} \right]$$

essendo:

$$P = \tan(\phi - \theta - \varepsilon)$$

$$Q = \cotan(\phi - \theta - \beta)$$

$$R = \tan(\theta + \beta + \delta)$$



**Figura 7-3: Azioni sismiche pseudo-statiche**

Nel caso di terreno con presenza di falda e permeabilità inferiore a  $5 \times 10^{-4}$  m/sec si trascurano gli effetti idrodinamici dell'acqua maggiorando l'angolo  $\theta$  secondo l'espressione:

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

e la spinta agente sulla parete si definisce solo a mezzo di effetti statici:

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 35 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 35 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 35 di 333		

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma' (1 + k_v) k_a H^2 + \frac{1}{2} \gamma_w H^2$$

Nel caso di valori maggiori di permeabilità va considerato anche l'effetto dinamico valutabile con l'espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{2} k_h \gamma_w H^2$$

azione applicata ad un'altezza pari ad 0.4H dalla base del muro.

### 7.3 Verifiche geotecniche

Sono state condotte, in accordo con la normativa vigente, le seguenti verifiche globali di carattere geotecnico:

- verifica al ribaltamento, eseguita con riferimento allo spigolo anteriore della platea di fondazione, confrontando il momento stabilizzante  $M_s$  dovuto alle forze verticali con il momento ribaltante  $M_r$  provocato dalle forze orizzontali;
- verifica allo scorrimento, eseguita controllando che la somma delle forze orizzontali sia sufficientemente minore della forza di attrito che si può esplicare per effetto dei carichi verticali  $N$  al contatto tra platea di fondazione e terreno. Il coefficiente di attrito  $f$  è assunto pari a:  $f = \text{tg}(\delta) = \text{tg}(\varphi)$  e si trascura il contributo stabilizzante dovuto alla spinta passiva del terreno anteriore;
- verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno utilizzando l'espressione della portanza unitaria limite secondo la teoria di Meyerhoff;
- verifica di stabilità globale usando la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

### 7.4 Verifiche strutturali

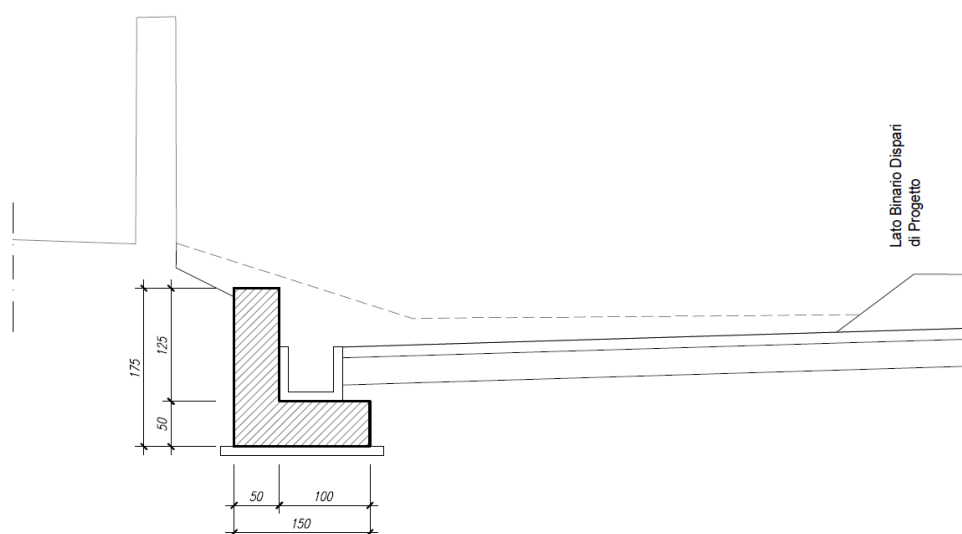
Sono state condotte, infine, le verifiche locali degli elementi che costituiscono l'opera di sostegno, valutando in corrispondenza delle sezioni caratteristiche le sollecitazioni esterne e i corrispondenti stati tensionali. Le azioni sul paramento sono valutate considerando quest'ultimo incastrato nella soletta di fondazione. Le azioni sulla soletta di fondo (monte e valle) sono valutate col metodo del trapezio delle tensioni considerando questa incastrata al paramento.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>36 di 333</b>

## 8 VERIFICHE

### 8.1 Sez. Tipo 1 - Muro di controripa (RI01) pk 0+234 a 0+363

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.



**Figura 8-1: Sezione di riferimento muro**

#### 8.1.1 Caratteristiche dei terreni

##### 8.1.1.1 Terreno spingente

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 38,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 25,33^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

##### 8.1.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1m):

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 37 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 37 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 37 di 333		

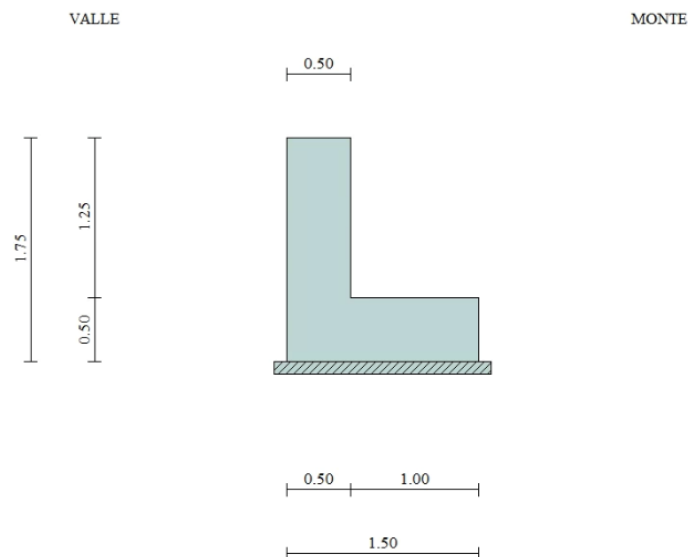
- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 2 (1 - 12m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.1.2 Dati di progetto

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).



**Figura 8-2: Sezione muro alla progressiva 0+250 km**

### Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a gravità in calcestruzzo**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 38 di 333

Altezza del paramento	1.25 [m]
Spessore in sommità	0.50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.50 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.00 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	1.00 [m]
Lunghezza totale fondazione	1.50 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

**Materiali utilizzati per la struttura**

*Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

*Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

**Geometria profilo terreno a monte del muro**

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto  
X ascissa del punto espressa in [m]  
Y ordinata del punto espressa in [m]  
A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0.02	-0.65	-88.24



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 39 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

2	0.70	-0.65	0.00
3	6.40	-0.48	1.71
4	15.00	-0.48	0.00

**Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.00 [%]

Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.25 [m]

**8.1.3 Analisi dei carichi**

**8.1.3.1 Sovraccarico permanente**

Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate, relativi a nuovi rilevati ferroviari:

$\gamma_k = 20,00 \text{ kN/m}^3$  peso dell'unità di volume;

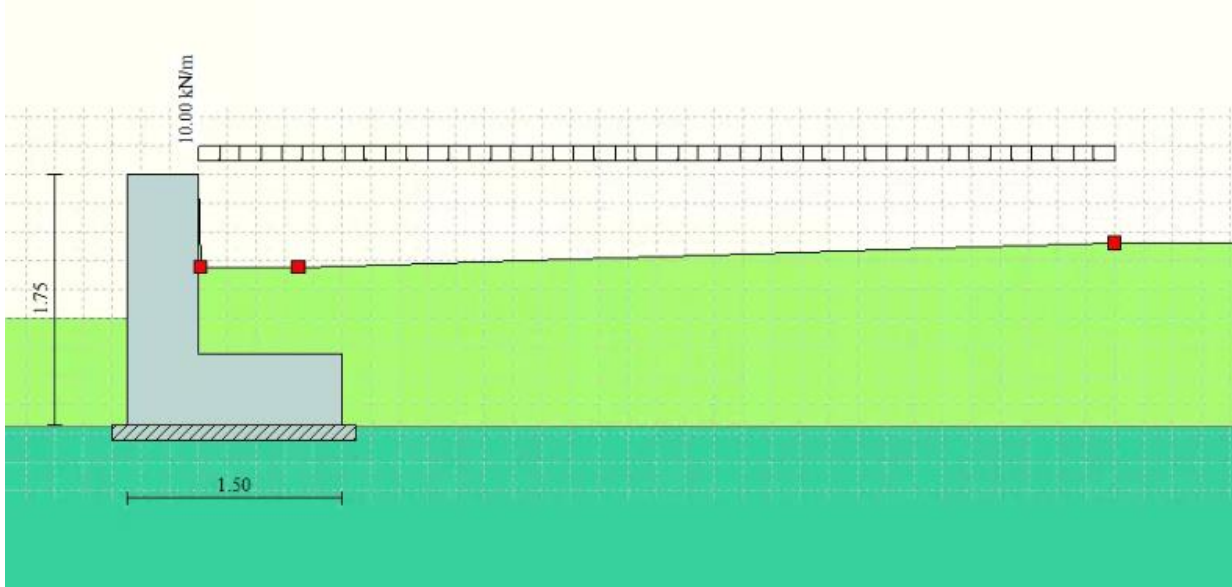
$\varphi_k = 38^\circ$  angolo di resistenza al taglio;

$c_k = 0$  coesione;

$\delta_k = 25,33^\circ$  angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

**8.1.3.2 Sovraccarico accidentale**

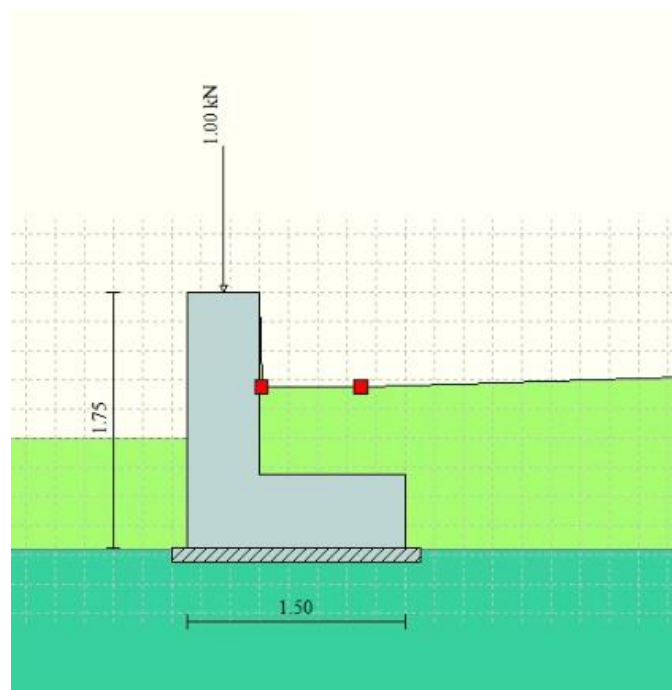
Un carico accidentale minimo di  $10 \text{ kN/m}^2$  è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.



**Figura 8-3 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

### 8.1.3.3 Carico parapetto

Il parapetto è modellato come un carico lineare di 1 kN/m`.



**Figura 8-4 – Applicazione dei carichi: Peso parapetto**



	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 41 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 41 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 41 di 333		

Nota: Si assume che il peso del parapetto sia "ben definito" ai sensi di quanto stabilità dalla tabella 2.6.I riportata nelle NTC2018.

#### 8.1.3.4 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

#### 8.1.4 *Combinazioni di carico*

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-1: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 42 di 333

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1.25	
Coesione efficace			1.25	
Resistenza non drenata			1.4	
Peso dell'unità di volume			1	
Stabilità globale				1.1(*)

**Tabella 8-2: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance		A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1.35		
Permanenti G2	Favorevoli	0.80		
	Sfavorevoli	1.5		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.5		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.45		
Variabili Q	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.5		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1	
Coesione efficace			1	
Resistenza non drenata			1	
Peso dell'unità di volume			1	
Capacità portante				1.4(*)
Scorrimento				1.1(*)
Ribaltamento				1.15(*)

	<p align="center"><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p align="center"><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 43 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 43 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 43 di 333		

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MDP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{GEO-EQU}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

$$\text{Combinazione sismica} \rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

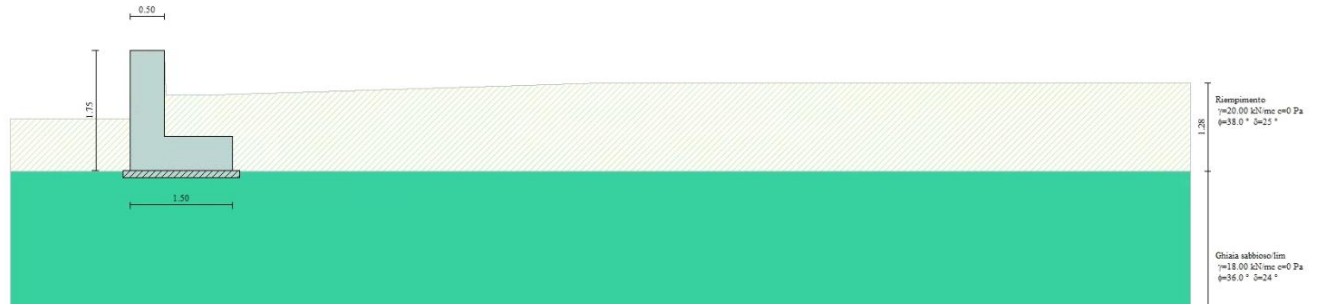
I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

$$\text{per A1: } 1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv \text{peso specifico rilevato}$$

$$\text{per A2: } 1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq \text{peso specifico rilevato}$$

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.



**Figura 8-5 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**

**Descrizione combinazione di carico**

*Simbologia adottata*

- F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)  
 $\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione  
 $\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **45 di 333**

Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentale	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentale	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentale	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentale	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentale	SFAV	1.50	1.00	1.50



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **46 di 333**

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **47 di 333**

Combinazione n° 19 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 20 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 21 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 22 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 23 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 24 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 25 - Quasi Permanente (SLE)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **48 di 333**

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapeto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 26 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapeto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 27 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapeto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	1.00	1.00

## 8.1.5 Verifiche

### 8.1.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 22, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
CALCOLATI		RICHESTI		CALCOLATI		RICHESTI	
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>	5.14		1.00	Spinta statica	3.1980 [kN]	Incremento sismico	0.7729 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>	--		--	Ang. rottura	60.460 [°]	Ang. rottura sismico	54.897 [°]
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>	--		--	Punto applicazione	(1.00 -1.35)	Punto applicazione	(1.00 -1.35)
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>	--		--	Componente dir. X	2.8905 [kN]	Componente dir. X	0.6985 [kN]
				Componente dir. Y	1.3684 [kN]	Componente dir. Y	0.3307 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>49 di 333</b>

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	33.71 [kN]	Inerzia muro	3.60 [kN]	Risultante dir. X	8.70 [kN]	Momento rib.	6.67 [kNm]
Coordinate baicentro muro	X= 0.02 Y= -1.10	Inerzia verticale muro	-1.80 [kN]	Risultante dir. Y	47.01 [kN]	Momento stab.	34.26 [kNm]
Peso terrapieno	14.16 [kN]	Inerzia terrapieno	1.51 [kN]	Componente normale	47.01 [kN]	Componente parallela	8.70 [kN]
Coordinate baicentro terrapieno	X= 0.50 Y= -0.94	Inerzia verticale terrapieno	-0.76 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	10.48 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 51776 Monte 10909
				Eccentricita risultante	0.163 [m]	Lung. fondaz. reagente	1.50 [m]
				Carico limite della fondazione	1086.25 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

Figura 8-6 – Risultati verifica al ribaltimento (da MAX 14)

- *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 20, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:

Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
	CALCOLATI		RICHESTI	Spinta statica	3.1980 [kN]	Incremento sismico	0.4862 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltimento</b>	--	--	--	Ang. rottura	60.460 [°]	Ang. rottura sismico	56.897 [°]
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>	3.36	<span style="background-color: green; color: white;">■</span>	1.00	Punto applicazione	(1.00 -1.35)	Punto applicazione	(1.00 -1.35)
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>	27.45	<span style="background-color: green; color: white;">■</span>	1.20	Componente dir. X	2.8905 [kN]	Componente dir. X	0.4394 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>	--	--	--	Componente dir. Y	1.3684 [kN]	Componente dir. Y	0.2080 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		

Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	33.71 [kN]	Inerzia muro	2.40 [kN]	Risultante dir. X	6.73 [kN]	Momento rib.	4.82 [kNm]
Coordinate baicentro muro	X= 0.02 Y= -1.10	Inerzia verticale muro	-1.20 [kN]	Risultante dir. Y	47.74 [kN]	Momento stab.	34.08 [kNm]
Peso terrapieno	14.16 [kN]	Inerzia terrapieno	1.01 [kN]	Componente normale	47.74 [kN]	Componente parallela	6.73 [kN]
Coordinate baicentro terrapieno	X= 0.50 Y= -0.94	Inerzia verticale terrapieno	-0.50 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	8.03 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 49277 Monte 14379
				Eccentricita risultante	0.137 [m]	Lung. fondaz. reagente	1.50 [m]
				Carico limite della fondazione	1310.47 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

Figura 8-7 – Risultati verifica allo scorrimento (da MAX 14)

- *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 10, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella



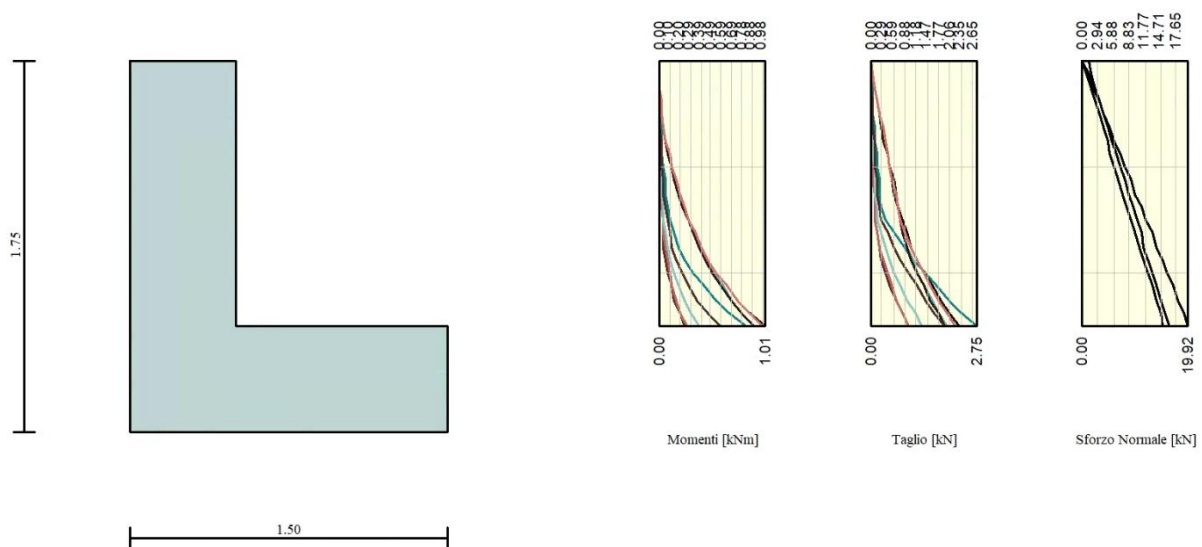
	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 51 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 51 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 51 di 333		

L'obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-10 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-1.25 m)

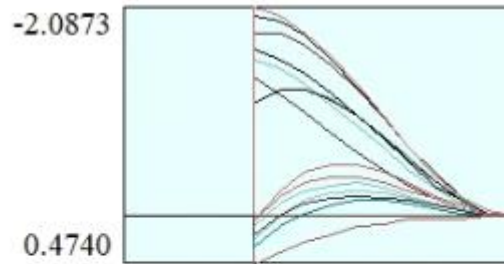
Combinazione 19 :  $M_{Ed} = 1.01 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente (-1.25 m)

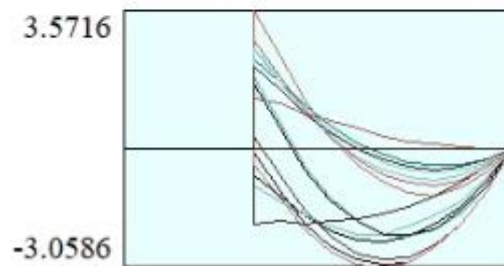
Combinazione 2:  $V_{Ed} = 2.75 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



Momento



Taglio

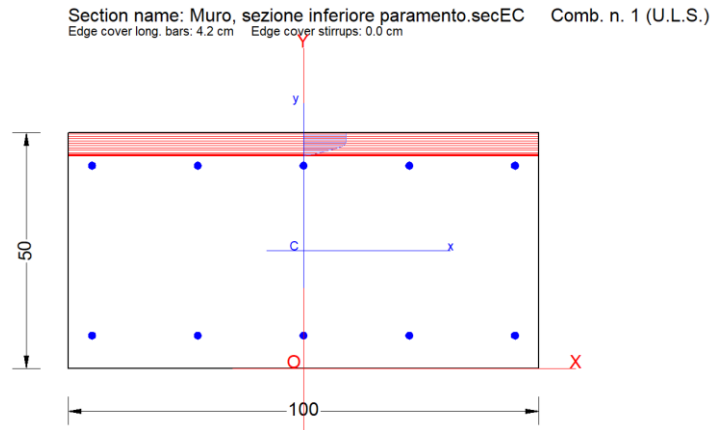
**Figura 8-11 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 20:  $M_{Ed} = -2.09 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 2:  $V_{Ed} = 3.57 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

### 8.1.5.2.1 Sezione inferiore del paramento



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:	
Reference code:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Exposure Class:	XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)
Structural member of belonging:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Section type:	Predefined section
Cross-section shape:	Rectangular
Stress path:	Constant axial force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes x,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	33345.8 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	19.2 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	19.2 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	14.4 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
Stirrups:	B500A	



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **54 di 333**

Characteristic yield stress $f_{yk}$ :	500.0	MPa
Tensile strength $f_{tk}$ :	540.00	MPa
Design yield stress $f_{yd}$ :	434.8	MPa
Design strength $f_{td}$ :	434.8	MPa
Mean elastic modulus $E_s$ :	200000.0	MPa
SLS Charact. - $S_s$ Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	1.01	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is $\geq 1.0$
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	1.01	-0.16	176.95	175.202	45.2	156.38	---	---	---
---	----	------	------	-------	--------	---------	------	--------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at $ec_2/ec_u$ of depth (if $ec^* > 0$ then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **55 di 333**

es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01202	50.0	-0.00157	43.0	-0.02765	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0327157
2	-50.0	50.0	18.13	0.0035000
3	50.0	50.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0327157

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0276455
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0276455
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0276455
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0276455
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0276455
6	-45.0	43.0	-314.04	-0.0015702
7	-22.5	43.0	-314.04	-0.0015702
8	0.0	43.0	-314.04	-0.0015702
9	22.5	43.0	-314.04	-0.0015702
10	45.0	43.0	-314.04	-0.0015702

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>56 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{s1,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 430$	mm altezza utile	$A_{s1,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$10.05$ cm <sup>2</sup>

#### • Sollecitazioni (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 2.8 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.432$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 169.7 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 185.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 185.7 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

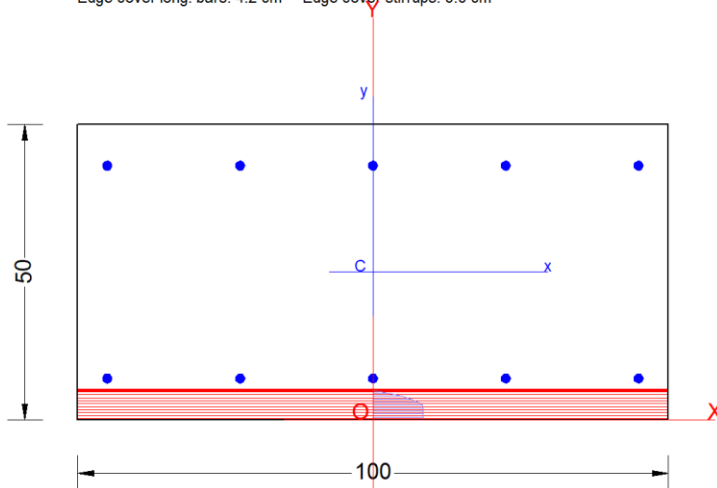
**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 57 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

**8.1.5.2.2 Sezione della fondazione**

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
 Edge cover long. bars: 4.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



**GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION**

Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC

Section description:  
 Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
 Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
 Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
 Section type: Predefined section  
 Cross-section shape: Rectangular  
 Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
 Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	18.0 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **58 di 333**

Stirrups:	B500A
Characteristic yield stress $f_{yk}$ :	500.0 MPa
Tensile strength $f_{tk}$ :	540.00 MPa
Design yield stress $f_{yd}$ :	434.8 MPa
Design strength $f_{td}$ :	434.8 MPa
Mean elastic modulus $E_s$ :	200000.0 MPa
SLS Charact. - $S_s$ Limit:	360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-2.09	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is $\geq 1.0$
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	-2.09	-0.28	-175.26	83.856	5.0	-156.06	---	---	---
---	----	------	-------	-------	---------	--------	-----	---------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at $e_c/2e_{cu}$ of depth (if $e_c^* > 0$ then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **59 di 333**

Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01163	0.0	-0.00144	7.0	-0.02687	43.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	17.00	0.0035000
2	-50.0	50.0	0.00	-0.0318085
3	50.0	50.0	0.00	-0.0318085
4	50.0	0.0	17.00	0.0035000

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-288.64	-0.0014432
2	-22.5	7.0	-288.64	-0.0014432
3	0.0	7.0	-288.64	-0.0014432
4	22.5	7.0	-288.64	-0.0014432
5	45.0	7.0	-288.64	-0.0014432
6	-45.0	43.0	-434.78	-0.0268654
7	-22.5	43.0	-434.78	-0.0268654
8	0.0	43.0	-434.78	-0.0268654
9	22.5	43.0	-434.78	-0.0268654
10	45.0	43.0	-434.78	-0.0268654

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>60 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 430$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			$10.05$ cm <sup>2</sup>

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 3.6 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.418$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 166.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 179.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 179.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.1.5.3 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

#### • Le fessure limite sono:

c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \quad w_2 = 0,3 \text{ mm} \quad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 61 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 61 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 61 di 333		

*Stato limite di apertura delle fessure*

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;

- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
- La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 y_k$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per gli SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

M = 0.58 kNm

*Fondazione*

M = -0.47 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 0.38 kNm

*Fondazione*

M = -0.33 kNm

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

M = 0.27 kNm

*Fondazione*

M = -0.41 kNm

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

### 8.1.5.3.1 Sezione inferiore del paramento

SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **62 di 333**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	0.58

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	0.38

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	0.27

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check Result of Check  
Sc max Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc max y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)  
Sc min Min compression stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc min y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)  
Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]  
Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)  
hc eff Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars  
Ac eff Effective tension area [cm<sup>2</sup>] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)  
As eff Area of tension steel bars [cm<sup>2</sup>] within Ac eff (for crack width control)  
D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]  
(D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.03	50.0	0.00	39.8	-1.5	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check Result of check  
e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]  
kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])  
k2 = 0.5 for bending;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
Ø | c Equivalent bar diameter [mm] | cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es  
sr max Max final crack [mm] spacing



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **63 di 333**

wk Calculated value [mm] of crack width =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm}) [eq.(7.8)]$ . Limit value of wk is shown between brackets  
M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00001	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000004 (0.000000)	575	0.003	137.81

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000088
2	-50.0	50.0	0.028	0.0000021
3	50.0	50.0	0.028	0.0000021
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000088

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-1.46	-0.0000073
2	-22.5	7.0	-1.46	-0.0000073
3	0.0	7.0	-1.46	-0.0000073
4	22.5	7.0	-1.46	-0.0000073
5	45.0	7.0	-1.46	-0.0000073
6	-45.0	43.0	0.12	0.0000006
7	-22.5	43.0	0.12	0.0000006
8	0.0	43.0	0.12	0.0000006
9	22.5	43.0	0.12	0.0000006
10	45.0	43.0	0.12	0.0000006

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.02	50.0	0.00	39.8	-1.0	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00001	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000003 (0.000000)	575	0.002 (0.30)	137.81

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **64 di 333**

e c Strain in each vertex				
Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000058
2	-50.0	50.0	0.018	0.0000014
3	50.0	50.0	0.018	0.0000014
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000058

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-0.96	-0.0000048
2	-22.5	7.0	-0.96	-0.0000048
3	0.0	7.0	-0.96	-0.0000048
4	22.5	7.0	-0.96	-0.0000048
5	45.0	7.0	-0.96	-0.0000048
6	-45.0	43.0	0.08	0.0000004
7	-22.5	43.0	0.08	0.0000004
8	0.0	43.0	0.08	0.0000004
9	22.5	43.0	0.08	0.0000004
10	45.0	43.0	0.08	0.0000004

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.01	50.0	0.00	39.8	-0.7	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000002 (0.00000)	575	0.001 (0.20)	137.81

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000041
2	-50.0	50.0	0.013	0.0000010
3	50.0	50.0	0.013	0.0000010
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000041

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **65 di 333**

Bar N.	Ss		e s	
	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-0.68	-0.0000034
2	-22.5	7.0	-0.68	-0.0000034
3	0.0	7.0	-0.68	-0.0000034
4	22.5	7.0	-0.68	-0.0000034
5	45.0	7.0	-0.68	-0.0000034
6	-45.0	43.0	0.05	0.0000003
7	-22.5	43.0	0.05	0.0000003
8	0.0	43.0	0.05	0.0000003
9	22.5	43.0	0.05	0.0000003
10	45.0	43.0	0.05	0.0000003

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Frc	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-377.98	10.1	5.3
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-377.98	10.1	5.3

**8.1.5.3.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-0.47

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-0.33

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)
---	--



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **66 di 333**

Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-0.41

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.02	0.0	0.00	13.8	-1.2	7.0	13.3	1328	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
Ø   c	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00001	0	0.500	16 6.2	0.008	0.000003 (0.00000)	570	0.002	-132.01

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.024	0.0000018
2	-50.0	50.0	0.000	-0.0000070
3	50.0	50.0	0.000	-0.0000070
4	50.0	0.0	0.024	0.0000018



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **67 di 333**

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	0.11	0.0000006
2	-22.5	7.0	0.11	0.0000006
3	0.0	7.0	0.11	0.0000006
4	22.5	7.0	0.11	0.0000006
5	45.0	7.0	0.11	0.0000006
6	-45.0	43.0	-1.15	-0.0000058
7	-22.5	43.0	-1.15	-0.0000058
8	0.0	43.0	-1.15	-0.0000058
9	22.5	43.0	-1.15	-0.0000058
10	45.0	43.0	-1.15	-0.0000058

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.01	0.0	0.00	25.0	-0.5	7.0	12.1	1205	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.008	0.000002 (0.00000)	537	0.001 (0.30)	-132.01

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.017	0.0000013
2	-50.0	50.0	0.000	-0.0000033
3	50.0	50.0	0.000	-0.0000033
4	50.0	0.0	0.017	0.0000013

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	0.13	0.0000006
2	-22.5	7.0	0.13	0.0000006
3	0.0	7.0	0.13	0.0000006



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **68 di 333**

4	22.5	7.0	0.13	0.0000006
5	45.0	7.0	0.13	0.0000006
6	-45.0	43.0	-0.53	-0.0000027
7	-22.5	43.0	-0.53	-0.0000027
8	0.0	43.0	-0.53	-0.0000027
9	22.5	43.0	-0.53	-0.0000027
10	45.0	43.0	-0.53	-0.0000027

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.01	0.0	0.00	25.0	-0.7	7.0	12.1	1205	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.008	0.000002 (0.00000)	537	0.001 (0.20)	-132.01

**SLS - QUASI-PERMANENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.021	0.0000016
2	-50.0	50.0	0.000	-0.0000041
3	50.0	50.0	0.000	-0.0000041
4	50.0	0.0	0.021	0.0000016

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	0.16	0.0000008
2	-22.5	7.0	0.16	0.0000008
3	0.0	7.0	0.16	0.0000008
4	22.5	7.0	0.16	0.0000008
5	45.0	7.0	0.16	0.0000008
6	-45.0	43.0	-0.66	-0.0000033
7	-22.5	43.0	-0.66	-0.0000033
8	0.0	43.0	-0.66	-0.0000033
9	22.5	43.0	-0.66	-0.0000033
10	45.0	43.0	-0.66	-0.0000033

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL ( § 7.3.2 EC2)**

N.Comb. SLS combination number  
Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent  
Region Part of concrete section under consideration (Web/Flange)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **69 di 333**

k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1

**8.1.5.4 Riassunto delle armature**

• *Sezione del muro*

**Lato a monte**                     $\Phi 16$  ogni 200mm

**Lato a vale**                     $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**             $16 \times \Phi 12$  (8 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**             $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura superiore, dir. secondaria**             $\Phi 12$  ogni 200mm

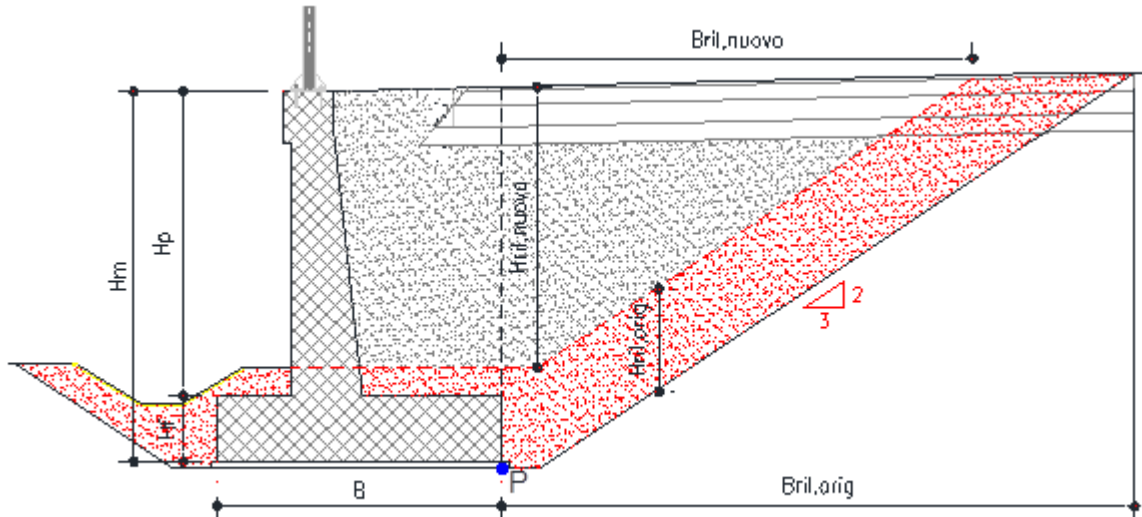
**Armatura inferiore, dir. principale**             $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**             $\Phi 12$  ogni 200mm

**8.1.5.5 Verifica dei cedimenti**

Per la valutazione dei cedimenti si schematizza il terreno di fondazione come un semispazio elastico e la valutazione dell'entità dei cedimenti è condotta sulla base della teoria dell'elasticità [vedi, per esempio, Timoshenko e Goodier (1951) "Theory of elasticity"].

La stima del cedimento considererà sia il contributo derivante dal muro che quello del nuovo rilevato ferroviario. Lo schema tipico di calcolo è rappresentato nella seguente figura:



Il cedimento è valutato nel punto di controllo P presente all'interfaccia fra muro e rilevato di monte ed è dato dalla somma dei vari contributi presenti di seguito descritti:

$\Delta H_{qric}$  = cedimento per ripristino del terreno di valle;

$\Delta H_{qnet}$  = cedimento per incremento di carico dovuto al nuovo muro;

$\Delta H_{qril,orig}$  = cedimento per ripristino del rilevato scavato lato monte;

$\Delta H_{qril,nuovo}$  = cedimento per nuovo rilevato lato monte;

$\Delta H_{qtraf}$  = cedimento per sovraccarico ferroviario su rilevato di monte;

La fascia rappresentata in colore rosso è relativa alla parte di rilevato originale che viene rimosso in fase di scavo per la realizzazione del muro e che quindi rappresenta la quota parte di cedimento ( $\Delta H_{qric} + \Delta H_{qril,orig}$ ) valutato utilizzando il modulo elastico di ricarico del terreno.

Il parametro  $E_{s,med}$  rappresenta il modulo di carico vergine del terreno valutato nella relazione geotecnica (cui si rimanda per i dettagli) ed è utilizzato nella valutazione dei contributi al cedimento per i restanti carichi.

Il procedimento prevede, per i singoli contributi, la valutazione preliminare dell'andamento dell'incremento di sforzo sulla verticale nel punto di controllo considerando un carico rettangolare uniforme  $q_i$ , valutato mediante il metodo di Boussinesq. Applicando poi il principio di sovrapposizione degli effetti si otterrà l'incremento di sforzo totale sulla verticale del punto di controllo. Lo scopo è quello di assicurarsi che nell'ambito della profondità significativa (assunta pari a  $5 B$ ) si arrivi effettivamente ad un incremento di tensioni trascurabile.

La stima dell'incremento di sforzo si ottiene quindi come:

	<p align="center"><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p align="center"><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 71 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 71 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 71 di 333		

$$\Delta\sigma_v = \sum 2 q_i / 2\pi [\text{artg}(L'B'/cz) + L'B'z/c (1/m^2+1/n^2)]$$

Dove:

$q_i$  = pressione applicata

$q$  = pressione in corrispondenza del piano di posa della fondazione =  $N_{Ed}/(B' L')$

$\gamma$  = peso per unità di volume del terreno

$h$  = dislivello fra piano campagna e imposta fondazione

$B'$  = dimensione minore della fondazione (nel caso specifico sarà la base efficace  $B' = B-2e_B$ )

$L'$  = dimensione maggiore della fondazione (nel caso specifico sarà la larghezza efficace  $L' = L-2e_L$ )

$z$  = profondità da piano di posa della fondazione

$$c = (L'^2+B'^2+z^2)^{0.5}$$

$$m^2 = L'^2+z^2$$

$$n^2 = B'^2+z^2$$

Il calcolo del cedimento si basa sulla teoria dell'elasticità. Sulla base dei parametri di deformabilità del terreno (considerando a seconda del carico le curve di ricarico e carico vergine) si stima il cedimento nel punto P, sommando i contributi dei vari carichi, attraverso la:

$$\Delta H_i = \sum 2 q_i B' (1-\mu^2)/E_i I_s I_F$$

Dove:

$q_i$  e  $B'$  assumono i precedenti significati, mentre:

$\mu$  = coefficiente di poisson del terreno

$E_i$  = modulo elastico dello strato i-esimo di terreno

$I_s = I_1 + (1-2\mu)/(1-\mu) I_2$  = coefficiente di influenza legato alle dimensioni  $B' L'$

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left\{ \left\{ M \ln \left[ \frac{(1+(M^2+1))^{0.5} (M^2+N^2)^{0.5}}{(M^2+(M^2+N^2+1))} \right] + \ln \left[ \frac{(M+(M^2+1))^{0.5}}{(1+N^2)^{0.5} (M+(M^2+N^2+1))^{0.5}} \right] \right\} \right\}$$

$$I_2 = N/2\pi \tan^{-1} \left[ \frac{M}{(N^2+(M^2+N^2+1))^{0.5}} \right]$$

$$M = L'/B'$$

$$N = H/B'$$

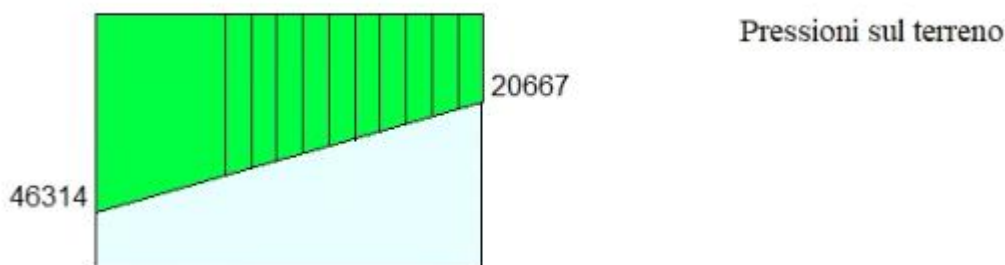
$H = 5 B$  = profondità significativa, ossia oltre la quale l'incremento di tensioni diventa trascurabile (<10%)

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 72 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 72 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 72 di 333		

$I_F$  = coefficiente di influenza, che tiene conto della profondità del piano di posa. Tale coefficiente assume valori minori all'unità all'aumentare della profondità e che cautelativamente è stato posto pari a 1

L'estensione dello strato significativo è stato posto pari a cinque volte la base della fondazione come suggerito da Newmark. Si considera inoltre che in prima istanza il metodo considerava l'ipotesi di fondazioni flessibili, la presenza come nel nostro caso di fondazione rigida lo stesso autore indica una riduzione di circa il 7% dei cedimenti, tale aspetto è tenuto in conto considerando un coefficiente  $I_{sr} = 0.93$   $I_s$  nel calcolo dei contributi derivanti dal muro.

Per verificare i cedimenti si è fatto riferimento allo stato limite di esercizio quasi permanente - (SLE quasi permanente) con un valore di  $\psi_2$  pari a 0.2 per il carico SW2 a rappresentare un sovraccarico di cantiere. I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.



**Figure 8-12 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 1.50 m

H rilevato esistente media = 0.75 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.75 \times 18 = 14$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(46 - 21) \times 2/3 + 21 = 38$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $38 - 14 = 24$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 8 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.





# NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”

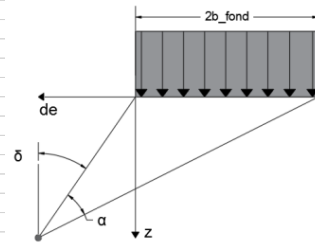
## LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **73 di 333**

### STRATIGRAFIA

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} = 20.00$	$\text{kN/m}^3$
Modulo elastico di compressione vergine	$E_{vc} = 20.00$	MPa
Modulo elastico di scarico e ricarico	$E_{ur} = 10.00$	MPa
Profondità falda rispetto alla fondazione	$H_w = 30.00$	m



### MURO DI SOSTEGNO

Larghezza della fondazione	$2b_{\text{fond}} = 1.50$	m
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 38.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} = 24.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} = 14.00$	$\text{kN/m}^2$

### RILEVATO

#### BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE

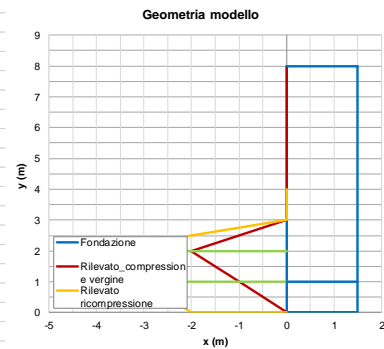
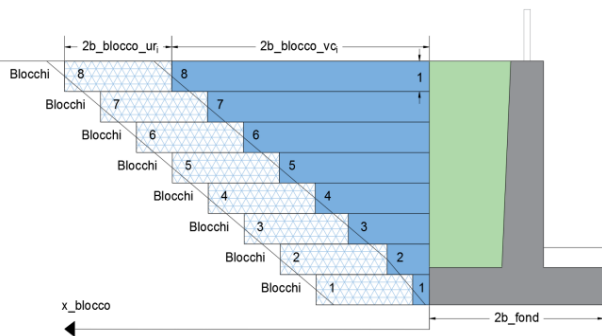
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} = 1.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### BLOCCHI\_RICOMPRESSIONE

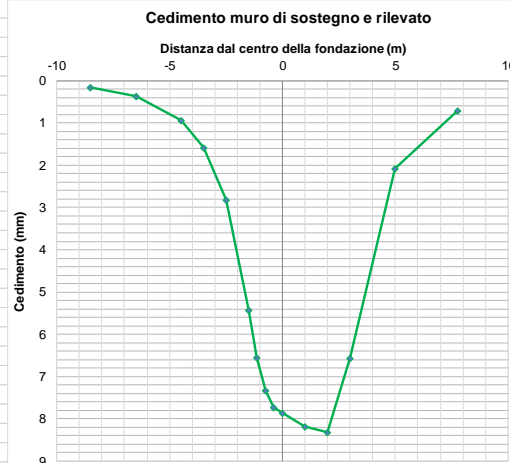
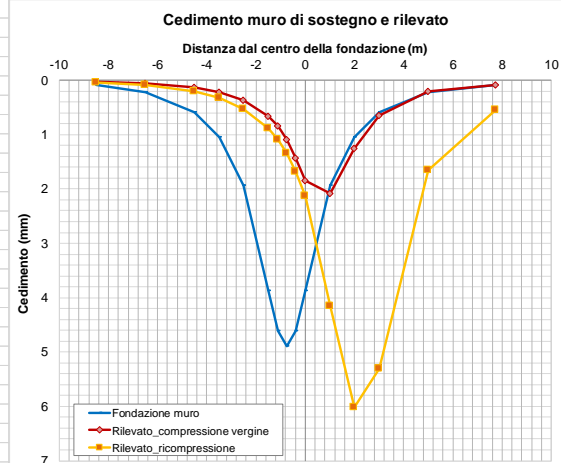
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} = 2.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### CALCOLO

Criterio definizione della profondità significativa:	sulla base di un valore target di incremento di sforzo
Valore target di incremento di sforzo	$\Delta\sigma/\sigma'_{v0} = 0.10$
Profondità significativa	$z_{\text{calc}} = 5.00$



### SINTESI DEI RISULTATI

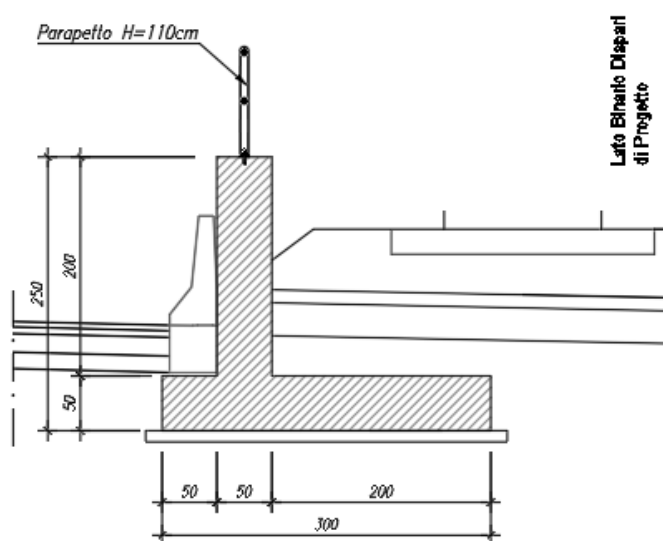


Cedimento massimo = 8mm

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 74 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 74 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 74 di 333		

## 8.2 Sez. Tipo 8 - Muro di linea (TR03) pk 4+796 a 5+024

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.



