

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J81D1900000009

## 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 1/3

SCALA:

-

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

N M 2 7    0 1    D    2 6    C L    C S 0 0 0 0    0 0 1    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: NM2701D26CLCS000001A.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**  
1/3

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO  
NM27        01 D 26        CL            CS0000001    A        2 di 262

## Sommario

1	PREMESSA.....	5
1.1	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	8
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	9
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	9
2.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	11
3	UNITÀ DI MISURA .....	12
4	MATERIALI.....	13
4.1	CALCESTRUZZO PER MURO IN ELEVAZIONE .....	13
4.2	CALCESTRUZZO PER ZATTERA DI FONDAZIONE .....	13
4.3	ACCIAIO PER C.A. ....	14
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	15
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	16
7	METODO DI CALCOLO .....	22
7.1	CONDIZIONI DI SPINTA SUL MURO IN CONDIZIONI STATICHE.....	22
7.2	CONDIZIONI DI SPINTA SUL MURO IN CONDIZIONI SISMICHE .....	24
7.3	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	26
7.4	VERIFICHE STRUTTURALI .....	27
8	VERIFICHE.....	28
8.1	SEZIONE PK 4+190 A 4+300.....	28



**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**  
**1/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 3 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	--------------------

8.1.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	28
8.1.2 CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	28
8.1.3 DATI DI PROGETTO.....	29
8.1.4 ANALISI DEI CARICHI.....	31
8.1.5 COMBINAZIONI DI CARICO.....	35
8.1.6 VERIFICHE.....	46
8.2 SEZIONE PK 4+300 A 4+420 .....	81
8.2.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	81
8.3.1 CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	81
8.3.2 DATI DI PROGETTO.....	82
8.3.3 ANALISI DEI CARICHI.....	84
8.3.4 COMBINAZIONI DI CARICO.....	88
8.3.5 VERIFICHE.....	99
8.4 SEZIONE PK 4+420 A 4+480 .....	130
8.4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	130
8.5.1 CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	130
8.5.2 DATI DI PROGETTO.....	131
8.5.3 ANALISI DEI CARICHI.....	133
8.5.4 COMBINAZIONI DI CARICO.....	137
8.5.5 VERIFICHE.....	148
8.6 SEZIONE PK 4+480 A 4+545 .....	177



**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**  
**1/3**

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 4 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	--------------------

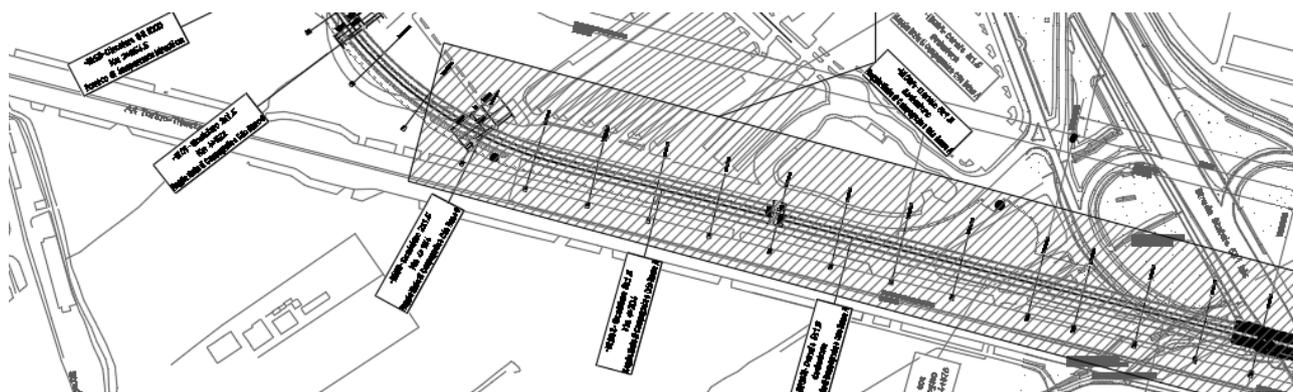
8.6.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	177
8.7.1 CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	177
8.7.2 DATI DI PROGETTO.....	178
8.7.3 ANALISI DEI CARICHI.....	180
8.7.4 COMBINAZIONI DI CARICO.....	184
8.7.5 VERIFICHE.....	194
8.8 SEZIONE PK 4+545 A 4+776.....	216
8.8.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE.....	216
8.9.1 CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	216
8.9.2 DATI DI PROGETTO.....	217
8.9.3 ANALISI DEI CARICHI.....	218
8.9.4 COMBINAZIONI DI CARICO.....	223
8.9.5 VERIFICHE.....	233
9 INCIDENZA ARMATURA.....	255
9.1 PK 4+190 A 4+300.....	255
9.2 PK 4+300 A 4+420.....	256
9.3 PK 4+420 A 4+480.....	258
9.4 PK 4+480 A 4+545.....	259
9.5 PK 4+545 A 4+776.....	261