**Figura 8-13: Sezione di riferimento muro di sostegno**

### 8.2.1 Caratteristiche dei terreni

#### 8.2.1.1 Terreno spingente

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 38,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 25,33^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

#### 8.2.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 75 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 75 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 75 di 333		

STRATO 1 (0 - 1m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

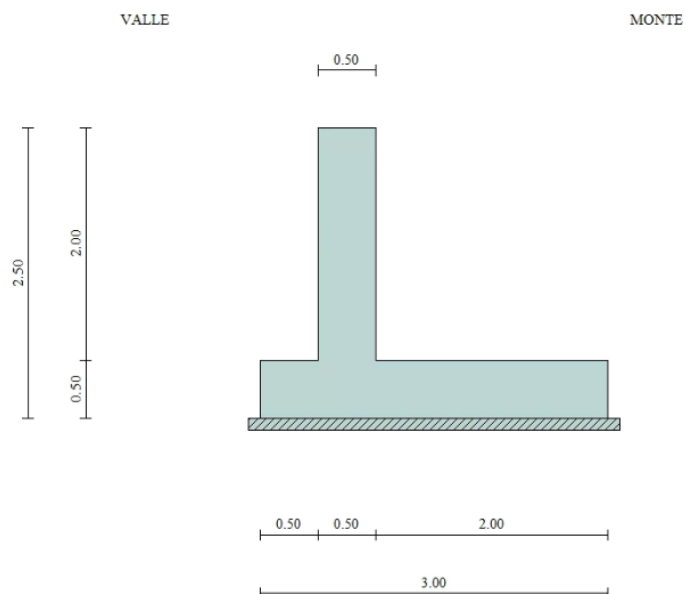
STRATO 2 (1 - 12m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.2.2 *Dati di progetto*

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).

Cautelativamente, le verifiche sono state svolte con una zattera di fondazione di larghezza pari 3.0.



**Figura 8-14: Sezione muro alla progressiva 4+776 km**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>76 di 333</b>

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

#### Muro a mensola in calcestruzzo

Altezza del paramento	2.00 [m]
Spessore in sommità	0.50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.50 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.50 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	2.00 [m]
Lunghezza totale fondazione	3.00 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

### Materiali utilizzati per la struttura

#### Calcestruzzo

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

#### Acciaio

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

### Geometria profilo terreno a monte del muro

#### Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 77 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0.02	-0.94	-88.78
2	0.38	-0.66	37.87
3	10.00	-0.66	0.00

**Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.00 [%]

Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.40 [m]

**8.2.3 Analisi dei carichi**

**8.2.3.1 Sovraccarico permanente**

Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate, relativi a nuovi rilevati ferroviari:

$\gamma_k = 20,00 \text{ kN/m}^3$  peso dell'unità di volume;

$\varphi_k = 38^\circ$  angolo di resistenza al taglio;

$c_k = 0$  coesione;

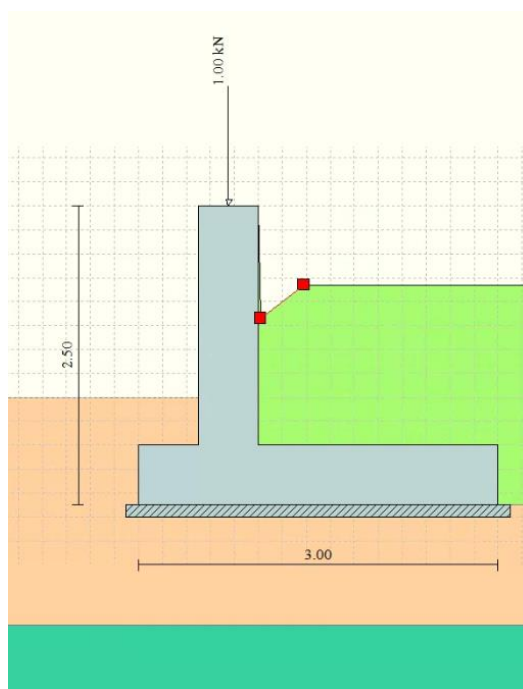
$\delta_k = 25,33^\circ$  angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

Per il ballast, dello spessore di 0,8m, si è invece considerato peso dell'unità di volume  $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ .

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>78 di 333</b>

### 8.2.3.2 Carico parapetto

Il parapetto è modellato come un carico lineare di 1 kN/m`.



**Figura 8-15 – Applicazione dei carichi: Peso parapetto**

Nota: Si assume che il peso del parapetto sia "ben definito" ai sensi di quanto stabilità dalla tabella 2.6.I riportata nelle NTC2018.

### 8.2.3.3 Sovraccarico treni

I carichi verticali sono definiti per mezzo di modelli di carico, in particolare sono forniti due treni di carico distinti: il primo rappresentativo del traffico normale LM71, il secondo rappresentativo del traffico pesante SW2.

### Coefficiente di adattamento $\alpha$

I valori dei suddetti carichi relativi alla configurazione LM71 e SW2 dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento, variabile in ragione della tipologia dell’Infrastruttura (ferrovia ordinaria, ferrovia leggera metropolitana), viene di seguito riportata la tabella con la variabilità del coefficiente in base al tipo di linea o categoria di linea



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

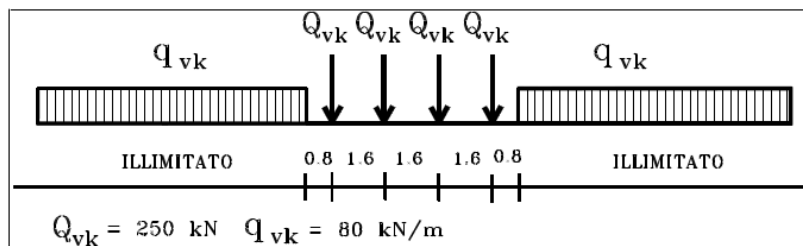
COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **79 di 333**

Tipi di linea o categorie di linea STI	Valore minimo del fattore alfa ( $\alpha$ )
IV	1.1
V	1.0
VI	1.1
VII-P	0.83
VII-F, VII-M	0.91

Per completezza di informazioni viene di seguito riportata la tabella attinente alla categorie di linea STI per il sottosistema Infrastruttura del sistema ferroviario convenzionale:

Categorie di linea STI		Tipo di traffico		
		Traffico passeggeri (P)	Traffico merci (F)	Traffico misto (M)
Tipo di linea	Nuova linea TEN fondamentale (IV)	IV-P	IV-F	IV-M
	Linea TEN fondamentale ristrutturata (V)	V-P	V-F	V-M
	Altra nuova linea TEN (VI)	VI-P	VI-F	VI-M
	Altra linea TEN ristrutturata (VII)	VII-P	VII-F	VII-M

Treno di carico LM71



E' stato applicato un carico distribuito equivalente dei 4 assi 250 kN ad interasse 1.60 m.

$$q_{\text{equivalente}} = 4 \times 250 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m.}$$

Il carico è opportunamente distribuito sulla larghezza della traversa, cioè 2,4m.

$$Q_{vk} = 4 \times 250 / (6.40 \times 2.4) = 65.10 \text{ kN/m}^2$$

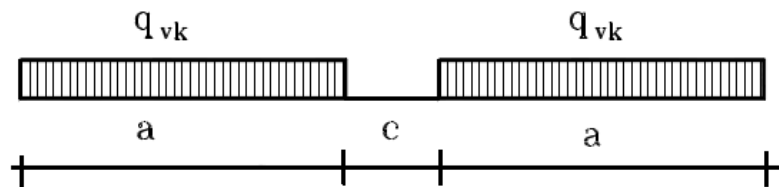
$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{vk} = 80 / 2.4 = 33.33 \text{ kN/m}^2$$

$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 33.33 \times 1.10 = \mathbf{36.67 \text{ kN/m}^2}$$

La diffusione attraverso lo spessore del ballast avviene in automatico, perché il ballast è effettivamente modellato.

Treno di carico SW2



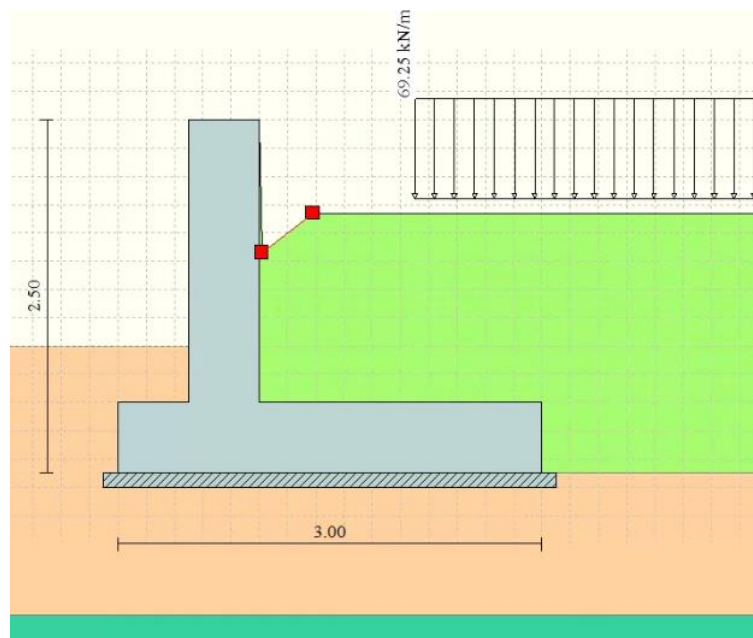
$$q_{\text{equivalente}} = 150/2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 62.5 \times 1.10 \times 1.00 = \mathbf{68.75 \text{ kN/m}^2}$$

Ai fini del dimensionamento del muro di sostegno si considera il treno LM71 in quanto presenta un valore maggiore del carico verticale rispetto al treno SW/2.

Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  (1.5) per i carichi variabili, per l'imposizione dei carichi di traffico ferroviario si è adottato un valore ridotto che tiene conto del diverso valore del coefficiente  $\gamma$  (1.45) da utilizzare nelle combinazioni di progetto.

Il valore ridotto del carico del treno è 0.967 da cui segue  $0.967 \times 71,61 \text{ kN/m}^2 = 69,25 \text{ kN/m}^2$ .



**Figura 8-16 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

8.2.3.4 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>81 di 333</b>

#### 8.2.4 Combinazioni di carico

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell’insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.
  -

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-3: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		
Tangente dell’angolo di resistenza a taglio			1.25	
Coesione efficace			1.25	



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 82 di 333

Azione/parametro/verifica	A2	M2	R2
Resistenza non drenata		1.4	
Peso dell'unità di volume		1	
Stabilità globale			1.1(*)

**Tabella 8-4: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance	A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1	
	Sfavorevoli	1.35	
Permanenti G2	Favorevoli	0.80	
	Sfavorevoli	1.5	
Ballast	Favorevoli	0.8	
	Sfavorevoli	1.5	
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0	
	Sfavorevoli	1.45	
Variabili Q	Favorevoli	0.0	
	Sfavorevoli	1.5	
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio		1	
Coesione efficace		1	
Resistenza non drenata		1	
Peso dell'unità di volume		1	
Capacità portante			1.4(*)
Scorrimento			1.1(*)
Ribaltamento			1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 83 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 83 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 83 di 333		

$$\text{GEO-EQU)} \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara)} \quad \rightarrow \quad G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente)} \quad \rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente)} \quad \rightarrow \quad G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

$$\text{Combinazione sismica} \quad \rightarrow \quad E + G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

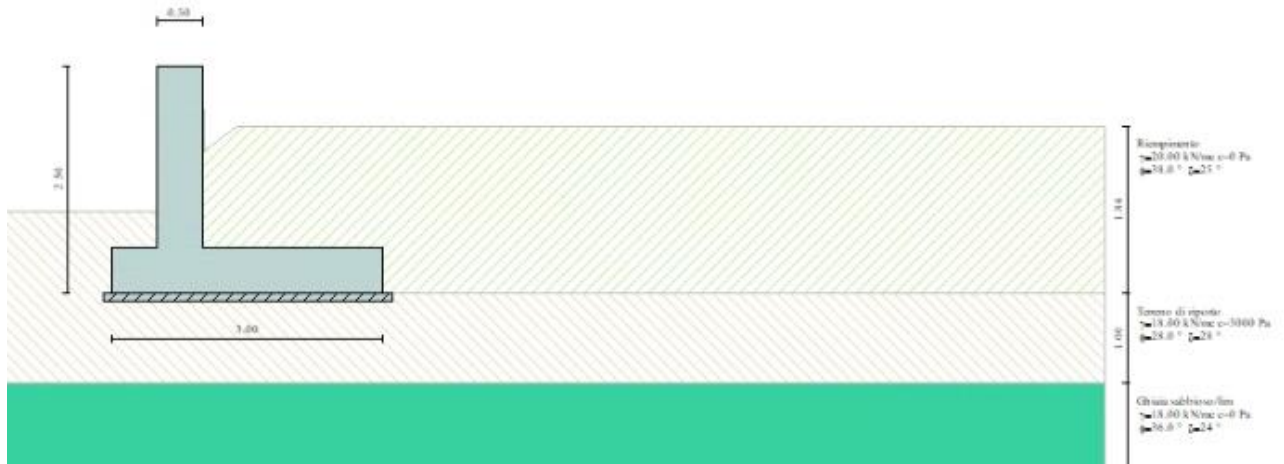
I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0,8, 0,6 e 0 con  $\psi_2 = 0,2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

$$\text{per A1: } 1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv \text{peso specifico rilevato}$$

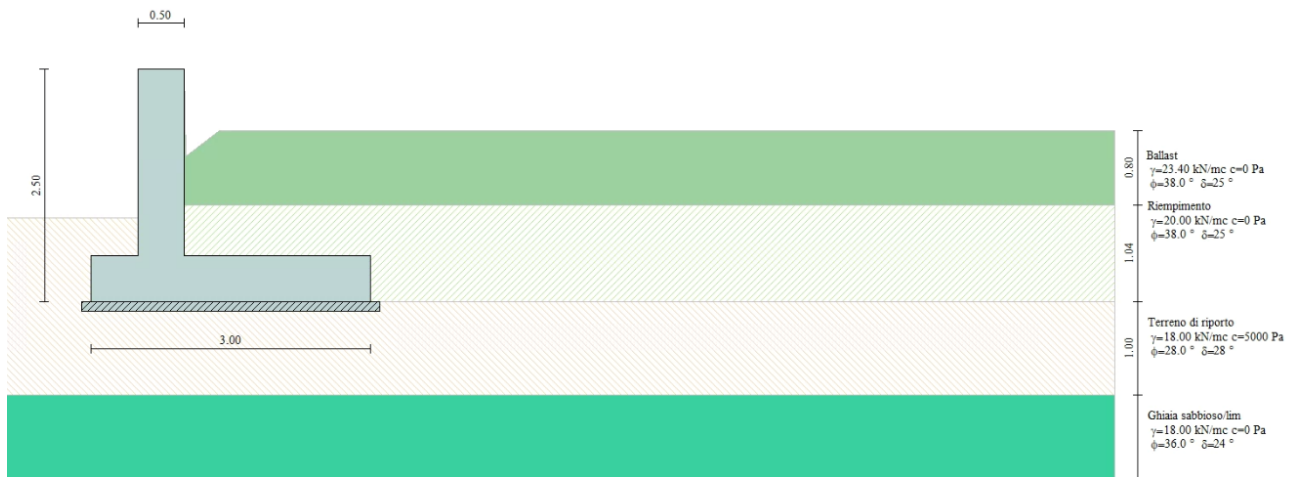
$$\text{per A2: } 1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq \text{peso specifico rilevato}$$

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.



**Figura 8-17 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione**

**A1**



**Figura 8-18 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione**

**A2**

**Descrizione combinazione di carico**

*Simbologia adottata*

- F/S*      Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
- $\gamma$         Coefficiente di partecipazione della condizione
- $\Psi$         Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **85 di 333**

Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **86 di 333**

Carichi treni SFAV 1.50 1.00 1.50

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
--	-----	----------	--------	-----------------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **87 di 333**

Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 19 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **88 di 333**

Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 20 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 21 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 22 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 23 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 24 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **89 di 333**

Combinazione n° 25 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 26 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 27 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	1.00	1.00

## 8.2.5 Verifiche

### 8.2.5.1 Premessa

Nei paragrafi che seguono si riportano gli esiti delle verifiche strutturali svolte con il software RC SEC e fogli di calcolo excel che implementano le prescrizioni della Normativa vigente.

Segue una tabella di conversione per interpretare gli esiti delle verifiche RC SEC, riportati nei paragrafi che seguono in lingua Inglese.

#### MATERIALS DATA / DATI RELATIVI AI MATERIALI

##### CONCRETE - CALCESTRUZZO

- Class / Classe

Design compressive strength / **Resistenza a compressione fcd**

Strain at max strength  $\epsilon_{c2}$  / **deformazione per la resistenza massima  $\epsilon_{c2}$**

Ultimate strain  $\epsilon_{cu}$  / **Deformazione massima  $\epsilon_{cu}$**

Compression diagram stress-strain:

Parabola-Rectangle

**Diagramma sforzo deformazione a compressione:**

**Parabola rettangolo**

Mean elastic modulus  $E_{cm}$  / **Modulo elastic  $E_{cm}$**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA  
NM27

LOTTO  
01 D 26

CODIFICA  
CL

DOCUMENTO  
CS0000003

REV.  
A

FOGLIO  
90 di 333

Mean tensile strength  $f_{ctm}$  / **Resistenza a trazione media  $f_{ctm}$**

Es/Ec in SLS combination / **Es/Ec in combinazione SLS**

Stress limit Characteristic SLS / **Massima tensione per combinazione caratteristica SLS**

Stress limit Frequent SLS / **Massima tensione per combinazione frequente SLS**

wk lim = limit crack width Frequent SLS / **Limite ampiezza fessure combinazione frequente SLS**

Stress limit Quasi-Permanent SLS / **Massima tensione combinazione SLS quasi permanente**

wk lim = limit crack-width Quasi-Permanent SLS / **limite di ampiezza delle fessure in combinazione SLS quasi permanente**

STEEL - **ACCIAIO** Longitudinal Bars and Stirrups / **Barre longitudinali e staffe**

Characteristic yield stress  $f_{yk}$  / **tensione di snervamento caratteristica  $f_{yk}$**

Tensile strength  $f_{tk}$  / **Resistenza a trazione  $f_{tk}$**

Design yield stress  $f_{yd}$  / **Sforzo di snervamento di progetto  $f_{yd}$**

Design strength  $f_{td}$  / **Resistenza di progetto  $f_{td}$**

Design ultimate strain  $\epsilon_{su}$  / **Deformazione ultima  $\epsilon_{su}$**

Mean elastic modulus Es / **Modulo elastico medio Es**

SLS Charact. - Ss Limit: / **Combinazione SLS caratteristica limite  $\sigma_s$**

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA / DATI DI GEOMETRIA E DELLE ARMATURE**

Width / **Larghezza**

Depth / **Altezza**

Bottom bars / **Armature inferiori**

Top bars / **Armature superiori**

Low Cover (from centroid of bar) / **Copriferro inferiore (dal baricentro delle armature)**

Top Cover (from centroid of bar): / **Copriferro superiore (dal baricentro delle armature)**

Web Cover (from centroid of bar) / **Copriferro sull'anima (dal baricentro delle armature)**

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION / STATI LIMITE ULTIMI – AZIONI INTERNE SOLLECITANTI DI PROGETTO PER OGNI COMBINAZIONE**

N Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)

**Azione assiale sollecitante di progetto [kN] applicata nel baricentro della sezione di calcestruzzo (+ se in compressione)**

Mx Design moment force [kNm] around the x axis

with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

**Momento sollecitante di progetto [kN m] attorno all'asse x**

**con direzione positiva se tale da comprimere il lembo superiore della sezione**

Vy Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y

Taglio sollecitante di progetto [kN] / **in direzione parallela all'asse Y**

T Design torsional Moment [kN m] / **Momento torcente sollecitante di progetto**

**CHECKS RESULTS / RISULTATI DELLE VERIFICHE**

**Checks of section OK for all assigned combinations / Verifica con esito positive per tutte le combinazioni**

Min edge cover of longitudinal bars: / **Minimo ricoprimento delle barre longitudinali**

Min edge distance between longitudinal bars / **Minima distanza tra le barre longitudinali**

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE / STATI LIMITE ULTIMI – VERIFICA A FLESSIONE E AZIONE ASSIALE**

Check/Verifica Result of check / **Esito della verifica**

N Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)

**Azione assiale sollecitante di progetto [kN] applicata nel baricentro della sezione di calcestruzzo (+ se in compressione)**

Mx Design bending moment force [kNm] around x axis of reference

**Momento flettente sollecitante di progetto [kN m] intorno all'asse X**

N ult Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)

**Azione assiale resistente di progetto della sezione [kN] (+ se di compressione)**

Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference

**Momento flettente resistente di progetto [kN m] intorno all'asse X**

S.F. Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is  $\geq 1.0$

**Fattore di sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx). Contorlo positivo se tale rapporto  $\geq 1.0$**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 91 di 333

Yneutral Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system  
 Ordinata Y [cm] dell'asse neutron nel sistema di riferimento  
 Mx sn. Yielding bending moment [kNm]  
**Momento flettente di servamento [kN m]**  
 x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section  
**Rapporto tra la posizione dell'asse neutron e l'altezza efficace della sezione**  
 D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]  
**Rapporto tra il momento redistribuito e il momento elastico della trave continua [(5.10)EC2]**  
 As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]  
 Area delle armature a trazione [cm<sup>2</sup>] (trave) [tra parentesi is riporta l'area minima dall'equazione (9.1N) EC2]

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE / STATI LIMITE ULTIMI – DEFORMAZIONI AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

ec max Ultimate compressive strain in concrete  
**Deformazione ultima a compressione**  
 ec\* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec\*>0 then the section is all compressed)  
**Deformazione nella fibra di calcestruzzo nella posizione ec2/ecu (ec\*>0 nel caso di sezione compressa)**  
 Yc max Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max  
 Ordinata in [cm] della fibra corrispondente a ec max  
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
 Massima deformazione nelle barre di acciaio (+ se in compressione)  
 Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
**Ordinata [cm] della barra corrispondente a es max**  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
**Minima deformazione nelle barre di acciaio (+ se in compressione)**  
 Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min  
**Ordinata [cm] della barra corrispondente a es min**

Comb.N. ec max ec \* Yc max es max Ys max es min Ys min

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE / COMBINAZIONE RESISTENTE N.1: SFORZO E DEFORMAZIONE AGLI STATI LIMITE ULTIMI**

**Concrete vertices: /Vertici sezione calcestruzzo**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
**Vertice N° Si assegnano numeri ai vertici della sezione in calcestruzzo**  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
**Coordinate X e Y [cm] dei vertici nel riferimento X,Y,O**  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
**Sforzo [Mpa] in ciascun vertice (+ se in compressione)**  
 ec Strain in each vertex  
**Deformazione nei vertici**

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	ec
<b>Vertice N.</b>	<b>Xc</b>	<b>Yc</b>	<b>Sc</b>	<b>ec</b>

**Longitudinal Bars: / Barre longitudinali**

Bar N. Number assigned to the bars  
**Numero assegnato alle barre**  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
**Coordinate X e Y [cm] dei vertici nel riferimento X,Y,O**  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
**Sforzo [Mpa] in ciascuna barra (+ se in compressione)**  
 es Strain in each bar  
**Deformazione in ciascuna barra**

Bar N.	Xs	Ys	Ss	es
--------	----	----	----	----

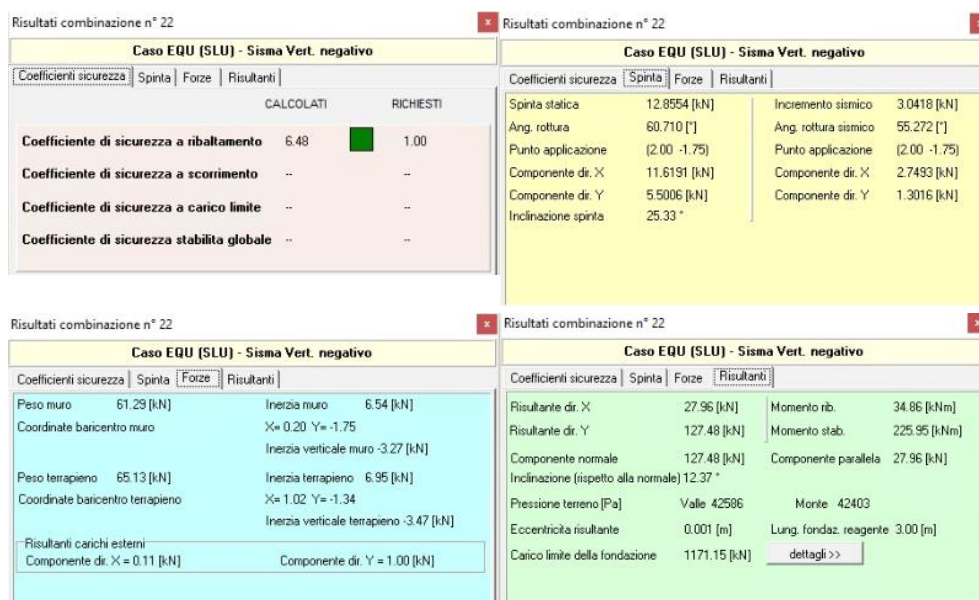
	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>92 di 333</b>

### 8.2.5.2 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 22, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:



**Figura 8-19 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)**

- *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 9, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
CALCOLATI		RICHESTI					
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--				
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		2.66	1.10				
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		4.61	1.40				
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		--	--				

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Spinta statica	50.9463 [kN]			Incremento sismico	0.0000 [kN]		
Ang. rottura	60.710 [°]			Ang. rottura sismico	0.000 [°]		
Punto applicazione	(2.00 -1.64)			Punto applicazione	(0.00 0.00)		
Componente dir. X	46.0470 [kN]			Componente dir. X	0.0000 [kN]		
Componente dir. Y	21.7991 [kN]			Componente dir. Y	0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta	25.33 °						

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Peso muro	61.29 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]				
Coordinate baricentro muro		X= 0.20 Y= -1.75					
		Inerzia verticale muro 0.00 [kN]					
Peso terrapieno	146.16 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]				
Coordinate baricentro terrapieno		X= 1.02 Y= -1.34					
		Inerzia verticale terrapieno 0.00 [kN]					
Risultanti carichi esterni		Componente dir. Y = 1.30 [kN]					

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Risultante dir. X	46.05 [kN]	Momento rib.	39.71 [kNm]				
Risultante dir. Y	230.55 [kN]	Momento stab.	434.43 [kNm]				
Componente normale	230.55 [kN]	Componente parallela	46.05 [kN]				
Inclinazione (rispetto alla normale)	11.30 °						
Pressione terreno [Pa]	Valle 44248	Monte	109450				
Eccentricita risultante	-0.212 [m]	Lung. fondaz. reagente	3.00 [m]				
Carico limite della fondazione	1063.52 [kN]			dettagli >>			

**Figura 8-20 – Risultati verifica allo scorrimento (da MAX 14)**

- *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 10, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella

Risultati combinazione n° 10				Risultati combinazione n° 10			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
CALCOLATI		RICHESTI					
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--				
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		3.06	1.10				
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		4.38	1.40				
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		--	--				

Risultati combinazione n° 10				Risultati combinazione n° 10			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Spinta statica	50.9463 [kN]			Incremento sismico	0.0000 [kN]		
Ang. rottura	60.710 [°]			Ang. rottura sismico	0.000 [°]		
Punto applicazione	(2.00 -1.64)			Punto applicazione	(0.00 0.00)		
Componente dir. X	46.0470 [kN]			Componente dir. X	0.0000 [kN]		
Componente dir. Y	21.7991 [kN]			Componente dir. Y	0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta	25.33 °						

Risultati combinazione n° 10				Risultati combinazione n° 10			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Peso muro	79.68 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]				
Coordinate baricentro muro		X= 0.20 Y= -1.75					
		Inerzia verticale muro 0.00 [kN]					
Peso terrapieno	161.96 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]				
Coordinate baricentro terrapieno		X= 1.02 Y= -1.34					
		Inerzia verticale terrapieno 0.00 [kN]					
Risultanti carichi esterni		Componente dir. Y = 1.30 [kN]					

Risultati combinazione n° 10				Risultati combinazione n° 10			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Risultante dir. X	46.05 [kN]	Momento rib.	39.71 [kNm]				
Risultante dir. Y	264.74 [kN]	Momento stab.	488.33 [kNm]				
Componente normale	264.74 [kN]	Componente parallela	46.05 [kN]				
Inclinazione (rispetto alla normale)	9.87 °						
Pressione terreno [Pa]	Valle 53897	Monte	122594				
Eccentricita risultante	-0.195 [m]	Lung. fondaz. reagente	3.00 [m]				
Carico limite della fondazione	1159.19 [kN]			dettagli >>			

**Figura 8-21 – Risultati verifica al carico limite (da MAX 14)**

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘go’ num. 12, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-22:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **94 di 333**

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHESTI			
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--				
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		--	--				
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		--	--				
<b>Coefficiente di sicurezza stabilità globale</b>		1.12	<span style="background-color: green; color: white;">■</span>	1.10			

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Spinta statica		55.9393 [kN]		Incremento sismico		0.0000 [kN]	
Ang. rottura		57.265 [°]		Ang. rottura sismico		0.000 [°]	
Punto applicazione		(2.00 -1.63)		Punto applicazione		(0.00 0.00)	
Componente dir. X		52.3132 [kN]		Componente dir. X		0.0000 [kN]	
Componente dir. Y		19.8125 [kN]		Componente dir. Y		0.0000 [kN]	
Inclinazione spinta		20.74 °					

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro		61.29 [kN]		Inerzia muro		0.00 [kN]	
Coordinate baricentro muro				X= 0.20 Y= -1.75			
				Inerzia verticale muro		0.00 [kN]	
Peso terrapieno		138.97 [kN]		Inerzia terrapieno		0.00 [kN]	
Coordinate baricentro terrapieno				X= 1.02 Y= -1.31			
				Inerzia verticale terrapieno		0.00 [kN]	
Risultanti carichi esterni				Componente dir. Y = 1.00 [kN]			

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Risultante dir. X		52.31 [kN]		Momento rib.		45.26 [kNm]	
Risultante dir. Y		221.08 [kN]		Momento stab.		413.90 [kNm]	
Componente normale		221.08 [kN]		Componente parallela		52.31 [kN]	
Inclinazione (rispetto alla normale)		13.31 °					
Pressione terreno [Pa]		Valle 45008		Monte 98377			
Eccentricità risultante		-0.167 [m]		Lung. fondaz. reagente		3.00 [m]	
Carico limite della fondazione		503.07 [kN]		<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>			

**Figura 8-22 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

**8.2.5.3 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo**

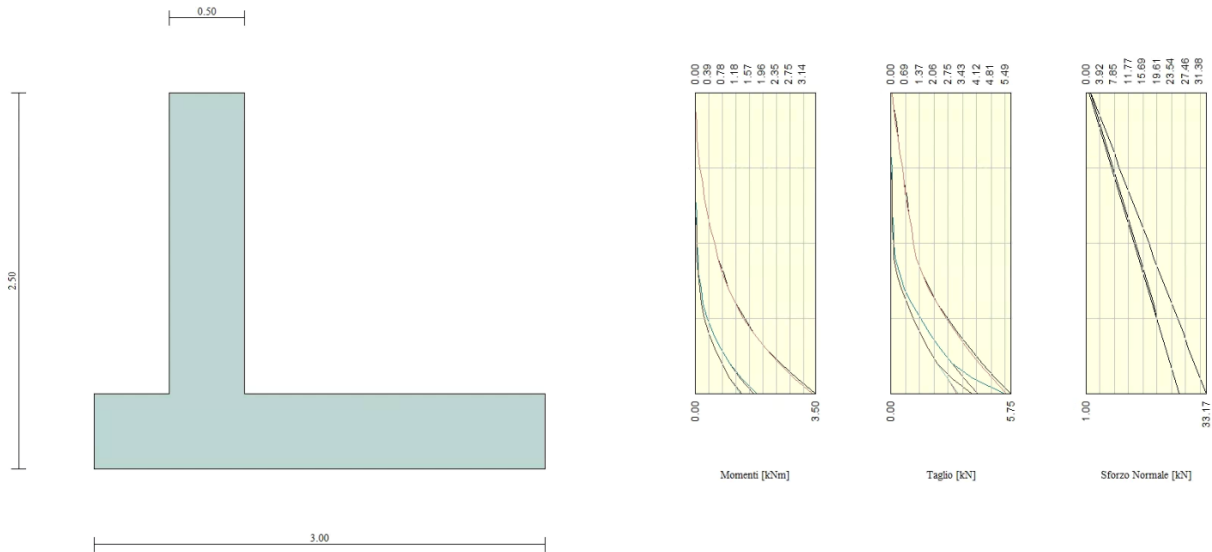
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L'obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-23 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-2.0 m)

Combinazione 13 :  $M_{Ed} = 3.5 \text{ kNm}$

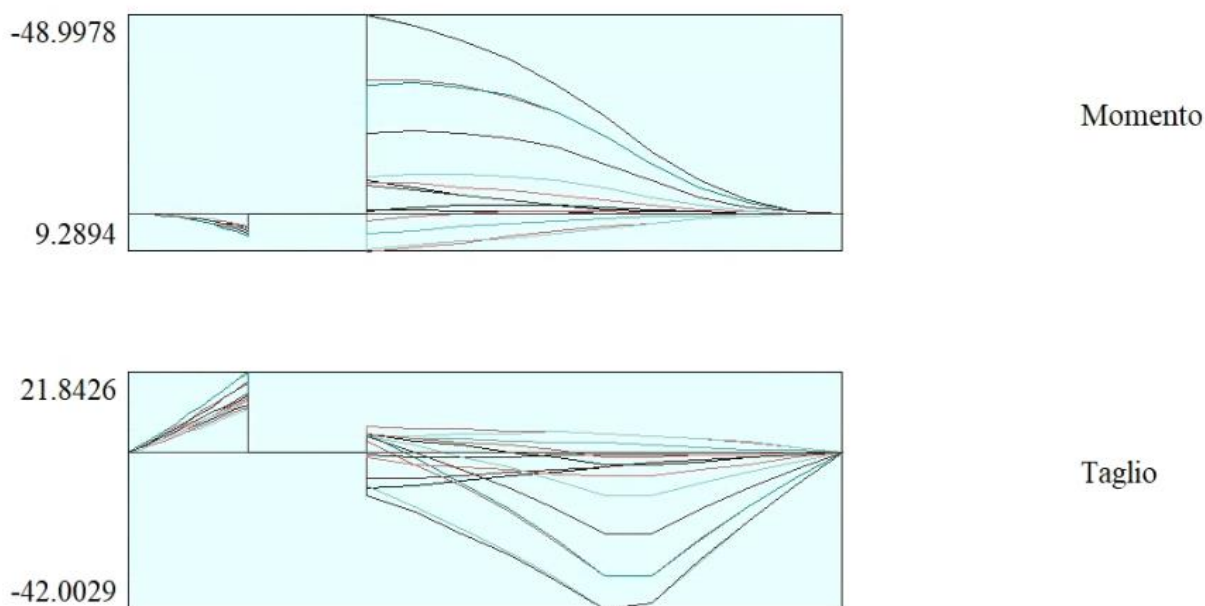
Valore di progetto del taglio agente (-2.0 m)

Combinazione 13:  $V_{Ed} = 5.75 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>96 di 333</b>

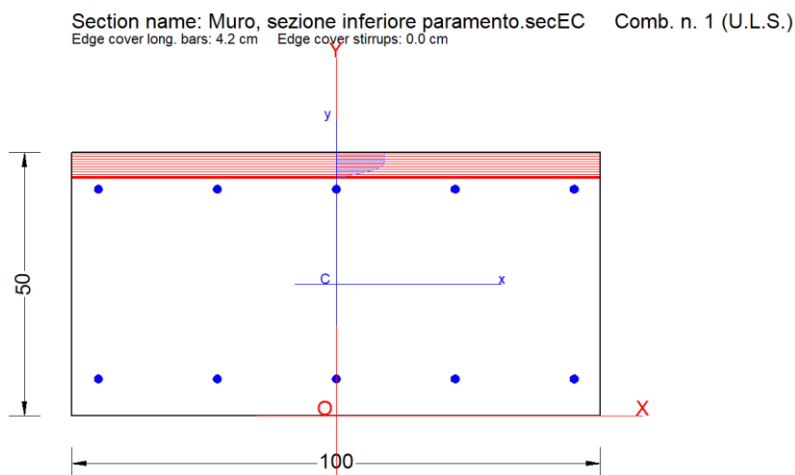


**Figura 8-24 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 9:  $M_{Ed} = -49.0 \text{ kNm}$   
 Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 9:  $V_{Ed} = 42.03 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

### 8.2.5.3.1 Sezione inferiore del paramento







**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 97 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

**GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION**

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:  
Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	33345.8 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	19.2 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	19.2 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	14.4 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	Stirrups:	B500A
	Characteristic yield stress fyk:	500.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.00 MPa
	Design yield stress fyd:	434.8 MPa
	Design strength ftd:	434.8 MPa
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **98 di 333**

Mx Design moment force [kNm] around the x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section  
Vy Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y  
T Design torsional Moment [kN m]

Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	3.50	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars: 4.2 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 20.9 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check Result of check  
N Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)  
Mx Design bending moment force [kNm] around x axis of reference  
N ult Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)  
Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference  
S.F. Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0  
Yneutral Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system  
Mx sn. Yielding bending moment [kNm]  
x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section  
D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]  
As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	3.50	-0.16	176.95	50.558	45.2	156.38	---	---	---
---	----	------	------	-------	--------	--------	------	--------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max Ultimate compressive strain in concrete  
ec\* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec\*>0 then the section is all compressed)  
Yc max Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max  
es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01202	50.0	-0.00157	43.0	-0.02765	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0327157
2	-50.0	50.0	18.13	0.0035000



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 99 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

3	50.0	50.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0327157

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0276455
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0276455
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0276455
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0276455
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0276455
6	-45.0	43.0	-314.04	-0.0015702
7	-22.5	43.0	-314.04	-0.0015702
8	0.0	43.0	-314.04	-0.0015702
9	22.5	43.0	-314.04	-0.0015702
10	45.0	43.0	-314.04	-0.0015702

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$ mm larghezza	$f_{yk} = 450$ MPa resist. caratteristica
$h = 500$ mm altezza	$\gamma_s = 1.15$ coeff. sicurezza
$c = 70$ mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$ MPa resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$ MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:
$\gamma_c = 1.50$ coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset 16 = 10.05 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$ coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 430$ mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$ MPa resist. di calcolo	10.05 $\text{cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$  kN       $V_{ed} = 5.8$  kN

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1.682 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0.432$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$        $\rho_1 = 0.002 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

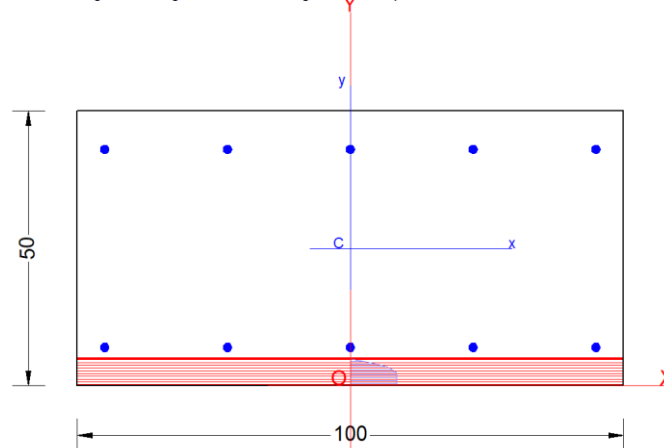
$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$   
 $V_{Rd} = 169.7$  kN;      (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 185.7$  kN)

$V_{Rd} = 185.7$  kN assunto pari alla resistenza minima

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

**8.2.5.3.2 Sezione della fondazione**

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
Edge cover long. bars: 4.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>101 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

**GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION**

**Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC**

Section description:  
Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE -

Class:	C30/37
Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
Strain at max strength ec2:	0.0020
Ultimate strain ecu:	0.0035
Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
Mean elastic modulus Ecm:	32836.6 MPa
Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
Es/Ec in SLS combination:	15.00
Stress limit Characteristic SLS:	18.0 MPa
Stress limit Frequent SLS:	18.0 MPa
wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5 MPa
wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm

STEEL -

Longitudinal Bars:	B450C
Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
Tensile strength ftk:	540.0 MPa
Design yield stress fyd:	391.3 MPa
Design strength ftd:	391.3 MPa
Design ultimate strain esu:	0.068
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
Stirrups:	B500A
Characteristic yield stress fyk:	500.0 MPa
Tensile strength ftk:	540.00 MPa
Design yield stress fyd:	434.8 MPa
Design strength ftd:	434.8 MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **102 di 333**

VY	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-49.00	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars: 4.2 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 20.9 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	-49.00	-0.28	-175.26	3.577	5.0	-156.06	---	---	---
---	----	------	--------	-------	---------	-------	-----	---------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

Parameter	Description
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01163	0.0	-0.00144	7.0	-0.02687	43.0

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>103 di 333</b>

### Verifica a Taglio

#### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

##### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	Ø 16	= 10.05 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm <sup>2</sup>
$d = 430$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			10.05 cm <sup>2</sup>

##### • Sollecitazioni (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 42.0 \text{ kN}$$

##### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.418$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 166.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 179.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 179.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

#### 8.2.5.4 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

##### • Le fessure limite sono:

- c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \quad w_2 = 0,3 \text{ mm} \quad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 104 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 104 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 104 di 333		

*Stato limite di apertura delle fessure*

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
  - La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{s,max} \leq 0,8f_{yk}$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per gli SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

$$M = 1.36 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = -20.59 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

$$M = 1.31 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = -10.02 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

$$M = 1.31 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 2.97 \text{ kNm}$$

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

#### 8.2.5.4.1 Sezione inferiore del paramento

SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>105 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	1.36

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	1.31

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	1.31

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check Result of Check  
Sc max Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc max y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)  
Sc min Min compression stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc min y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)  
Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]  
Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)  
hc eff Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars  
Ac eff Effective tension area [cm<sup>2</sup>] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)  
As eff Area of tension steel bars [cm<sup>2</sup>] within Ac eff (for crack width control)  
D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]  
(D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.07	50.0	0.00	39.8	-3.4	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check Result of check  
e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]  
kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])  
k2 = 0.5 for bending;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
Ø | c Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio As eff / Ac eff [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
sr max Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es  
Max final crack [mm] spacing



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **106 di 333**

wk Calculated value [mm] of crack width =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets  
M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00002	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000010 (0.00001)	575	0.006	137.81

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000207
2	-50.0	50.0	0.066	0.0000049
3	50.0	50.0	0.066	0.0000049
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000207

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-3.42	-0.0000171
2	-22.5	7.0	-3.42	-0.0000171
3	0.0	7.0	-3.42	-0.0000171
4	22.5	7.0	-3.42	-0.0000171
5	45.0	7.0	-3.42	-0.0000171
6	-45.0	43.0	0.27	0.0000014
7	-22.5	43.0	0.27	0.0000014
8	0.0	43.0	0.27	0.0000014
9	22.5	43.0	0.27	0.0000014
10	45.0	43.0	0.27	0.0000014

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.07	50.0	0.00	39.8	-3.3	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00002	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000010 (0.00001)	575	0.006 (0.30)	137.81

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **107 di 333**

e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000200
2	-50.0	50.0	0.064	0.0000048
3	50.0	50.0	0.064	0.0000048
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000200

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-3.30	-0.0000165
2	-22.5	7.0	-3.30	-0.0000165
3	0.0	7.0	-3.30	-0.0000165
4	22.5	7.0	-3.30	-0.0000165
5	45.0	7.0	-3.30	-0.0000165
6	-45.0	43.0	0.26	0.0000013
7	-22.5	43.0	0.26	0.0000013
8	0.0	43.0	0.26	0.0000013
9	22.5	43.0	0.26	0.0000013
10	45.0	43.0	0.26	0.0000013

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.07	50.0	0.00	39.8	-3.3	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00002	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000010 (0.00001)	575	0.006 (0.20)	137.81

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000200
2	-50.0	50.0	0.064	0.0000048
3	50.0	50.0	0.064	0.0000048
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000200

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>108 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Bar N.	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)		Strain in each bar	
	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-3.30	-0.0000165
2	-22.5	7.0	-3.30	-0.0000165
3	0.0	7.0	-3.30	-0.0000165
4	22.5	7.0	-3.30	-0.0000165
5	45.0	7.0	-3.30	-0.0000165
6	-45.0	43.0	0.26	0.0000013
7	-22.5	43.0	0.26	0.0000013
8	0.0	43.0	0.26	0.0000013
9	22.5	43.0	0.26	0.0000013
10	45.0	43.0	0.26	0.0000013

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-377.98	10.1	5.3
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-377.98	10.1	5.3

**8.2.5.4.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-20.59

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-10.02

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **109 di 333**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	2.97

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check	
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]	
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)	
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]	
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)	
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]	
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)	
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars	
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)	
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)	
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)	

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.00	0.0	0.00	9.6	-51.9	7.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check	
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section	
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section	
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]	
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])	
k2	= 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]	
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex	
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex	
Ø   c	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]	
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]	
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es	
sr max	Max final crack [mm] spacing	
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets	
M crack	First cracking bending moment [kNm]	

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00031	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000156 (0.00016)	575	0.089	-132.01

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices			
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O			
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)			
e c	Strain in each vertex			
Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.998	0.0000748



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **110 di 333**

2	-50.0	50.0	0.000	-0.0003137
3	50.0	50.0	0.000	-0.0003137
4	50.0	0.0	0.998	0.0000748

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	4.09	0.0000204
2	-22.5	7.0	4.09	0.0000204
3	0.0	7.0	4.09	0.0000204
4	22.5	7.0	4.09	0.0000204
5	45.0	7.0	4.09	0.0000204
6	-45.0	43.0	-51.86	-0.0002593
7	-22.5	43.0	-51.86	-0.0002593
8	0.0	43.0	-51.86	-0.0002593
9	22.5	43.0	-51.86	-0.0002593
10	45.0	43.0	-51.86	-0.0002593

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.51	0.0	0.00	13.8	-24.6	7.0	13.3	1328	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00015	0	0.500	16 6.2	0.008	0.000074 (0.00007)	570	0.042 (0.30)	-132.01

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.507	0.0000380
2	-50.0	50.0	0.000	-0.0001491
3	50.0	50.0	0.000	-0.0001491
4	50.0	0.0	0.507	0.0000380

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
--------	----	----	----	-----



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **111 di 333**

1	-45.0	7.0	2.36	0.0000118
2	-22.5	7.0	2.36	0.0000118
3	0.0	7.0	2.36	0.0000118
4	22.5	7.0	2.36	0.0000118
5	45.0	7.0	2.36	0.0000118
6	-45.0	43.0	-24.59	-0.0001229
7	-22.5	43.0	-24.59	-0.0001229
8	0.0	43.0	-24.59	-0.0001229
9	22.5	43.0	-24.59	-0.0001229
10	45.0	43.0	-24.59	-0.0001229

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.14	50.0	0.00	40.4	-7.5	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00005	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000022 (0.00002)	575	0.013 (0.20)	132.01

**SLS - QUASI-PERMANENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000453
2	-50.0	50.0	0.144	0.0000108
3	50.0	50.0	0.144	0.0000108
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000453

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-7.48	-0.0000374
2	-22.5	7.0	-7.48	-0.0000374
3	0.0	7.0	-7.48	-0.0000374
4	22.5	7.0	-7.48	-0.0000374
5	45.0	7.0	-7.48	-0.0000374
6	-45.0	43.0	0.59	0.0000029
7	-22.5	43.0	0.59	0.0000029
8	0.0	43.0	0.59	0.0000029
9	22.5	43.0	0.59	0.0000029
10	45.0	43.0	0.59	0.0000029

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 112 di 333**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Frc	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1

**8.2.5.5 Riassunto delle armature**

• *Sezione del muro*

**Lato a monte**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Lato a vale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale**

**nei entrambi lati** 22x $\Phi 12$  (11 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura superiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm

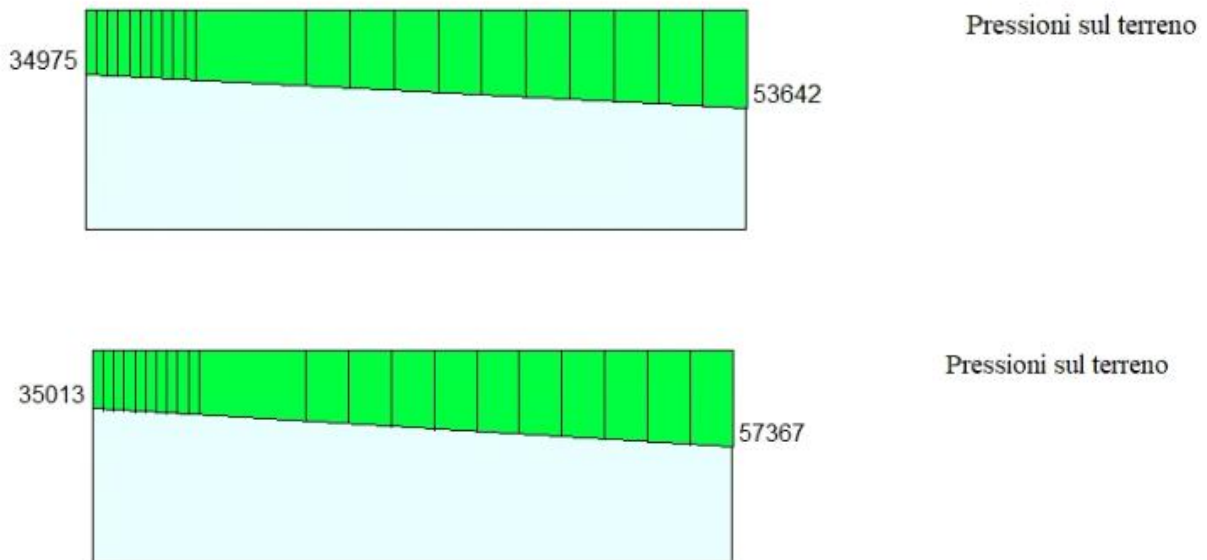
**Armatura inferiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>113 di 333</b>

### 8.2.5.6 Verifica dei cedimenti



**Figure 8-25 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 3.00 m

H rilevato esistente media = 0.90 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.90 \times 18 = 16$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(57 - 35) \times 2/3 + 35 = 50$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $50 - 16 = 34$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 16 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.



# NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”

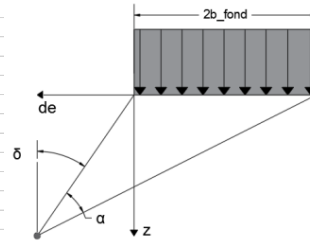
## LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO

### Muri di sostegno ferroviari Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **114 di 333**

#### STRATIGRAFIA

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} = 20.00$	$\text{kN/m}^3$
Modulo elastico di compressione vergine	$E_{vc} = 20.00$	$\text{MPa}$
Modulo elastico di scarico e ricarico	$E_{ur} = 10.00$	$\text{MPa}$
Profondità falda rispetto alla fondazione	$H_w = 30.00$	$\text{m}$



#### MURO DI SOSTEGNO

Larghezza della fondazione	$2b_{\text{fond}} = 3.00$	$\text{m}$
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 50.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} = 34.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} = 16.00$	$\text{kN/m}^2$

#### RILEVATO

##### BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE

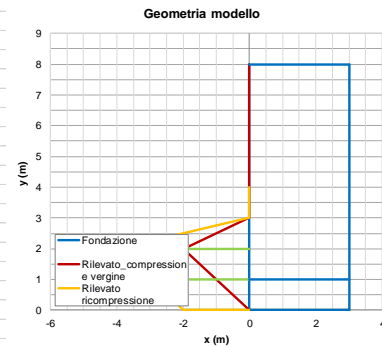
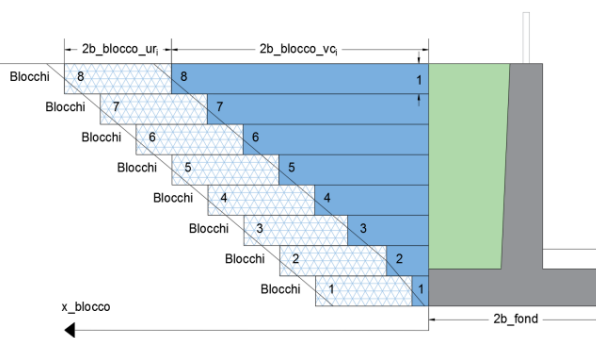
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} = 1.00$	$2.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	$8.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{kPa}$

##### BLOCCHI\_RICOMPRESSIONE

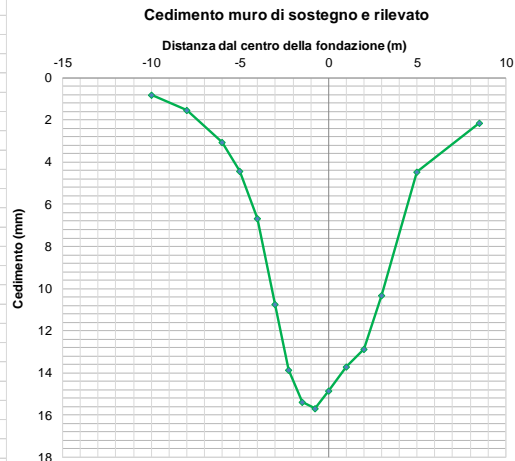
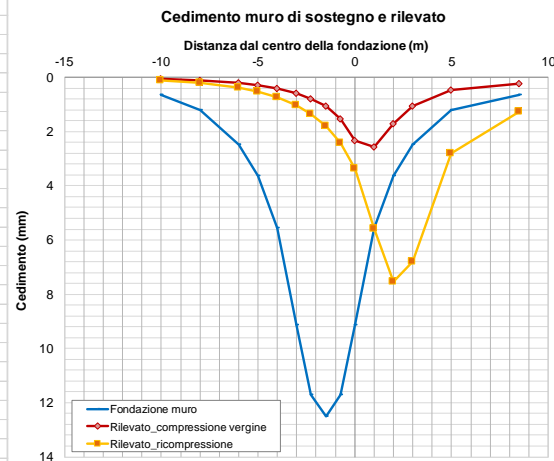
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	$2.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} = 2.00$	$2.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	$8.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{kPa}$

#### CALCOLO

Criterio definizione della profondità significativa:	sulla base di un valore target di incremento di sforzo
Valore target di incremento di sforzo	$\Delta\sigma/\sigma'v0 = 0.10$
Profondità significativa	$z_{\text{calc}} = 8.00$



#### SINTESI DEI RISULTATI

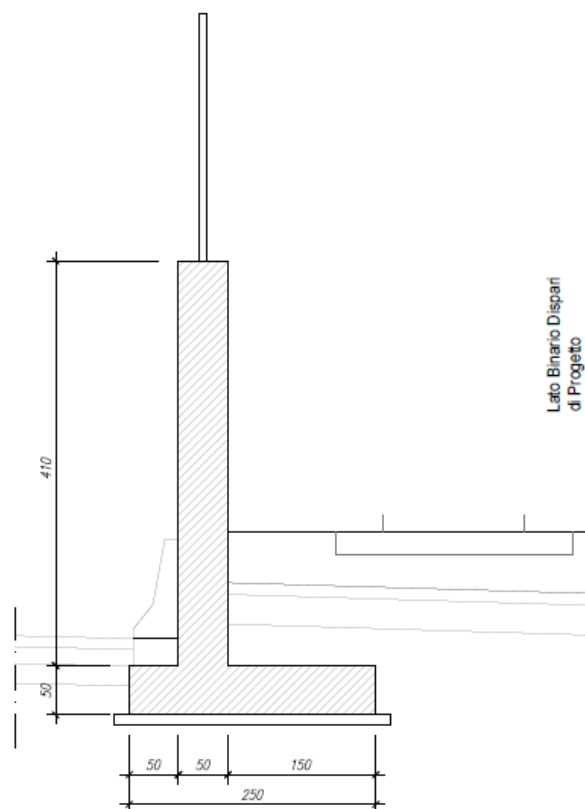


Cedimento massimo = 16mm

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 115 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 115 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 115 di 333		

### 8.3 Sez. Tipo 9 - Muro di linea (RI05) pk 5+024 a 5+220 (BD) pk 5+024 a 5+220 (BP)

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.



**Figura 8-26: Sezione di riferimento muro**

#### 8.3.1 Caratteristiche dei terreni

##### 8.3.1.1 Terreno spingente

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 38,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 25,33^\circ$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 116 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 116 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 116 di 333		

- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.3.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

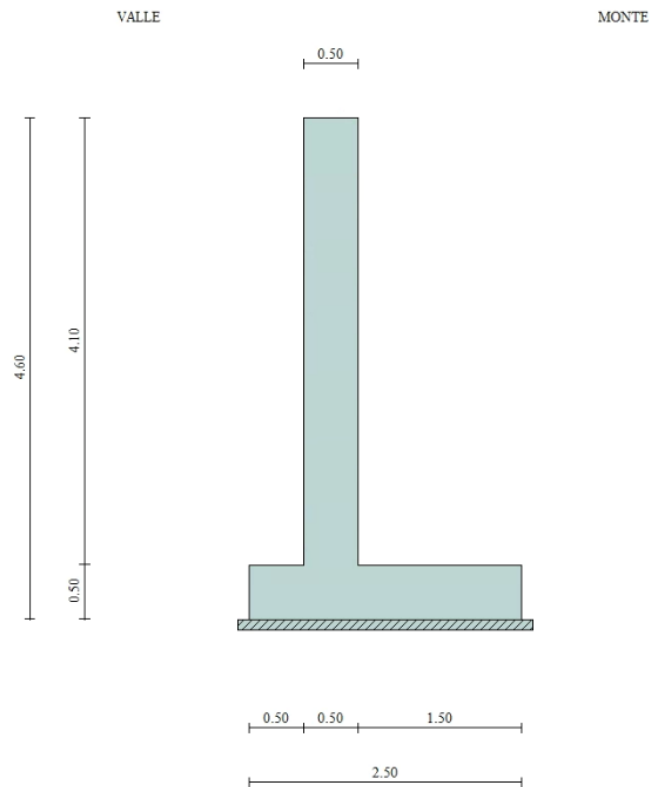
STRATO 2 (1 - 16m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.3.2 *Dati di progetto*

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA <b>NM27</b></td> <td>LOTTO <b>01 D 26</b></td> <td>CODIFICA <b>CL</b></td> <td>DOCUMENTO <b>CS0000003</b></td> <td>REV. <b>A</b></td> <td>FOGLIO <b>117 di 333</b></td> </tr> </table>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>117 di 333</b>
COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>117 di 333</b>		



**Figura 8-27: Sezione muro alla progressiva 4+605 km**

**Geometria muro e fondazione**

**Descrizione**

**Muro a mensola in calcestruzzo**

Altezza del paramento	4.10 [m]
Spessore in sommità	0.50 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.50 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.50 [m]
---------------------------------------	----------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 118 di 333

Lunghezza mensola fondazione di monte	1.50 [m]
Lunghezza totale fondazione	2.50 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

**Materiali utilizzati per la struttura**

*Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

*Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

**Geometria profilo terreno a monte del muro**

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0.02	-2.75	-89.58
2	4.00	-2.75	0.00
3	4.01	-2.03	89.20
4	9.14	-2.03	0.00

**Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0.00 [%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0.00 [m]

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 119 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 119 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 119 di 333		

### 8.3.3 *Analisi dei carichi*

#### 8.3.3.1 Sovraccarico permanente

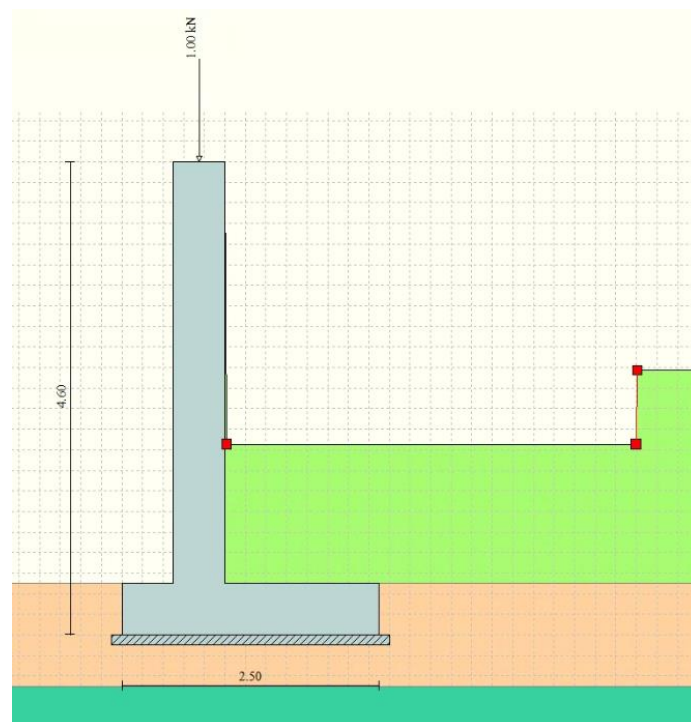
Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate, relativi a nuovi rilevati ferroviari:

- $\gamma_k = 20,00 \text{ kN/m}^3$       peso dell'unità di volume;
- $\varphi_k = 38^\circ$                       angolo di resistenza al taglio;
- $c_k = 0$                               coesione;
- $\delta_k = 25,33^\circ$                   angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

Per il ballast, dello spessore di 0,8m, si è invece considerato peso dell'unità di volume  $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ .

#### 8.3.3.2 Carico parapetto

Il parapetto è modellato come un carico lineare di  $1 \text{ kN/m}$ .



**Figura 8-28 – Applicazione dei carichi: Peso parapetto**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>120 di 333</b>

Nota: Si assume che il peso del parapetto sia "ben definito" ai sensi di quanto stabilità dalla tabella 2.6.I riportata nelle NTC2018.

### 8.3.3.3 Sovraccarico treni

I carichi verticali sono definiti per mezzo di modelli di carico, in particolare sono forniti due treni di carico distinti: il primo rappresentativo del traffico normale LM71, il secondo rappresentativo del traffico pesante SW2.

### Coefficiente di adattamento $\alpha$

I valori dei suddetti carichi relativi alla configurazione LM71 e SW2 dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento, variabile in ragione della tipologia dell’Infrastruttura (ferrovia ordinaria, ferrovia leggera metropolitana), viene di seguito riportata la tabella con la variabilità del coefficiente in base al tipo di linea o categoria di linea

Tipi di linea o categorie di linea STI	Valore minimo del fattore alfa ( $\alpha$ )
IV	1.1
V	1.0
VI	1.1
VII-P	0.83
VII-F, VII-M	0.91

Per completezza di informazioni viene di seguito riportata la tabella attinente alla categorie di linea STI per il sottosistema Infrastruttura del sistema ferroviario convenzionale:

Categorie di linea STI		Tipo di traffico		
		Traffico passeggeri (P)	Traffico merci (F)	Traffico misto (M)
Tipo di linea	Nuova linea TEN fondamentale (IV)	IV-P	IV-F	IV-M
	Linea TEN fondamentale ristrutturata (V)	V-P	V-F	V-M
	Altra nuova linea TEN (VI)	VI-P	VI-F	VI-M
	Altra linea TEN ristrutturata (VII)	VII-P	VII-F	VII-M





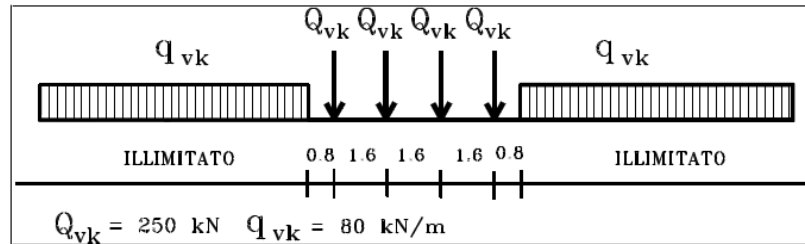
**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA: NM27    LOTTO: 01 D 26    CODIFICA: CL    DOCUMENTO: CS0000003    REV.: A    FOGLIO: 121 di 333

Treno di carico LM71



E' stato applicato un carico distribuito equivalente dei 4 assi 250 kN ad interasse 1.60 m.

$$q_{\text{equivalente}} = 4 \times 250 / 6.40 = 156.25 \text{ kN/m.}$$

Il carico è opportunamente distribuito sulla larghezza della traversa, cioè 2,4m.

$$Q_{vk} = 4 \times 250 / (6.40 \times 2.4) = 65.10 \text{ kN/m}^2$$

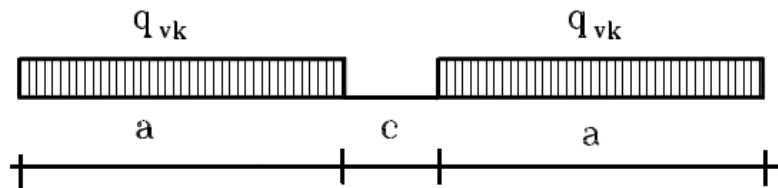
$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{vk} = 80 / 2.4 = 33.33 \text{ kN/m}^2$$

$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 33.33 \times 1.10 = \mathbf{36.67 \text{ kN/m}^2}$$

La diffusione attraverso lo spessore del ballast avviene in automatico, perché il ballast è effettivamente modellato.

Treno di carico SW2



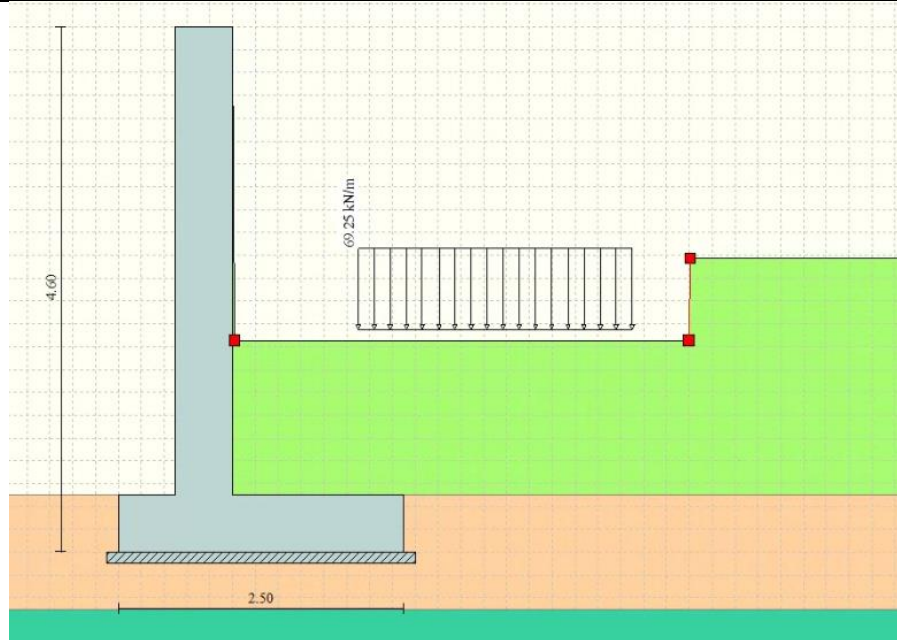
$$q_{\text{equivalente}} = 150 / 2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 62.5 \times 1.10 \times 1.00 = \mathbf{68.75 \text{ kN/m}^2}$$

Ai fini del dimensionamento del muro di sostegno si considera il treno LM71 in quanto presenta un valore maggiore del carico verticale rispetto al treno SW/2.

Nota: Poiché il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  (1.5) per i carichi variabili, per l'imposizione dei carichi di traffico ferroviario si è adottato un valore ridotto che tiene conto del diverso valore del coefficiente  $\gamma$  (1.45) da utilizzare nelle combinazioni di progetto.

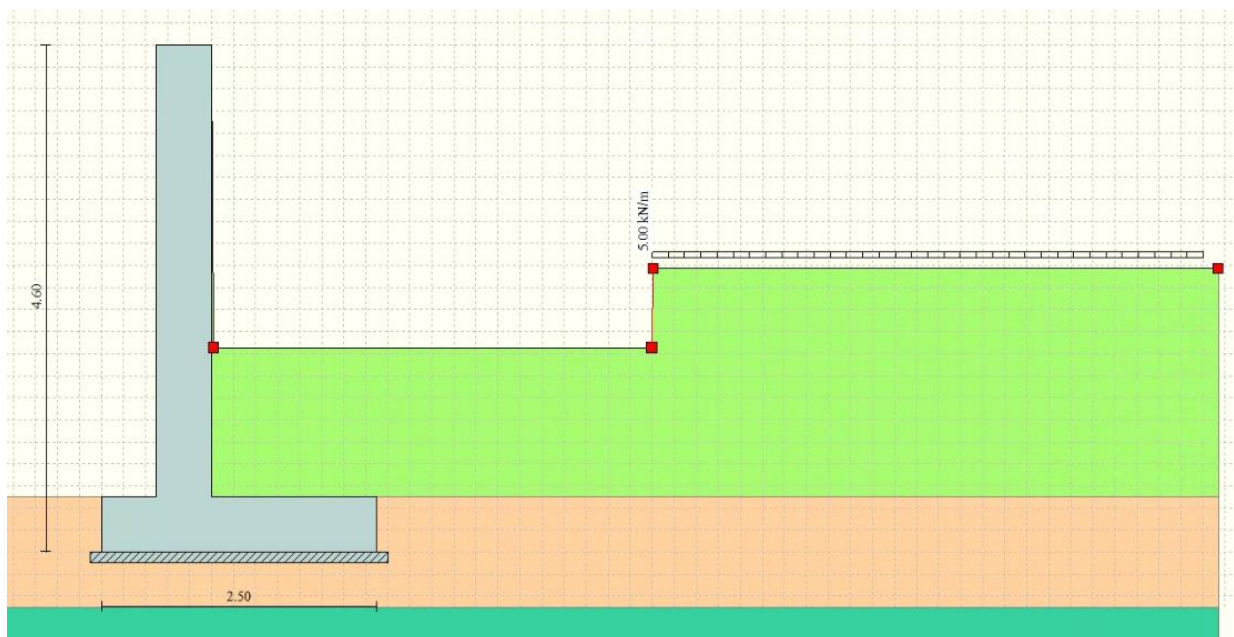
Il valore ridotto del carico del treno è 0.967 da cui segue  $0.967 \times 71,61 \text{ kN/m}^2 = 69,25 \text{ kN/m}^2$ .



**Figura 8-29 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

#### 8.3.3.4 Sovraccarico accidentale

Un carico accidentale minimo di  $5\text{kN/m}^2$  è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.



**Figura 8-30 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>123 di 333</b>

### 8.3.3.5 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

### 8.3.4 Combinazioni di carico

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-5: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 124 di 333

Azione/parametro/verifica	A2	M2	R2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio		1.25	
Coesione efficace		1.25	
Resistenza non drenata		1.4	
Peso dell'unità di volume		1	
Stabilità globale			1.1(*)

**Tabella 8-6: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance	A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1	
	Sfavorevoli	1.35	
Permanenti G2	Favorevoli	0.80	
	Sfavorevoli	1.5	
Ballast	Favorevoli	0.8	
	Sfavorevoli	1.5	
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0	
	Sfavorevoli	1.45	
Variabili Q	Favorevoli	0.0	
	Sfavorevoli	1.5	
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio		1	
Coesione efficace		1	
Resistenza non drenata		1	
Peso dell'unità di volume		1	
Capacità portante			1.4(*)
Scorrimento			1.1(*)
Ribaltamento			1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 125 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

$$\text{STR}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{GEO-EQU)} \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara)} \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente)} \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente)} \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

$$\text{Combinazione sismica} \rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

Nota: Poiché il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

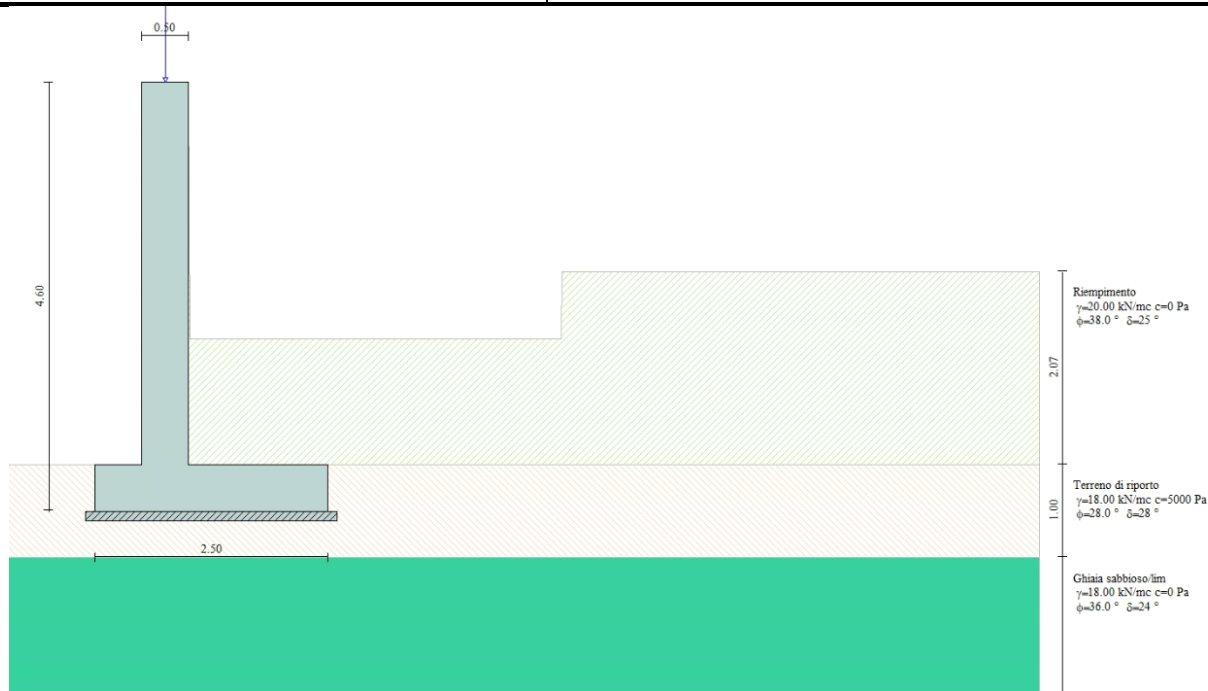
$$\text{per A1: } 1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv \text{peso specifico rilevato}$$

$$\text{per A2: } 1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq \text{peso specifico rilevato}$$

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.

La linea ferroviaria è ad una distanza dal muro di recinzione da non incidere sulla verifica di stabilità globale. È stato sviluppato un unico modello con i coefficienti A1, per l'opera in esame.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>126 di 333</b>



**Figura 8-31 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**

**Figura 8-32 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A2**

**Descrizione combinazione di carico**

*Simbologia adottata*

<i>F/S</i>	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **127 di 333**

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **128 di 333**

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00









**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **131 di 333**

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.60	0.60
Carichi accidentali	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 27 - Frequente (SLE)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.00	0.50	0.50
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 28 - Rara (SLE)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.00	0.80	0.80

Combinazione n° 29 - Rara (SLE)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.80	0.80

### 8.3.5 Verifiche

#### 8.3.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

- *Ribaltamento*



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **132 di 333**

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 22, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHESTI			
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>	4.36						
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>	--						
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>	--						
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>	--						

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Spinta statica	12.4801 [kN]			Incremento sismico	3.1543 [kN]		
Ang. rottura	54.177 [°]			Ang. rottura sismico	48.739 [°]		
Punto applicazione	(1.50 -3.83)			Punto applicazione	(1.50 -3.83)		
Componente dir. X	11.1947 [kN]			Componente dir. X	2.8294 [kN]		
Componente dir. Y	5.5166 [kN]			Componente dir. Y	1.3943 [kN]		
Inclinazione spinta	26.23 °						

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro	80.91 [kN]			Inerzia muro	8.63 [kN]		
Coordinate baricentro muro				X= -0.06 Y= -2.92			
				Inerzia verticale muro	4.32 [kN]		
Peso terrapieno	46.59 [kN]			Inerzia terrapieno	4.97 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno				X= 0.74 Y= -3.40			
				Inerzia verticale terrapieno	-2.49 [kN]		
Risultanti carichi esterni							
Componente dir. X = 0.11 [kN]		Componente dir. Y = 1.00 [kN]					

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Risultante dir. X	27.73 [kN]			Momento rib.	40.12 [kNm]		
Risultante dir. Y	128.61 [kN]			Momento stab.	175.10 [kNm]		
Componente normale	128.61 [kN]			Componente parallela	27.73 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)	12.17 °						
Pressione terreno [Pa]	Valle 76188			Monte	26697		
Eccentricità risultante	0.200 [m]			Lung. fondaz. reagente	2.50 [m]		
Carico limite della fondazione	805.50 [kN]			<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>			

**Figura 8-33 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)**

- *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 9, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHESTI			
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>	--						
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>	2.01						
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>	3.23						
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>	--						

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Spinta statica	55.8360 [kN]			Incremento sismico	0.0000 [kN]		
Ang. rottura	53.427 [°]			Ang. rottura sismico	0.000 [°]		
Punto applicazione	(1.50 -3.78)			Punto applicazione	(0.00 0.00)		
Componente dir. X	50.0832 [kN]			Componente dir. X	0.0000 [kN]		
Componente dir. Y	24.6848 [kN]			Componente dir. Y	0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta	26.24 °						

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro	80.91 [kN]			Inerzia muro	0.00 [kN]		
Coordinate baricentro muro				X= -0.06 Y= -2.92			
				Inerzia verticale muro	0.00 [kN]		
Peso terrapieno	82.60 [kN]			Inerzia terrapieno	0.00 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno				X= 0.74 Y= -3.40			
				Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]		
Risultanti carichi esterni							
		Componente dir. Y = 1.30 [kN]					

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Risultante dir. X	50.08 [kN]			Momento rib.	41.10 [kNm]		
Risultante dir. Y	189.49 [kN]			Momento stab.	282.42 [kNm]		
Componente normale	189.49 [kN]			Componente parallela	50.08 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)	14.80 °						
Pressione terreno [Pa]	Valle 71525			Monte	80068		
Eccentricità risultante	-0.023 [m]			Lung. fondaz. reagente	2.50 [m]		
Carico limite della fondazione	611.76 [kN]			<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>			

**Figura 8-34 – Risultati verifica allo scorrimento (da MAX 14)**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>133 di 333</b>

- *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 14, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella

Risultati combinazione n° 14 <b>Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav</b>		Risultati combinazione n° 14 <b>Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno sfav</b>	
Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti	Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti	Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti	Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti
CALCOLATI   RICHIESTI	Spinta statica   15.9585 [kN]	Spinta statica   15.9585 [kN]	Spinta statica   15.9585 [kN]
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento   --   --	Ang. rottura   47.083 [°]	Ang. rottura   47.083 [°]	Ang. rottura   47.083 [°]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento   3.43   1.10	Punto applicazione   (1.20 -1.66)	Punto applicazione   (1.20 -1.66)	Punto applicazione   (1.20 -1.66)
Coefficiente di sicurezza a carico limite   6.66   1.40	Componente dir. X   15.0891 [kN]	Componente dir. X   15.0891 [kN]	Componente dir. X   15.0891 [kN]
Coefficiente di sicurezza stabilità globale   --   --	Componente dir. Y   5.1956 [kN]	Componente dir. Y   5.1956 [kN]	Componente dir. Y   5.1956 [kN]
	Inclinazione spinta   19.00 °	Inclinazione spinta   19.00 °	Inclinazione spinta   19.00 °
Peso muro   52.27 [kN]	Inerzia muro   0.00 [kN]	Risultante dir. X   15.09 [kN]	Momento rib.   6.71 [kNm]
Coordinate baricentro muro   X=-0.04 Y=-1.44	Inerzia verticale muro   0.00 [kN]	Risultante dir. Y   97.32 [kN]	Momento stab.   109.21 [kNm]
Peso terrapieno   38.56 [kN]	Inerzia terrapieno   0.00 [kN]	Componente normale   97.32 [kN]	Componente parallela   15.09 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno   X=0.60 Y=-1.10	Inerzia verticale terrapieno   0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)   8.81 °	Pressione terreno [Pa]   Valle 40886
Risultanti carichi esterni   Componente dir. Y = 1.30 [kN]		Pressione terreno [Pa]   Monte 56435	Monte   56435
		Eccentricità risultante   -0.053 [m]	Lung. fondaz. reagente   2.00 [m]
		Carico limite della fondazione   648.45 [kN]	Carico limite della fondazione   648.45 [kN]

Figura 8-35 – Risultati verifica al carico limite (da MAX 14)

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘geo’ num. 12, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-22:

Risultati combinazione n° 12 <b>Caso A2-M2 (GEO-STAB)</b>		Risultati combinazione n° 12 <b>Caso A2-M2 (GEO-STAB)</b>	
Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti	Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti	Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti	Coefficienti sicurezza   Spinta   Forze   Risultanti
CALCOLATI   RICHIESTI	Spinta statica   59.1851 [kN]	Spinta statica   59.1851 [kN]	Spinta statica   59.1851 [kN]
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento   --   --	Ang. rottura   50.361 [°]	Ang. rottura   50.361 [°]	Ang. rottura   50.361 [°]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento   --   --	Punto applicazione   (1.50 -3.77)	Punto applicazione   (1.50 -3.77)	Punto applicazione   (1.50 -3.77)
Coefficiente di sicurezza a carico limite   --   --	Componente dir. X   55.0690 [kN]	Componente dir. X   55.0690 [kN]	Componente dir. X   55.0690 [kN]
Coefficiente di sicurezza stabilità globale   1.19   1.10	Componente dir. Y   21.6860 [kN]	Componente dir. Y   21.6860 [kN]	Componente dir. Y   21.6860 [kN]
	Inclinazione spinta   21.49 °	Inclinazione spinta   21.49 °	Inclinazione spinta   21.49 °
Peso muro   80.91 [kN]	Inerzia muro   0.00 [kN]	Risultante dir. X   55.07 [kN]	Momento rib.   45.89 [kNm]
Coordinate baricentro muro   X=-0.06 Y=-2.92	Inerzia verticale muro   0.00 [kN]	Risultante dir. Y   180.65 [kN]	Momento stab.   265.06 [kNm]
Peso terrapieno   77.06 [kN]	Inerzia terrapieno   0.00 [kN]	Componente normale   180.65 [kN]	Componente parallela   55.07 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno   X=0.74 Y=-3.40	Inerzia verticale terrapieno   0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)   16.95 °	Pressione terreno [Pa]   Valle 78646
Risultanti carichi esterni   Componente dir. Y = 1.00 [kN]		Pressione terreno [Pa]   Monte 65876	Monte   65876
		Eccentricità risultante   0.037 [m]	Lung. fondaz. reagente   2.50 [m]
		Carico limite della fondazione   270.76 [kN]	Carico limite della fondazione   270.76 [kN]

Figura 8-36 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>134 di 333</b>

### 8.3.5.2 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo

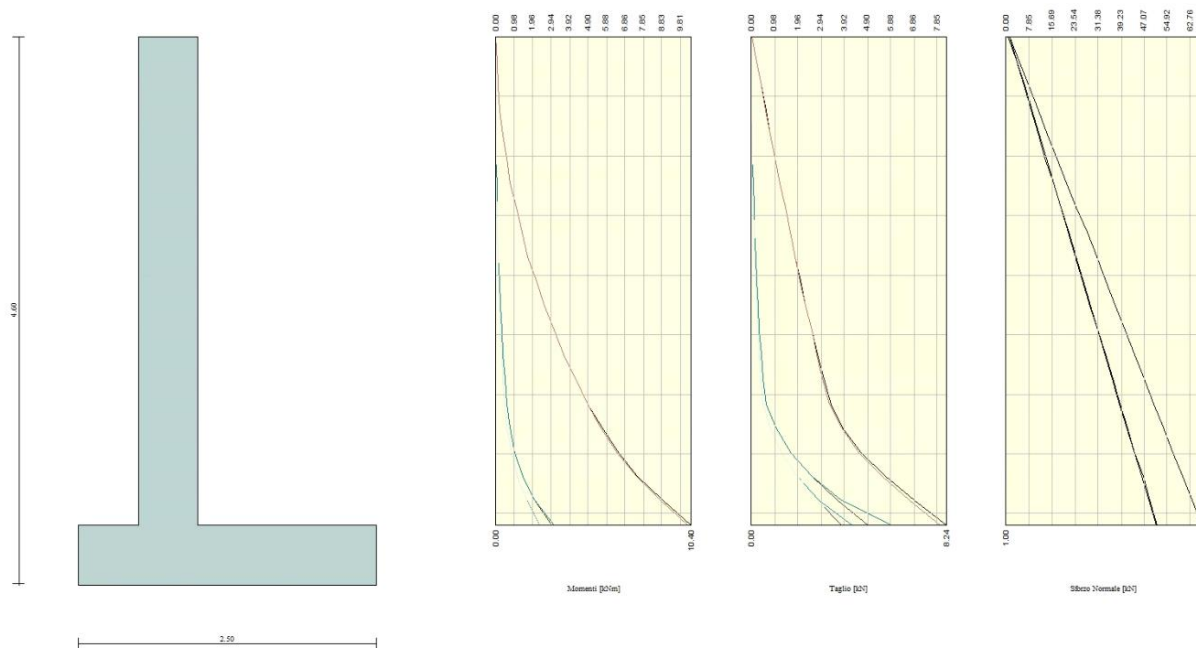
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L'obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-37 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-4.1 m)

Combinazione 13 :  $M_{Ed} = 10.40$  kNm

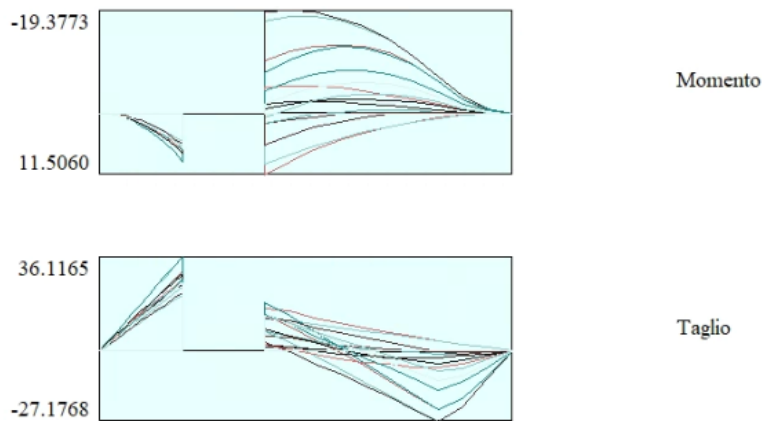
Valore di progetto del taglio agente (-4.1 m)

Combinazione 13:  $V_{Ed} = 8.24$  kN

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 135 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 135 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 135 di 333		

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



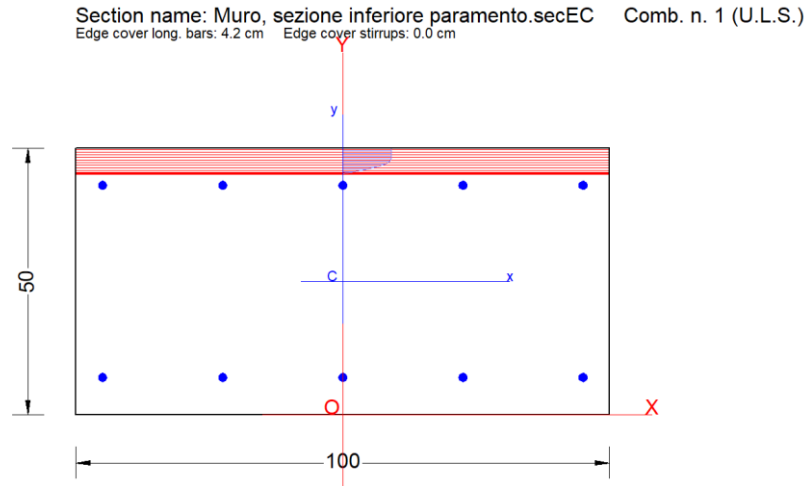
**Figura 8-38 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 9:  $M_{Ed} = -19.4 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 10:  $V_{Ed} = 36.1 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

### 8.3.5.2.1 Sezione inferiore del paramento



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

#### Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:	
Reference code:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Exposure Class:	XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)
Structural member of belonging:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Section type:	Predefined section
Cross-section shape:	Rectangular
Stress path:	Constant axial force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes x,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength $f_{cd}$ :	18.1 MPa
	Strain at max strength $\epsilon_{c2}$ :	0.0020
	Ultimate strain $\epsilon_{cu}$ :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus $E_{cm}$ :	33345.8 MPa
	Mean tensile strength $f_{ctm}$ :	3.0 MPa
	$E_s/E_c$ in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	19.2 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	19.2 MPa
	$w_k \lim$ =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. $k_3$ :	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. $k_4$ :	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	14.4 MPa
	$w_k \lim$ =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress $f_{yk}$ :	450.0 MPa
	Tensile strength $f_{tk}$ :	540.0 MPa
	Design yield stress $f_{yd}$ :	391.3 MPa
	Design strength $f_{td}$ :	391.3 MPa





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **137 di 333**

Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
Stirrups:	B500A	
Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
Tensile strength ftk:	540.00	MPa
Design yield stress fyd:	434.8	MPa
Design strength ftd:	434.8	MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
VY	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	10.40	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check										
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)										
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference										
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)										
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference										
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0										
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system										
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]										
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section										
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]										
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]										
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]										
1	OK	0.00	10.40	-0.16	176.95	17.015	45.2	156.38	---	---	---

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **138 di 333**

es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01202	50.0	-0.00157	43.0	-0.02765	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0327157
2	-50.0	50.0	18.13	0.0035000
3	50.0	50.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0327157

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0276455
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0276455
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0276455
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0276455
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0276455
6	-45.0	43.0	-314.04	-0.0015702
7	-22.5	43.0	-314.04	-0.0015702
8	0.0	43.0	-314.04	-0.0015702
9	22.5	43.0	-314.04	-0.0015702
10	45.0	43.0	-314.04	-0.0015702

**Verifica a Taglio**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>139 di 333</b>

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset 16$	$= 10.05$	$\text{cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0$	$= 0.00$	$\text{cm}^2$
$d = 430$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0$	$= 0.00$	$\text{cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo		$10.05$	$\text{cm}^2$

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 8.2 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.432$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

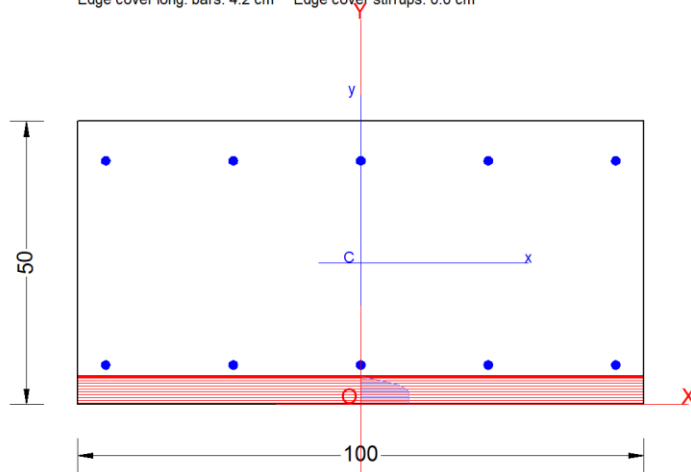
$$V_{Rd} = 169.7 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 185.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 185.7 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.3.5.2.2 Sezione della fondazione

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
 Edge cover long. bars: 4.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 140 di 333

**Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC**

Section description:  
Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE -	Class:	C30/37	
	Design compressive strength fcd:	17.0	MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020	
	Ultimate strain ecu:	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle	
	Mean elastic modulus Ecm:	32836.6	MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0	MPa
	Stress limit Frequent SLS:	18.0	MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300	mm
	Coeff. k3:	3.4000	§ 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250	§ 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5	MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200	mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.0	MPa
	Tensile strength ftk:	540.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	Stirrups:	B500A	
	Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
	Tensile strength ftk:	540.00	MPa
	Design yield stress fyd:	434.8	MPa
	Design strength ftd:	434.8	MPa
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section
VY	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **141 di 333**

T Design torsional Moment [kN m]				
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-19.37	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars: 4.2 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 20.9 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	-19.37	-0.28	-175.26	9.048	5.0	-156.06	---	---	---
---	----	------	--------	-------	---------	-------	-----	---------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

Check	Result of check
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01163	0.0	-0.00144	7.0	-0.02687	43.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N.	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	17.00	0.0035000
2	-50.0	50.0	0.00	-0.0318085
3	50.0	50.0	0.00	-0.0318085
4	50.0	0.0	17.00	0.0035000

**Longitudinal Bars:**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 142 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-288.64	-0.0014432
2	-22.5	7.0	-288.64	-0.0014432
3	0.0	7.0	-288.64	-0.0014432
4	22.5	7.0	-288.64	-0.0014432
5	45.0	7.0	-288.64	-0.0014432
6	-45.0	43.0	-434.78	-0.0268654
7	-22.5	43.0	-434.78	-0.0268654
8	0.0	43.0	-434.78	-0.0268654
9	22.5	43.0	-434.78	-0.0268654
10	45.0	43.0	-434.78	-0.0268654

 <b>ITALFERR</b> <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>143 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 430$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			$10.05 \text{ cm}^2$

#### • Sollecitazioni (compressione < 0, trazione > 0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 36.1 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.418$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 166.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 179.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 179.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.3.5.3 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

#### • Le fessure limite sono:

- c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \quad w_2 = 0,3 \text{ mm} \quad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 144 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 144 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 144 di 333		