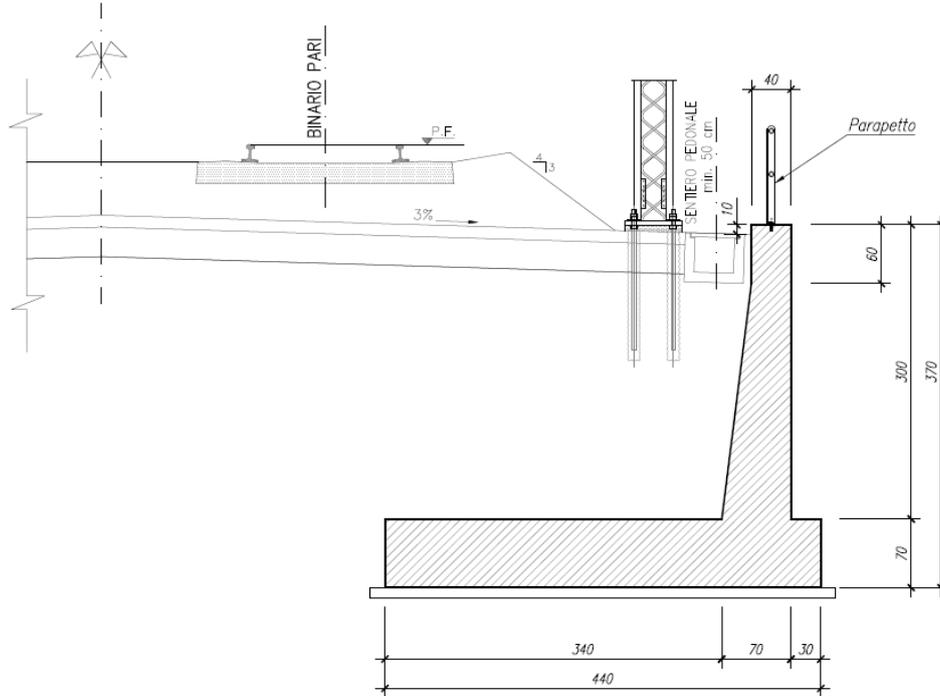
	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 5 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 5 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 5 di 262		