*Stato limite di apertura delle fessure*

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
  - La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 f_{yk}$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per gli SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

$$M = 2.35 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = -7.94 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

$$M = 2.30 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 6.18 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

$$M = 2.30 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 6.00 \text{ kNm}$$

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

### 8.3.5.3.1 Sezione inferiore del paramento

SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>145 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	2.35

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	2.30

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	2.30

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check Result of Check  
Sc max Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc max y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)  
Sc min Min compression stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc min y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)  
Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]  
Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)  
hc eff Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars  
Ac eff Effective tension area [cm<sup>2</sup>] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)  
As eff Area of tension steel bars [cm<sup>2</sup>] within Ac eff (for crack width control)  
D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]  
(D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.12	50.0	0.00	39.8	-5.9	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check Result of check  
e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]  
kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])  
k2 = 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2\*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
Ø | c Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
sr max Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es  
Max final crack [mm] spacing



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **146 di 333**

wk Calculated value [mm] of crack width =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets  
M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00004	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000018 (0.00002)	575	0.010	137.81

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000358
2	-50.0	50.0	0.114	0.0000085
3	50.0	50.0	0.114	0.0000085
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000358

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-5.92	-0.0000296
2	-22.5	7.0	-5.92	-0.0000296
3	0.0	7.0	-5.92	-0.0000296
4	22.5	7.0	-5.92	-0.0000296
5	45.0	7.0	-5.92	-0.0000296
6	-45.0	43.0	0.47	0.0000023
7	-22.5	43.0	0.47	0.0000023
8	0.0	43.0	0.47	0.0000023
9	22.5	43.0	0.47	0.0000023
10	45.0	43.0	0.47	0.0000023

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.12	50.0	0.00	39.8	-5.8	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00004	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000017 (0.00002)	575	0.010 (0.30)	137.81

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **147 di 333**

e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000350
2	-50.0	50.0	0.112	0.0000084
3	50.0	50.0	0.112	0.0000084
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000350

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-5.79	-0.0000290
2	-22.5	7.0	-5.79	-0.0000290
3	0.0	7.0	-5.79	-0.0000290
4	22.5	7.0	-5.79	-0.0000290
5	45.0	7.0	-5.79	-0.0000290
6	-45.0	43.0	0.46	0.0000023
7	-22.5	43.0	0.46	0.0000023
8	0.0	43.0	0.46	0.0000023
9	22.5	43.0	0.46	0.0000023
10	45.0	43.0	0.46	0.0000023

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.12	50.0	0.00	39.8	-5.8	43.0	13.5	1345	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00004	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000017 (0.00002)	575	0.010 (0.20)	137.81

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000350
2	-50.0	50.0	0.112	0.0000084
3	50.0	50.0	0.112	0.0000084
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000350

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **148 di 333**

Bar N.	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)		Strain in each bar	
	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-5.79	-0.0000290
2	-22.5	7.0	-5.79	-0.0000290
3	0.0	7.0	-5.79	-0.0000290
4	22.5	7.0	-5.79	-0.0000290
5	45.0	7.0	-5.79	-0.0000290
6	-45.0	43.0	0.46	0.0000023
7	-22.5	43.0	0.46	0.0000023
8	0.0	43.0	0.46	0.0000023
9	22.5	43.0	0.46	0.0000023
10	45.0	43.0	0.46	0.0000023

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-377.98	10.1	5.3
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-377.98	10.1	5.3

**8.3.5.3.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-7.94

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	6.18

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>149 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	6.00

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.41	0.0	0.00	13.8	-19.5	7.0	13.3	1328	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
Ø   c	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00012	0	0.500	16 6.2	0.008	0.000058 (0.00006)	570	0.033	-132.01

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.402	0.0000301
2	-50.0	50.0	0.000	-0.0001182
3	50.0	50.0	0.000	-0.0001182



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **150 di 333**

4 50.0 0.0 0.402 0.0000301

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	1.87	0.0000094
2	-22.5	7.0	1.87	0.0000094
3	0.0	7.0	1.87	0.0000094
4	22.5	7.0	1.87	0.0000094
5	45.0	7.0	1.87	0.0000094
6	-45.0	43.0	-19.48	-0.0000974
7	-22.5	43.0	-19.48	-0.0000974
8	0.0	43.0	-19.48	-0.0000974
9	22.5	43.0	-19.48	-0.0000974
10	45.0	43.0	-19.48	-0.0000974

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.30	50.0	0.00	40.4	-15.6	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00009	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000047 (0.00005)	575	0.027 (0.30)	132.01

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000942
2	-50.0	50.0	0.299	0.0000225
3	50.0	50.0	0.299	0.0000225
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000942

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-15.57	-0.0000778
2	-22.5	7.0	-15.57	-0.0000778



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **151 di 333**

3	0.0	7.0	-15.57	-0.0000778
4	22.5	7.0	-15.57	-0.0000778
5	45.0	7.0	-15.57	-0.0000778
6	-45.0	43.0	1.23	0.0000061
7	-22.5	43.0	1.23	0.0000061
8	0.0	43.0	1.23	0.0000061
9	22.5	43.0	1.23	0.0000061
10	45.0	43.0	1.23	0.0000061

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.29	50.0	0.00	40.4	-15.1	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00009	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000045 (0.00005)	575	0.026 (0.20)	132.01

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000914
2	-50.0	50.0	0.291	0.0000218
3	50.0	50.0	0.291	0.0000218
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000914

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-15.11	-0.0000756
2	-22.5	7.0	-15.11	-0.0000756
3	0.0	7.0	-15.11	-0.0000756
4	22.5	7.0	-15.11	-0.0000756
5	45.0	7.0	-15.11	-0.0000756
6	-45.0	43.0	1.19	0.0000060
7	-22.5	43.0	1.19	0.0000060
8	0.0	43.0	1.19	0.0000060
9	22.5	43.0	1.19	0.0000060
10	45.0	43.0	1.19	0.0000060

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb. SLS combination number  
 Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent

Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1

#### 8.3.5.4 Riassunto delle armature

• *Sezione del muro*

**Lato a monte**                     $\Phi 16$  ogni 200mm

**Lato a vale**                     $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**        44x $\Phi 12$  (22 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

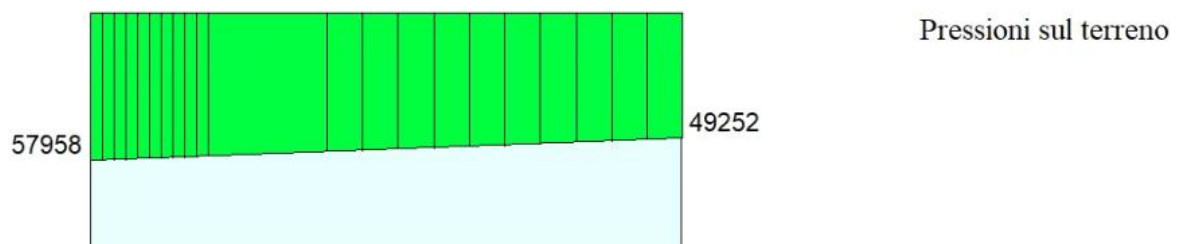
**Armatura superiore, dir. principale**         $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura superiore, dir. secondaria**         $\Phi 12$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. principale**         $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**         $\Phi 12$  ogni 200mm

#### 8.3.5.5 Verifica dei cedimenti



**Figure 8-39 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 2.50 m



	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 153 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 153 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 153 di 333		

H rilevato esistente media = 0.50 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.50 \times 18 = 9$  kPa

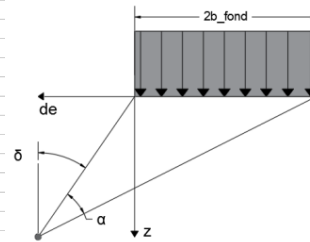
Pressione media dalla fondazione =  $(58 - 49) \times 2/3 + 49 = 55$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $55 - 9 = 46$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 14 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} = 20.00$	$\text{kN/m}^3$
Modulo elastico di compressione vergine	$E_{vc} = 20.00$	$\text{MPa}$
Modulo elastico di scarico e ricarica	$E_{ur} = 10.00$	$\text{MPa}$
Profondità falda rispetto alla fondazione	$H_w = 30.00$	$\text{m}$



**MURO DI SOSTEGNO**

Larghezza della fondazione	$2b_{\text{fond}} = 2.50$	$\text{m}$
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 55.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} = 46.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} = 9.00$	$\text{kN/m}^2$

**RILEVATO**

**BLOCCHI COMPRESSIONE VERGINE**

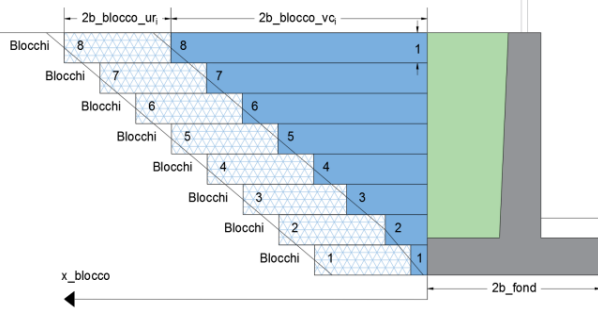
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} = 1.00$	$2.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	$8.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{kPa}$

**BLOCCHI RICOMPRESSIONE**

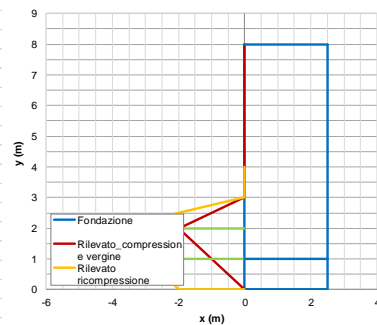
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	$2.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} = 2.00$	$2.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	$8.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$0.00$	$\text{kPa}$

**CALCOLO**

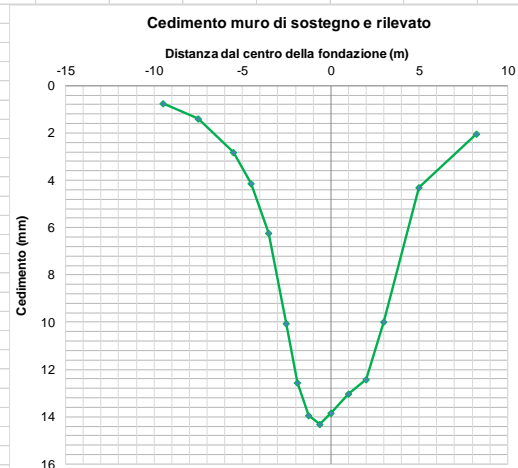
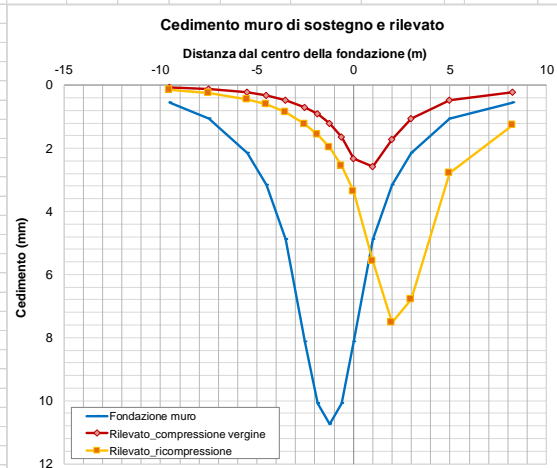
Criterio definizione della profondità significativa:	sulla base di un valore target di incremento di sforzo
Valore target di incremento di sforzo	$\Delta\sigma/\sigma'v0 = 0.10$
Profondità significativa	$z_{\text{calc}} = 8.00$



**Geometria modello**



**SINTESI DEI RISULTATI**

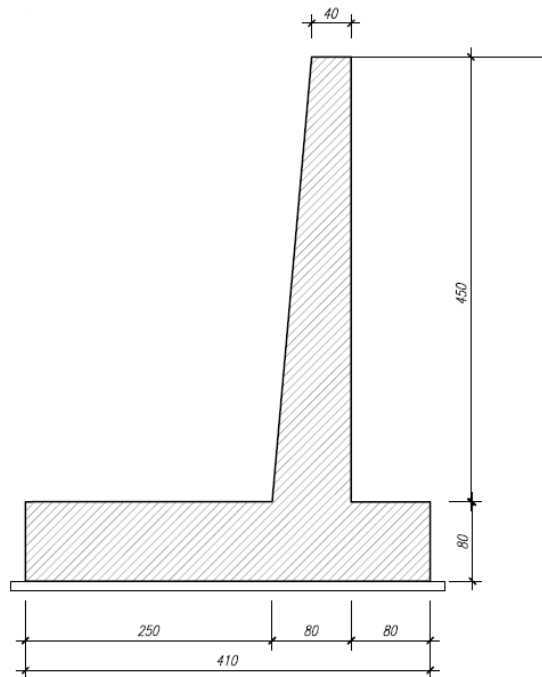


Cedimento massimo = 14mm

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 155 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 155 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 155 di 333		

**8.4 Sez. Tipo 11 - Muri di sostegno nella zona di transizione tra la TR01A a TR01B (pk 2+512) e tra TR02B e TR02C (pk 3+671)**

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.



**Figura 8-40: Sezione di riferimento muro**

**8.4.1 Caratteristiche dei terreni**

**8.4.1.1 Terreno spingente**

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici, corrispondenti alla stratigrafia del terreno in prossimità delle opere TR01 e TR02, dove è ubicata l’opera in esame:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 18,67^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 156 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 156 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 156 di 333		

#### 8.4.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1.5m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 2 (1.5 - 2.5m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 3 (2.5 - 6.5m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 4 (6.5 - 11.0m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

#### 8.4.2 *Dati di progetto*

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).

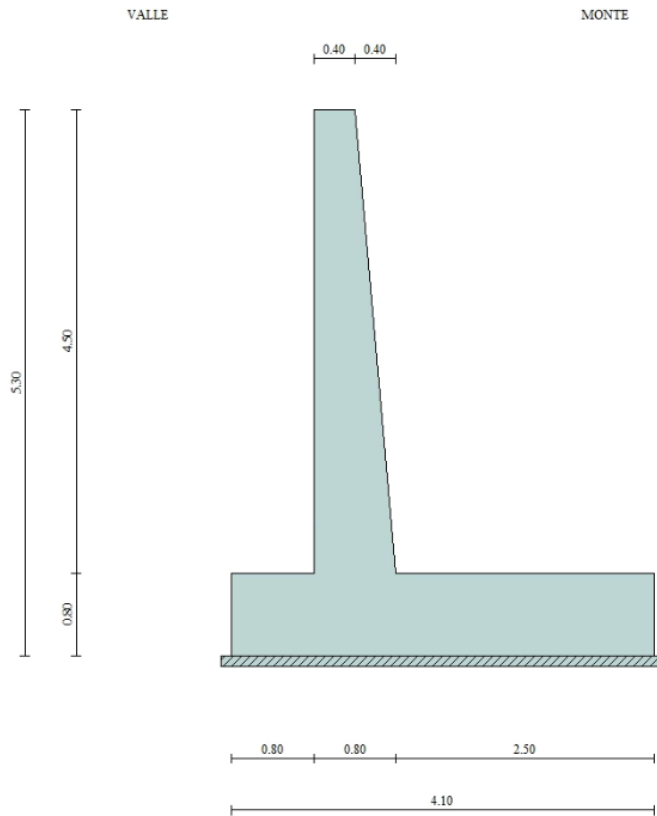


**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 157 di 333



**Figura 8-41: Sezione muro alla progressiva 2+512 km**

**Geometria muro e fondazione**

**Descrizione**

**Muro a mensola in c.a.**

Altezza del paramento	4.50 [m]
Spessore in sommità	0.40 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.80 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	5.08 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.80 [m]
---------------------------------------	----------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 158 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Lunghezza mensola fondazione di monte	2.50 [m]
Lunghezza totale fondazione	4.10 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.80 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

**Materiali utilizzati per la struttura**

*Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

*Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

**Geometria profilo terreno a monte del muro**

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

N	X	Y	A
1	0.06	-0.65	-84.73
2	11.00	-0.65	0.00

**Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0.00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0.00	[m]

**8.4.3 Analisi dei carichi**

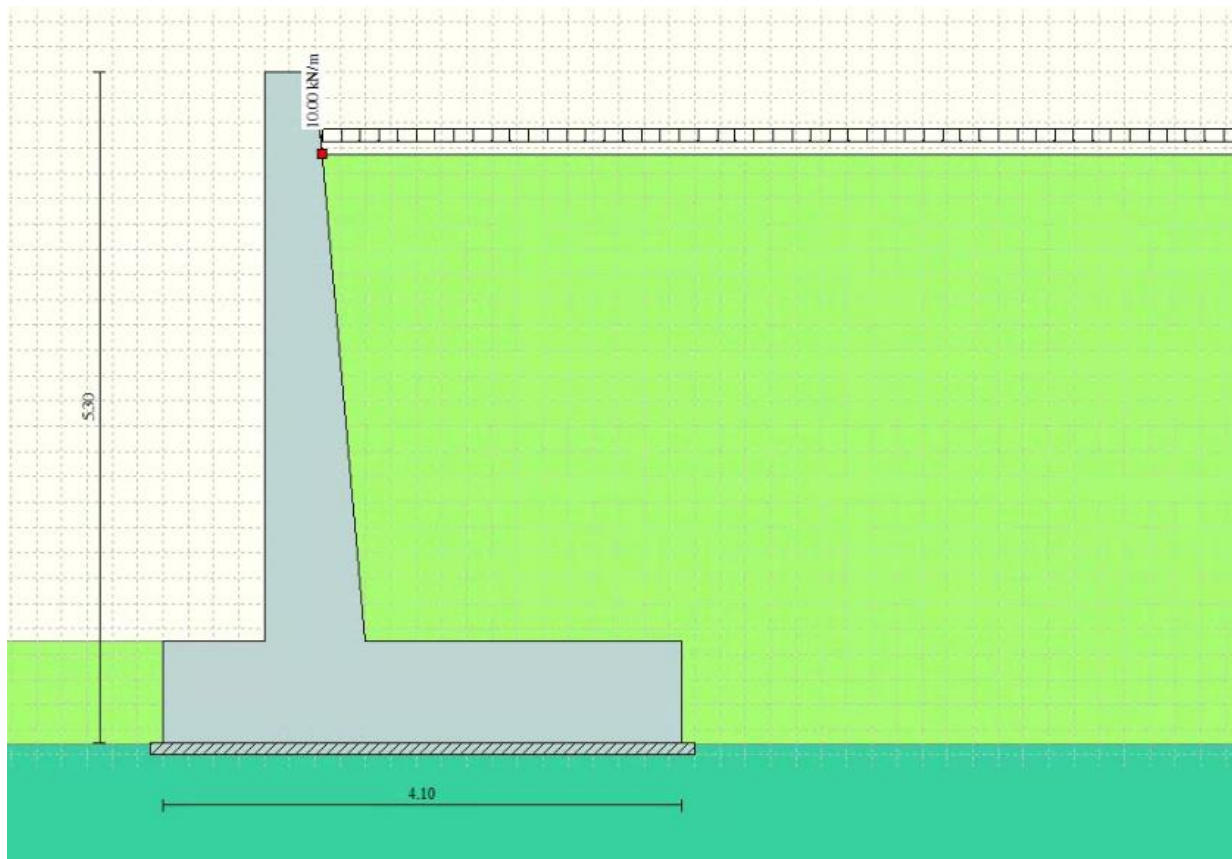
**8.4.3.1 Sovraccarico permanente**

Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate:

$\gamma_k = 18,00 \text{ kN/m}^3$  peso dell'unità di volume;  
 $\varphi_k = 28^\circ$  angolo di resistenza al taglio;  
 $c_k = 0$  coesione;  
 $\delta_k = 18,67^\circ$  angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

#### 8.4.3.2 Sovraccarico accidentale

Un carico accidentale minimo di  $10 \text{ kN/m}^2$  è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.



**Figura 8-42 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

#### 8.4.3.3 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>160 di 333</b>

#### 8.4.4 Combinazioni di carico

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell’insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-7: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		
Tangente dell’angolo di resistenza a taglio			1.25	
Coesione efficace			1.25	
Resistenza non drenata			1.4	
Peso dell’unità di volume			1	
Stabilità globale				1.1(*)



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 161 di 333

**Tabella 8-8: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance		A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1.35		
Permanenti G2	Favorevoli	0.80		
	Sfavorevoli	1.5		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.5		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.45		
Variabili Q	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.5		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1	
Coesione efficace			1	
Resistenza non drenata			1	
Peso dell'unità di volume			1	
Capacità portante				1.4(*)
Scorrimento				1.1(*)
Ribaltamento				1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{STR}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{GEO-EQU}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 162 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

$$\text{Frequente)} \rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente)} \rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

$$\text{Combinazione sismica} \rightarrow E + G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0,8, 0,6 e 0 con  $\psi_2 = 0,2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

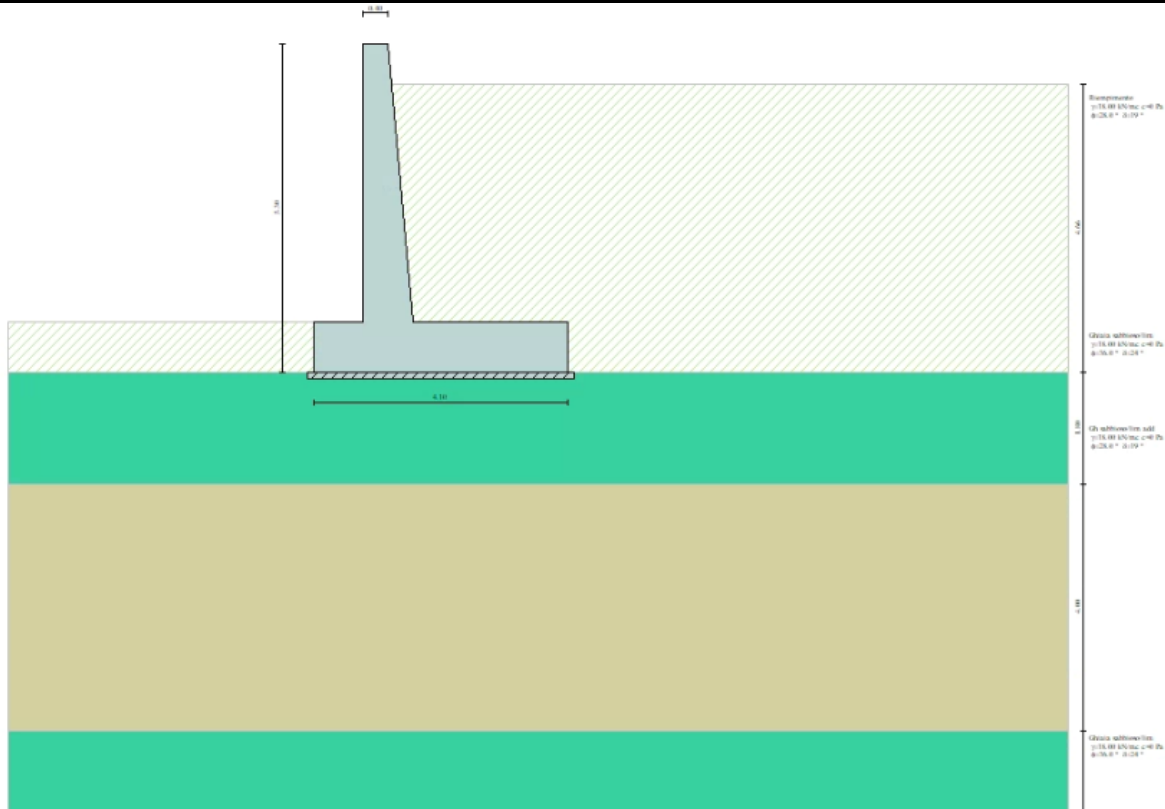
Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

$$\text{per A1: } 1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv \text{peso specifico rilevato}$$

$$\text{per A2: } 1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq \text{peso specifico rilevato}$$

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.

La linea ferroviaria è ad una distanza dal muro di recinzione da non incidere sulla verifica di stabilità globale. È stato sviluppato un unico modello con i coefficienti A1, per l'opera in esame.



**Figura 8-43 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**

**Descrizione combinazione di carico**

*Simbologia adottata*

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
--	-----	----------	--------	-----------------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 164 di 333

Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Condizione 2	SFAV	1.30	0.80	1.04

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Condizione 2	SFAV	1.30	0.80	1.04

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **166 di 333**

Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Condizione 2	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 16 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Condizione 2	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 17 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Condizione 2	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 18 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.30	0.80	1.04
Condizione 2	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 19 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 20 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 21 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
--	------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **167 di 333**

Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 22 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 23 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 24 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 25 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 26 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 27 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 28 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 168 di 333

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 29 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 30 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 31 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 32 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 33 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.00	1.00	1.00



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>169 di 333</b>

### 8.4.5 Verifiche

#### 8.4.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 21, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:

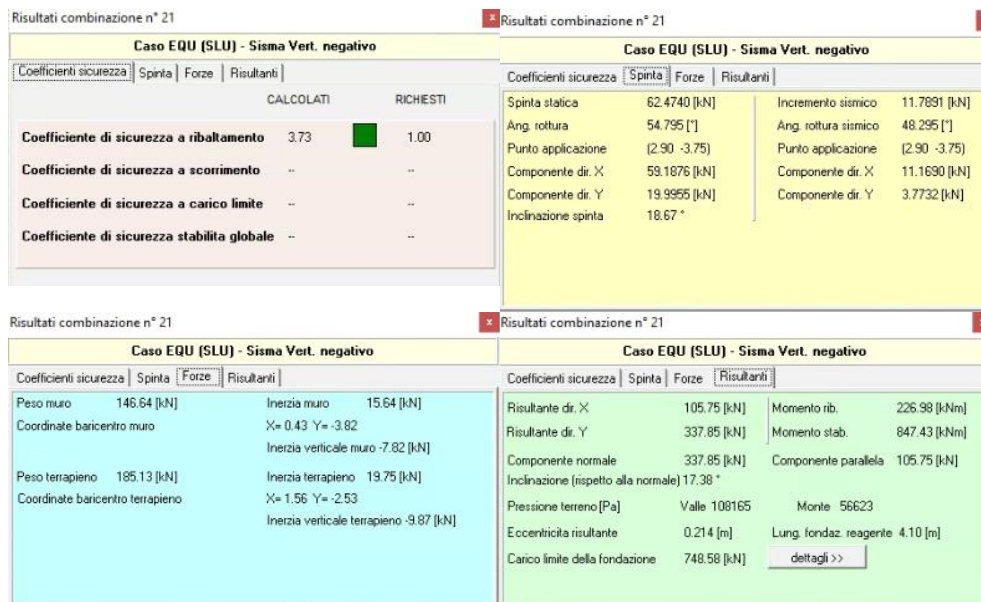


Figura 8-44 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)

- *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 20, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **170 di 333**

Risultati combinazione n° 20				Risultati combinazione n° 20			
Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
		CALCOLATI	RICHESTI				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--	--	--	Spinta statica	62.4740 [kN]	Incremento sismico	7.3751 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.29	1.00		Ang. rottura	54.795 [°]	Ang. rottura sismico	50.670 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	2.81	1.20		Punto applicazione	(2.90 -3.75)	Punto applicazione	(2.90 -3.75)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--	--		Componente dir. X	59.1876 [kN]	Componente dir. X	6.9871 [kN]
				Componente dir. Y	19.9955 [kN]	Componente dir. Y	2.3605 [kN]
				Inclinazione spinta	18.67 °		

Risultati combinazione n° 20				Risultati combinazione n° 20			
Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	146.64 [kN]	Inerzia muro	10.43 [kN]	Risultante dir. X	89.77 [kN]	Momento rib.	181.21 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X= 0.43 Y= -3.82	Inerzia verticale muro	-5.21 [kN]	Risultante dir. Y	342.34 [kN]	Momento stab.	841.64 [kNm]
Peso terrapieno	185.13 [kN]	Inerzia terrapieno	13.17 [kN]	Componente normale	342.34 [kN]	Componente parallela	89.77 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X= 1.56 Y= -2.53	Inerzia verticale terrapieno	-6.58 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.69 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 98275 Monte 68700
				Eccentricita risultante	0.121 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.10 [m]
				Carico limite della fondazione	962.68 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-45 – Risultati verifica allo scorrimento (da MAX 14)**

- *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 7, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella

Risultati combinazione n° 7				Risultati combinazione n° 7			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno sfav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno sfav			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
		CALCOLATI	RICHESTI				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--	--	--	Spinta statica	103.6214 [kN]	Incremento sismico	0.0000 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.59	1.10		Ang. rottura	54.795 [°]	Ang. rottura sismico	0.000 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	2.58	1.40		Punto applicazione	(2.90 -3.58)	Punto applicazione	(0.00 0.00)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--	--		Componente dir. X	98.1706 [kN]	Componente dir. X	0.0000 [kN]
				Componente dir. Y	33.1653 [kN]	Componente dir. Y	0.0000 [kN]
				Inclinazione spinta	18.67 °		

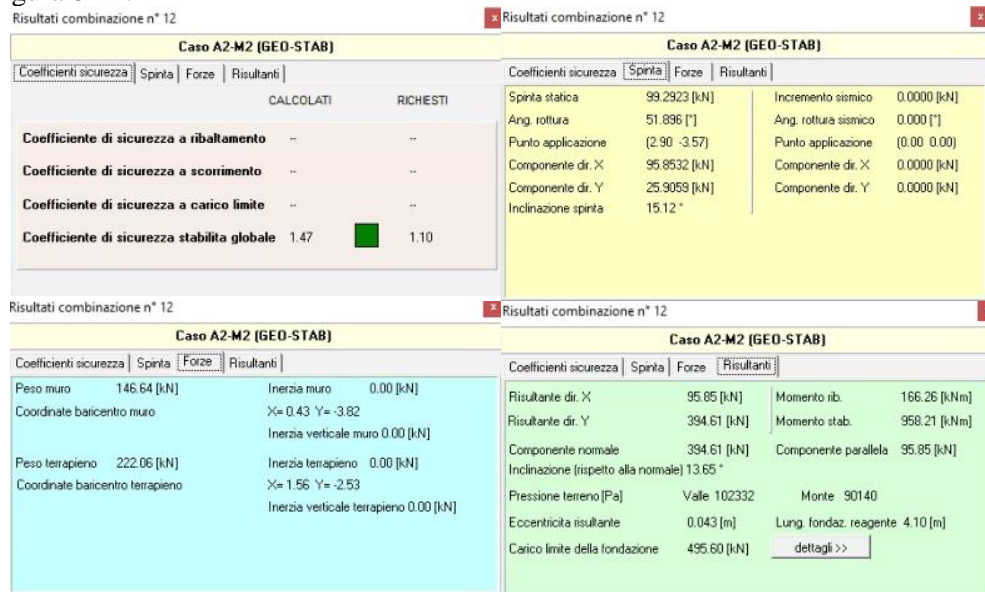
Risultati combinazione n° 7				Risultati combinazione n° 7			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno sfav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno sfav			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	146.64 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	98.17 [kN]	Momento rib.	168.70 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X= 0.43 Y= -3.82	Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	463.09 [kN]	Momento stab.	1157.12 [kNm]
Peso terrapieno	283.28 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	463.09 [kN]	Componente parallela	98.17 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X= 1.56 Y= -2.53	Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	11.97 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 99021 Monte 126852
				Eccentricita risultante	-0.084 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.10 [m]
				Carico limite della fondazione	1196.38 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-46 – Risultati verifica al carico limite (da MAX 14)**

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<p>COMMESSA <b>NM27</b>    LOTTO <b>01 D 26</b>    CODIFICA <b>CL</b>    DOCUMENTO <b>CS0000003</b>    REV. <b>A</b>    FOGLIO <b>171 di 333</b></p>

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘geo’ num. 12, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-22:



Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHESTI			
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento		..		..			
Coefficiente di sicurezza a scorrimento		..		..			
Coefficiente di sicurezza a carico limite		..		..			
Coefficiente di sicurezza stabilità globale		1.47		1.10			

Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Spinta statica		99.2923 [kN]		Incremento sismico		0.0000 [kN]	
Ang. rottura		51.896 [°]		Ang. rottura sismico		0.000 [°]	
Punto applicazione		(2.90 -3.57)		Punto applicazione		(0.00 0.00)	
Componente dir. X		95.8532 [kN]		Componente dir. X		0.0000 [kN]	
Componente dir. Y		25.9059 [kN]		Componente dir. Y		0.0000 [kN]	
Inclinazione spinta		15.12 °					

Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro		146.64 [kN]		Inerzia muro		0.00 [kN]	
Coordinate baricentro muro		X= 0.43 Y= -3.82		Inerzia verticale muro		0.00 [kN]	
Peso terrapieno		222.06 [kN]		Inerzia terrapieno		0.00 [kN]	
Coordinate baricentro terrapieno		X= 1.56 Y= -2.53		Inerzia verticale terrapieno		0.00 [kN]	

Caso A2-M2 (GEO-STAB)					
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti	
Risultante dir. X		95.85 [kN]		Momento rib. 166.26 [kNm]	
Risultante dir. Y		394.61 [kN]		Momento stab. 958.21 [kNm]	
Componente normale		394.61 [kN]		Componente parallela 95.85 [kN]	
Inclinazione (rispetto alla normale)		13.65 °			
Pressione terreno [Pa]		Vale 102332		Monte 90140	
Eccentricità risultante		0.043 [m]		Lung. fondaz. reagente 4.10 [m]	
Carico limite della fondazione		495.60 [kN]		<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-47 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

#### 8.4.5.2 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo

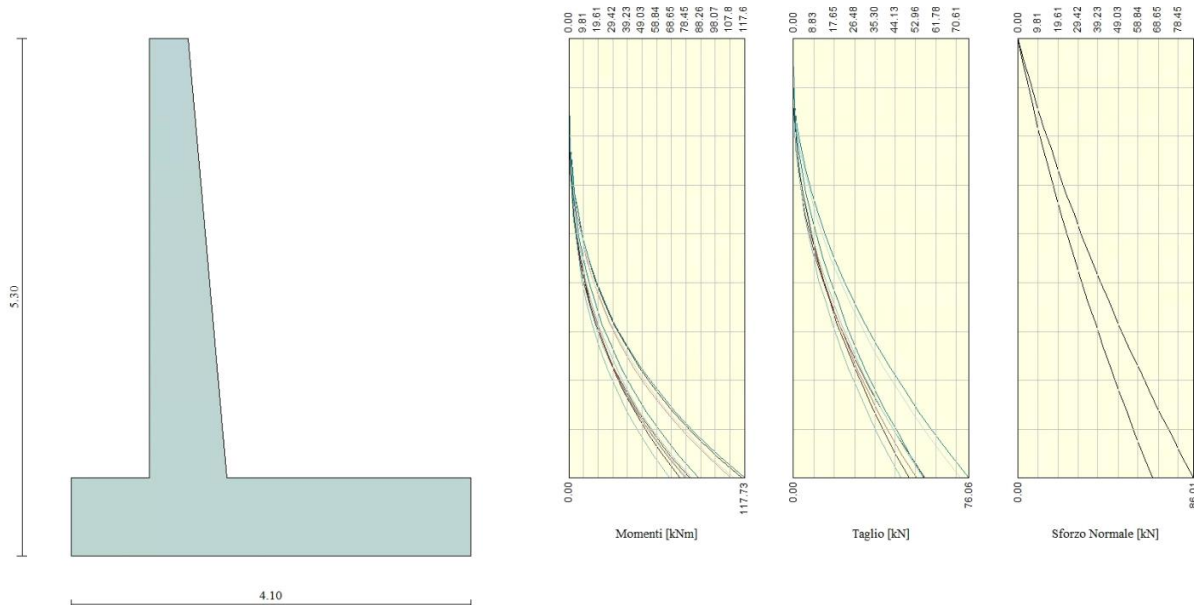
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L’obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-48 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-4.50 m)

Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 117.73 \text{ kNm}$

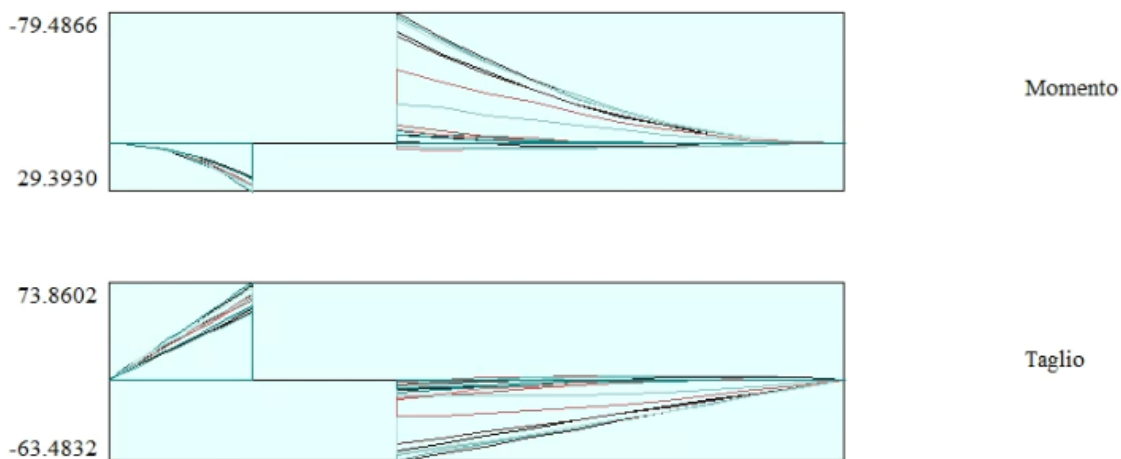
Valore di progetto del taglio agente (-4.50 m)

Combinazione 8:  $V_{Ed} = 76.06 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 173 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 173 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 173 di 333		



**Figura 8-49 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

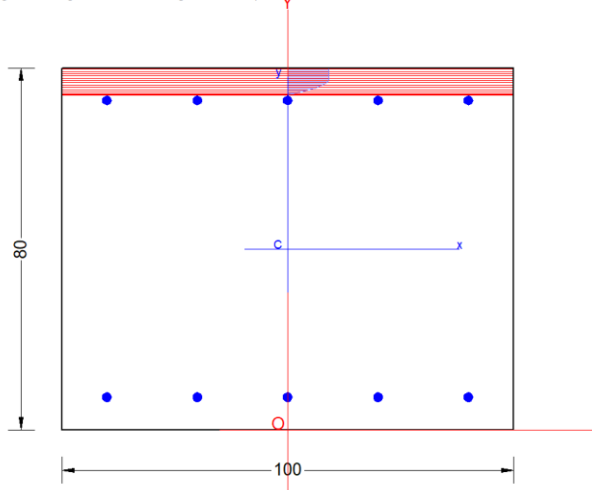
Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 9:  $M_{Ed} = -79.5 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 10:  $V_{Ed} = 73.86 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

#### 8.4.5.2.1 Sezione inferiore del paramento

Section name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
Edge cover long. bars: 6.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 174 di 333**

**GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION**

Section Name: **Muro, sezione inferiore paramento.secEC**

Section description:  
Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE - Class: C32/40  
Design compressive strength fcd: 18.1 MPa  
Strain at max strength ec2: 0.0020  
Ultimate strain ecu: 0.0035  
Compression diagram stress-strain: Parabola-Rectangle  
Mean elastic modulus Ecm: 33345.8 MPa  
Mean tensile strength fctm: 3.0 MPa  
Es/Ec in SLS combination: 15.00  
Stress limit Characteristic SLS: 19.2 MPa  
Stress limit Frequent SLS: 19.2 MPa  
wk lim =limit crack width Frequent SLS: 0.300 mm  
Coeff. k3: 3.4000 § 7.3.4(3) EC2  
Coeff. k4: 0.4250 § 7.3.4(3) EC2  
Stress limit Quasi-Permanent SLS: 14.4 MPa  
wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS: 0.200 mm

STEEL - Longitudinal Bars: B450C  
Characteristic yield stress fyk: 450.0 MPa  
Tensile strength ftk: 540.0 MPa  
Design yield stress fyd: 391.3 MPa  
Design strength ftd: 391.3 MPa  
Design ultimate strain esu: 0.068  
Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa  
Stirrups: B500A  
Characteristic yield stress fyk: 500.0 MPa  
Tensile strength ftk: 540.00 MPa  
Design yield stress fyd: 434.8 MPa  
Design strength ftd: 434.8 MPa  
Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa  
SLS Charact. - Ss Limit: 360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width: 100.0 cm  
Depth: 80.0 cm  
Bottom bars: 5Ø20 (15.7 cm<sup>2</sup>)  
Top bars: 5Ø20 (15.7 cm<sup>2</sup>)  
Low Cover (from centroid of bar): 7.2 cm  
Top Cover (from centroid of bar): 7.2 cm  
Web Cover (from centroid of bar): 10.0 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>175 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section
VY	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y
T	Design torsional Moment [kN m]

Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	117.73	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	6.2 cm
Min edge distance between longitudinal bars:	18.0 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	117.73	0.24	444.30	3.774	74.1	416.52	---	---	---
---	----	------	--------	------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01692	80.0	-0.00079	72.8	-0.03987	7.2

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N.	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
ec	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	ec
-----------	----	----	----	----



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 176 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

1	-50.0	0.0	0.00	-0.0441565
2	-50.0	80.0	18.13	0.0035000
3	50.0	80.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0441565

**Longitudinal Bars:**

Bar N.	Number assigned to the bars			
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,0			
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)			
e s	Strain in each bar			

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-434.78	-0.0398674
2	-20.0	7.2	-434.78	-0.0398674
3	0.0	7.2	-434.78	-0.0398674
4	20.0	7.2	-434.78	-0.0398674
5	40.0	7.2	-434.78	-0.0398674
6	-40.0	72.8	-157.82	-0.0007891
7	-20.0	72.8	-157.82	-0.0007891
8	0.0	72.8	-157.82	-0.0007891
9	20.0	72.8	-157.82	-0.0007891
10	40.0	72.8	-157.82	-0.0007891

**Verifica a Taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 800$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 72$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo

$f_{ck} = 32$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset$	$20 = 15.71$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset$	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 728$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset$	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 18.13$	MPa	resist. di calcolo			15.71 cm <sup>2</sup>

**• Sollecitazioni** (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$	kN	$V_{ed} = 76.1$	kN
----------------	----	-----------------	----

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.524$	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.373$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.002$	$< 0.02$
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa $< 0.2 f_{cd}$

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

$$V_{Rd} = 253.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 271.2 \text{ kN})$$

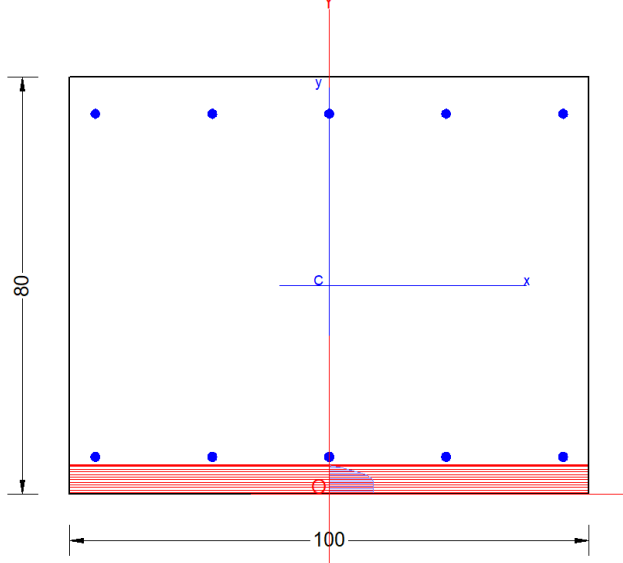
$$V_{Rd} = 271.2 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio



### 8.4.5.2.2 Sezione della fondazione

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
Edge cover long. bars: 4.1 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC

Section description:  
Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	18.0 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **178 di 333**

Design strength ftd:	391.3	MPa
Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
Stirrups:	B500A	
Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
Tensile strength ftk:	540.00	MPa
Design yield stress fyd:	434.8	MPa
Design strength ftd:	434.8	MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	80.0	cm
Bottom bars:	5Ø18	(12.7 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø18	(12.7 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.1	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.1	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-79.50	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.1	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.7	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check	
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)	
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference	
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)	
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference	
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0	
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system	
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]	
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section	
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]	
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]	

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	-79.50	0.02	-364.02	4.579	5.5	-339.35	---	---	---
---	----	------	--------	------	---------	-------	-----	---------	-----	-----	-----



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **179 di 333**

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max Ultimate compressive strain in concrete  
 ec\* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec\*>0 then the section is all compressed)  
 Yc max Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max  
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01833	0.0	-0.00102	7.1	-0.04292	72.9

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	17.00	0.0035000
2	-50.0	80.0	0.00	-0.0474359
3	50.0	80.0	0.00	-0.0474359
4	50.0	0.0	17.00	0.0035000

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-204.11	-0.0010206
2	-22.5	7.1	-204.11	-0.0010206
3	0.0	7.1	-204.11	-0.0010206
4	22.5	7.1	-204.11	-0.0010206
5	45.0	7.1	-204.11	-0.0010206
6	-45.0	72.9	-434.78	-0.0429153
7	-22.5	72.9	-434.78	-0.0429153
8	0.0	72.9	-434.78	-0.0429153
9	22.5	72.9	-434.78	-0.0429153
10	45.0	72.9	-434.78	-0.0429153

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>180 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 800$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 71$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset$	$18 = 12.72$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset$	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 729$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset$	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			$12.72$ cm <sup>2</sup>

#### • Sollecitazioni (compressione <0, trazione >0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 73.9 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.524$	<2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.361$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.002$	<0.02
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa <0.2 fcd

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

$$V_{Rd} = 231.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 262.9 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 262.9 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.4.5.3 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

#### • Le fessure limite sono:

c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \quad w_2 = 0,3 \text{ mm} \quad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 181 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 181 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 181 di 333		

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Stato limite di apertura delle fessure

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- a)  $\delta_f \leq w_i$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
  - La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 y_k$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per gli SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

M = 86.81 kNm

*Fondazione*

M = 22.17 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 74.62 kNm

*Fondazione*

M = 20.73 kNm

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

M = 67.30 kNm

*Fondazione*



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **182 di 333**

$M = 19.87 \text{ kNm}$

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

**8.4.5.3.1 Sezione inferiore del paramento**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	86.81

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	74.62

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	67.30

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check										
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)										
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)										
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]										
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)										
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars										
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)										
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)										
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)										
Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.45	80.0	0.00	64.7	-82.0	72.8	18.0	1800	15.7	21.4

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>183 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= 0.5 for bending; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
Ø   c	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio $A_{s\text{ eff}} / A_{c\text{ eff}}$ [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = $sr\text{ max} * (e\text{ sm} - e\text{ cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00046	0	0.500	20 6.2	0.009	0.000246 (0.00025)	600	0.148	360.86

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0004612
2	-50.0	80.0	1.450	0.0001088
3	50.0	80.0	1.450	0.0001088
4	50.0	0.0	0.000	-0.0004612

**Longitudinal Bars:**

N. Bar	Assigned numbers to each bar
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
e s	Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-81.98	-0.0004099
2	-20.0	7.2	-81.98	-0.0004099
3	0.0	7.2	-81.98	-0.0004099
4	20.0	7.2	-81.98	-0.0004099
5	40.0	7.2	-81.98	-0.0004099
6	-40.0	72.8	11.50	0.0000575
7	-20.0	72.8	11.50	0.0000575
8	0.0	72.8	11.50	0.0000575
9	20.0	72.8	11.50	0.0000575
10	40.0	72.8	11.50	0.0000575

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.25	80.0	0.00	64.7	-70.5	72.8	18.0	1800	15.7	21.4

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
---------	-------	----	----	----	-------	-------	-------------	--------	----	---------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **184 di 333**

1 OK -0.00040 0 0.500 20|6.2 0.009 0.000211 (0.00021) 600 0.127 (0.30) 360.86

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0003964
2	-50.0	80.0	1.247	0.0000935
3	50.0	80.0	1.247	0.0000935
4	50.0	0.0	0.000	-0.0003964

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-70.47	-0.0003523
2	-20.0	7.2	-70.47	-0.0003523
3	0.0	7.2	-70.47	-0.0003523
4	20.0	7.2	-70.47	-0.0003523
5	40.0	7.2	-70.47	-0.0003523
6	-40.0	72.8	9.88	0.0000494
7	-20.0	72.8	9.88	0.0000494
8	0.0	72.8	9.88	0.0000494
9	20.0	72.8	9.88	0.0000494
10	40.0	72.8	9.88	0.0000494

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.13	80.0	0.00	64.7	-63.6	72.8	18.0	1800	15.7	21.4

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00036	0	0.500	20 6.2	0.009	0.000191 (0.00019)	600	0.114 (0.20)	360.86

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
-----------	----	----	----	-----





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **185 di 333**

1	-50.0	0.0	0.000	-0.0003575
2	-50.0	80.0	1.124	0.0000843
3	50.0	80.0	1.124	0.0000843
4	50.0	0.0	0.000	-0.0003575

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-63.55	-0.0003178
2	-20.0	7.2	-63.55	-0.0003178
3	0.0	7.2	-63.55	-0.0003178
4	20.0	7.2	-63.55	-0.0003178
5	40.0	7.2	-63.55	-0.0003178
6	-40.0	72.8	8.91	0.0000446
7	-20.0	72.8	8.91	0.0000446
8	0.0	72.8	8.91	0.0000446
9	20.0	72.8	8.91	0.0000446
10	40.0	72.8	8.91	0.0000446

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb. SLS combination number  
Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent  
Region Part of concrete section under consideration (Web/Flange)  
k Coeff. which take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]  
kc Coeff. which take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]  
Ac eff Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]  
Ned SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]  
Sc =Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]  
Frc Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]  
k1 Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]  
As reg Area [cm<sup>2</sup>] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration  
As min Minimum Area [cm<sup>2</sup>] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.65	0.40	4000	---	---	---	-604.76	15.7	7.0
1	Quasi-perm.	Web	0.65	0.40	4000	---	---	---	-604.76	15.7	7.0

**8.4.5.3.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	86.81

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>186 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	74.62

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	67.30

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check Result of Check  
Sc max Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc max y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)  
Sc min Min compression stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc min y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)  
Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]  
Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)  
hc eff Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars  
Ac eff Effective tension area [cm<sup>2</sup>] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)  
As eff Area of tension steel bars [cm<sup>2</sup>] within Ac eff (for crack width control)  
D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]  
(D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.45	80.0	0.00	64.7	-82.0	72.8	18.0	1800	15.7	21.4

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check Result of check  
e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]  
kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])  
k2 = 0.5 for bending;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
Ø | c Equivalent bar diameter [mm] | cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es  
sr max Max final crack [mm] spacing  
wk Calculated value [mm] of crack width = sr max\*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets  
M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00046	0	0.500	20 6.2	0.009	0.000246 (0.00025)	600	0.148	360.86

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **187 di 333**

Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0004612
2	-50.0	80.0	1.450	0.0001088
3	50.0	80.0	1.450	0.0001088
4	50.0	0.0	0.000	-0.0004612

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-81.98	-0.0004099
2	-20.0	7.2	-81.98	-0.0004099
3	0.0	7.2	-81.98	-0.0004099
4	20.0	7.2	-81.98	-0.0004099
5	40.0	7.2	-81.98	-0.0004099
6	-40.0	72.8	11.50	0.0000575
7	-20.0	72.8	11.50	0.0000575
8	0.0	72.8	11.50	0.0000575
9	20.0	72.8	11.50	0.0000575
10	40.0	72.8	11.50	0.0000575

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.25	80.0	0.00	64.7	-70.5	72.8	18.0	1800	15.7	21.4

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00040	0	0.500	20 6.2	0.009	0.000211 (0.00021)	600	0.127 (0.30)	360.86

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0003964
2	-50.0	80.0	1.247	0.0000935
3	50.0	80.0	1.247	0.0000935
4	50.0	0.0	0.000	-0.0003964

**Longitudinal Bars:**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 188 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-70.47	-0.0003523
2	-20.0	7.2	-70.47	-0.0003523
3	0.0	7.2	-70.47	-0.0003523
4	20.0	7.2	-70.47	-0.0003523
5	40.0	7.2	-70.47	-0.0003523
6	-40.0	72.8	9.88	0.0000494
7	-20.0	72.8	9.88	0.0000494
8	0.0	72.8	9.88	0.0000494
9	20.0	72.8	9.88	0.0000494
10	40.0	72.8	9.88	0.0000494

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.13	80.0	0.00	64.7	-63.6	72.8	18.0	1800	15.7	21.4

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00036	0	0.500	20 6.2	0.009	0.000191 (0.00019)	600	0.114 (0.20)	360.86

**SLS - QUASI-PERMANENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0003575
2	-50.0	80.0	1.124	0.0000843
3	50.0	80.0	1.124	0.0000843
4	50.0	0.0	0.000	-0.0003575

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-40.0	7.2	-63.55	-0.0003178
2	-20.0	7.2	-63.55	-0.0003178
3	0.0	7.2	-63.55	-0.0003178
4	20.0	7.2	-63.55	-0.0003178
5	40.0	7.2	-63.55	-0.0003178
6	-40.0	72.8	8.91	0.0000446

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>189 di 333</b>

7	-20.0	72.8	8.91	0.0000446
8	0.0	72.8	8.91	0.0000446
9	20.0	72.8	8.91	0.0000446
10	40.0	72.8	8.91	0.0000446

#### SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.65	0.40	4000	---	---	---	-604.76	15.7	7.0
1	Quasi-perm.	Web	0.65	0.40	4000	---	---	---	-604.76	15.7	7.0

#### 8.4.5.4 Riassunto delle armature

##### •Sezione del muro

**Lato a monte**                     $\Phi 20$  ogni 200mm

**Lato a vale**                     $\Phi 20$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**            48x $\Phi 12$  (24 ogni lato)

##### •Sezione della fondazione

**Armatura superiore, dir. principale**             $\Phi 18$  ogni 200mm

**Armatura superiore, dir. secondaria**             $\Phi 12$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. principale**             $\Phi 18$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**             $\Phi 12$  ogni 200mm

#### 8.4.5.5 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.

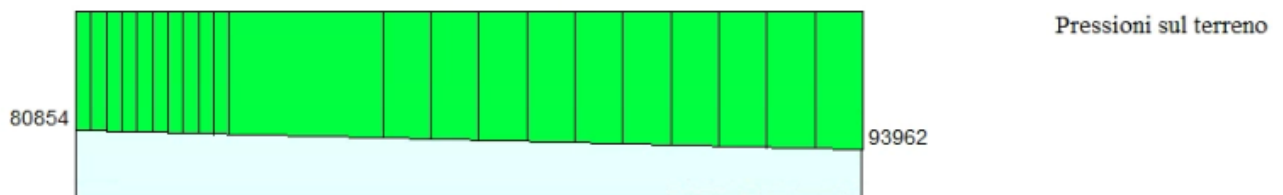


Figure 8-50 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA  
NM27

LOTTO  
01 D 26

CODIFICA  
CL

DOCUMENTO  
CS0000003

REV.  
A

FOGLIO  
190 di 333

Larghezza fondazione= 4.10 m

H rilevato esistente media = 0.80 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.80 \times 18 = 14.4$  kPa

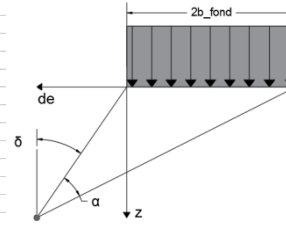
Pressione media dalla fondazione =  $(94 - 81) \times 2/3 + 81 = 90$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $90 - 14.4 = 76$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 33 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} = 20.00$	$\text{kN/m}^3$
Modulo elastico di compressione vergine	$E_{vc} = 20.00$	$\text{MPa}$
Modulo elastico di scarico e ricarico	$E_{ur} = 10.00$	$\text{MPa}$
Profondità falda rispetto alla fondazione	$H_w = 30.00$	$\text{m}$



**MURO DI SOSTEGNO**

Larghezza della fondazione	$2b_{\text{fond}} = 4.10$	$\text{m}$
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 90.40$	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} = 76.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} = 14.40$	$\text{kN/m}^2$

**RILEVATO**

**BLOCCHI COMPRESSIONE VERGINE**

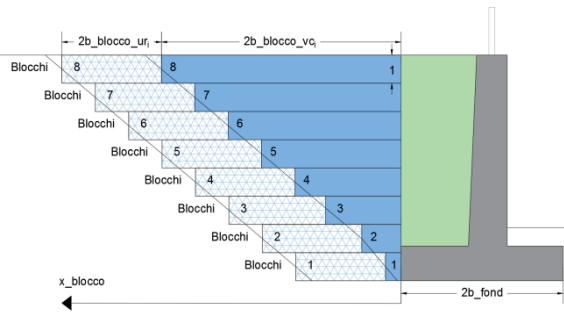
		<b>Blocco 1</b>	<b>Blocco 2</b>	<b>Blocco 3</b>	<b>Blocco 4</b>	<b>Blocco 5</b>	<b>Blocco 6</b>	<b>Blocco 7</b>	<b>Blocco 8</b>
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} = 1.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**BLOCCHI RICOMPRESSIONE**

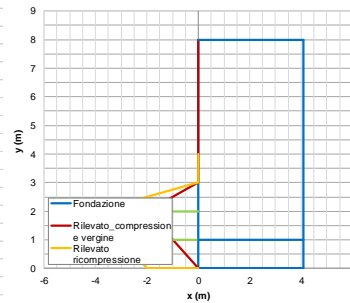
		<b>Blocco 1</b>	<b>Blocco 2</b>	<b>Blocco 3</b>	<b>Blocco 4</b>	<b>Blocco 5</b>	<b>Blocco 6</b>	<b>Blocco 7</b>	<b>Blocco 8</b>
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} = 2.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_ur}} = 20.00$	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**CALCOLO**

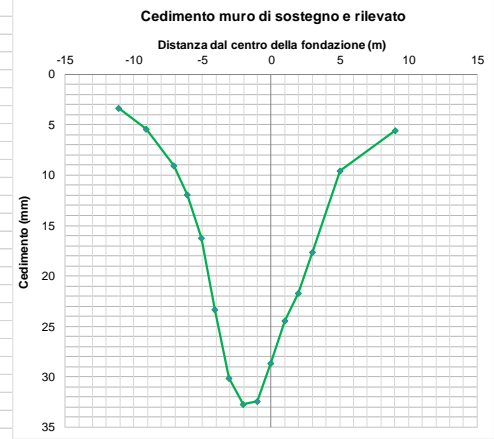
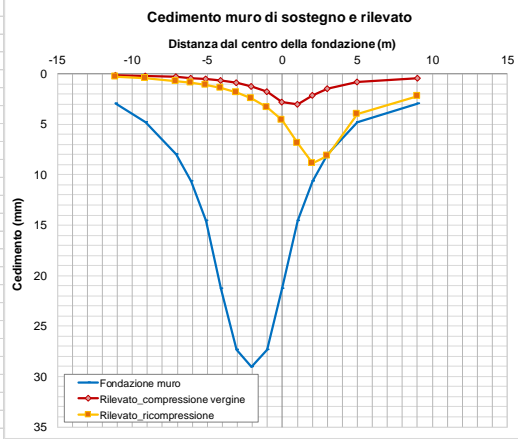
Criterio definizione della profondità significativa: sulla base di un valore target di incremento di sforzo  
 Valore target di incremento di sforzo  $\Delta\sigma/v'0 = 0.10$   
 Profondità significativa  $z_{\text{calc}} = 12.00$




**Geometria modello**



**SINTESI DEI RISULTATI**



Cedimento massimo = 33mm

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>192 di 333</b>

### 8.5 Sez. Tipo 10 - Muro di linea in corrispondenza della NV01 (TR03) pk: 4+650 a 4+796

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.

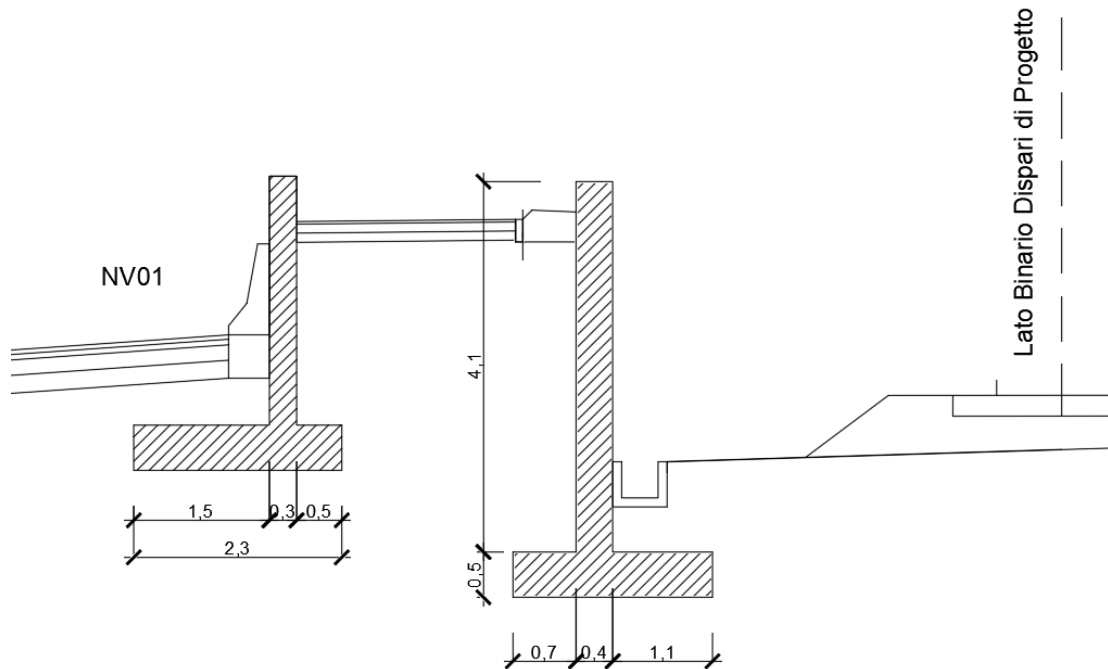


Figura 8-51: Sezione di riferimento muro

#### 8.5.1 Caratteristiche dei terreni

##### 8.5.1.1 Terreno spingente

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 35,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 23,33^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

##### 8.5.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1m):





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 193 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

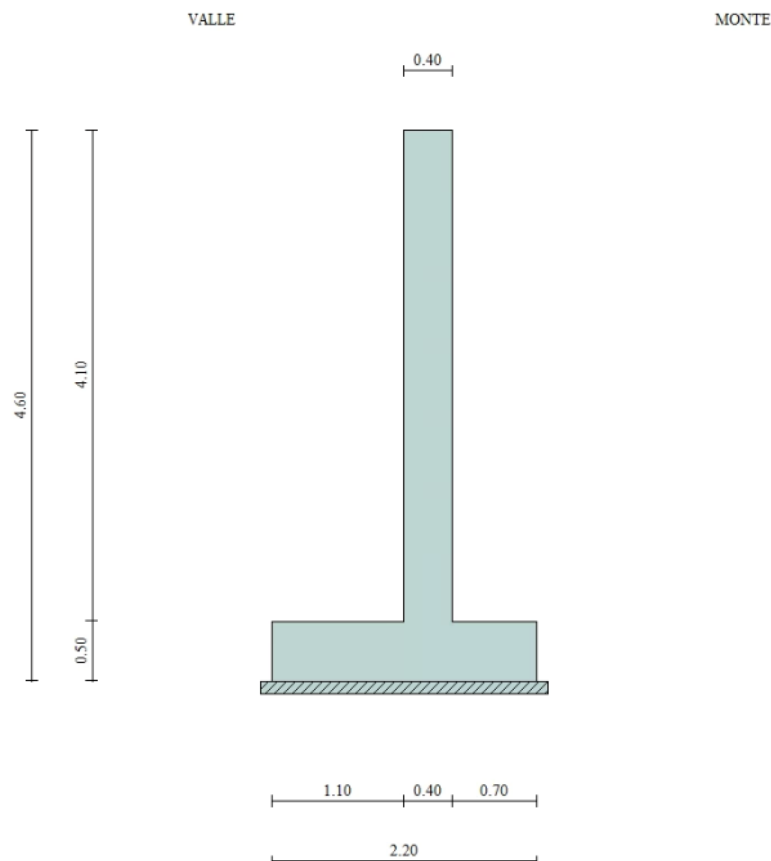
- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 2 (1 - 17m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

**8.5.2 Dati di progetto**

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>194 di 333</b>

Figura 8-52: Sezione muro alla progressiva 4+680 km

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

#### Muro a mensola in c.a.

Altezza del paramento	4.10 [m]
Spessore in sommità	0.40 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.40 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1.10 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.70 [m]
Lunghezza totale fondazione	2.20 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

### Materiali utilizzati per la struttura

#### *Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

#### *Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

### Geometria profilo terreno a monte del muro

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

	<p align="center"><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p align="center"><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA <b>NM27</b></td> <td>LOTTO <b>01 D 26</b></td> <td>CODIFICA <b>CL</b></td> <td>DOCUMENTO <b>CS0000003</b></td> <td>REV. <b>A</b></td> <td>FOGLIO <b>195 di 333</b></td> </tr> </table>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>195 di 333</b>
COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>195 di 333</b>		

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

<b>N</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A</b>
1	0.02	-0.33	-86.53
2	3.09	-0.33	0.00
3	3.10	-1.69	-89.58
4	15.53	-2.51	-3.77

### **Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale      0.00    [%]

Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento    1.00    [m]

### **8.5.3 Analisi dei carichi**

#### **8.5.3.1 Sovraccarico permanente**

Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate, relativi a nuovi rilevati ferroviari:

$\gamma_k = 19,00 \text{ kN/m}^3$       peso dell'unità di volume;

$\varphi_k = 35^\circ$       angolo di resistenza al taglio;

$c_k = 0$       coesione;

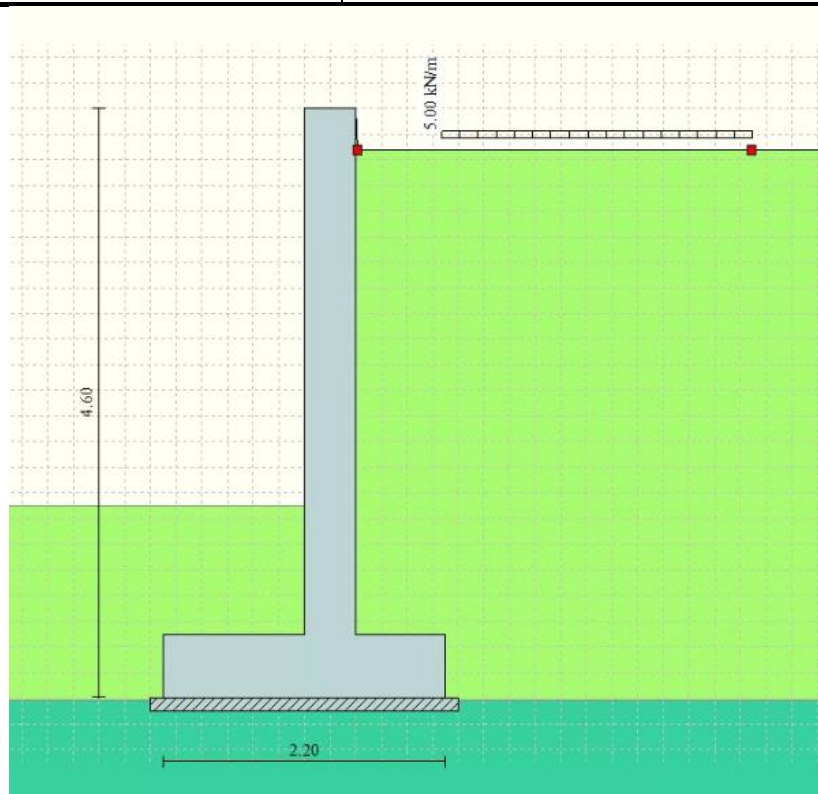
$\delta_k = 23,33^\circ$       angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

#### **8.5.3.2 Sovraccarico accidentale**

Un carico accidentale minimo di  $5 \text{ kN/m}^2$ , derivante dalla pista ciclabile è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.

Il carico, dovuto al transito ferroviario e la spinta, dovuta al ballast, data la geometria del muro, non interferisce con lo stesso e, dunque, non viene preso in considerazione.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	<b>COMMESSA</b> <b>NM27</b>	<b>LOTTO</b> <b>01 D 26</b>	<b>CODIFICA</b> <b>CL</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>CS0000003</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>	<b>FOGLIO</b> <b>196 di 333</b>



**Figura 8-53 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

### 8.5.3.3 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

### 8.5.4 *Combinazioni di carico*

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>197 di 333</b>

- raggiungimento della resistenza nelle elementi strutturali.

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-9: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1.25	
Coesione efficace			1.25	
Resistenza non drenata			1.4	
Peso dell'unità di volume			1	
Stabilità globale				1.1(*)

**Tabella 8-10: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance		A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1.35		
Permanenti G2	Favorevoli	0.80		
	Sfavorevoli	1.5		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.5		
Variabili da traffico		0.0		



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **198 di 333**

	Sfavorevoli	1.45		
Variabili Q	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.5		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1	
Coesione efficace			1	
Resistenza non drenata			1	
Peso dell'unità di volume			1	
Capacità portante				1.4(*)
Scorrimento				1.1(*)
Ribaltamento				1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

STR)  $\rightarrow \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

GEO-EQU)  $\rightarrow \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

Rara)  $\rightarrow G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

Frequente)  $\rightarrow G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Quasi permanente)  $\rightarrow G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

Combinazione sismica  $\rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast,

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>199 di 333</b>

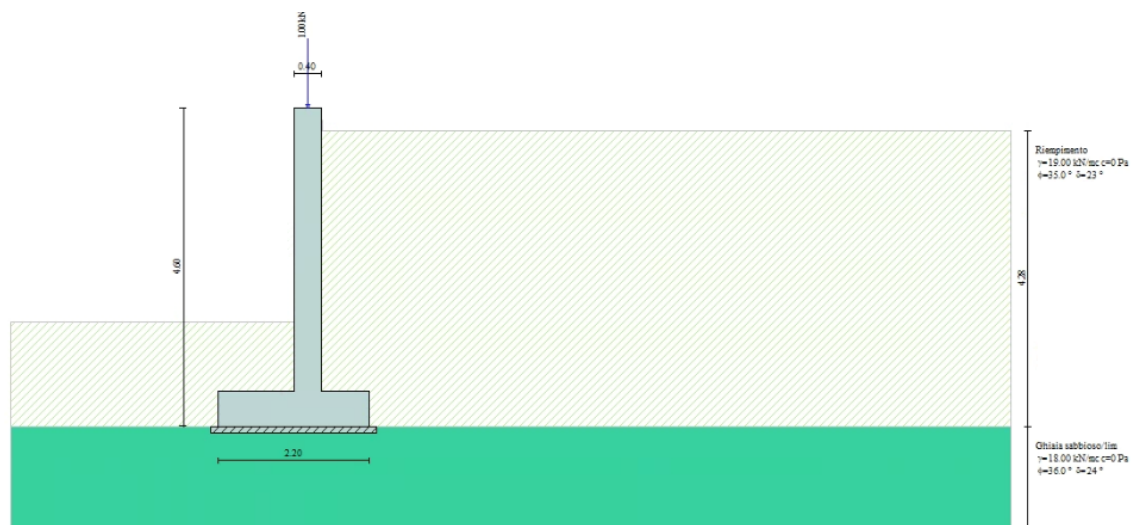
che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

per A1:  $1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv$  peso specifico rilevato

per A2:  $1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq$  peso specifico rilevato

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.

La linea ferroviaria è ad una distanza dal muro di recinzione da non incidere sulla verifica di stabilità globale. È stato sviluppato un unico modello con i coefficienti A1, per l'opera in esame.



**Figura 8-54 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**

### Descrizione combinazione di carico

#### Simbologia adottata

<i>F/S</i>	Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
$\gamma$	Coefficiente di partecipazione della condizione
$\Psi$	Coefficiente di combinazione della condizione

#### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **200 di 333**

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **201 di 333**

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **203 di 333**

Combinazione n° 20 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 21 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 22 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 23 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 24 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 25 - Quasi Permanente (SLE)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01 D 26	CL	CS0000003	A	204 di 333

Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 26 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 27 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 28 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 29 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.80	0.80

### 8.5.5 Verifiche

#### 8.5.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>205 di 333</b>

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 22, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHESTI			
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		2.14	■	1.00			
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		--		--			
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		--		--			
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		--		--			

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Spinta statica		43.2783 [kN]		Incremento sismico	9.2941 [kN]		
Ang. rottura		59.318 [°]		Ang. rottura sismico	53.630 [°]		
Punto applicazione		(0.70 -3.16)		Punto applicazione	(0.70 -3.16)		
Componente dir. X		39.7388 [kN]		Componente dir. X	8.5340 [kN]		
Componente dir. Y		17.1416 [kN]		Componente dir. Y	3.6812 [kN]		
Inclinazione spinta		23.33 °					

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro		67.18 [kN]		Inerzia muro	7.17 [kN]		
Coordinate baricentro muro			X=-0.28 Y=-2.97				
			Inerzia verticale muro	-3.58 [kN]			
Peso terrapieno		50.23 [kN]		Inerzia terrapieno	5.36 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno			X=0.35 Y=-2.21				
			Inerzia verticale terrapieno	-2.68 [kN]			
Risultanti carichi esterni							
Componente dir. X		0.11 [kN]		Componente dir. Y		1.00 [kN]	

Risultati combinazione n° 22				Risultati combinazione n° 22			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Risultante dir. X		60.90 [kN]		Momento rib.	103.95 [kNm]		
Risultante dir. Y		132.97 [kN]		Momento stab.	221.96 [kNm]		
Componente normale		132.97 [kN]		Componente parallela	60.90 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)		24.61 °					
Pressione terreno [Pa]		Valle 95473		Monte	25409		
Eccentricità risultante		0.213 [m]		Lung. fondaz. reagenti	2.20 [m]		
Carico limite della fondazione		1260.12 [kN]		<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>			

Figura 8-55 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)

- *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 20, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:

Risultati combinazione n° 20				Risultati combinazione n° 20			
Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze
CALCOLATI		RICHESTI		CALCOLATI		RICHESTI	
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--	<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		1.11	1.00	<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		43.2783 [kN]	Incremento sismico 5.8499 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		11.99	1.20	<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		59.318 [°]	Ang. rottura sismico 55.693 [°]
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		--	--	<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		Punto applicazione (0.70 -3.16)	Punto applicazione (0.70 -3.16)
						Componente dir. X 39.7388 [kN]	Componente dir. X 5.3715 [kN]
						Componente dir. Y 17.1416 [kN]	Componente dir. Y 2.3170 [kN]
						Inclinazione spinta 23.33 °	

Risultati combinazione n° 20				Risultati combinazione n° 20			
Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze
CALCOLATI		RICHESTI		CALCOLATI		RICHESTI	
<b>Peso muro</b>		67.18 [kN]	Inerzia muro 4.78 [kN]	<b>Risultante dir. X</b>		53.53 [kN]	Momento rib. 87.96 [kNm]
<b>Coordinate baicentro muro</b>		X=-0.28 Y=-2.97	Inerzia verticale muro -2.39 [kN]	<b>Risultante dir. Y</b>		133.69 [kN]	Momento stab. 218.96 [kNm]
<b>Peso terrapieno</b>		50.23 [kN]	Inerzia terrapieno 3.57 [kN]	<b>Componente normale</b>		133.69 [kN]	Componente parallela 53.53 [kN]
<b>Coordinate baicentro terrapieno</b>		X= 0.35 Y= -2.21	Inerzia verticale terrapieno -1.79 [kN]	<b>Inclinazione (rispetto alla normale)</b>		21.82 °	
<b>Risultanti carichi esterni</b>				<b>Pressione terreno [Pa]</b>		Valle 80689	Monte 40850
<b>Componente dir. X = 0.07 [kN]</b>			<b>Componente dir. Y = 1.00 [kN]</b>	<b>Eccentricita risultante</b>		0.120 [m]	Lung. fondaz. reagente 2.20 [m]
				<b>Carico limite della fondazione</b>		1602.85 [kN]	dettagli >>

**Figura 8-56 – Risultati verifica allo scorrimento (da MAX 14)**

- *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 9, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze
CALCOLATI		RICHESTI		CALCOLATI		RICHESTI	
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--	<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		1.11	1.10	<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		62.5832 [kN]	Incremento sismico 0.0000 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		11.44	1.40	<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		60.755 [°]	Ang. rottura sismico 0.0000 [°]
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		--	--	<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		Punto applicazione (0.70 -3.08)	Punto applicazione (0.00 0.00)
						Componente dir. X 57.4649 [kN]	Componente dir. X 0.0000 [kN]
						Componente dir. Y 24.7880 [kN]	Componente dir. Y 0.0000 [kN]
						Inclinazione spinta 23.33 °	

Risultati combinazione n° 9				Risultati combinazione n° 9			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro fav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze
CALCOLATI		RICHESTI		CALCOLATI		RICHESTI	
<b>Peso muro</b>		67.18 [kN]	Inerzia muro 0.00 [kN]	<b>Risultante dir. X</b>		57.46 [kN]	Momento rib. 87.23 [kNm]
<b>Coordinate baicentro muro</b>		X=-0.28 Y=-2.97	Inerzia verticale muro 0.00 [kN]	<b>Risultante dir. Y</b>		143.69 [kN]	Momento stab. 231.43 [kNm]
<b>Peso terrapieno</b>		50.43 [kN]	Inerzia terrapieno 0.00 [kN]	<b>Componente normale</b>		143.69 [kN]	Componente parallela 57.46 [kN]
<b>Coordinate baicentro terrapieno</b>		X= 0.35 Y= -2.21	Inerzia verticale terrapieno 0.00 [kN]	<b>Inclinazione (rispetto alla normale)</b>		21.80 °	
<b>Risultanti carichi esterni</b>				<b>Pressione terreno [Pa]</b>		Valle 82502	Monte 48129
<b>Componente dir. X = 1.30 [kN]</b>				<b>Eccentricita risultante</b>		0.096 [m]	Lung. fondaz. reagente 2.20 [m]
				<b>Carico limite della fondazione</b>		1643.63 [kN]	dettagli >>

**Figura 8-57 – Risultati verifica al carico limite (da MAX 14)**

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘geo’ num. 12, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-22:

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHIESTI			
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento		--	--				
Coefficiente di sicurezza a scorrimento		--	--				
Coefficiente di sicurezza a carico limite		--	--				
Coefficiente di sicurezza stabilita globale		1.73	<span style="background-color: green; color: white;">1.10</span>				
Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro	67.18 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	57.05 [kN]	Momento rib.	88.21 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.28 Y=-2.97	Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	138.26 [kN]	Momento stab.	219.77 [kNm]
Peso terrapieno	50.40 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	138.26 [kN]	Componente parallela	57.05 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.35 Y=-2.21	Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	22.42 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 88307    Monte 37388
Risultanti carichi esterni	Componente dir. Y = 1.00 [kN]			Eccentricita risultante	0.149 [m]	Lung. fondaz. reagente	2.20 [m]
				Carico limite della fondazione	852.31 [kN]	<input type="button" value="dettagli &gt;&gt;"/>	

**Figura 8-58 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

### 8.5.5.2 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo

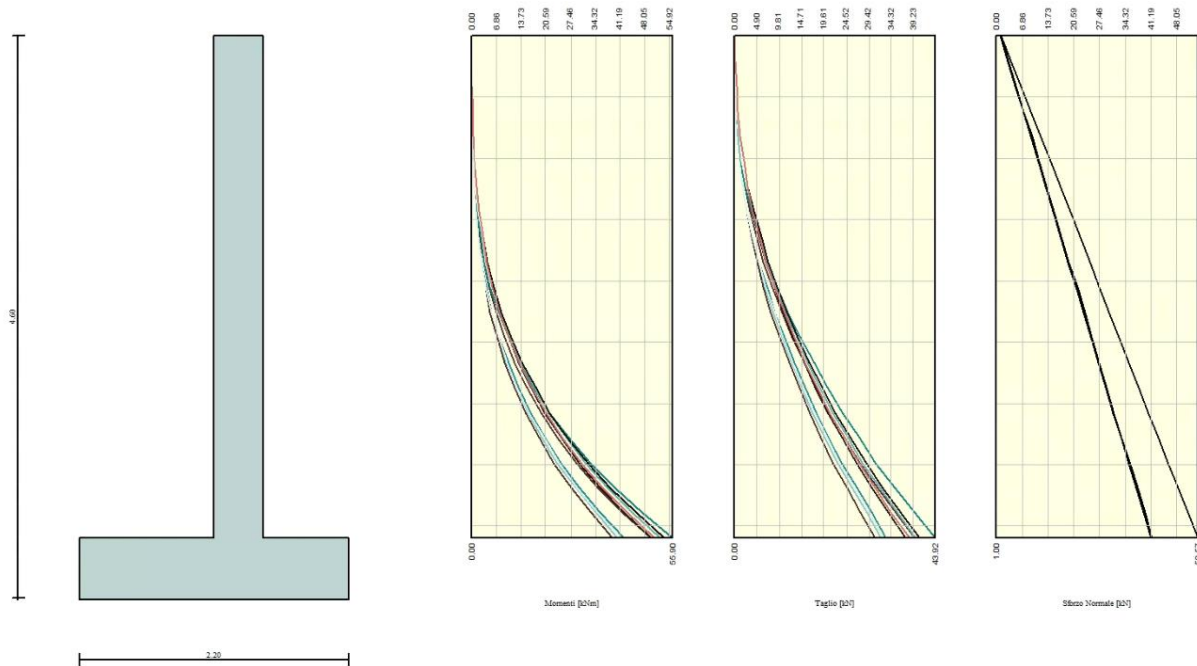
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L'obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-59 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-4.10 m)

Combinazione 10 :  $M_{Ed} = 55.90 \text{ kNm}$


Valore di progetto del taglio agente (-4.10 m)

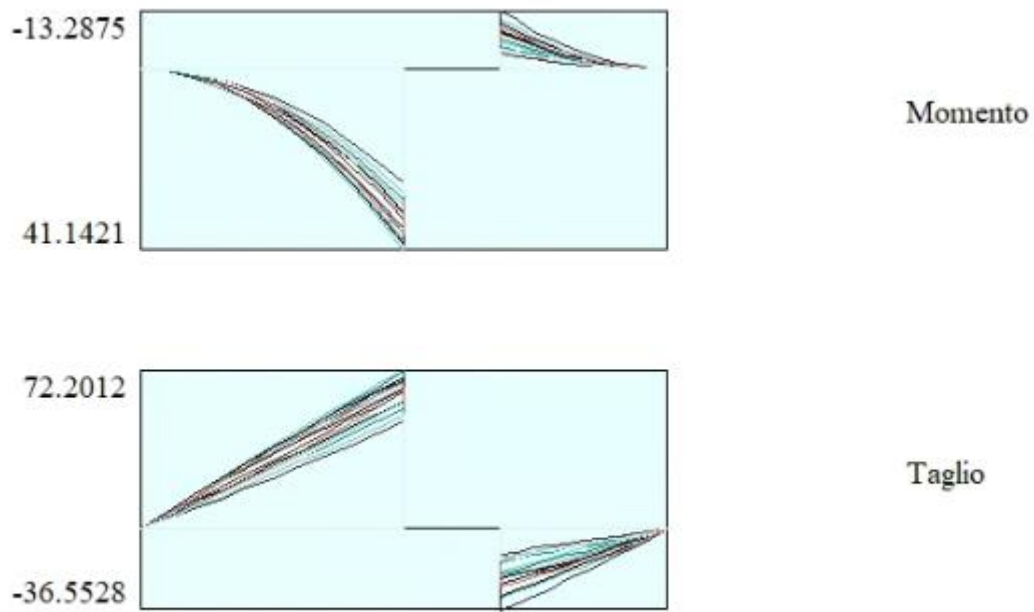
Combinazione 10:  $V_{Ed} = 43.92 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 209 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 209 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 209 di 333		



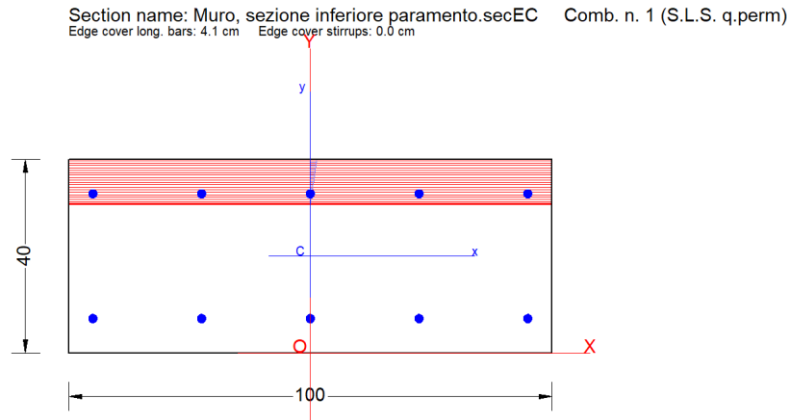
**Figura 8-60 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 8:  $M_{Ed} = 41.14 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 8:  $V_{Ed} = 72.20 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

### 8.5.5.2.1 Sezione inferiore del paramento



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:	
Reference code:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Exposure Class:	XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)
Structural member of belonging:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Section type:	Predefined section
Cross-section shape:	Rectangular
Stress path:	Constant axial force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes x,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	33345.8 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	19.2 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	19.2 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	14.4 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa	



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>211 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Stirrups:	B500A
Characteristic yield stress fyk:	500.0 MPa
Tensile strength ftk:	540.00 MPa
Design yield stress fyd:	434.8 MPa
Design strength ftd:	434.8 MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	40.0	cm
Bottom bars:	5Ø18	(12.7 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø18	(12.7 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.1	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.1	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			

Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	55.90	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.1	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.7	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check									
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)									
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference									
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)									
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference									
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0									
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system									
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]									
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section									
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]									
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]									

As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam).	[Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]
1	OK	0.00 55.90 0.14 166.77 2.983 34.6 147.95 --- --- ---

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
--------	---



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 212 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

ec*	Strain in the concrete fiber at $ec_2/ec_u$ of depth (if $ec^* > 0$ then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.00769	40.0	-0.00114	32.9	-0.01798	7.1

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N.	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0226164
2	-50.0	40.0	18.13	0.0035000
3	50.0	40.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0226164

**Longitudinal Bars:**

Bar N.	Number assigned to the bars
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
e s	Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-434.78	-0.0179807
2	-22.5	7.1	-434.78	-0.0179807
3	0.0	7.1	-434.78	-0.0179807
4	22.5	7.1	-434.78	-0.0179807
5	45.0	7.1	-434.78	-0.0179807
6	-45.0	32.9	-227.13	-0.0011357
7	-22.5	32.9	-227.13	-0.0011357
8	0.0	32.9	-227.13	-0.0011357
9	22.5	32.9	-227.13	-0.0011357
10	45.0	32.9	-227.13	-0.0011357

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>213 di 333</b>

### Verifica a Taglio

#### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

##### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 400$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 71$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset 18$	= 12.72	cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0$	= 0.00	cm <sup>2</sup>
$d = 329$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0$	= 0.00	cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo		12.72	cm <sup>2</sup>

##### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 43.9 \text{ kN}$$

##### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.780 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.470$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.004 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

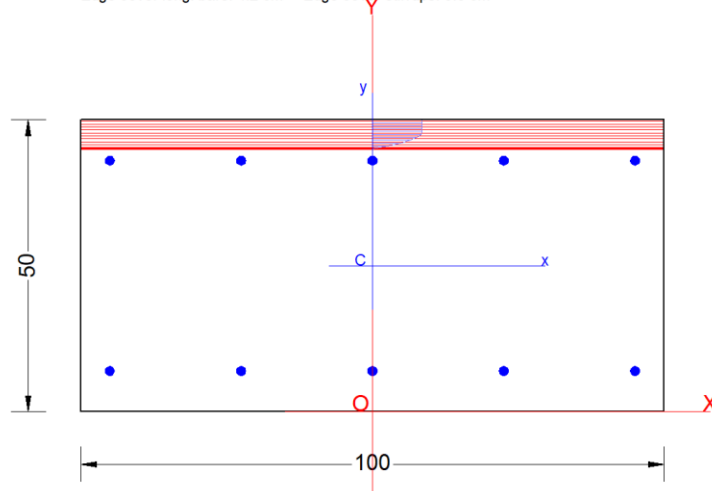
$$V_{Rd} = 162.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 154.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 162.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.5.5.2.2 Sezione della fondazione

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
 Edge cover long. bars: 4.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 214 di 333

Section description:

Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE - Class: C30/37  
Design compressive strength fcd: 17.0 MPa  
Strain at max strength ec2: 0.0020  
Ultimate strain ecu: 0.0035  
Compression diagram stress-strain: Parabola-Rectangle  
Mean elastic modulus Ecm: 32836.6 MPa  
Mean tensile strength fctm: 2.9 MPa  
Es/Ec in SLS combination: 15.00  
Stress limit Characteristic SLS: 18.0 MPa  
Stress limit Frequent SLS: 18.0 MPa  
wk lim =limit crack width Frequent SLS: 0.300 mm  
Coeff. k3: 3.4000 § 7.3.4(3) EC2  
Coeff. k4: 0.4250 § 7.3.4(3) EC2  
Stress limit Quasi-Permanent SLS: 13.5 MPa  
wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS: 0.200 mm

STEEL - Longitudinal Bars: B450C  
Characteristic yield stress fyk: 450.0 MPa  
Tensile strength ftk: 540.0 MPa  
Design yield stress fyd: 391.3 MPa  
Design strength ftd: 391.3 MPa  
Design ultimate strain esu: 0.068  
Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa  
Stirrups: B500A  
Characteristic yield stress fyk: 500.0 MPa  
Tensile strength ftk: 540.00 MPa  
Design yield stress fyd: 434.8 MPa  
Design strength ftd: 434.8 MPa  
Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa  
SLS Charact. - Ss Limit: 360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width: 100.0 cm  
Depth: 50.0 cm  
Bottom bars: 5Ø16 (10.1 cm<sup>2</sup>)  
Top bars: 5Ø16 (10.1 cm<sup>2</sup>)  
Low Cover (from centroid of bar): 7.0 cm  
Top Cover (from centroid of bar): 7.0 cm  
Web Cover (from centroid of bar): 5.0 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)  
Mx Design moment force [kNm] around the x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section  
VY Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y  
T Design torsional Moment [kN m]



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **215 di 333**

Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	41.14	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars: 4.2 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 20.9 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	41.14	-0.28	175.26	4.260	45.0	156.06	---	---	---
---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

Parameter	Description
ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01163	50.0	-0.00144	43.0	-0.02687	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N.	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0318085
2	-50.0	50.0	17.00	0.0035000
3	50.0	50.0	17.00	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0318085

**Longitudinal Bars:**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **216 di 333**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,0  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0268654
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0268654
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0268654
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0268654
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0268654
6	-45.0	43.0	-288.64	-0.0014432
7	-22.5	43.0	-288.64	-0.0014432
8	0.0	43.0	-288.64	-0.0014432
9	22.5	43.0	-288.64	-0.0014432
10	45.0	43.0	-288.64	-0.0014432

**Verifica a Taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$  mm larghezza  $f_{yk} = 450$  MPa resist. caratteristica  
 $h = 500$  mm altezza  $\gamma_s = 1.15$  coeff. sicurezza  
 $c = 70$  mm copriferro  $f_{yd} = 391.3$  MPa resist. di calcolo

$f_{ck} = 30$  MPa resist. caratteristica Armatura longitudinale tesa:

$\gamma_c = 1.50$  coeff. sicurezza  $A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset 16 = 10.05 \text{ cm}^2$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$  coeff. riduttivo  $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $d = 430$  mm altezza utile  $A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $f_{cd} = 17.00$  MPa resist. di calcolo  $10.05 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni** (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$  kN  $V_{ed} = 72.2$  kN

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.682 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$   $v_{min} = 0.418$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.002 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$V_{Rd} = 166.1$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 179.8$  kN)

$V_{Rd} = 179.8$  kN assunto pari alla resistenza minima

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>217 di 333</b>

### 8.5.5.3 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

- Le fessure limite sono:
  - c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:
 

$w_1 = 0,2 \text{ mm}$	$w_2 = 0,3 \text{ mm}$	$w_3 = 0,4 \text{ mm}$
------------------------	------------------------	------------------------

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

#### *Stato limite di apertura delle fessure*

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;

- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
- La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 y_k$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per gli SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

M = 42.35 kNm

*Fondazione*

M = 29.79 kNm



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 218 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

$$M = 40.69 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 27.98 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

$$M = 39.06 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 26.17 \text{ kNm}$$

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

**8.5.5.3.1 Sezione inferiore del paramento**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	42.35

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	40.69

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	39.06

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>219 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	2.88	40.0	0.00	30.9	-112.8	32.9	10.3	1029	12.7	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
Ø   c	Equivalent bar diameter [mm]   cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00073	0	0.500	18 6.2	0.012	0.000338 (0.00034)	458	0.155	90.24

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0007321
2	-50.0	40.0	2.881	0.0002161
3	50.0	40.0	2.881	0.0002161
4	50.0	0.0	0.000	-0.0007321

**Longitudinal Bars:**

N. Bar	Assigned numbers to each bar
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
e s	Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-112.76	-0.0005638
2	-22.5	7.1	-112.76	-0.0005638



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **220 di 333**

3	0.0	7.1	-112.76	-0.0005638
4	22.5	7.1	-112.76	-0.0005638
5	45.0	7.1	-112.76	-0.0005638
6	-45.0	32.9	9.56	0.0000478
7	-22.5	32.9	9.56	0.0000478
8	0.0	32.9	9.56	0.0000478
9	22.5	32.9	9.56	0.0000478
10	45.0	32.9	9.56	0.0000478