## 1 PREMESSA

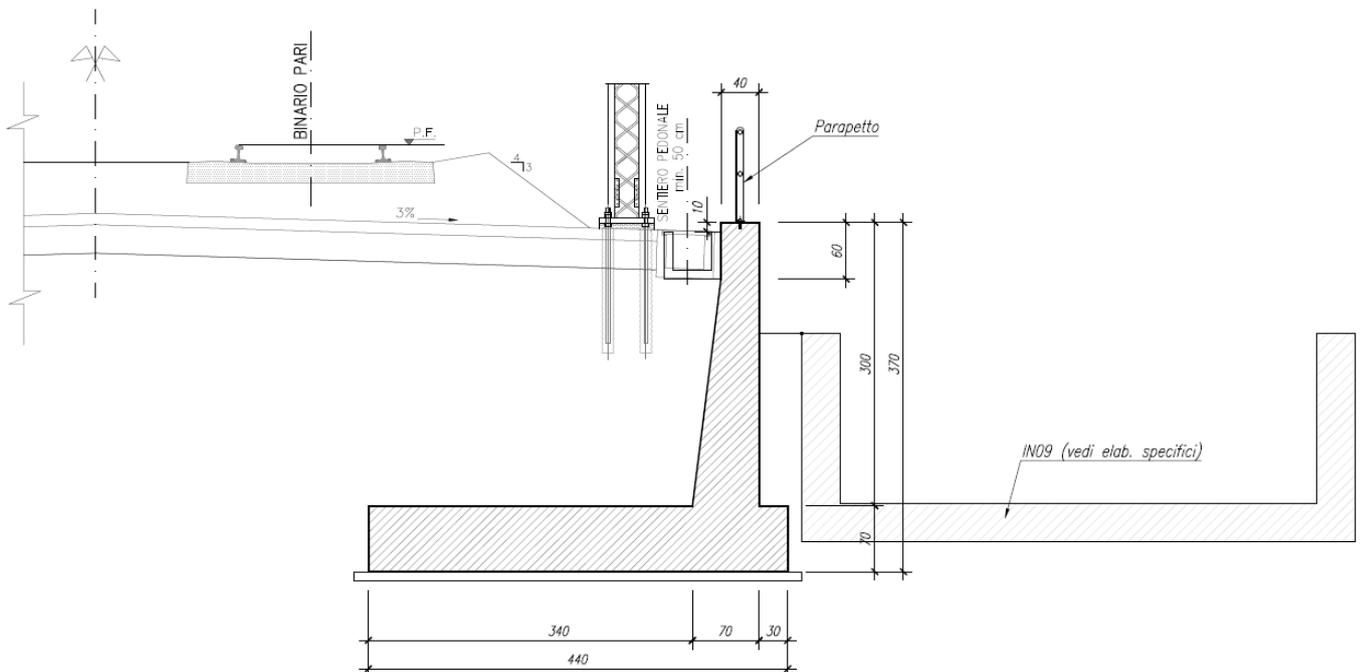
La presente relazione ha come oggetto il dimensionamento dei muri di sostegno, in fase di progettazione definitiva, che si sviluppano lungo la linea ferroviaria di collegamento tra l'aeroporto di Orio Al Serio e la stazione di Bergamo.

Nello specifico, si riporta il dimensionamento e le verifiche dei muri contro terra previsti tra le progressive km 4+190 e km 4+776 (lato binario pari) e che interessano le WBS RI04 e solo per un tratto di 20m c.a. la TR03A. Con il fine di ottimizzare l'impiego dei materiali utilizzati, lungo il tratto considerato sono individuati 5 tipologici sulla base dell'altezza del rilevato da sostenere. Nelle figure sottostanti sono riportate le dimensioni dei tipologici in progetto:

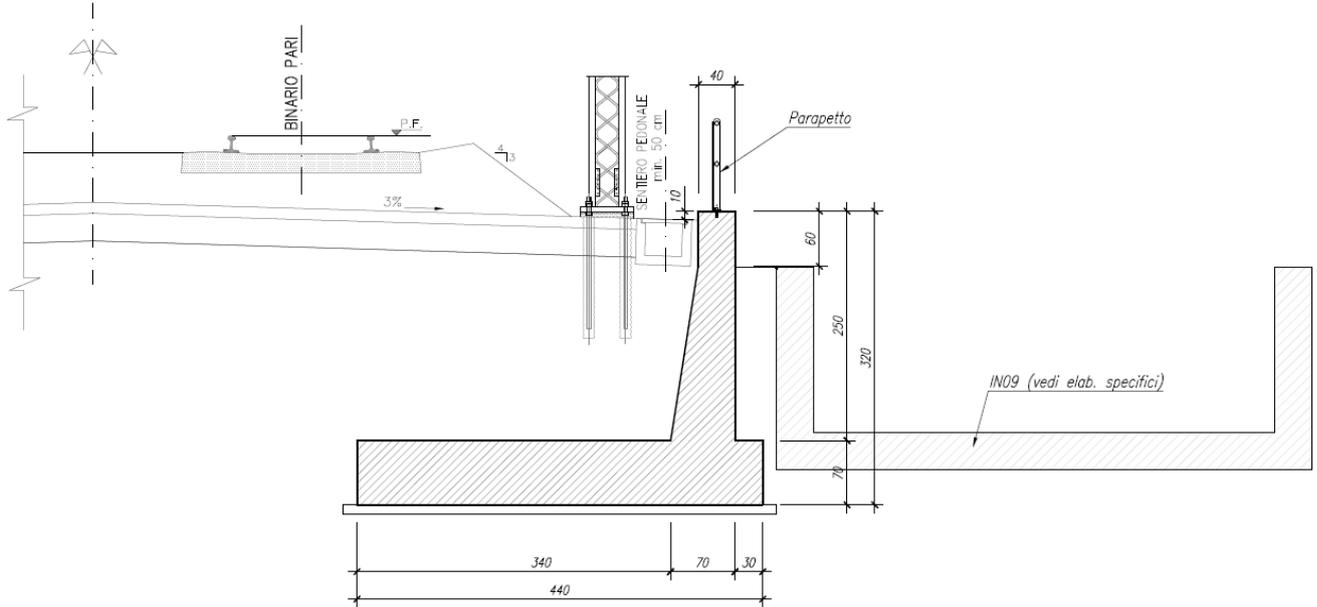




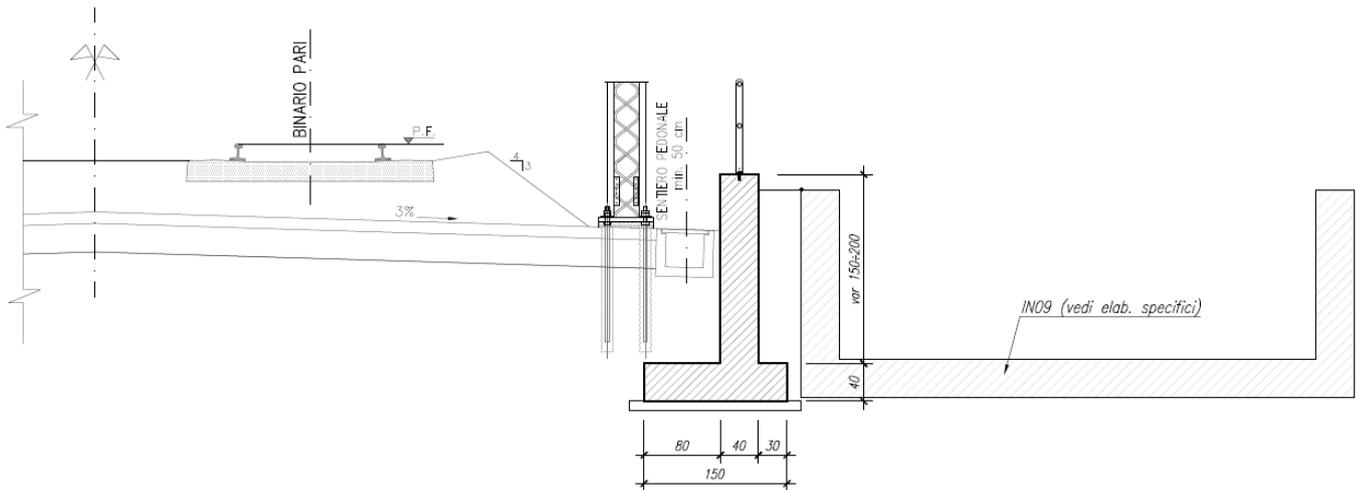
**Figura 1-1: pk km 4+190 a 4+300 (Corrispondente a Sezione tipo 3 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000003A)**