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	2.77	40.0	0.00	30.9	-108.3	32.9	10.3	1029	12.7	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00070	0	0.500	18 6.2	0.012	0.000325 (0.00033)	458	0.149 (0.30)	90.24

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0007034
2	-50.0	40.0	2.768	0.0002076
3	50.0	40.0	2.768	0.0002076
4	50.0	0.0	0.000	-0.0007034

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-108.34	-0.0005417
2	-22.5	7.1	-108.34	-0.0005417
3	0.0	7.1	-108.34	-0.0005417
4	22.5	7.1	-108.34	-0.0005417
5	45.0	7.1	-108.34	-0.0005417
6	-45.0	32.9	9.18	0.0000459
7	-22.5	32.9	9.18	0.0000459
8	0.0	32.9	9.18	0.0000459
9	22.5	32.9	9.18	0.0000459
10	45.0	32.9	9.18	0.0000459

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
---------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>221 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

1	OK	2.66	40.0	0.00	30.9	-104.0	32.9	10.3	1029	12.7	21.5
---	----	------	------	------	------	--------	------	------	------	------	------

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00068	0	0.500	18 6.2	0.012	0.000312 (0.00031)	458	0.143 (0.20)	90.24

**SLS - QUASI-PERMANENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0006753
2	-50.0	40.0	2.657	0.0001993
3	50.0	40.0	2.657	0.0001993
4	50.0	0.0	0.000	-0.0006753

**Longitudinal Bars:**

N. Bar	Assigned numbers to each bar
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
e s	Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-104.00	-0.0005200
2	-22.5	7.1	-104.00	-0.0005200
3	0.0	7.1	-104.00	-0.0005200
4	22.5	7.1	-104.00	-0.0005200
5	45.0	7.1	-104.00	-0.0005200
6	-45.0	32.9	8.81	0.0000441
7	-22.5	32.9	8.81	0.0000441
8	0.0	32.9	8.81	0.0000441
9	22.5	32.9	8.81	0.0000441
10	45.0	32.9	8.81	0.0000441

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL [§ 7.3.2 EC2]**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. which take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. which take account of stress distribution at cracking [see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Frc	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm²] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm²] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	12.7	3.9



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 222 di 333

1 Quasi-perm. Web 0.72 0.40 2000 --- --- --- -302.38 12.7 3.9

**8.5.5.3.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	29.79

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	27.98

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	26.17

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check										
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)										
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)										
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]										
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)										
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars										
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)										
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)										
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)										
Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.44	50.0	0.00	40.4	-75.0	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **223 di 333**

k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
 $\emptyset | c$  Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio  $A_s \text{ eff}/A_c \text{ eff}$  [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es  
sr max Max final crack [mm] spacing  
wk Calculated value [mm] of crack width = sr max\*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets  
M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00045	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000225 (0.00023)	575	0.129	132.01

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0004539
2	-50.0	50.0	1.443	0.0001083
3	50.0	50.0	1.443	0.0001083
4	50.0	0.0	0.000	-0.0004539

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-75.04	-0.0003752
2	-22.5	7.0	-75.04	-0.0003752
3	0.0	7.0	-75.04	-0.0003752
4	22.5	7.0	-75.04	-0.0003752
5	45.0	7.0	-75.04	-0.0003752
6	-45.0	43.0	5.91	0.0000296
7	-22.5	43.0	5.91	0.0000296
8	0.0	43.0	5.91	0.0000296
9	22.5	43.0	5.91	0.0000296
10	45.0	43.0	5.91	0.0000296

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.36	50.0	0.00	40.4	-70.5	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00043	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000211 (0.00021)	575	0.122 (0.30)	132.01



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **224 di 333**

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0004263
2	-50.0	50.0	1.356	0.0001017
3	50.0	50.0	1.356	0.0001017
4	50.0	0.0	0.000	-0.0004263

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-70.48	-0.0003524
2	-22.5	7.0	-70.48	-0.0003524
3	0.0	7.0	-70.48	-0.0003524
4	22.5	7.0	-70.48	-0.0003524
5	45.0	7.0	-70.48	-0.0003524
6	-45.0	43.0	5.55	0.0000278
7	-22.5	43.0	5.55	0.0000278
8	0.0	43.0	5.55	0.0000278
9	22.5	43.0	5.55	0.0000278
10	45.0	43.0	5.55	0.0000278

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.27	50.0	0.00	40.4	-65.9	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00040	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000198 (0.00020)	575	0.114 (0.20)	132.01

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0003987
2	-50.0	50.0	1.268	0.0000951
3	50.0	50.0	1.268	0.0000951





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **225 di 333**

4 50.0 0.0 0.000 -0.0003987

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-65.92	-0.0003296
2	-22.5	7.0	-65.92	-0.0003296
3	0.0	7.0	-65.92	-0.0003296
4	22.5	7.0	-65.92	-0.0003296
5	45.0	7.0	-65.92	-0.0003296
6	-45.0	43.0	5.19	0.0000260
7	-22.5	43.0	5.19	0.0000260
8	0.0	43.0	5.19	0.0000260
9	22.5	43.0	5.19	0.0000260
10	45.0	43.0	5.19	0.0000260

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb. SLS combination number  
Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent  
Region Part of concrete section under consideration (Web/Flange)  
k Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]  
kc Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]  
Ac eff Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]  
Ned SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]  
Sc =Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]  
Frc Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]  
k1 Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]  
As reg Area [cm<sup>2</sup>] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration  
As min Minimum Area [cm<sup>2</sup>] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1

**8.5.5.4 Riassunto delle armature**

• **Sezione del muro**

**Lato a monte**  $\Phi 18$  ogni 200mm

**Lato a vale**  $\Phi 18$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati** 44x $\Phi 12$  (22 ogni lato)

• **Sezione della fondazione**

**Armatura superiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura superiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm

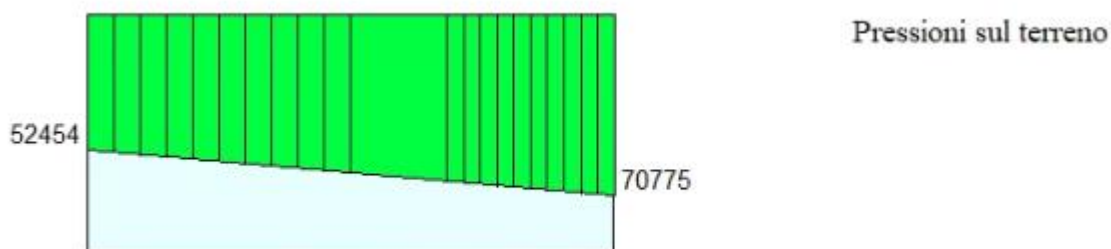
**Armatura inferiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 226 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 226 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 226 di 333		

#### 8.5.5.5 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.



**Figure 8-61 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 2.20 m

H rilevato esistente media = 1.5 m

Pressione in scarico/ricarico =  $1.5 \times 18 = 27$  kPa

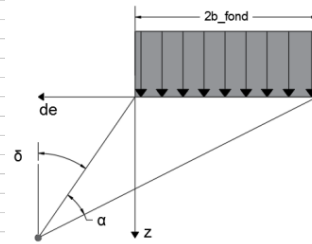
Pressione media dalla fondazione =  $(71 - 52) \times 2/3 + 52 = 65$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $65 - 27 = 38$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 18 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} =$	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico di compressione vergine	Evc =	20.00	MPa
Modulo elastico di scarico e ricarica	Eur =	10.00	MPa
Profondità falda rispetto alla fondazione	Hw =	30.00	m



**MURO DI SOSTEGNO**

Larghezza della fondazione	$2b_{\text{fond}} =$	2.20	m
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} =$	65.00	kN/m <sup>2</sup>
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} =$	38.00	kN/m <sup>2</sup>
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} =$	27.00	kN/m <sup>2</sup>

**RILEVATO**

**BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE**

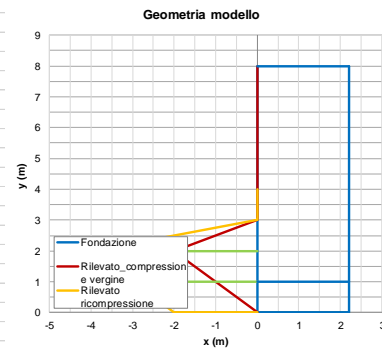
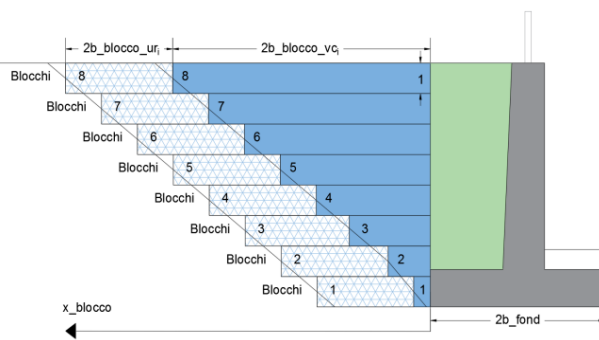
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} =$	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} =$	20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kPa

**BLOCCHI\_RICOMPRESSIONE**

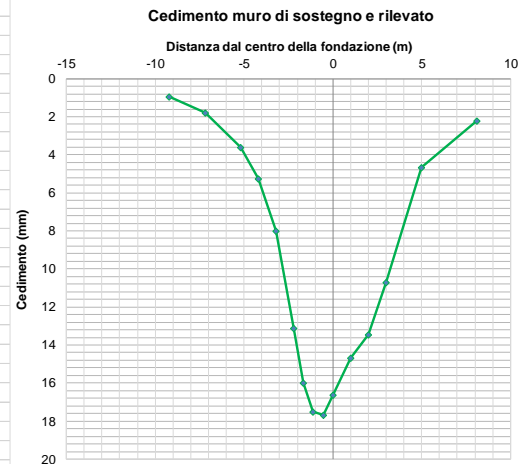
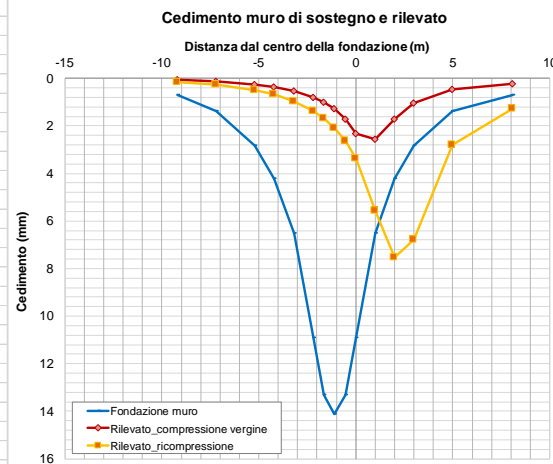
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} =$	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_ur}} =$	20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kPa

**CALCOLO**

Criterio definizione della profondità significativa:	sulla base di un valore target di incremento di sforzo
Valore target di incremento di sforzo	$\Delta\sigma/\sigma_0 =$ 0.10
Profondità significativa	$z_{\text{calc}} =$ 8.00



**SINTESI DEI RISULTATI**



Cedimento massimo = 18mm

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 228 di 333

### 8.6 Sez. Tipo Muro sottopasso NI01 – Tipo A - (pk 4+765)

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.

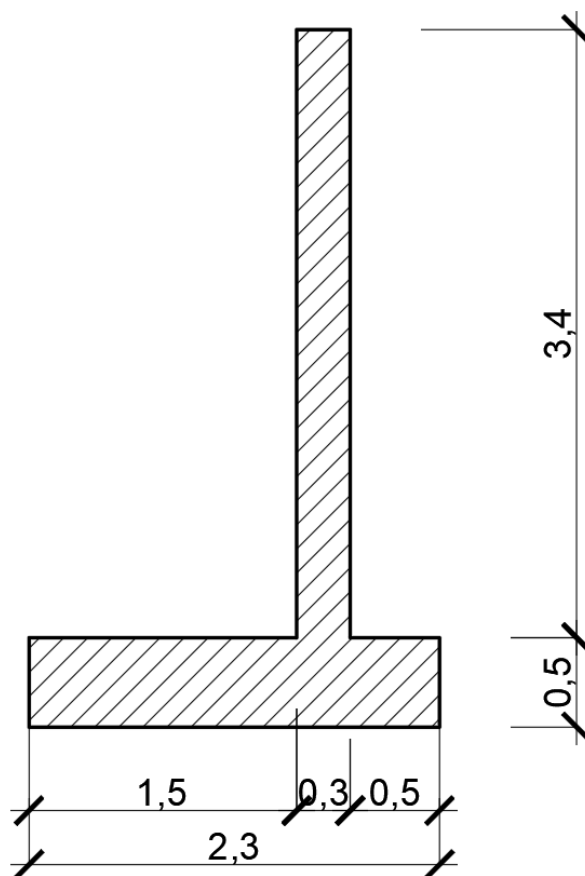


Figura 8-62: Sezione di riferimento muro

#### 8.6.1 Caratteristiche dei terreni

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

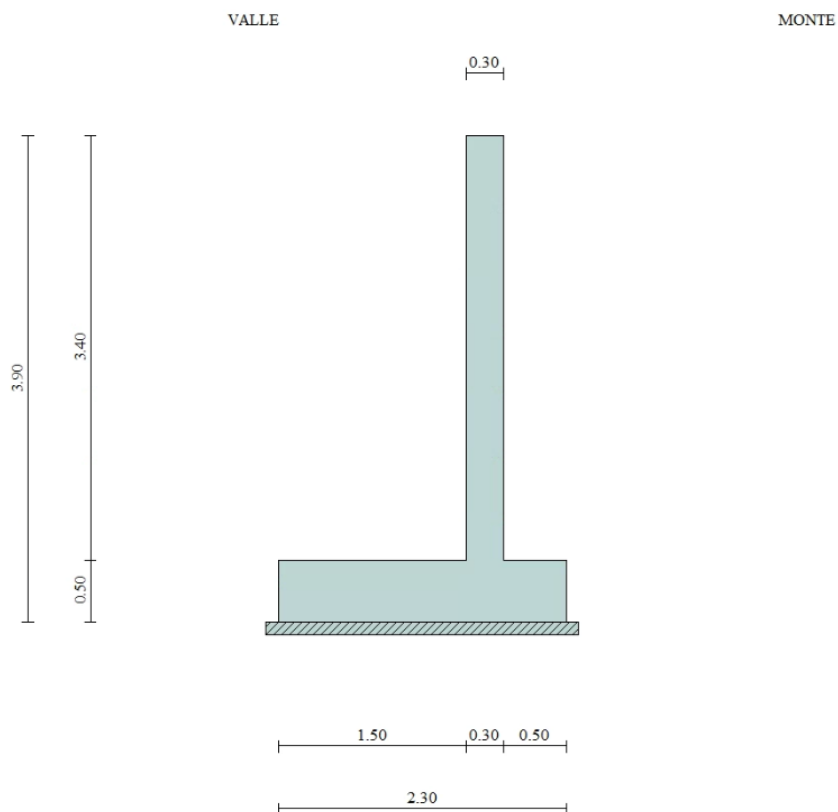
	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 229 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 229 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 229 di 333		

STRATO 2 (1 - 12m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.6.2 Dati di progetto

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).



**Figura 8-63: Sezione muro alla progressiva 4+765 km**

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

**Muro a mensola in c.a.**

Altezza del paramento

3.40 [m]



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 230 di 333

Spessore in sommità	0.30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.30 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1.50 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.50 [m]
Lunghezza totale fondazione	2.30 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

**Materiali utilizzati per la struttura**

*Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

*Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

**Geometria profilo terreno a monte del muro**

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

<b>N</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A</b>
1	0.02	-0.20	-89.71
2	10.00	-0.20	0.00

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 231 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 231 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 231 di 333		

### Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.00 [°]

Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.00 [m]

### 8.6.3 *Analisi dei carichi*

#### 8.6.3.1 Sovraccarico permanente

Nelle analisi svolte il peso proprio del terreno viene valutato sulla base del peso di volume indicato per ciascuno strato nella tabella dei parametri geotecnici (Vedasi 5.2).

#### 8.6.3.2 Sisma

Considerando il muro di sostegno come una componente dell'intera opera di sottopasso NI01, per le caratteristiche sismiche è stato fatto riferimento alla vita nominale pari a 100 anni, il coefficiente d'uso  $C_u$  pari a 2, e la categoria del suolo C. Con riferimento allo stato limite SLV (10% della probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR), per il comune di Orio al Serio il valore massimo della accelerazione su suolo rigido pianeggiante è  $a_g = 0.190$  g. Considerando il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.416$  e topografica  $S_T = 1$ , si ottiene la accelerazione massima in sito  $a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 0.269$  g. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

### 8.6.4 *Combinazioni di carico*

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>232 di 333</b>

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-11: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1.25	
Coesione efficace			1.25	
Resistenza non drenata			1.4	
Peso dell'unità di volume			1	
Stabilità globale				1.1(*)

**Tabella 8-12: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance		A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1.35		
Permanenti G2	Favorevoli	0.80		
	Sfavorevoli	1.5		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1	
Coesione efficace			1	
Resistenza non drenata			1	
Peso dell'unità di volume			1	
Capacità portante				1.4(*)
Scorrimento				1.1(*)
Ribaltamento				1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>233 di 333</b>

$$\text{STR)} \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{GEO-EQU)} \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara)} \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

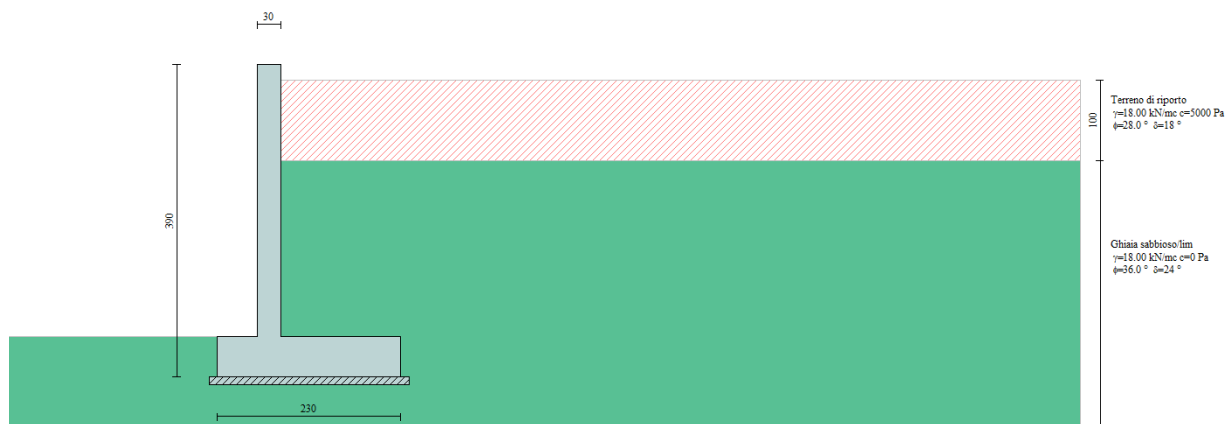
Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente)} \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente)} \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

$$\text{Combinazione sismica} \rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$



**Figura 8-64 - Rappresentazione degli strati di terreno spingente in MAX14**

## Descrizione combinazioni di carico

### Simbologia adottata

F/S Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

### Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\psi$	$\gamma * \psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 235 di 333

Combinazione n° 9 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>236 di 333</b>

### 8.6.5 Verifiche

#### 8.6.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

#### Simbologia adottata

<i>C</i>	Identificativo della combinazione
<i>Tipo</i>	Tipo combinazione
<i>Sisma</i>	Combinazione sismica
<i>CS<sub>SCO</sub></i>	Coeff. di sicurezza allo scorrimento
<i>CS<sub>RIB</sub></i>	Coeff. di sicurezza al ribaltamento
<i>CS<sub>QLIM</sub></i>	Coeff. di sicurezza a carico limite
<i>CS<sub>STAB</sub></i>	Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b>CS<sub>SCO</sub></b>	<b>CS<sub>RIB</sub></b>	<b>CS<sub>QLIM</sub></b>	<b>CS<sub>STAB</sub></b>
1	A1-M1 - [1]	--	2.14	--	10.33	--
2	A1-M1 - [1]	--	2.72	--	9.14	--
3	A1-M1 - [1]	--	2.50	--	9.28	--
4	A1-M1 - [1]	--	2.36	--	10.10	--
5	EQU - [1]	--	--	6.06	--	--
6	STAB - [1]	--	--	--	--	<b>1.74</b>
7	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	<b>1.46</b>	--	6.91	--
8	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	1.53	--	<b>6.68</b>	--
9	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	<b>2.44</b>	--	--
10	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.99	--	--
11	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.81
12	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.78
13	SLEQ - [1]	--	2.75	--	11.91	--
14	SLEF - [1]	--	2.75	--	11.91	--
15	SLER - [1]	--	2.75	--	11.91	--

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>237 di 333</b>

### 8.6.5.2 Verifiche strutturali

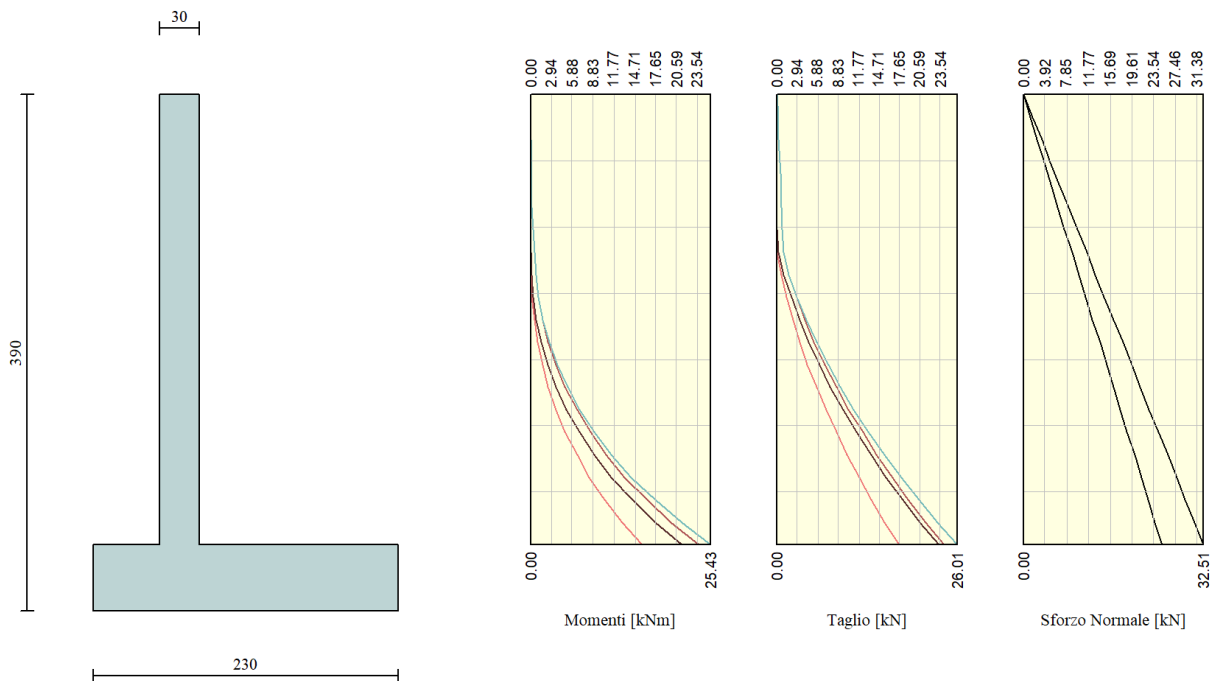
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L'obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-65 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-3.40 m)

Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 25.43$  kNm

Valore di progetto del taglio agente (-3.40 m)

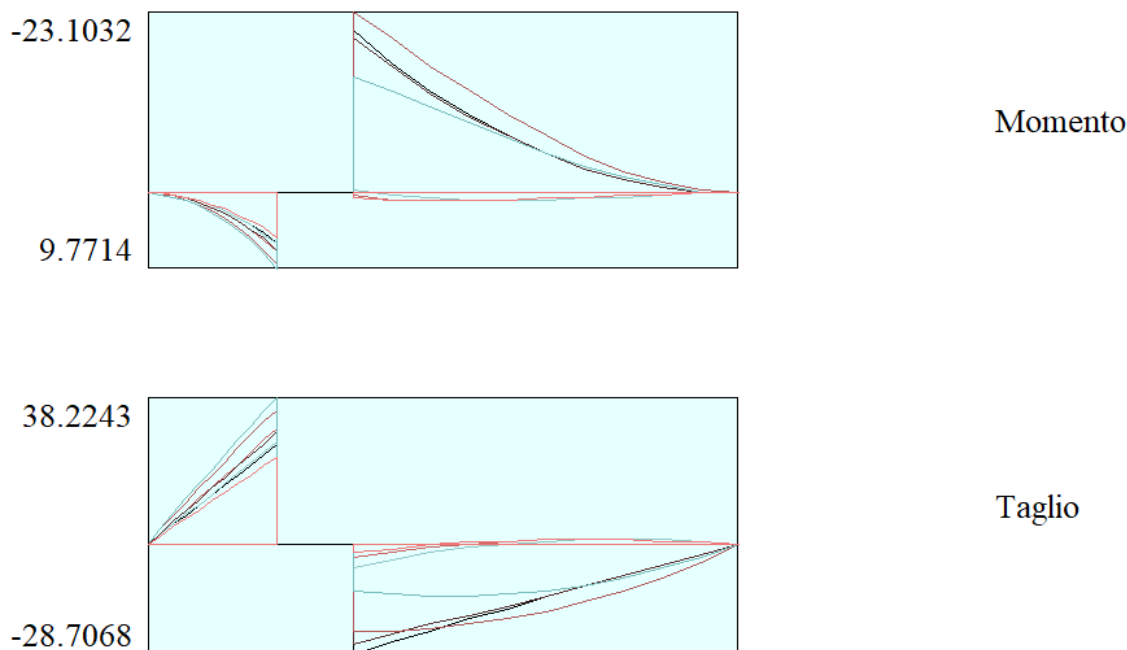
Combinazione 8:  $V_{Ed} = 26.01$  kN

Combinazione 13/14/15:  $M_{SLE} = 15.78$  kNm

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>238 di 333</b>



**Figura 8-66 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 8:  $M_{Ed} = -23.10 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 10:  $V_{Ed} = 38.22 \text{ kN}$

Valore di progetto del momento flettente SLE Combinazione 13/14/15:  $M_{SLE} = 5.69 \text{ kNm}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

- Le fessure limite sono:

c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>239 di 333</b>

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

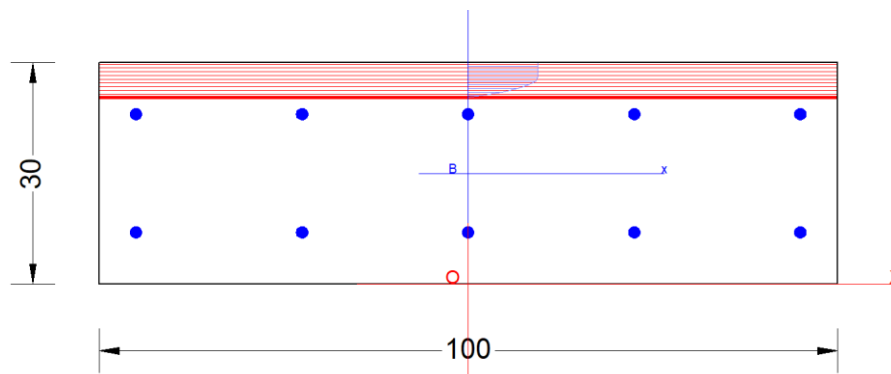
Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Stato limite di apertura delle fessure

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
  - La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 y_k$  per combinazione caratteristica

### 8.6.5.2.1 Sezione inferiore del paramento



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.920	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.920	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.940	MPa



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **240 di 333**

Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: 0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	25.43	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	15.78

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	15.78 (50.49)

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)	





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **241 di 333**

con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	15.78 (50.49)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 14.4 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	0.00	25.43	-0.19	99.26	3.903	25.2	0.21	0.70	20.1 (4.1)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.00164	23.0	-0.01339	7.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 242 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

1	S	2.20	30.0	0.00	23.0	-75.9	23.0	7.7	768	10.1	21.5
---	---	------	------	------	------	-------	------	-----	-----	------	------

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00054	0.00016	0.50	0.60	0.000228 (0.000228)	419	0.095 (990.00)	50.49

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.20	30.0	0.00	23.0	-75.9	23.0	7.7	768	10.1	21.5

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00054	0.00016	0.50	0.60	0.000228 (0.000228)	419	0.095 (0.30)	50.49

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	2.20	30.0	0.00	23.0	-75.9	23.0	7.7	768	10.1	21.5

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00054	0.00016	0.50	0.40	0.000228 (0.000228)	419	0.095 (0.20)	50.49



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 243 di 333

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2018 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 300$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 62$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 33.2$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 238$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.81$	MPa	resist. di calcolo			$10.05 \text{ cm}^2$

**• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)**

$N_{ed} = 0.0 \text{ kN}$                        $V_{ed} = 26.0 \text{ kN}$

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$                        $k = 1.917 < 2$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$                        $v_{min} = 0.535$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$                        $\rho_1 = 0.004 < 0.02$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$                        $\sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$

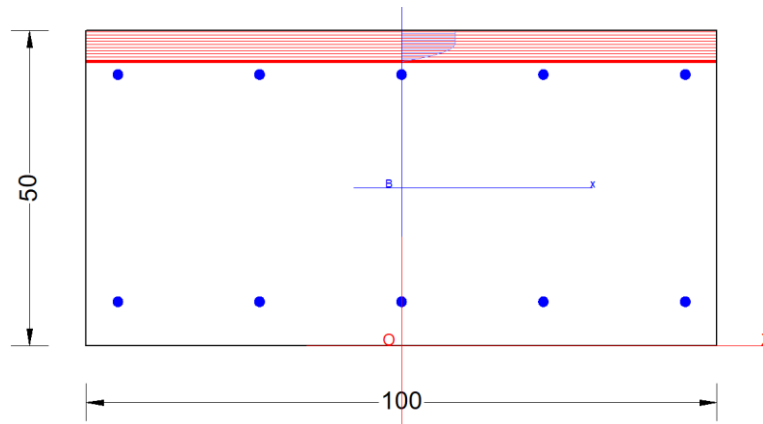
$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 132.0 \text{ kN};$                       (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 127.4 \text{ kN}$ )

$V_{Rd} = 132.0 \text{ kN}$                       valore di calcolo

*la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio*

### 8.6.5.2.2 Sezione della fondazione



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto $f_{cd}$ :	17.00 MPa
	Deform. unitaria max resistenza $\epsilon_{c2}$ :	0.0020
	Deformazione unitaria ultima $\epsilon_{cu}$ :	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale $E_c$ :	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :	2.900 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.000 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.000 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.500 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento $f_{yk}$ :	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura $f_{tk}$ :	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto $f_{yd}$ :	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto $E_{pu}$ :	0.068
	Modulo Elastico $E_f$ :	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$ :	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00 MPa

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	50.0	cm
Barre inferiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.0	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	5.0	cm



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **245 di 333**

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	23.10	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	5.69

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	5.69 (132.17)

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	5.69 (132.17)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.9 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)								
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico								
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)								
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.								
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45								
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]								
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **246 di 333**

1 S 0.00 23.10 -0.27 175.26 7.587 45.0 0.12 0.70 20.1 (7.2)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	-0.00144	43.0	-0.02687	7.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata (Mpa)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata (Mpa)  
 Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio (Mpa)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
 As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.28	50.0	0.00	40.4	-14.3	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver Esito verifica  
 e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
 K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
 Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
 e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
 srm Distanza massima in mm tra le fessure  
 wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
 M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00009	0.00002	0.50	0.60	0.000043 (0.000043)	575	0.025 (990.00)	132.17

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.28	50.0	0.00	40.4	-14.3	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01 D 26	CL	CS0000003	A	247 di 333

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00009	0.00002	0.50	0.60	0.000043 (0.000043)	575	0.025 (0.30)	132.17

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.28	50.0	0.00	40.4	-14.3	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00009	0.00002	0.50	0.40	0.000043 (0.000043)	575	0.025 (0.20)	132.17

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2018 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 62$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	Ø	16 = 10.05 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$d = 438$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa	resist. di calcolo			10.05 cm <sup>2</sup>

**• Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)**

$N_{ed} = 0.0$  kN       $V_{ed} = 38.2$  kN

**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1.676 < 2$

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0.416$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$        $\rho_1 = 0.002 < 0.02$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa < 0.2 fcd

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

$V_{Rd} = 167.6$  kN;      (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 182.1$  kN)

$V_{Rd} = 182.1$  kN assunto pari alla resistenza minima

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>248 di 333</b>

### 8.6.5.3 Riassunto delle armature

- *Sezione del muro*

**Lato a monte**                     $\Phi 16$  ogni 200mm

**Lato a vale**                     $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**         $38 \times \Phi 12$  (19 ogni lato)

- *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**         $\Phi 16$  ogni 200mm

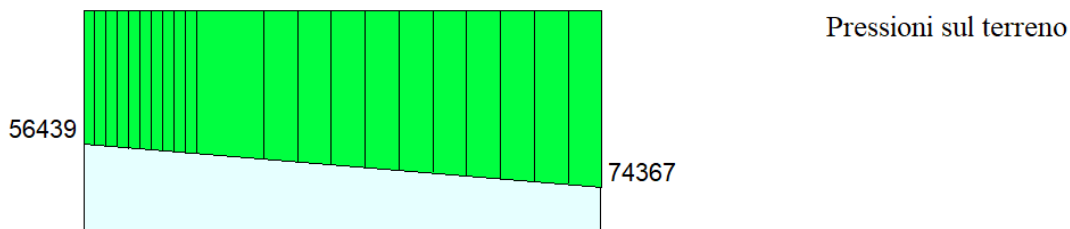
**Armatura superiore, dir. secondaria**         $\Phi 12$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. principale**         $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**         $\Phi 12$  ogni 200mm

### 8.6.5.4 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.



**Figure 8-67 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 2.30 m

H terreno esistente media = 1.30 m

Pressione in scarico/ricarico =  $1.30 \times 18 = 23.4$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(74 - 56) \times 2/3 + 56 = 68$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $68 - 23.4 = 44.6$  kPa

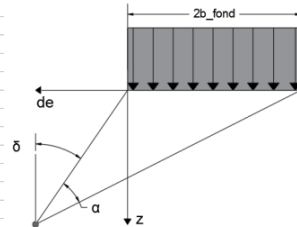
Il cedimento ottenuto, circa 14 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per l'opera in esame.



**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume  
Modulo elastico di compressione vergine  
Modulo elastico di scarico e ricarico  
Profondità falda rispetto alla fondazione

$\gamma_{\text{terreno}} = 18.00$  kN/m<sup>3</sup>  
 $E_{vc} = 23.00$  MPa  
 $E_{ur} = 36.80$  MPa  
 $H_w = 30.00$  m



**MURO DI SOSTEGNO**

Larghezza della fondazione  
Azione di calcolo  
Azione di ricompressione  
Azione di compressione vergine

$2b_{\text{fond}} = 2.30$  m  
 $q_{\text{fond}} = 68.00$  kN/m<sup>2</sup>  
 $q_{\text{fond\_vc}} = 44.60$  kN/m<sup>2</sup>  
 $q_{\text{fond\_ur}} = 23.40$  kN/m<sup>2</sup>

**RILEVATO**

**BLOCCHI COMPRESSIONE VERGINE**

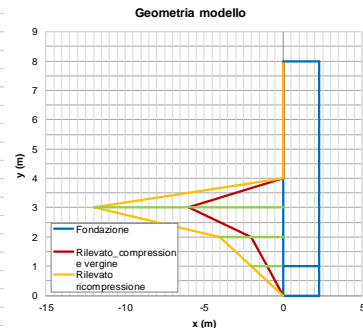
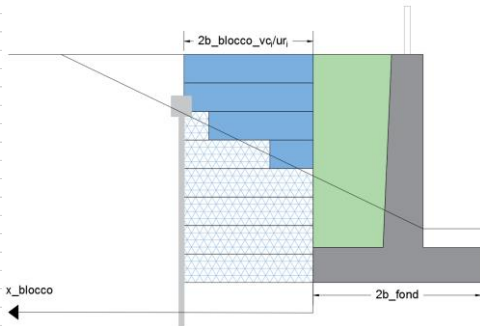
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} = 1.00$	2.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 18.00$	18.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kPa

**BLOCCHI RICOMPRESSIONE**

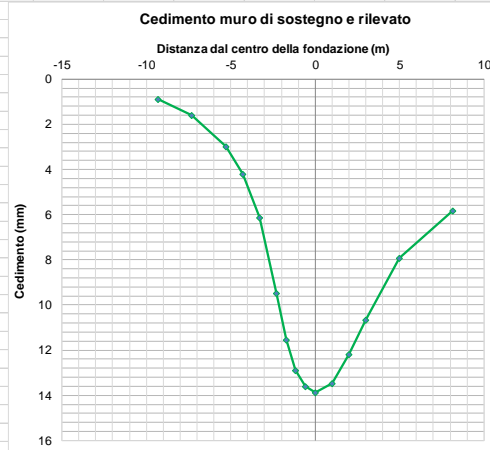
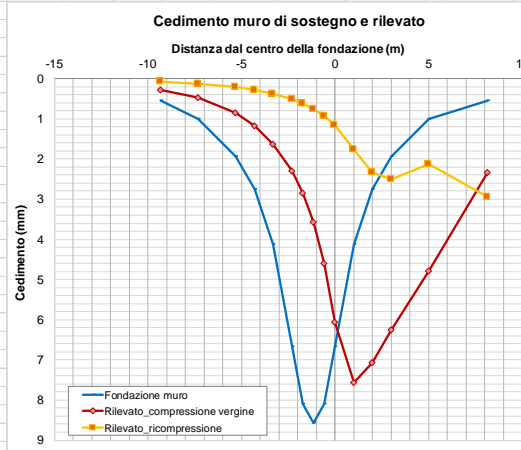
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	2.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} = 1.00$	2.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 18.00$	18.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kPa

**CALCOLO**

Criterio definizione della profondità significativa: sulla base di un valore target di incremento di sforzo  
Valore target di incremento di sforzo  $\Delta\sigma/\sigma'_{v0} = 0.10$   
Profondità significativa  $z_{\text{calc}} = 9.00$



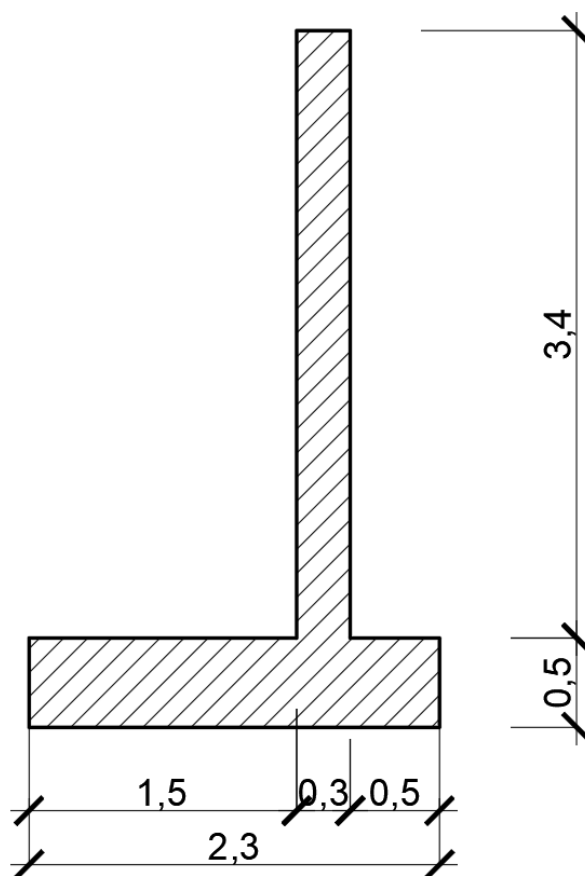
**SINTESI DEI RISULTATI**



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 250 di 333

**8.7 Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo A - Ramo 1 PK: 0+000 a 50+000, 150+000 a 173+819; Ramo 3 PK: 25+000 a 100+000**

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.



**Figura 8-68: Sezione di riferimento muro**

**8.7.1 Caratteristiche dei terreni**

**8.7.1.1 Terreno spingente**

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 35,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 23,33^\circ$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 251 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 251 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 251 di 333		

- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

#### 8.7.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 2 (1 - 12m):

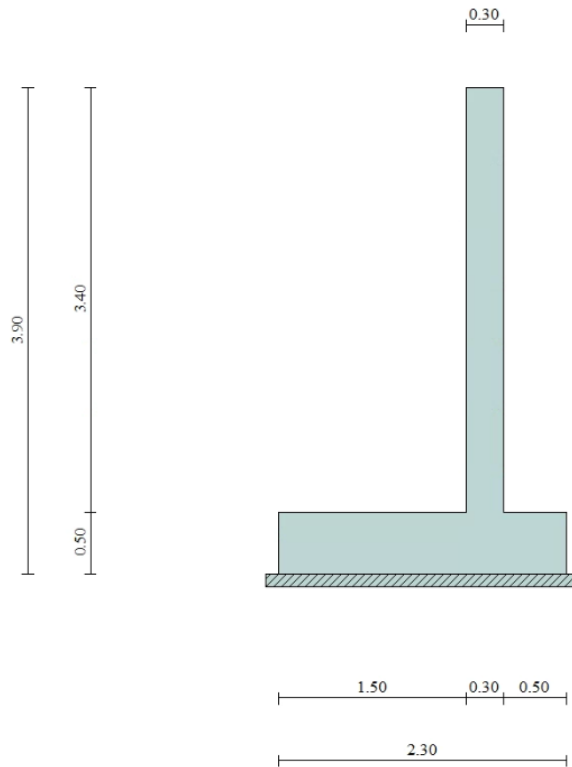
- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

#### 8.7.2 *Dati di progetto*

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).

VALLE

MONTE



**Figura 8-69: Sezione muro alla progressiva 0+000 km**

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

#### Muro a mensola in c.a.

Altezza del paramento	3.40 [m]
Spessore in sommità	0.30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.30 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1.50 [m]
---------------------------------------	----------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 253 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Lunghezza mensola fondazione di monte	0.50 [m]
Lunghezza totale fondazione	2.30 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

**Materiali utilizzati per la struttura**

*Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

*Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

**Geometria profilo terreno a monte del muro**

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

<b>N</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A</b>
1	0.02	-0.50	-87.71
2	10.00	-0.50	0.00

**Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0.00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	0.90	[m]

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>254 di 333</b>

### 8.7.3 *Analisi dei carichi*

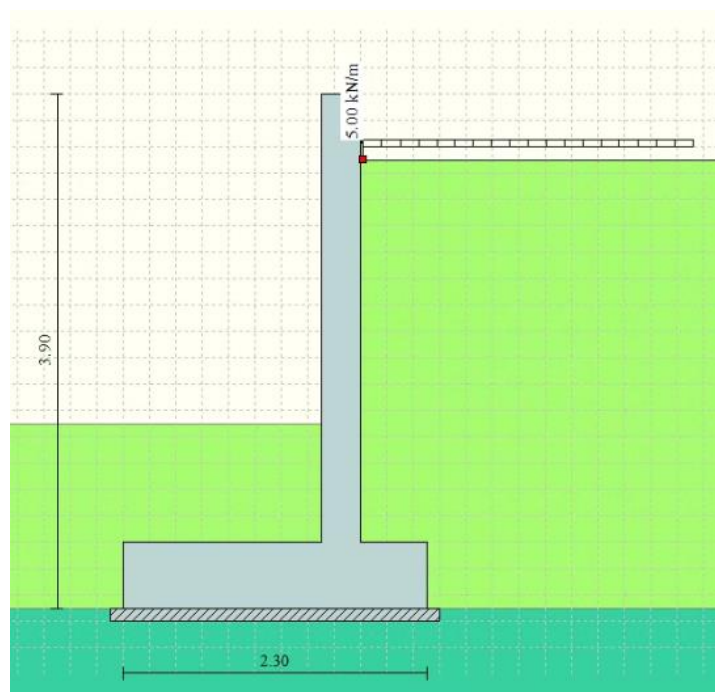
#### 8.7.3.1 Sovraccarico permanente

Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate, relativi a nuovi rilevati ferroviari:

- $\gamma_k = 20,00 \text{ kN/m}^3$       peso dell'unità di volume;
- $\varphi_k = 38^\circ$                       angolo di resistenza al taglio;
- $c_k = 0$                               coesione;
- $\delta_k = 25,33^\circ$                   angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

#### 8.7.3.2 Sovraccarico accidentale

Un carico accidentale minimo di  $5 \text{ kN/m}^2$ , relativo al carico proveniente dalla pista ciclopedonale, è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.

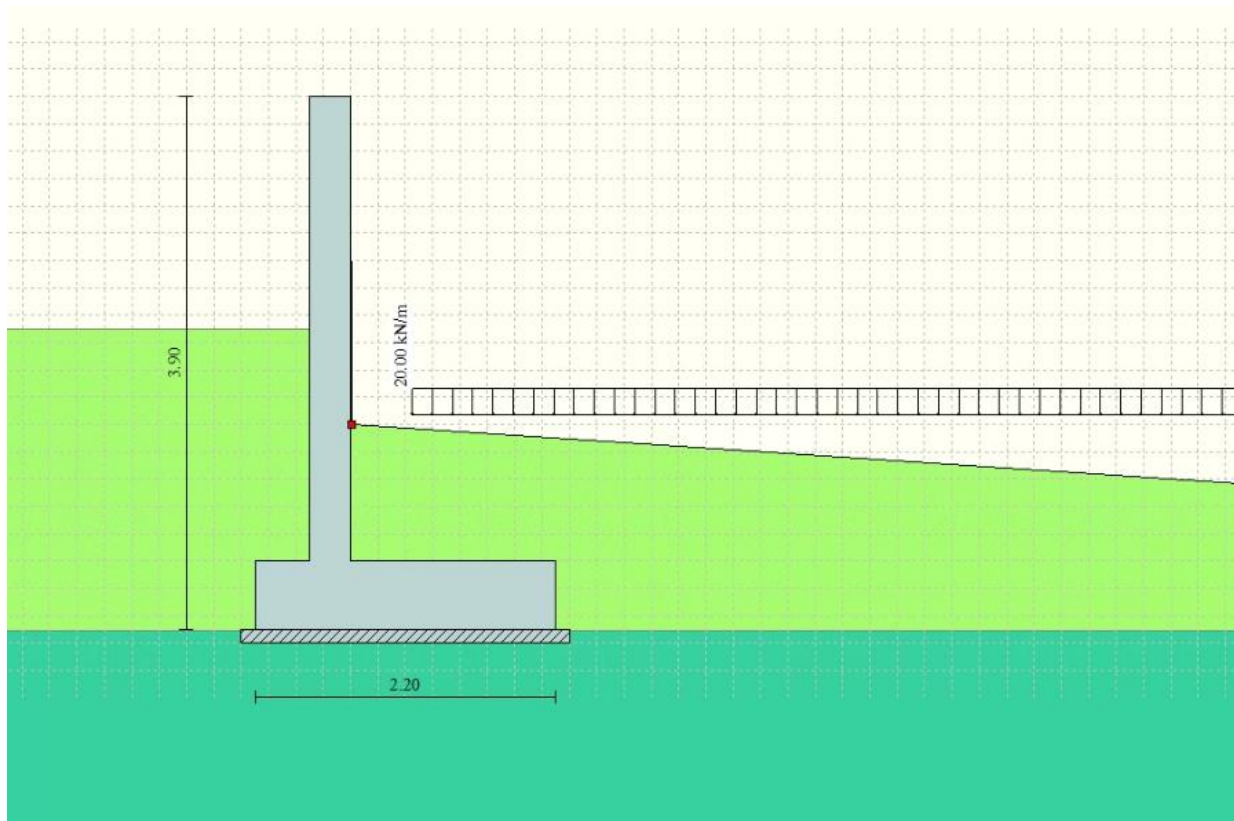


**Figura 8-70 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

Il software MAX14 non permette di unificare carichi a monte del muro. Per considerare la spinta, dovuta al sovratraffico, è stato considerato un secondo modello strutturale, in cui il carico di  $20 \text{ kPa}$  è stato ubicato a monte della struttura, mentre a valle, in via cautelativa, l'altezza del rilevato sottostante la

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 255 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 255 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 255 di 333		

pista ciclabile è stata ridotta. Il modello, comunque, non risulta pertinente alle verifiche geotecniche e strutturali e quindi, non è stato riportato nei paragrafi seguenti.



#### 8.7.3.3 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

#### 8.7.4 *Combinazioni di carico*

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 256 di 333

- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-13: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1.25	
Coesione efficace			1.25	
Resistenza non drenata			1.4	
Peso dell'unità di volume			1	
Stabilità globale				1.1(*)

**Tabella 8-14: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance		A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1.35		
Permanenti G2	Favorevoli	0.80		
	Sfavorevoli	1.5		
Ballast	Favorevoli	0.8		





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **257 di 333**

	Sfavorevoli	1.5		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.45		
Variabili Q	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.5		
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio			1	
Coesione efficace			1	
Resistenza non drenata			1	
Peso dell'unità di volume			1	
Capacità portante				1.4(*)
Scorrimento				1.1(*)
Ribaltamento				1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:

STR)  $\rightarrow \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

GEO-EQU)  $\rightarrow \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

Rara)  $\rightarrow G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

Frequente)  $\rightarrow G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Quasi permanente)  $\rightarrow G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

Combinazione sismica  $\rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **258 di 333**

Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

per A1:  $1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv$  peso specifico rilevato

per A2:  $1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq$  peso specifico rilevato

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.

La linea ferroviaria è ad una distanza dal muro di recinzione da non incidere sulla verifica di stabilità globale. È stato sviluppato un unico modello con i coefficienti A1, per l'opera in esame.



**Figura 8-71 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**

**Descrizione combinazione di carico**

*Simbologia adottata*

- F/S      Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
- $\gamma$       Coefficiente di partecipazione della condizione
- $\Psi$       Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **259 di 333**

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 260 di 333

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi sidewalk	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
--	-----	----------	--------	-----------------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **261 di 333**

Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b>γ</b>	<b>Ψ</b>	<b>γ * Ψ</b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b>γ</b>	<b>Ψ</b>	<b>γ * Ψ</b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b>γ</b>	<b>Ψ</b>	<b>γ * Ψ</b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 19 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b>γ</b>	<b>Ψ</b>	<b>γ * Ψ</b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 20 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b>γ</b>	<b>Ψ</b>	<b>γ * Ψ</b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 21 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b>γ</b>	<b>Ψ</b>	<b>γ * Ψ</b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 22 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 262 di 333

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 23 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 24 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 25 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 26 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 27 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi sidewalk	SFAV	1.00	1.00	1.00

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>263 di 333</b>

### 8.7.5 Verifiche

#### 8.7.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 22, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:

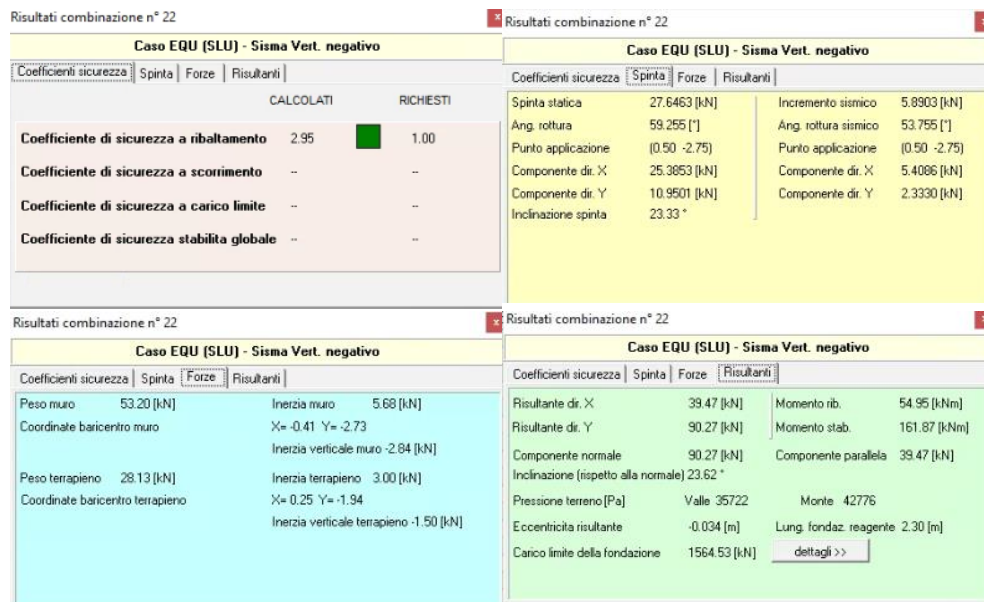


Figura 8-72 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)

- *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 20, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:

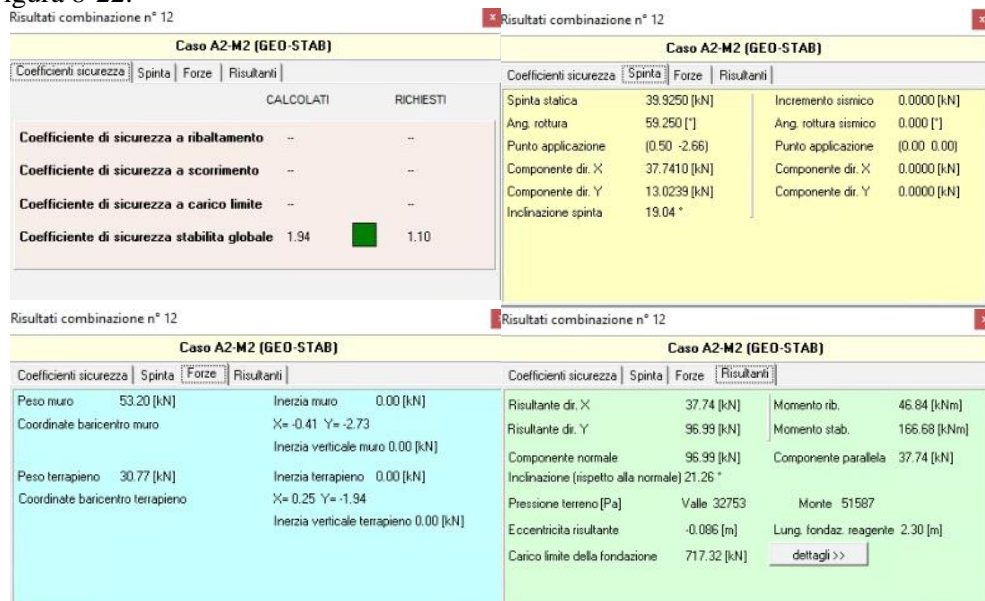




 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>  <b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b> LOTTO <b>01 D 26</b> CODIFICA <b>CL</b> DOCUMENTO <b>CS0000003</b> REV. <b>A</b> FOGLIO <b>265 di 333</b>

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘geo’ num. 12, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-22:



Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
		CALCOLATI					
		RICHIESTI					
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--	--	--	Spinta statica	39.9250 [kN]	Incremento sismico	0.0000 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--	--	--	Ang. rottura	59.250 [°]	Ang. rottura sismico	0.000 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--	--	--	Punto applicazione	(0.50 -2.66)	Punto applicazione	(0.00 0.00)
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	1.94	1.10	1.10	Componente dir. X	37.7410 [kN]	Componente dir. X	0.0000 [kN]
				Componente dir. Y	13.0239 [kN]	Componente dir. Y	0.0000 [kN]
				Inclinazione spinta	19.04 °		

Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
Peso muro	53.20 [kN]		Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	37.74 [kN]	Momento rib.	46.84 [kNm]
Coordinate baricentro muro		X=- 0.41 Y=- 2.73	Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	96.99 [kN]	Momento stab.	166.68 [kNm]
Peso terrapieno	30.77 [kN]		Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	96.99 [kN]	Componente parallela	37.74 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno		X= 0.25 Y=- 1.94	Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	21.26 °		
				Pressione terreno [Pa]	Valle 32753	Monte 51587		
				Eccentricità risultante	-0.086 [m]	Lung. fondaz. reagente	2.30 [m]	
				Carico limite della fondazione	717.32 [kN]			

**Figura 8-75 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

### 8.7.5.2 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo

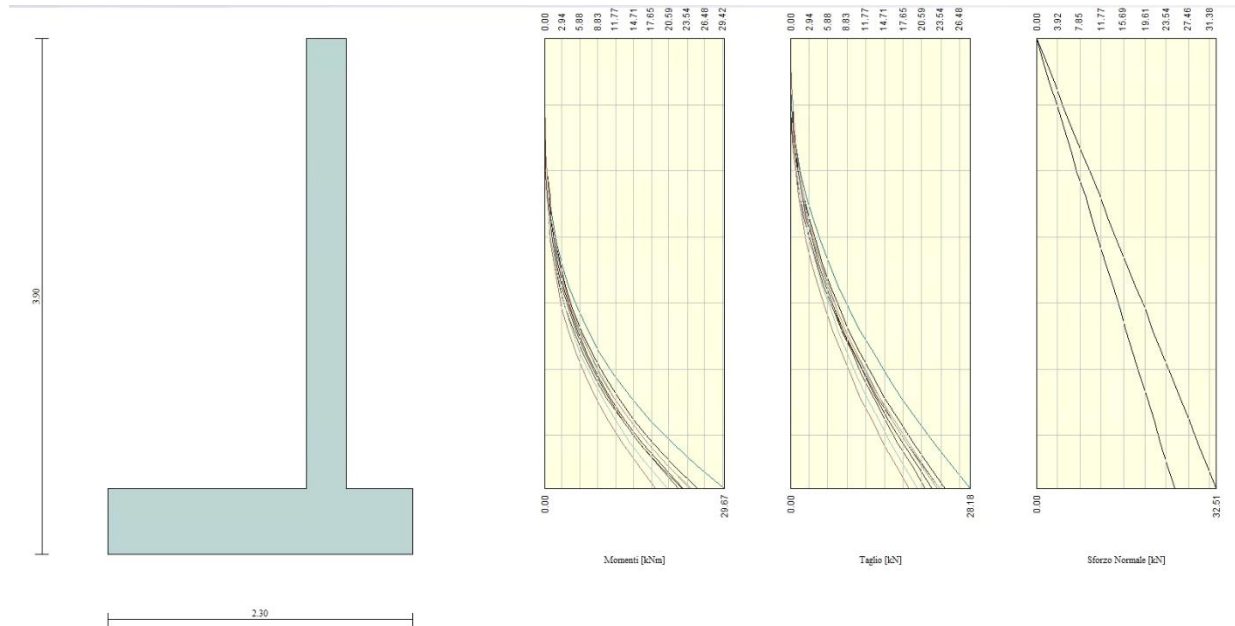
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L’obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-76 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-3.40 m)

Combinazione 7 :  $M_{Ed} = 29.67 \text{ kNm}$

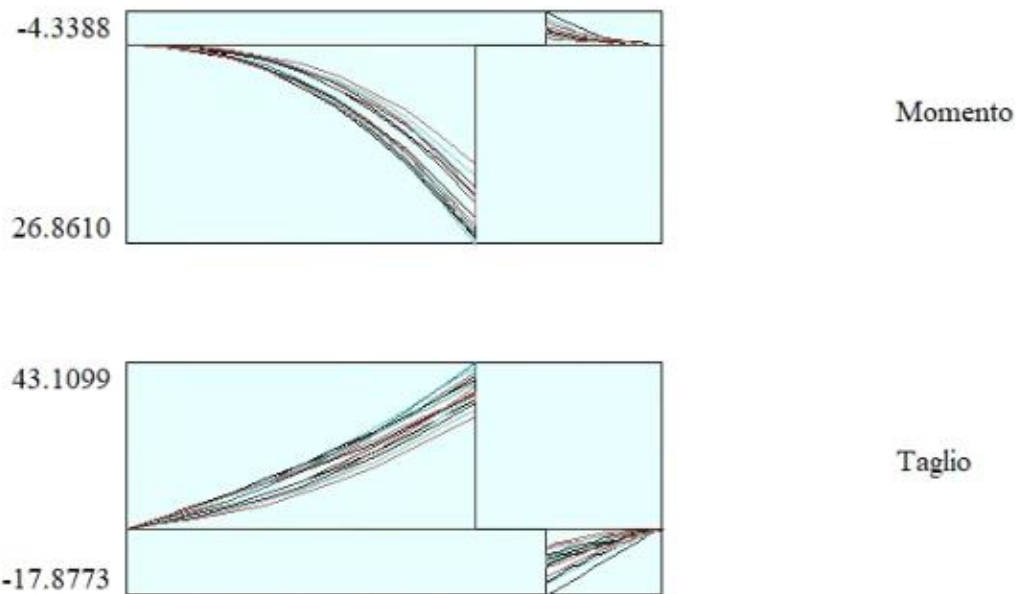
Valore di progetto del taglio agente (-3.40 m)

Combinazione 7:  $V_{Ed} = 28.18 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 267 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 267 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 267 di 333		



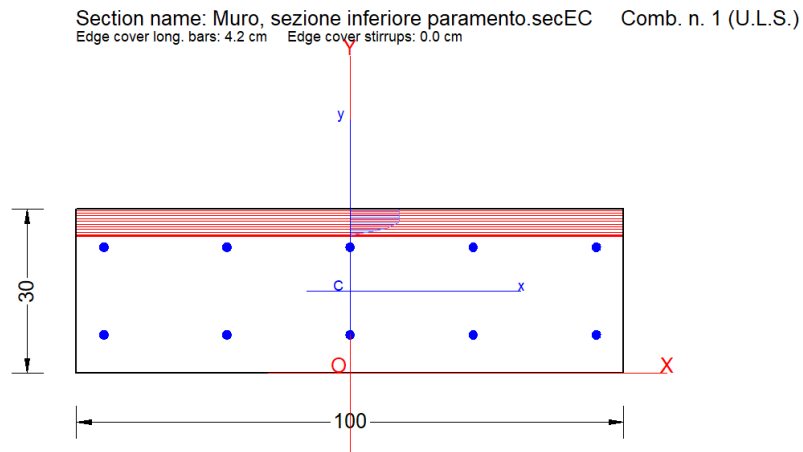
**Figura 8-77 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 8:  $M_{Ed} = -26.86 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 10:  $V_{Ed} = 43.11 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

### 8.7.5.2.1 Sezione inferiore del paramento



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:	
Reference code:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Exposure Class:	XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)
Structural member of belonging:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Section type:	Predefined section
Cross-section shape:	Rectangular
Stress path:	Constant axial force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes x,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength fcd:	18.1 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	33345.8 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	19.2 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	19.2 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	14.4 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>269 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
Stirrups:	B500A	
Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
Tensile strength ftk:	540.00	MPa
Design yield stress fyd:	434.8	MPa
Design strength ftd:	434.8	MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	30.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	29.67	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	14.4	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check										
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)										
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference										
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)										
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference										
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0										
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system										
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]										
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section										
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]										
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]										
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]										
1	OK	0.00	29.67	-0.27	98.28	3.313	25.2	82.05	---	---	---

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 270 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Ys max      Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
 es min      Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys min      Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.00581	30.0	-0.00157	23.0	-0.01316	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N.      Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc      X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc      Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c      Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0182307
2	-50.0	30.0	18.13	0.0035000
3	50.0	30.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0182307

**Longitudinal Bars:**

Bar N.      Number assigned to the bars  
 Xs, Ys      X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss      Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s      Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0131602
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0131602
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0131602
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0131602
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0131602
6	-45.0	23.0	-314.10	-0.0015705
7	-22.5	23.0	-314.10	-0.0015705
8	0.0	23.0	-314.10	-0.0015705
9	22.5	23.0	-314.10	-0.0015705
10	45.0	23.0	-314.10	-0.0015705

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>271 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 300$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 230$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$10.05 \text{ cm}^2$

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 28.2 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.933$	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.532$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.004$	$< 0.02$
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa $< 0.2 f_{cd}$

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

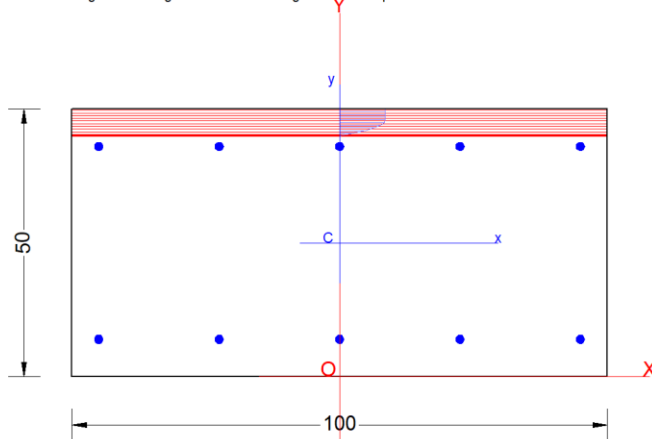
$$V_{Rd} = 128.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 122.3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 128.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.7.5.2.2 Sezione della fondazione

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
Edge cover long. bars: 4.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



**Section description:**

Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
Exposure Class: XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)  
Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
Section type: Predefined section  
Cross-section shape: Rectangular  
Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37	
	Design compressive strength fcd:	17.0	MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020	
	Ultimate strain ecu:	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle	
	Mean elastic modulus Ecm:	32836.6	MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0	MPa
	Stress limit Frequent SLS:	18.0	MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300	mm
	Coeff. k3:	3.4000	§ 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250	§ 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5	MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200	mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.0	MPa
	Tensile strength ftk:	540.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	Stirrups:	B500A	
	Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
	Tensile strength ftk:	540.00	MPa
	Design yield stress fyd:	434.8	MPa





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>273 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

Design strength f <sub>td</sub> :	434.8	MPa
Mean elastic modulus E <sub>s</sub> :	200000.0	MPa
SLS Charact. - S <sub>s</sub> Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
M <sub>x</sub>	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
V <sub>Y</sub>	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	M <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	MT
1	0.00	26.86	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
M <sub>x</sub>	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
M <sub>x</sub> ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, M <sub>x</sub> ult) to (N, M <sub>x</sub> ). Check OK if such ratio is >=1.0
Y <sub>neutral</sub>	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
M <sub>x</sub> sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	26.86	-0.28	175.26	6.525	45.0	156.06	---	---	---
---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec <sub>2</sub> /e <sub>cu</sub> of depth (if ec* > 0 then the section is all compressed)
Y <sub>c</sub> max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Y <sub>s</sub> max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Y <sub>s</sub> min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **274 di 333**

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01163	50.0	-0.00144	43.0	-0.02687	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0318085
2	-50.0	50.0	17.00	0.0035000
3	50.0	50.0	17.00	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0318085

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0268654
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0268654
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0268654
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0268654
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0268654
6	-45.0	43.0	-288.64	-0.0014432
7	-22.5	43.0	-288.64	-0.0014432
8	0.0	43.0	-288.64	-0.0014432
9	22.5	43.0	-288.64	-0.0014432
10	45.0	43.0	-288.64	-0.0014432

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>275 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	Ø	$16 = 10.05$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	Ø	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 430$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa	resist. di calcolo			$10.05$ cm <sup>2</sup>

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 43.1 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.418$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 166.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 179.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 179.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.7.5.3 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

#### • Le fessure limite sono:


- c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>276 di 333</b>

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Stato limite di apertura delle fessure

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

- a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
    - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
  - La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
    - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 y_k$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per le SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

$$M = 22.11 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 19.07 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

$$M = 20.26 \text{ kNm}$$

*Fondazione*

$$M = 17.58 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

$$M = 18.42 \text{ kNm}$$

*Fondazione*



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **277 di 333**

$M = 16.09 \text{ kNm}$

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

**8.7.5.3.1 Sezione inferiore del paramento**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	22.11

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	20.26

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	18.42

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check										
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)										
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)										
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]										
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)										
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars										
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)										
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)										
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)										
Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	3.08	30.0	0.00	23.0	-106.3	23.0	7.7	768	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>278 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= 0.5 for bending; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
$\emptyset   c$	Equivalent bar diameter [mm]   cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio $As\ eff/Ac\ eff$ [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = $0.6\ Smax / Es$
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = $sr\ max*(e\ sm - e\ cm)/[eq.(7.8)]$ . Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00076	0	0.500	16 6.2	0.013	0.000319 (0.00032)	419	0.133	49.25

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
e c	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0007635
2	-50.0	30.0	3.077	0.0002308
3	50.0	30.0	3.077	0.0002308
4	50.0	0.0	0.000	-0.0007635

**Longitudinal Bars:**

N. Bar	Assigned numbers to each bar
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
e s	Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-106.30	-0.0005315
2	-22.5	7.0	-106.30	-0.0005315
3	0.0	7.0	-106.30	-0.0005315
4	22.5	7.0	-106.30	-0.0005315
5	45.0	7.0	-106.30	-0.0005315
6	-45.0	23.0	-0.25	-0.0000012
7	-22.5	23.0	-0.25	-0.0000012
8	0.0	23.0	-0.25	-0.0000012
9	22.5	23.0	-0.25	-0.0000012
10	45.0	23.0	-0.25	-0.0000012

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	2.82	30.0	0.00	23.0	-97.4	23.0	7.7	768	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
---------	-------	----	----	----	-----------------	-------	-------------	--------	----	---------



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **279 di 333**

1 OK -0.00070 0 0.500 16|6.2 0.013 0.000292 (0.00029) 419 0.122 (0.30) 49.25

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0006996
2	-50.0	30.0	2.819	0.0002114
3	50.0	30.0	2.819	0.0002114
4	50.0	0.0	0.000	-0.0006996

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-97.40	-0.0004870
2	-22.5	7.0	-97.40	-0.0004870
3	0.0	7.0	-97.40	-0.0004870
4	22.5	7.0	-97.40	-0.0004870
5	45.0	7.0	-97.40	-0.0004870
6	-45.0	23.0	-0.23	-0.0000011
7	-22.5	23.0	-0.23	-0.0000011
8	0.0	23.0	-0.23	-0.0000011
9	22.5	23.0	-0.23	-0.0000011
10	45.0	23.0	-0.23	-0.0000011

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	2.56	30.0	0.00	23.0	-88.6	23.0	7.7	768	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00064	0	0.500	16 6.2	0.013	0.000266 (0.00027)	419	0.111 (0.20)	49.25

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0006361



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 280 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

2	-50.0	30.0	2.563	0.0001922
3	50.0	30.0	2.563	0.0001922
4	50.0	0.0	0.000	-0.0006361

**Longitudinal Bars:**

N. Bar	Assigned numbers to each bar
Xs, Ys	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O
Ss	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
e s	Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-88.56	-0.0004428
2	-22.5	7.0	-88.56	-0.0004428
3	0.0	7.0	-88.56	-0.0004428
4	22.5	7.0	-88.56	-0.0004428
5	45.0	7.0	-88.56	-0.0004428
6	-45.0	23.0	-0.21	-0.0000010
7	-22.5	23.0	-0.21	-0.0000010
8	0.0	23.0	-0.21	-0.0000010
9	22.5	23.0	-0.21	-0.0000010
10	45.0	23.0	-0.21	-0.0000010

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	1.00	0.40	1500	---	---	---	-226.79	10.1	4.0
1	Quasi-perm.	Web	1.00	0.40	1500	---	---	---	-226.79	10.1	4.0

**8.7.5.3.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	19.07

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)
Mx	Moment force [kNm] around x axis





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>281 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	17.58

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	16.09

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check Result of Check  
Sc max Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc max y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)  
Sc min Min compression stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc min y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)  
Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]  
Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)  
hc eff. Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars  
Ac eff Effective tension area [cm<sup>2</sup>] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)  
As eff Area of tension steel bars [cm<sup>2</sup>] within Ac eff (for crack width control)  
D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]  
(D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.92	50.0	0.00	40.4	-48.0	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check Result of check  
e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]  
kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])  
k2 = 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2\*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
Ø | c Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
sr max Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es  
wk Max final crack [mm] spacing  
M crack Calculated value [mm] of crack width = sr max\*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets  
First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00029	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000144 (0.00014)	575	0.083	132.01

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **282 di 333**

e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0002905
2	-50.0	50.0	0.924	0.0000693
3	50.0	50.0	0.924	0.0000693
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002905

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-48.03	-0.0002402
2	-22.5	7.0	-48.03	-0.0002402
3	0.0	7.0	-48.03	-0.0002402
4	22.5	7.0	-48.03	-0.0002402
5	45.0	7.0	-48.03	-0.0002402
6	-45.0	43.0	3.78	0.0000189
7	-22.5	43.0	3.78	0.0000189
8	0.0	43.0	3.78	0.0000189
9	22.5	43.0	3.78	0.0000189
10	45.0	43.0	3.78	0.0000189

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.85	50.0	0.00	40.4	-44.3	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00027	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000133 (0.00013)	575	0.076 (0.30)	132.01

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0002678
2	-50.0	50.0	0.852	0.0000639
3	50.0	50.0	0.852	0.0000639
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002678

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **283 di 333**

Bar N.	Ss		e s	
	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-44.28	-0.0002214
2	-22.5	7.0	-44.28	-0.0002214
3	0.0	7.0	-44.28	-0.0002214
4	22.5	7.0	-44.28	-0.0002214
5	45.0	7.0	-44.28	-0.0002214
6	-45.0	43.0	3.49	0.0000174
7	-22.5	43.0	3.49	0.0000174
8	0.0	43.0	3.49	0.0000174
9	22.5	43.0	3.49	0.0000174
10	45.0	43.0	3.49	0.0000174

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.78	50.0	0.00	40.4	-40.5	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00025	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000122 (0.00012)	575	0.070 (0.20)	132.01

**SLS - QUASI-PERMANENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0002451
2	-50.0	50.0	0.780	0.0000585
3	50.0	50.0	0.780	0.0000585
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002451

**Longitudinal Bars:**

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-40.53	-0.0002026
2	-22.5	7.0	-40.53	-0.0002026
3	0.0	7.0	-40.53	-0.0002026
4	22.5	7.0	-40.53	-0.0002026
5	45.0	7.0	-40.53	-0.0002026
6	-45.0	43.0	3.19	0.0000160
7	-22.5	43.0	3.19	0.0000160
8	0.0	43.0	3.19	0.0000160



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
**NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 284 di 333**

9	22.5	43.0	3.19	0.0000160
10	45.0	43.0	3.19	0.0000160

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1

**8.7.5.4 Riassunto delle armature**

• *Sezione del muro*

**Lato a monte**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Lato a vale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati** 38x $\Phi 12$  (19 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura superiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm

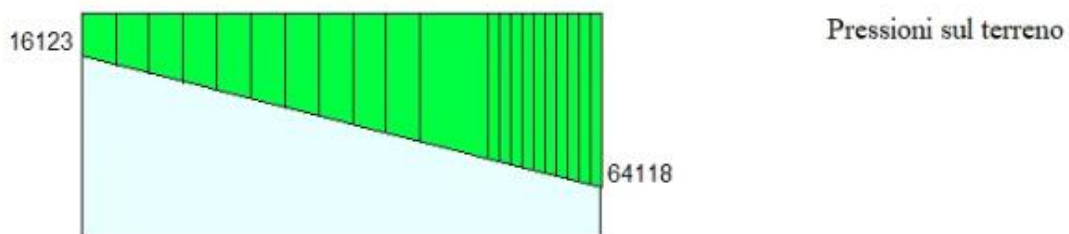
**Armatura inferiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm

**8.7.5.5 Verifica dei cedimenti**

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 285 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 285 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 285 di 333		



**Figure 8-78 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 2.30 m

H rilevato esistente media = 1.30 m

Pressione in scarico/ricarico =  $1.30 \times 18 = 23.4$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(64 - 16) \times 2/3 + 16 = 48$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $48 - 23.4 = 24.6$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 14 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per la nuova viabilità (NV01).



# NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”

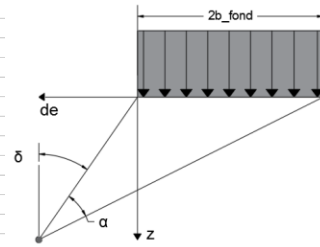
## LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **286 di 333**

### STRATIGRAFIA

Peso per unità di volume	y_terreno = 20.00	kN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico di compressione vergine	Evc = 20.00	MPa
Modulo elastico di scarico e ricarica	Eur = 10.00	MPa
Profondità falda rispetto alla fondazione	Hw = 30.00	m



### MURO DI SOSTEGNO

Larghezza della fondazione	2b_fond = 2.30	m
Azione di calcolo	q_fond = 48.00	kN/m <sup>2</sup>
Azione di compressione vergine	q_fond_vc = 24.60	kN/m <sup>2</sup>
Azione di ricompressione	q_fond_ur = 23.40	kN/m <sup>2</sup>

### RILEVATO

#### BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE

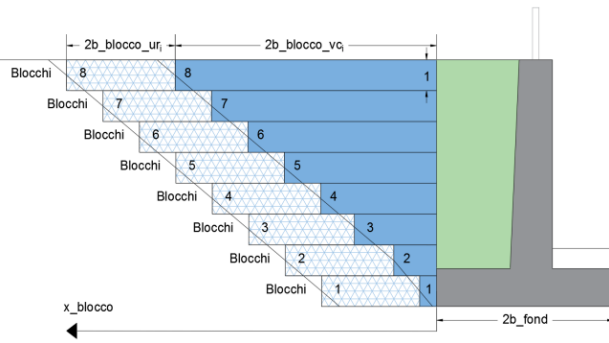
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	x_blocco = 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	2b_blocco_vc = 1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	q_blocco_vc = 20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### BLOCCHI\_RICOMPRESSI

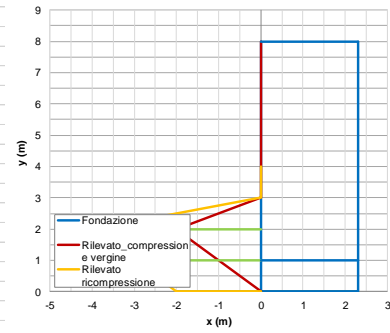
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	x_blocco = 1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	2b_blocco_ur = 2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	q_blocco_vc = 20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### CALCOLO

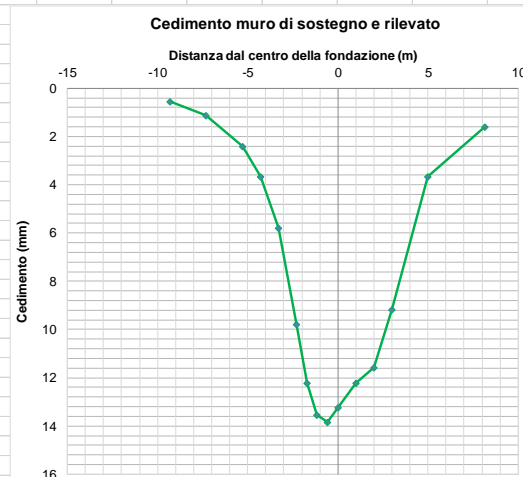
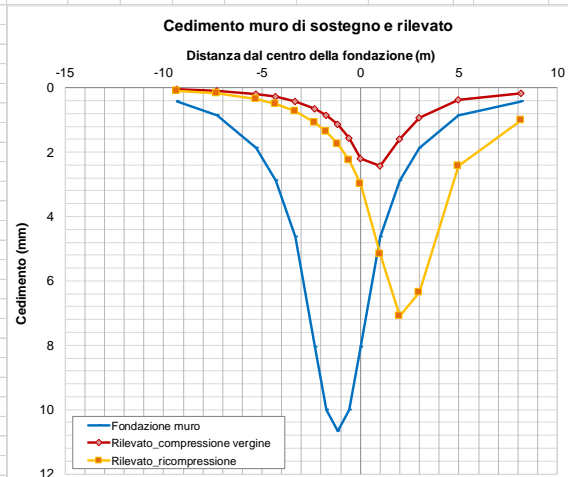
Criterio definizione della profondità significativa:	sulla base di un valore target di incremento di sforzo
Valore target di incremento di sforzo	$\Delta\sigma/\sigma'v0 = 0.10$
Profondità significativa	z_calc = 7.00



#### Geometria modello



### SINTESI DEI RISULTATI



Cedimento massimo = 14mm

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> Relazione di calcolo 3/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 287 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 287 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 287 di 333		

### 8.8 Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo B - Ramo 4 PK: 25+000 a 50+000

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.

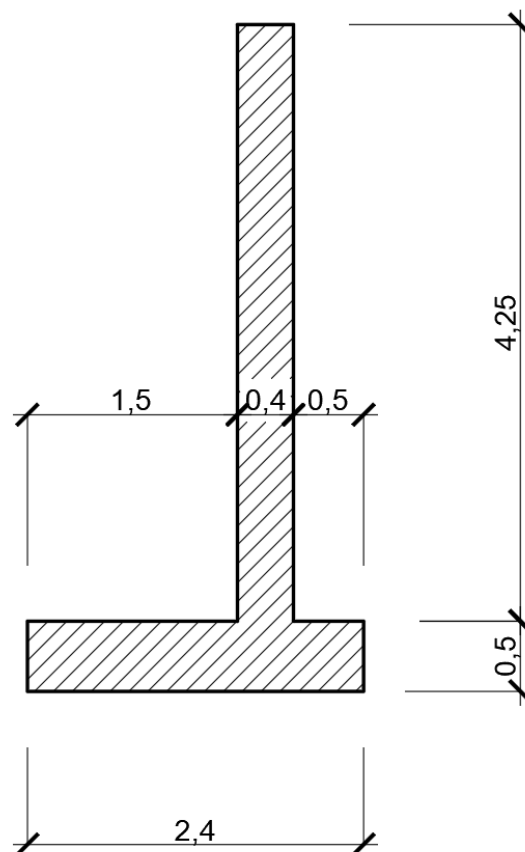


Figura 8-79: Sezione di riferimento muro

#### 8.8.1 Caratteristiche dei terreni

##### 8.8.1.1 Terreno spingente

Per il terreno spingente sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 35,00^\circ$
- Angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno  $\rightarrow \delta_k = 23,33^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 288 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 288 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 288 di 333		

### 8.8.1.2 Terreno di fondazione

Per il terreno di fondazione sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

STRATO 1 (0 - 1m):

- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 2 (1 - 12m):

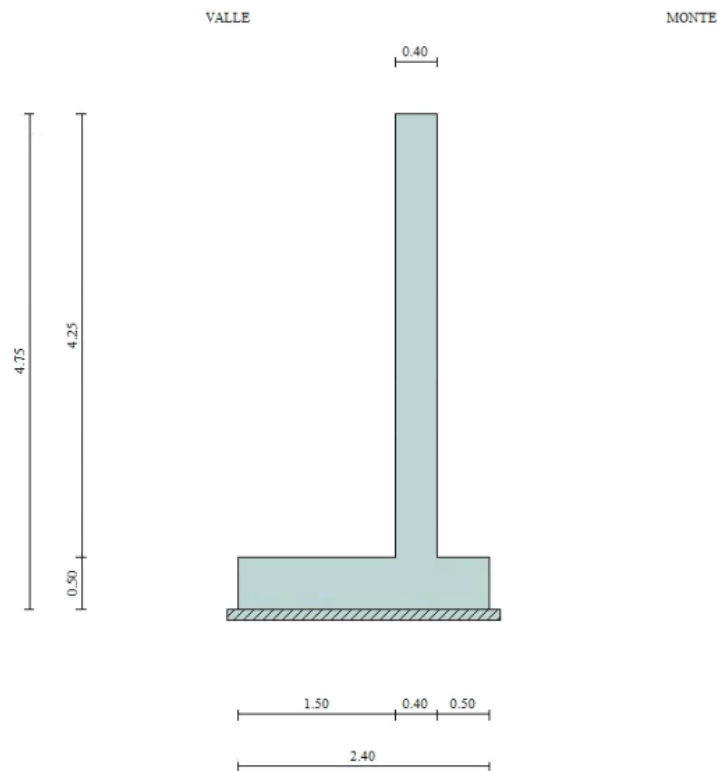
- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 36,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.8.2 *Dati di progetto*

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (le azioni agenti lungo le pk di riferimento rimangono invariate).



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>289 di 333</b>



**Figura 8-80: Sezione muro alla progressiva 25+000 km**

### Geometria muro e fondazione

#### Descrizione

#### Muro a mensola in c.a.

Altezza del paramento	4.25 [m]
Spessore in sommità	0.40 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.40 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	1.50 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.50 [m]



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 290 di 333

Lunghezza totale fondazione	2.40 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.50 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

**Materiali utilizzati per la struttura**

*Calcestruzzo*

Peso specifico	24.517 [kN/mc]
Classe di Resistenza	C32/40
Resistenza caratteristica a compressione $R_{ck}$	40000000 [Pa]
Modulo elastico E	33642648365 [Pa]

*Acciaio*

Tipo	B450C
Tensione di snervamento $\sigma_{fa}$	449936256 [Pa]

**Geometria profilo terreno a monte del muro**

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

<b>N</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A</b>
1	0.02	-0.56	-87.95
2	15.00	-0.56	0.00

**Terreno a valle del muro**

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale	0.00	[%]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento	1.00	[m]

**8.8.3 Analisi dei carichi**

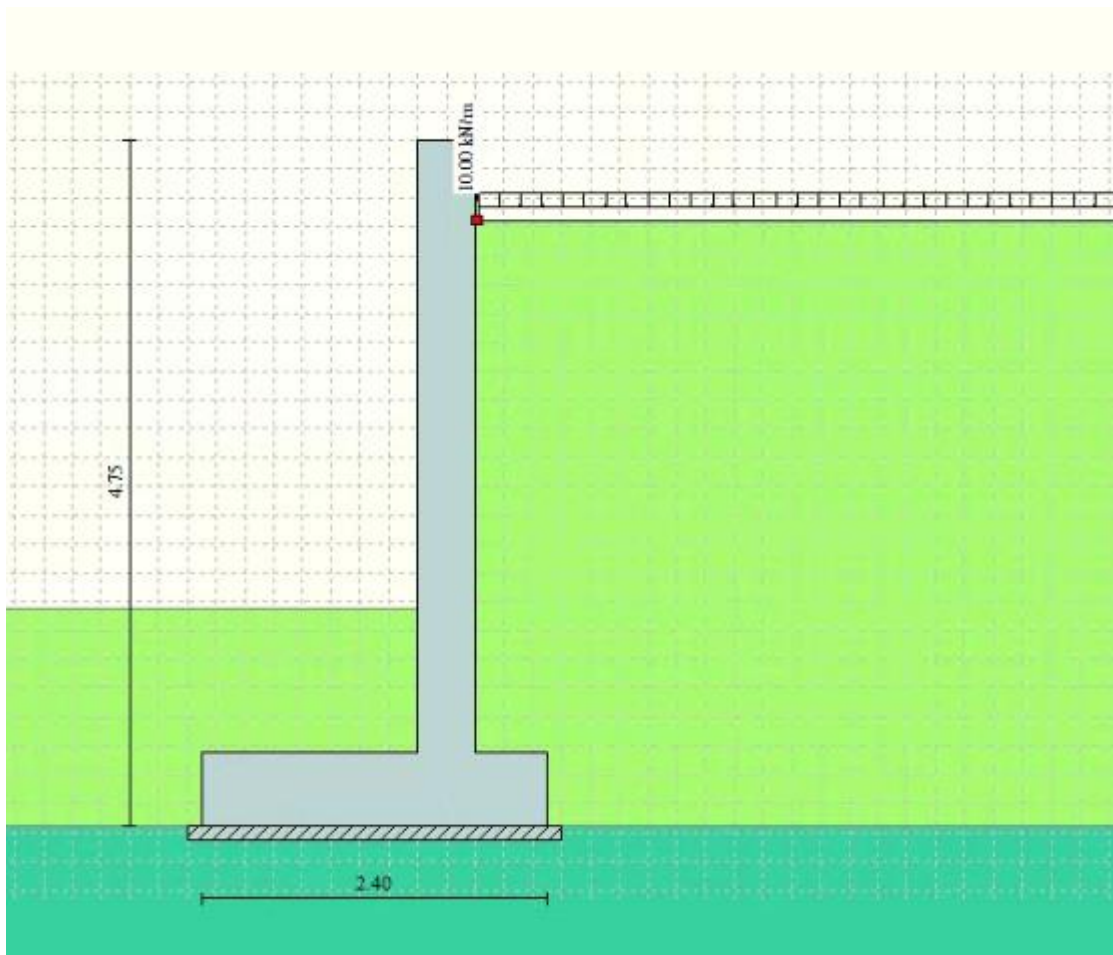
**8.8.3.1 Sovraccarico permanente**

Nelle analisi svolte si considera un riempimento a tergo del muro composto da terreno di riempimento per il quale si assumono i seguenti parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate, relativi a nuovi rilevati ferroviari:

$\gamma_k = 19,00 \text{ kN/m}^3$  peso dell'unità di volume;  
 $\varphi_k = 35^\circ$  angolo di resistenza al taglio;  
 $c_k = 0$  coesione;  
 $\delta_k = 23,33^\circ$  angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

### 8.8.3.2 Sovraccarico accidentale

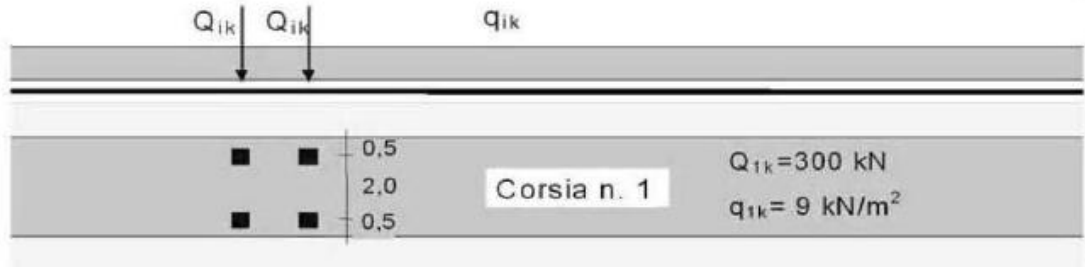
Un carico accidentale minimo di  $10 \text{ kN/m}^2$  è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.



**Figura 8-81 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

### 8.8.3.3 Carichi da traffico

È stato assunto un carico verticale pari a  $Q_{ik}=300 \text{ kN}$  distribuito lungo la larghezza della corsia pari a 3m, a favore di sicurezza. Il carico distribuito di  $9 \text{ kN/m}^2$  è anche stato considerato.



Un carico accidentale minimo di 100kN/m è considerato sul terreno nella zona tra il binario più vicino e il muro.

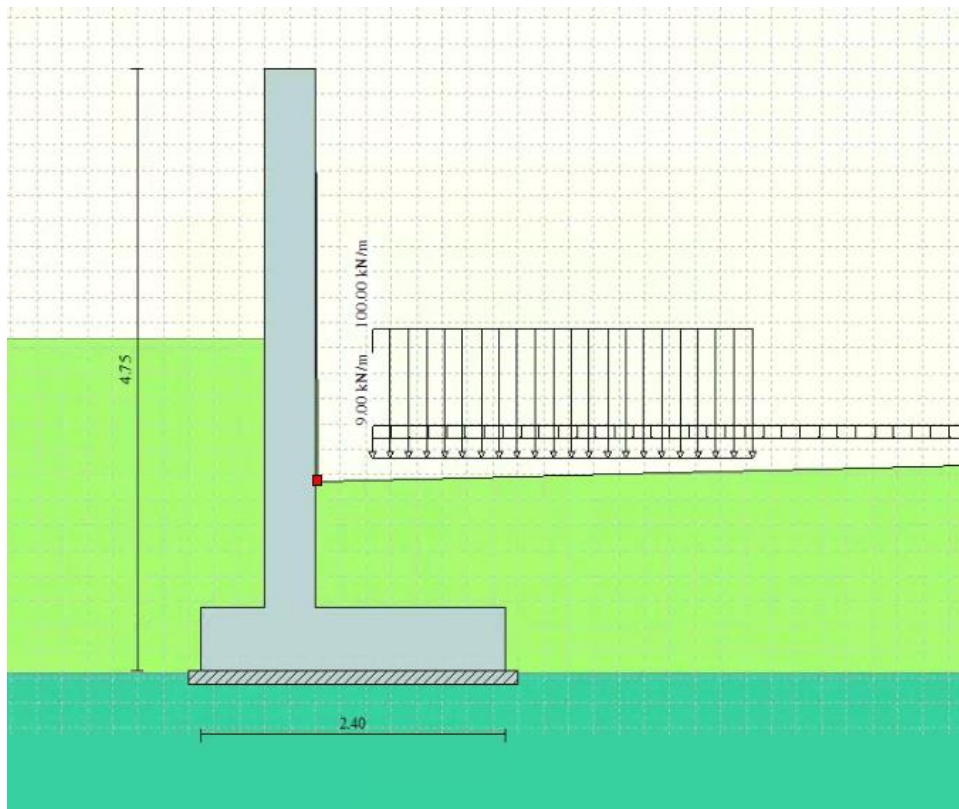


Figura 8-82 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico traffico

Analogamente a quanto descritto nel punto 8.6.3.2 per la precedente tipologia di muro, un secondo modello è stato sviluppato, per valutare l’azione del traffico a monte dell’opera. I risultati ottenuti non sono pertinenti le verifiche e, quindi, non vengono riportati.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>293 di 333</b>

#### 8.8.3.4 Sisma

Si rimanda al capitolo 6. Il software implementa automaticamente l'azione sismica come prescritta dal NTC 2018.

#### 8.8.4 *Combinazioni di carico*

In accordo a quanto prescritto al §6.5.3.1.1 delle NTC2018, per il muro di sostegno sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (Approccio 2 – A1 + M1 + R3);
  - ribaltamento (Approccio 2 – EQU + M2 + R3);
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (Approccio 1, Combinazione 2 – A2 + M2 + R2).
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Si vedano le tabelle seguenti per i coefficienti A, M e R prescritti dal NTC 2018:

**Tabella 8-15: Parametri per le verifiche in Approccio 1**

Azione/parametro/verifica		A2	M2	R2
Permanenti G1	Favorevoli	1		
	Sfavorevoli	1		
Permanenti G2	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Ballast	Favorevoli	0.8		
	Sfavorevoli	1.3		
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.25		
Variabili	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.3		



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 294 di 333

Azione/parametro/verifica	A2	M2	R2
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio		1.25	
Coesione efficace		1.25	
Resistenza non drenata		1.4	
Peso dell'unità di volume		1	
Stabilità globale			1.1(*)

**Tabella 8-16: Parametri per le verifiche in Approccio 2**

Action/parameter/resistance	A1	M1	R3
Permanenti G1	Favorevoli	1	
	Sfavorevoli	1.35	
Permanenti G2	Favorevoli	0.80	
	Sfavorevoli	1.5	
Ballast	Favorevoli	0.8	
	Sfavorevoli	1.5	
Variabili da traffico	Favorevoli	0.0	
	Sfavorevoli	1.45	
Variabili Q	Favorevoli	0.0	
	Sfavorevoli	1.5	
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio		1	
Coesione efficace		1	
Resistenza non drenata		1	
Peso dell'unità di volume		1	
Capacità portante			1.4(*)
Scorrimento			1.1(*)
Ribaltamento			1.15(*)

\*) In condizioni sismiche i coefficienti parziali sui parametri geotecnici  $\gamma_m$  e sulle resistenze globali  $\gamma_R$  sono tutti unitari (vedasi MdP 2018, paragrafo §3.10.3.2.3).

Ai fini delle verifiche degli stati limite ultimi si definiscono le seguenti combinazioni:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 295 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

$$\text{STR}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{GEO-EQU}) \quad \rightarrow \quad \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Rara}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio (tensioni e fessurazione) si definiscono le seguenti combinazioni:

$$\text{Frequente}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente}) \quad \rightarrow \quad G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Per la condizione sismica, la combinazione per gli stati limite ultimi da prendere in considerazione è:

$$\text{Combinazione sismica} \rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

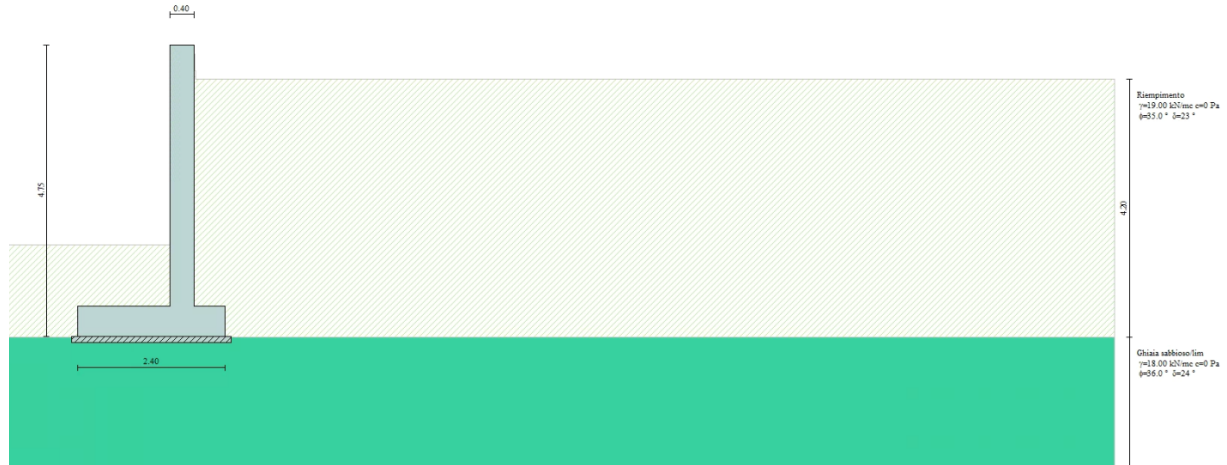
Nota: Poiché il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un valore di  $\gamma$  differente da quello del peso proprio del muro e del terreno spingente. L'approccio richiede la generazione di due modelli (uno per i coefficienti A1 e l'altro per i coefficienti A2) in cui il peso specifico del ballast è aumentato nel modo seguente:

$$\text{per A1: } 1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv \text{peso specifico rilevato}$$

$$\text{per A2: } 1.30/1.00 = 1.30 \rightarrow 1.30 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 23.4 \text{ kN/m}^3 \neq \text{peso specifico rilevato}$$

Il carico indotto dal ballast è quindi stato schematizzato nel modello di calcolo del muro di sostegno Max14 con uno strato di terreno posto a monte del muro di sostegno con i pesi specifici sopra indicati, utilizzati rispettivamente in riferimento alle combinazioni A1 e A2.

La linea ferroviaria è ad una distanza dal muro di recinzione da non incidere sulla verifica di stabilità globale. È stato sviluppato un unico modello con i coefficienti A1, per l'opera in esame.



**Figura 8-83 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione**

**A1**

**Descrizione combinazione di carico**

*Simbologia adottata*

- F/S*      Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)
- $\gamma$         Coefficiente di partecipazione della condizione
- $\Psi$         Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari  
Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **297 di 333**

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	<b>S/F</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b><math>\gamma * \Psi</math></b>
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **298 di 333**

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 - Quasi Permanente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 15 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 16 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentale	SFAV	1.00	1.00	1.00

### 8.8.5 Verifiche

#### 8.8.5.1 Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche sono state condotte direttamente con il software MAX14 secondo i requisiti delle NTC2018.

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 10, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-19:



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **299 di 333**

Risultati combinazione n° 10				Risultati combinazione n° 10			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
CALCOLATI		RICHIESTI					
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	2.42		1.00	Spinta statica	40.7307 [kN]	Incremento sismico	8.9648 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--		--	Ang. rottura	58.943 [°]	Ang. rottura sismico	53.255 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--		--	Punto applicazione	(0.50 -3.35)	Punto applicazione	(0.50 -3.35)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--		--	Componente dir. X	37.3996 [kN]	Componente dir. X	8.2316 [kN]
				Componente dir. Y	16.1326 [kN]	Componente dir. Y	3.5508 [kN]
				Inclinazione spinta	23.33 °		

Risultati combinazione n° 10				Risultati combinazione n° 10			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	71.10 [kN]	Inerzia muro	7.58 [kN]	Risultante dir. X	56.97 [kN]	Momento rib.	94.75 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.41 Y=-3.11	Inerzia verticale muro	-3.79 [kN]	Risultante dir. Y	120.28 [kN]	Momento stab.	228.97 [kNm]
Peso terrapieno	35.16 [kN]	Inerzia terrapieno	3.75 [kN]	Componente normale	120.28 [kN]	Componente parallela	56.97 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.25 Y=-2.40	Inerzia verticale terrapieno	-1.88 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	25.34 °		
				Pressione terreno [Pa]	Valle 60647	Monte 39583	
				Eccentricita risultante	0.084 [m]	Lung. fondaz. reagente	2.40 [m]
				Carico limite della fondazione	1385.47 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-84 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)**

• *Scorrimento*

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 8, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-20:

Risultati combinazione n° 8				Risultati combinazione n° 8			
Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
CALCOLATI		RICHIESTI					
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--		--	Spinta statica	40.7307 [kN]	Incremento sismico	5.6418 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.04		1.00	Ang. rottura	58.943 [°]	Ang. rottura sismico	55.318 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	14.19		1.20	Punto applicazione	(0.50 -3.35)	Punto applicazione	(0.50 -3.35)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--		--	Componente dir. X	37.3996 [kN]	Componente dir. X	5.1804 [kN]
				Componente dir. Y	16.1326 [kN]	Componente dir. Y	2.2346 [kN]
				Inclinazione spinta	23.33 °		

Risultati combinazione n° 8				Risultati combinazione n° 8			
Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo				Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	71.10 [kN]	Inerzia muro	5.06 [kN]	Risultante dir. X	50.14 [kN]	Momento rib.	80.16 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.41 Y=-3.11	Inerzia verticale muro	-2.53 [kN]	Risultante dir. Y	120.85 [kN]	Momento stab.	225.81 [kNm]
Peso terrapieno	35.16 [kN]	Inerzia terrapieno	2.50 [kN]	Componente normale	120.85 [kN]	Componente parallela	50.14 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.25 Y=-2.40	Inerzia verticale terrapieno	-1.25 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	22.53 °		
				Pressione terreno [Pa]	Valle 49637	Monte 51011	
				Eccentricita risultante	-0.005 [m]	Lung. fondaz. reagente	2.40 [m]
				Carico limite della fondazione	1714.96 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-85 – Risultati verifica allo scorrimento (da MAX 14)**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

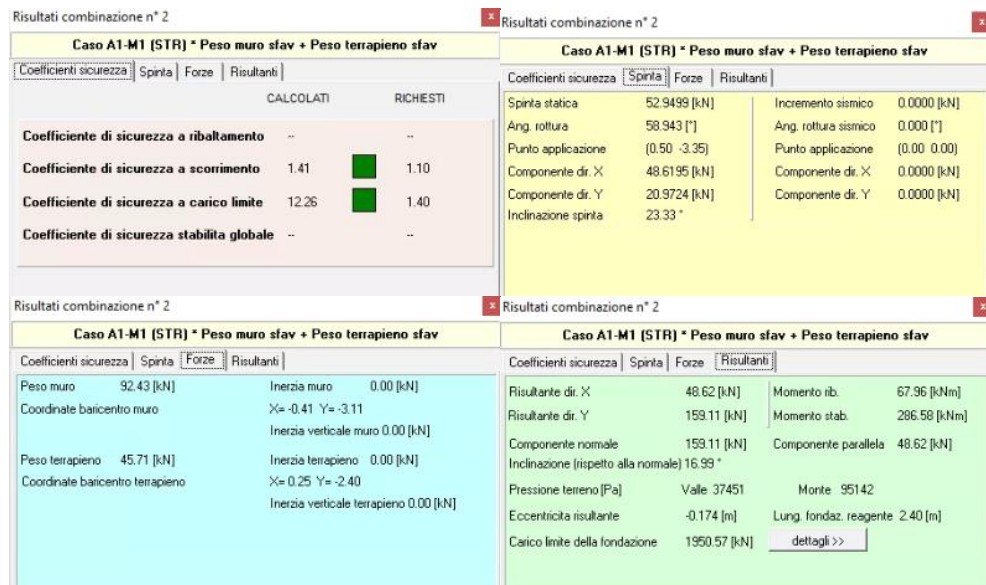
**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA **NM27**    LOTTO **01 D 26**    CODIFICA **CL**    DOCUMENTO **CS0000003**    REV. **A**    FOGLIO **300 di 333**

- *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 2, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella



**Figura 8-86 – Risultati verifica al carico limite (da MAX 14)**

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘geo’ num. 6, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-22:



**Figura 8-87 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 301 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 301 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 301 di 333		

### 8.8.5.2 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo

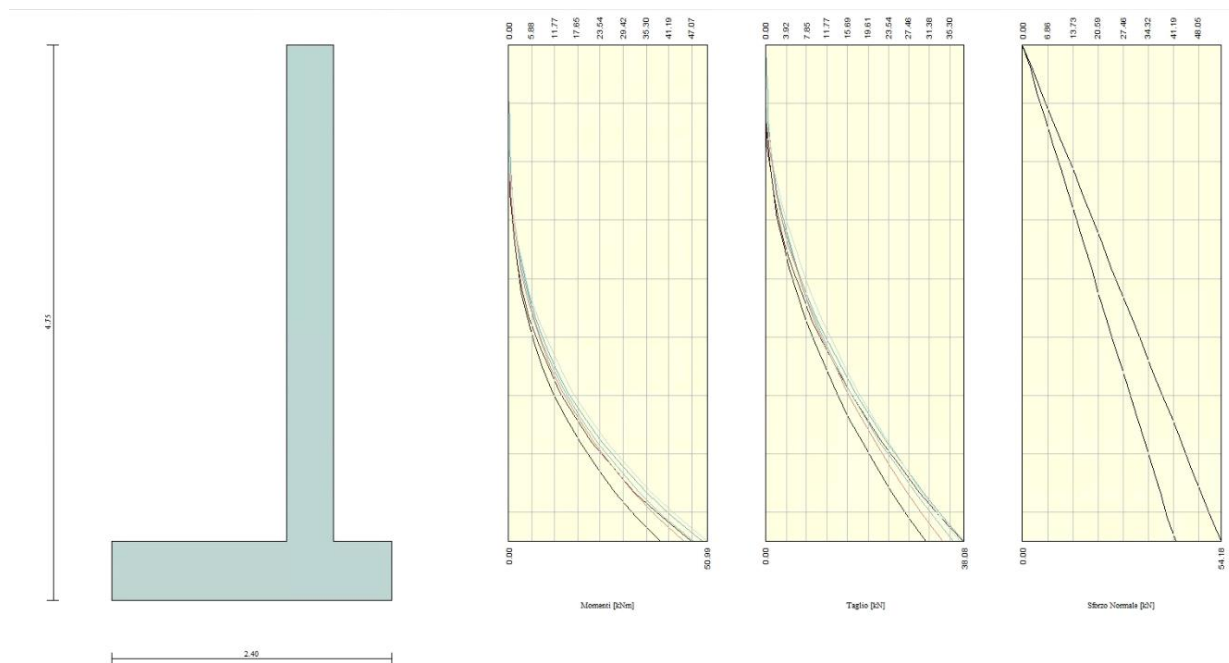
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti) delle NTC2018.

L'obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

Per ottenere i valori di progetto è stato usato il software MAX14.

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-88 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (-4.25 m)

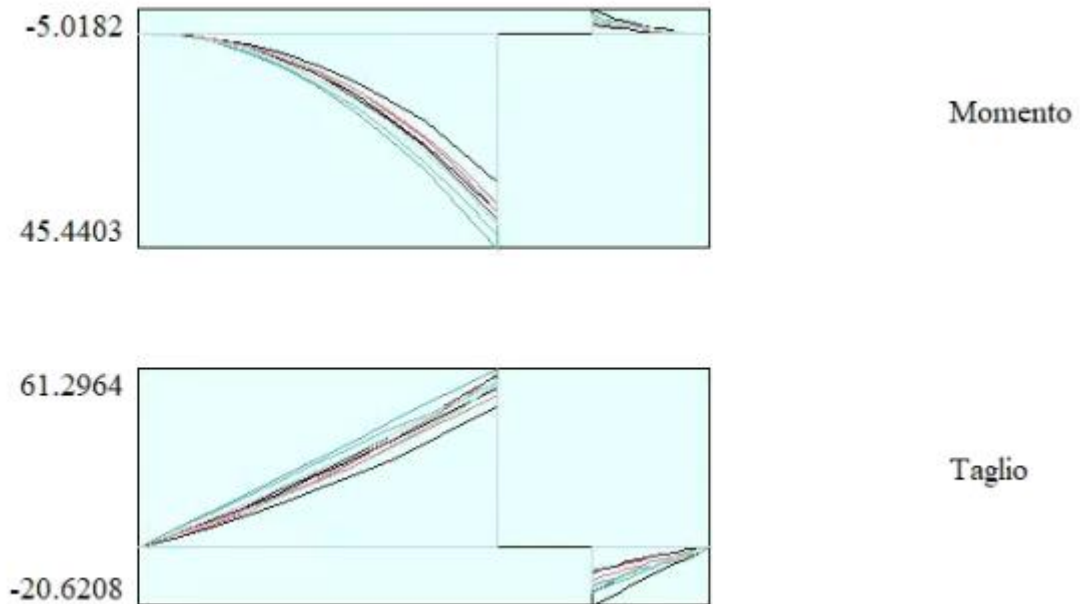
Combinazione 16 :  $M_{Ed} = 50.99 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente (-4.25 m)

Combinazione 7:  $V_{Ed} = 38.08 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-89 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

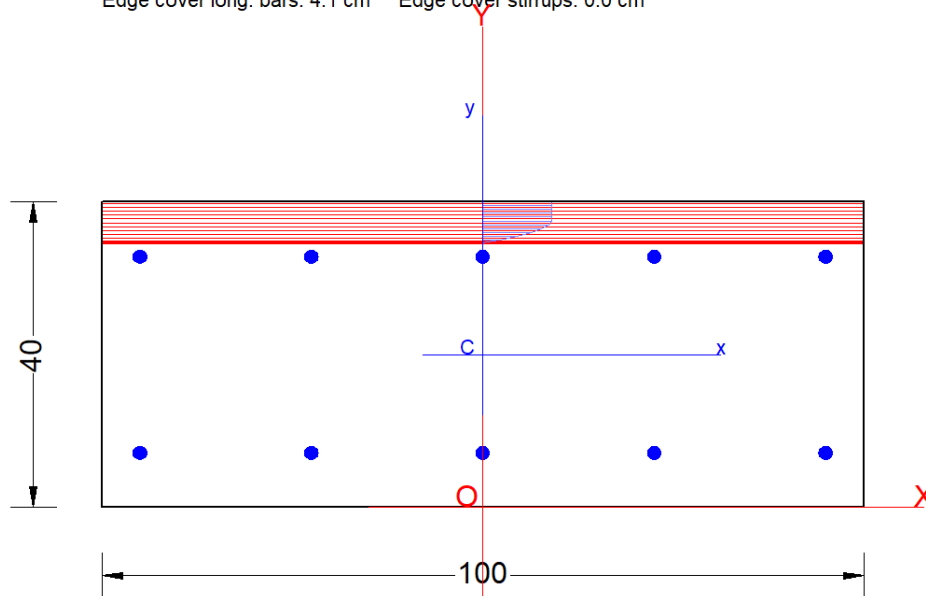
Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 7:  $M_{Ed} = 45.44 \text{ kNm}$   
 Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 7:  $V_{Ed} = 61.30 \text{ kN}$

La resistenza delle sezioni muro e fondazione è stata determinata con il software RC-SEC, come mostrato di seguito.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>303 di 333</b>

### 8.8.5.2.1 Sezione inferiore del paramento

Section name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
 Edge cover long. bars: 4.1 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



#### Section description:

Reference code:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Exposure Class:	XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)
Structural member of belonging:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Section type:	Predefined section
Cross-section shape:	Rectangular
Stress path:	Constant axial force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes x,y of inertia

#### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C32/40
	Design compressive strength $f_{cd}$ :	18.1 MPa
	Strain at max strength $\epsilon_{c2}$ :	0.0020
	Ultimate strain $\epsilon_{cu}$ :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus $E_{cm}$ :	33345.8 MPa
	Mean tensile strength $f_{ctm}$ :	3.0 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	19.2 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	19.2 MPa
	$w_k \lim$ =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. $k_3$ :	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. $k_4$ :	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	14.4 MPa
	$w_k \lim$ =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress $f_{yk}$ :	450.0 MPa
	Tensile strength $f_{tk}$ :	540.0 MPa



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **304 di 333**

Design yield stress fyd:	391.3	MPa
Design strength ftd:	391.3	MPa
Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
Stirrups:	B500A	
Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
Tensile strength ftk:	540.00	MPa
Design yield stress fyd:	434.8	MPa
Design strength ftd:	434.8	MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	40.0	cm
Bottom bars:	5Ø18	(12.7 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø18	(12.7 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.1	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.2	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	50.99	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.1	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.7	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	0.00	50.99	0.29	167.27	3.280	34.6	147.98	---	---	---
---	----	------	-------	------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **305 di 333**

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max Ultimate compressive strain in concrete  
 ec\* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec\*>0 then the section is all compressed)  
 Yc max Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max  
 es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.00760	40.0	-0.00116	32.8	-0.01781	7.1

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0224040
2	-50.0	40.0	18.13	0.0035000
3	50.0	40.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0224040

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-434.78	-0.0178061
2	-22.5	7.1	-434.78	-0.0178061
3	0.0	7.1	-434.78	-0.0178061
4	22.5	7.1	-434.78	-0.0178061
5	45.0	7.1	-434.78	-0.0178061
6	-45.0	32.8	-232.55	-0.0011627
7	-22.5	32.8	-232.55	-0.0011627
8	0.0	32.8	-232.55	-0.0011627
9	22.5	32.8	-232.55	-0.0011627
10	45.0	32.8	-232.55	-0.0011627

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>306 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 400$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 71$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset$	$18$	$= 12.72 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset$	$0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 329$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset$	$0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$12.72 \text{ cm}^2$

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 38.1 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.780$	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.470$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.004$	$< 0.02$
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa $< 0.2 f_{cd}$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

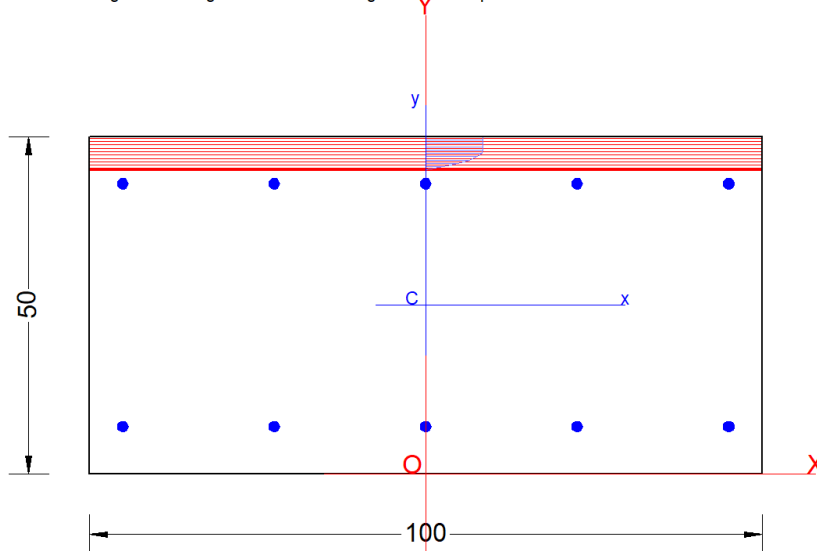
$$V_{Rd} = 162.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 154.7 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 162.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.8.5.2.2 Sezione della fondazione

Section name: Muro, sezione fondazione.secEC Comb. n. 1 (U.L.S.)  
Edge cover long. bars: 4.2 cm Edge cover stirrups: 0.0 cm



#### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC

Reference code:	Section description:
Exposure Class:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Structural member of belonging:	XC4 - Carbonation (cyclic wet and dry)
Section type:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Cross-section shape:	Predefined section
Stress path:	Rectangular
Reference of assigned forces:	Constant axial force to achieve bending ULS
	Principal axes x,y of inertia

#### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength fcd:	17.0 MPa
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	32836.6 MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	18.0 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.200 mm
STEEL -	Longitudinal Bars:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **308 di 333**

Design ultimate strain esu:	0.068	
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
Stirrups:	B500A	
Characteristic yield stress fyk:	500.0	MPa
Tensile strength ftk:	540.00	MPa
Design yield stress fyd:	434.8	MPa
Design strength ftd:	434.8	MPa
Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	50.0	cm
Bottom bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Top bars:	5Ø16	(10.1 cm <sup>2</sup> )
Low Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	7.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	5.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)			
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section			
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y			
T	Design torsional Moment [kN m]			
Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	45.44	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference
N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]]

1	OK	0.00	45.44	-0.28	175.26	3.857	45.0	156.06	---	---	---
---	----	------	-------	-------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **309 di 333**

es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
 es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
 Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.01163	50.0	-0.00144	43.0	-0.02687	7.0

**COMBINATION OF RESISTANCE N. 1 : STRESS AND STRAIN AT ULTIMATE STATE**

**Concrete vertices:**

Vertex N. Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0318085
2	-50.0	50.0	17.00	0.0035000
3	50.0	50.0	17.00	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0318085

**Longitudinal Bars:**

Bar N. Number assigned to the bars  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of single bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-434.78	-0.0268654
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0268654
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0268654
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0268654
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0268654
6	-45.0	43.0	-288.64	-0.0014432
7	-22.5	43.0	-288.64	-0.0014432
8	0.0	43.0	-288.64	-0.0014432
9	22.5	43.0	-288.64	-0.0014432
10	45.0	43.0	-288.64	-0.0014432

 <b>ITAFERR</b> <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>310 di 333</b>

## Verifica a Taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 500$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 70$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 30$	MPa resist. caratteristica	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 430$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 17.00$	MPa resist. di calcolo			$10.05$ cm <sup>2</sup>

#### • Sollecitazioni (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 61.3 \text{ kN}$$

#### • Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.682 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.418$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.002 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 166.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 179.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 179.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.8.5.3 Verifiche strutturali – Stato Limite di Esercizio

Le verifiche agli Stati Limite di Esercizio SLE (tensioni e fessurazione) sono state condotte secondo quanto riportato nel NTC 2018, 4.1.2.2.4

#### • Le fessure limite sono:

c) stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \quad w_2 = 0,3 \text{ mm} \quad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b></p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000003</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 311 di 333</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 311 di 333
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 311 di 333		

*Stato limite di apertura delle fessure*

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica (rara) per gli SLE, dovrà risultare:

a)  $\delta_f \leq w_1$  per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;

- La massima tensione di compressione del calcestruzzo, deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
- La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 y_k$  per combinazione caratteristica

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime per gli SLE rara, SLE frequente e SLE quasi permanente.

Sollecitazioni SLE Rara:

*Muro*

M = 50.99 kNm

*Fondazione*

M = 40.19 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 44.98 kNm

*Fondazione*

M = 35.72 kNm

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

M = 38.97 kNm

*Fondazione*

M = 31.25 kNm

Le verifiche sono state condotte con il software RC-SEC.

### 8.8.5.3.1 Sezione inferiore del paramento

SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>312 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	50.99

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	44.98

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	38.97

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check Result of Check  
Sc max Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc max y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)  
Sc min Min compression stress (+) in concrete [Mpa]  
Yc min y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)  
Ss min Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]  
Ys min y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)  
hc eff. Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars  
Ac eff Effective tension area [cm<sup>2</sup>] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)  
As eff Area of tension steel bars [cm<sup>2</sup>] within Ac eff (for crack width control)  
D bars Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2]  
(D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	3.48	40.0	0.00	30.9	-135.8	32.8	10.3	1029	12.7	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check Result of check  
e1 Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
e2 Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section  
k1 = 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]  
kt = 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])  
k2 = 0.5 for bending; = (e1 + e2)/(2\*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
k4 = 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex  
Ø | c Equivalent bar diameter [mm] | cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
r eff Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]  
e sm - e cm Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)]  
Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es





**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>313 di 333</b>
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	-----------------------------

sr max Max final crack [mm] spacing  
 wk Calculated value [mm] of crack width =  $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$  [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets  
 M crack First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00088	0	0.500	18 6.2	0.012	0.000407 (0.00041)	458	0.187	90.18

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0008816
2	-50.0	40.0	3.477	0.0002607
3	50.0	40.0	3.477	0.0002607
4	50.0	0.0	0.000	-0.0008816

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-135.76	-0.0006788
2	-22.5	7.1	-135.76	-0.0006788
3	0.0	7.1	-135.76	-0.0006788
4	22.5	7.1	-135.76	-0.0006788
5	45.0	7.1	-135.76	-0.0006788
6	-45.0	32.8	11.02	0.0000551
7	-22.5	32.8	11.02	0.0000551
8	0.0	32.8	11.02	0.0000551
9	22.5	32.8	11.02	0.0000551
10	45.0	32.8	11.02	0.0000551

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	3.07	40.0	0.00	30.9	-119.8	32.8	10.3	1029	12.7	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00078	0	0.500	18 6.2	0.012	0.000359 (0.00036)	458	0.165 (0.30)	90.18

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **314 di 333**

Vertex N.	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)			e c
	Xc	Yc	Sc	
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0007777
2	-50.0	40.0	3.067	0.0002300
3	50.0	40.0	3.067	0.0002300
4	50.0	0.0	0.000	-0.0007777

**Longitudinal Bars:**

Bar N.	Assigned numbers to each bar			
	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-119.76	-0.0005988
2	-22.5	7.1	-119.76	-0.0005988
3	0.0	7.1	-119.76	-0.0005988
4	22.5	7.1	-119.76	-0.0005988
5	45.0	7.1	-119.76	-0.0005988
6	-45.0	32.8	9.73	0.0000486
7	-22.5	32.8	9.73	0.0000486
8	0.0	32.8	9.73	0.0000486
9	22.5	32.8	9.73	0.0000486
10	45.0	32.8	9.73	0.0000486

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	2.66	40.0	0.00	30.9	-103.8	32.8	10.3	1029	12.7	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00067	0	0.500	18 6.2	0.012	0.000311 (0.00031)	458	0.143 (0.20)	90.18

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

Vertex N.	Assigned numbers to concrete vertices			
	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0006738
2	-50.0	40.0	2.657	0.0001993
3	50.0	40.0	2.657	0.0001993
4	50.0	0.0	0.000	-0.0006738

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **315 di 333**

Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.1	-103.76	-0.0005188
2	-22.5	7.1	-103.76	-0.0005188
3	0.0	7.1	-103.76	-0.0005188
4	22.5	7.1	-103.76	-0.0005188
5	45.0	7.1	-103.76	-0.0005188
6	-45.0	32.8	8.43	0.0000421
7	-22.5	32.8	8.43	0.0000421
8	0.0	32.8	8.43	0.0000421
9	22.5	32.8	8.43	0.0000421
10	45.0	32.8	8.43	0.0000421

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb. SLS combination number  
Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent  
Region Part of concrete section under consideration (Web/Flange)  
k Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]  
kc Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]  
Ac eff Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]  
Ned SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]  
Sc =Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]  
Frc Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]  
k1 Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]  
As reg Area [cm<sup>2</sup>] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration  
As min Minimum Area [cm<sup>2</sup>] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.32	12.7	3.9
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.32	12.7	3.9

**8.8.5.3.2 Sezione della fondazione**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] aplied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	40.19

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] aplied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	35.72



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **316 di 333**

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)	
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section	
Comb.N.	N	Mx
1	0.00	31.25

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check										
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)										
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]										
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)										
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]										
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)										
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars										
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)										
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)										
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)										
Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.95	50.0	0.00	40.4	-101.2	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check										
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section										
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section										
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]										
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])										
k2	= 0.5 for bending; =(e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]										
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex										
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex										
Ø   c	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]										
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]										
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es										
sr max	Max final crack [mm] spacing										
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets										
M crack	First cracking bending moment [kNm]										
Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack	
1	OK	-0.00061	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000304 (0.00030)	575	0.175	132.01	

**SLS - CHARACTERISTIC COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices			
Xc, Yc	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O			
Sc	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)			
e c	Strain in each vertex			
Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0006123



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000003** REV. **A** FOGLIO **317 di 333**

2	-50.0	50.0	1.947	0.0001460
3	50.0	50.0	1.947	0.0001460
4	50.0	0.0	0.000	-0.0006123

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-101.23	-0.0005062
2	-22.5	7.0	-101.23	-0.0005062
3	0.0	7.0	-101.23	-0.0005062
4	22.5	7.0	-101.23	-0.0005062
5	45.0	7.0	-101.23	-0.0005062
6	-45.0	43.0	7.97	0.0000399
7	-22.5	43.0	7.97	0.0000399
8	0.0	43.0	7.97	0.0000399
9	22.5	43.0	7.97	0.0000399
10	45.0	43.0	7.97	0.0000399

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.73	50.0	0.00	40.4	-90.0	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00054	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000270 (0.00027)	575	0.155 (0.30)	132.01

**SLS - FREQUENT COMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0005442
2	-50.0	50.0	1.731	0.0001298
3	50.0	50.0	1.731	0.0001298
4	50.0	0.0	0.000	-0.0005442

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
--------	----	----	----	-----



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 318 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

1	-45.0	7.0	-89.97	-0.0004499
2	-22.5	7.0	-89.97	-0.0004499
3	0.0	7.0	-89.97	-0.0004499
4	22.5	7.0	-89.97	-0.0004499
5	45.0	7.0	-89.97	-0.0004499
6	-45.0	43.0	7.09	0.0000354
7	-22.5	43.0	7.09	0.0000354
8	0.0	43.0	7.09	0.0000354
9	22.5	43.0	7.09	0.0000354
10	45.0	43.0	7.09	0.0000354

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	1.52	50.0	0.00	40.4	-78.7	43.0	13.5	1346	10.1	21.5

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00048	0	0.500	16 6.2	0.007	0.000236 (0.00024)	575	0.136 (0.20)	132.01

**SLS - QUASI-PERMANENTCOMBINATION N. 1 : RELEVANT STRESS AND STRAIN**

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 Xc, Yc X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 Sc Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 e c Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0004761
2	-50.0	50.0	1.514	0.0001136
3	50.0	50.0	1.514	0.0001136
4	50.0	0.0	0.000	-0.0004761

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 Ss Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 e s Strain in each bar

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-78.71	-0.0003936
2	-22.5	7.0	-78.71	-0.0003936
3	0.0	7.0	-78.71	-0.0003936
4	22.5	7.0	-78.71	-0.0003936
5	45.0	7.0	-78.71	-0.0003936
6	-45.0	43.0	6.20	0.0000310
7	-22.5	43.0	6.20	0.0000310
8	0.0	43.0	6.20	0.0000310
9	22.5	43.0	6.20	0.0000310
10	45.0	43.0	6.20	0.0000310

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>319 di 333</b>

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1
1	Quasi-perm.	Web	0.79	0.40	2500	---	---	---	-362.06	10.1	5.1

#### 8.8.5.4 Riassunto delle armature

##### •Sezione del muro

**Lato a monte**                     $\Phi 20$  ogni 200mm

**Lato a vale**                      $\Phi 20$  ogni 200mm

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**         $46 \times \Phi 12$  (23 ogni lato)

##### •Sezione della fondazione

**Armatura superiore, dir. principale**         $\Phi 18$  ogni 200mm

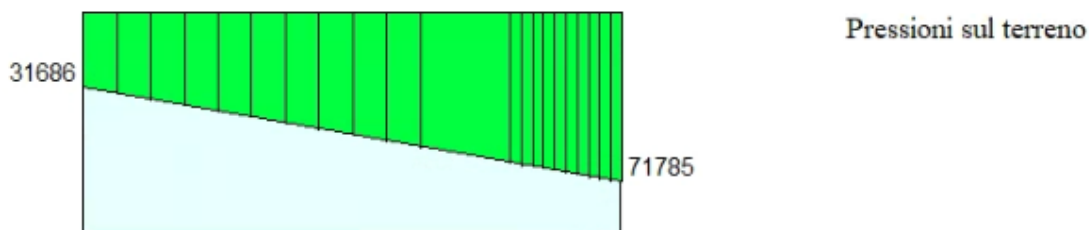
**Armatura superiore, dir. secondaria**         $\Phi 12$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. principale**         $\Phi 18$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. secondaria**         $\Phi 12$  ogni 200mm

#### 8.8.5.5 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.



**Figure 8-90 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 2.40 m



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**

**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA  
NM27

LOTTO  
01 D 26

CODIFICA  
CL

DOCUMENTO  
CS0000003

REV.  
A

FOGLIO  
320 di 333

H rilevato esistente media = 1.5 m

Pressione in scarico/ricarico =  $1.5 \times 18 = 27$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(72 - 32) \times 2/3 + 32 = 59$  kPa

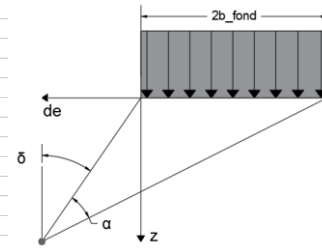
Pressione in compressione vergine =  $59 - 27 = 32$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 17 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.



**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} =$	20.00	kN/m <sup>3</sup>
Modulo elastico di compressione vergine	$E_{vc} =$	20.00	MPa
Modulo elastico di scarico e ricarica	$E_{ur} =$	10.00	MPa
Profondità falda rispetto alla fondazione	$H_w =$	30.00	m



**MURO DI SOSTEGNO**

Larghezza della fondazione	$2b_{\text{fond}} =$	2.40	m
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} =$	59.00	kN/m <sup>2</sup>
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond}_{vc}} =$	32.00	kN/m <sup>2</sup>
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond}_{ur}} =$	27.00	kN/m <sup>2</sup>

**RILEVATO**

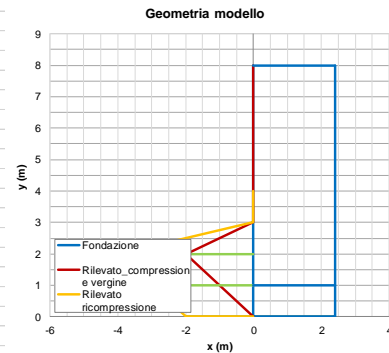
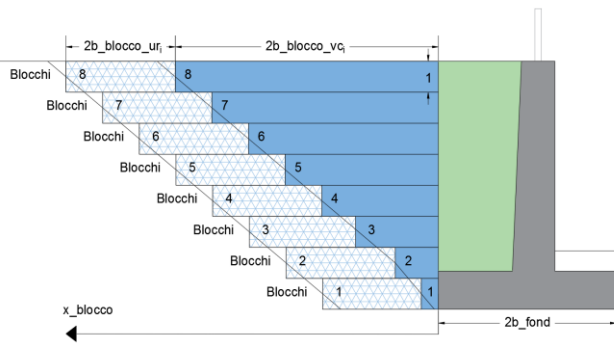
<i>BLOCCHI_COMPRESSIONE VERGINE</i>		Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{vc}} =$	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco}_{vc}} =$	20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

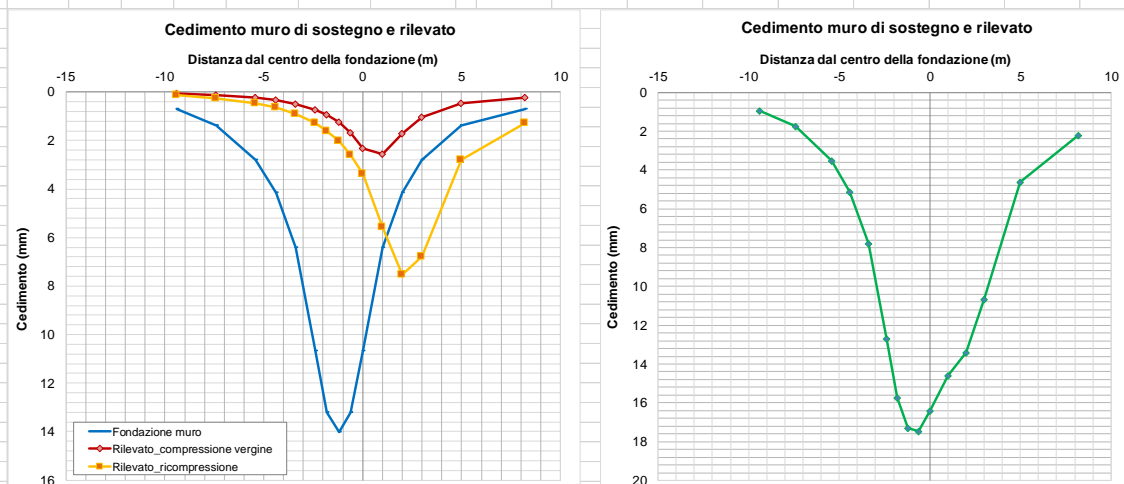
<i>BLOCCHI_RICOMPRESSIONE</i>		Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{ur}} =$	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco}_{ur}} =$	20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**CALCOLO**

Criterio definizione della profondità significativa:	sulla base di un valore target di incremento di sforzo
Valore target di incremento di sforzo	$\Delta\sigma/\sigma'_{v0} =$ 0.10
Profondità significativa	$z_{\text{calc}} =$ 8.00



**SINTESI DEI RISULTATI**



Cedimento massimo = 17mm



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 322 di 333

**9 INCIDENZA ARMATURA**

**9.1 Sez. Tipo 1 - Muro di controripa (RI01) pk 0+234 a 0+363**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **65 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **65 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

**Geometria muro tipo**

**Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	1.25 m
Vol. per m di muro	0.625 m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	1.5 m
Vol. per m di muro	0.75 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

**Ferri di paratia (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	9.865
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	9.865
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	8	7.103



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 323 di 333

Lato a vale arm. Orizzontale                    12 0.000113                    8                    7.103  
 Incidenza paramento                    **62.44 kg/m<sup>3</sup>**

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	$\phi$	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Armatura superiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	11.838
Armatura inferiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	11.838
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	12	10.654
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	6	5.327

Incidenza Fondazione                    **60.81 kg/m<sup>3</sup>**

**9.2 Sez. Tipo 8 - Muro di linea (TR03) pk 4+796 a 5+024**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **60 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **60 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall’ Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un’armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell’armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

**Geometria muro tipo**

**Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	2 m
Vol. per m di muro	1 m <sup>3</sup>

**Fondazione**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 324 di 333

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	3 m
Vol. per m di muro	1.5 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

**Ferri di paratia (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	15.783
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	15.783
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	11	9.766
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	11	9.766
Incidenza paramento		<b>58.76</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Armatura superiore, dir. Principale	16	0.000201	5	23.675
Armatura inferiore, dir. Principale	16	0.000201	5	23.675
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	10	8.878
Incidenza Fondazione		<b>58.08</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>

**9.3 Sez. Tipo 9 - Muro di linea (RI05) pk 5+024 a 5+220 (BD) pk 5+024 a 5+220 (BP)**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **60 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **60 kg/m<sup>3</sup>**.



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 325 di 333

Come previsto dall’ Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un’armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell’armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

**Geometria muro tipo**

**Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	4.1 m
Vol. per m di muro	2.05 m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	2.5 m
Vol. per m di muro	1.25 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

**Ferri di paratia (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	32.356
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	32.356
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Incidenza paramento	<b>58.22</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

φ	A	n° barre	peso
mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 326 di 333
---	------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Armatura superiore, dir. Principale	16	0.000201	5	19.729
Armatura inferiore, dir. Principale	16	0.000201	5	19.729
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	18	15.981
Lato a valle arm. orizzontale	12	0.000113	10	8.878
 Incidenza Fondazione	 59.17	 kg/m <sup>3</sup>		

**9.4 Sez. Tipo 11 - Muri di sostegno nella zona di transizione tra la TR01A a TR01B (pk 2+512) e tra TR02B e TR02C (pk 3+671)**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **45 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **65 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

**Geometria muro tipo**

**Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.4 m
H <sub>sez2</sub>	0.8 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	4.5 m
Vol. per m di muro	2.7 m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.8 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	4.1 m
Vol. per m di muro	3.28 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 327 di 333

Idennità di legature 0.15

**Ferri di paratia (per m di muro)**

	$\phi$ mm	A m <sup>2</sup>	n° barre -	peso kg/m
<u>Parte superiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	20	0.000314	5	55.488
Lato a vale arm. verticale	20	0.000314	5	55.488
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	24	21.308
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	24	21.308
Incidenza paramento		<b>65.42</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	$\phi$ mm	A m <sup>2</sup>	n° barre -	peso kg/m
Armatura superiore, dir.				
Principale	18	0.000254	5	40.950
Armatura inferiore, dir.				
Principale	18	0.000254	5	40.950
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	16	14.205
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	28	24.859
Incidenza Fondazione		<b>42.41</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>

**9.5 Sez. Tipo 10 - Muro di linea in corrispondenza della NV01 (TR03) pk: 4+650 a 4+796**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **70 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **85 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
Relazione di calcolo 3/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000003    REV. A    FOGLIO 328 di 333

**Geometria muro tipo**

**Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.4 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	4.1 m
Vol. per m di muro	1.64 m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	2.2 m
Vol. per m di muro	1.1 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

**Ferri di paratia (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
<u>Parte inferiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	18	0.000254	5	40.950
Lato a vale arm. verticale	18	0.000254	5	40.950
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	22	19.532

Incidenza paramento **84.82 kg/m<sup>3</sup>**

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Armatura superiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	17.362
Armatura inferiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	17.362
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	18	15.981
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	18	15.981



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>329 di 333</b>

Incidenza Fondazione **69.72 kg/m<sup>3</sup>**

### **9.6 Sez. Tipo Muro sottopasso NI01 – Tipo A - (pk 4+765)**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **60 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **100 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

#### **Geometria muro tipo**

##### **Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.3 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	3.4 m
Vol. per m di muro	1.08 m <sup>3</sup>

##### **Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	2.3 m
Vol. per m di muro	1.15 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

##### **Ferri di paratia (per m di muro)**

φ	A	n° barre	peso
mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m

##### **Parte superiore**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01 D 26	CL	CS0000003	A	330 di 333

Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	28.410
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	28.410
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	19	16.868
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	19	16.868

Incidenza paramento **98.54 kg/m<sup>3</sup>**

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	$\phi$	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Armatura superiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	18.151
Armatura inferiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	18.151
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	8	7.103
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	18	15.981

Incidenza Fondazione **59.38 kg/m<sup>3</sup>**

**9.7 Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo A - Ramo 1 PK: 0+000 a 50+000, 150+000 a 173+819; Ramo 3 PK: 25+000 a 100+000**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **60 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **100 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

**Geometria muro tipo**

**Paramento**



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000003 A 331 di 333

H <sub>sez1</sub>	0.3 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	3.4 m
Vol. per m di muro	1.08 m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	2.3 m
Vol. per m di muro	1.15 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

**Ferri di paratia (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
<u>Parte superiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	28.410
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	28.410
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	19	16.868
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	19	16.868

Incidenza paramento **98.54 kg/m<sup>3</sup>**

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Armatura superiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	18.151
Armatura inferiore, dir.				
Principale	16	0.000201	5	18.151
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	8	7.103
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	18	15.981

Incidenza Fondazione **59.38 kg/m<sup>3</sup>**

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo 3/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>332 di 333</b>

### 9.8 Sez. Tipo Muri viabilità NV01 - Tipo B - Ramo 4 PK: 25+000 a 50+000

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **65 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **100 kg/m<sup>3</sup>**.

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature, spille e sovrapposizioni.

#### Geometria muro tipo

##### **Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.4 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez1</sub>	4.25 m
Vol. per m di muro	1.7 m <sup>3</sup>

##### **Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.5 m
B <sub>sez</sub>	1 m
L <sub>sez</sub>	2.4 m
Vol. per m di muro	1.2 m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850 kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15

##### **Ferri di paratia (per m di muro)**

	φ	A	n° barre	peso
	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
<u>Parte inferiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	20	0.000314	5	0.000
Lato a valle arm. verticale	20	0.000314	5	0.000



**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

**Muri di sostegno ferroviari**  
**Relazione di calcolo 3/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000003	REV. A	FOGLIO 333 di 333
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	23	20.420
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	23	20.420

Incidenza paramento **98.53 kg/m<sup>3</sup>**

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

	$\phi$ mm	A m <sup>2</sup>	n° barre -	peso kg/m
Armatura superiore, dir. Principale	16	0.000201	5	18.940
Armatura inferiore, dir. Principale	16	0.000201	5	18.940
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	10	8.878
Lato a vale arm. orizzontale	12	0.000113	18	15.981

Incidenza Fondazione **60.12 kg/m<sup>3</sup>**