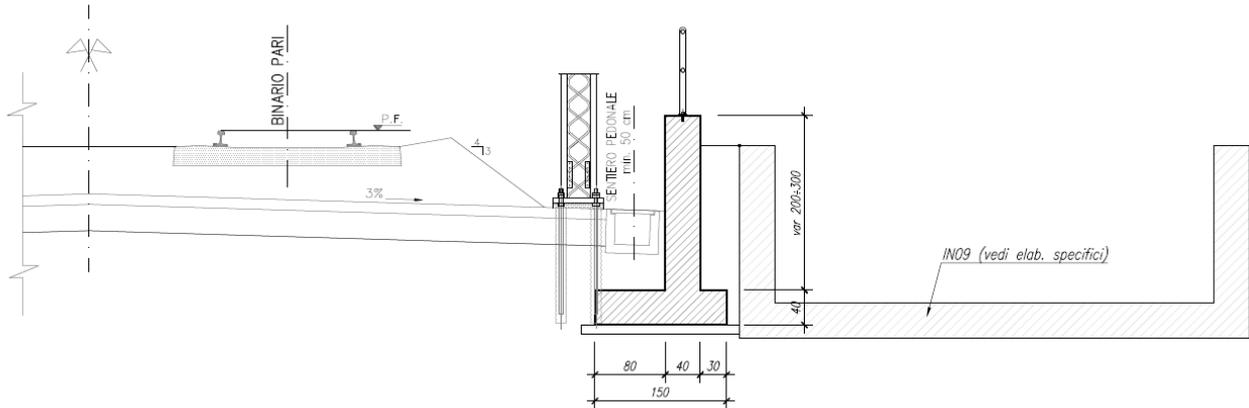
**Figura 1-2: pk km 4+300 a 4+420 (Corrispondente a Sezione tipo 3 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000003A)**



**Figura 1-3: pk km 4+420 a 4+480 (Corrispondente a Sezione tipo 3 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000003A)**



**Figura 1-4: pk km 4+480 a 4+545 (Corrispondente a Sezione tipo 6 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000004A)**



**Figura 1-5: pk km 4+545 a 4+796 (Corrispondente a Sezione tipo 6 elab. di rif.NM2701D26WBCS0000004A)**

## 1.1 Scopo del documento

Scopo del presente documento è quello di verificare le opere di sostegno presenti lungo la linea ferroviaria.

La relazione comprende le verifiche delle seguenti opere:

- Sezione Tipo 3 PK: 4+190 a 4+300
- Sezione Tipo 3 PK: 4+300 a 4+420
- Sezione Tipo 3 PK: 4+420 a 4+480
- Sezione Tipo 6 PK: 4+480 a 4+545
- Sezione Tipo 6 PK: 4+545 a 4+796

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 9 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 9 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 9 di 262		

## 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 D.
- 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.
- 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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 10 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 10 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 10 di 262		

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 stabiliti 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 12 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 12 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 12 di 262		

### 3 UNITÀ DI MISURA

Nei calcoli si farà uso delle seguenti unità di misura:

- per i carichi: kN/m<sup>2</sup>, kN/m, kN
- per i momenti: kNm
- per i tagli e sforzi normali: kN
- per le tensioni: N/mm<sup>2</sup>
- per le accelerazioni: m/s<sup>2</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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 13 di 262

## 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 zattera 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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 14 di 262

- 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:  $\epsilon_{c2} = 2,00 \text{ ‰}$
- Deformazione ultima:  $\epsilon_{cu} = 3,50 \text{ ‰}$
- Coefficiente di dilatazione termica:  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

#### **4.3 Acciaio per c.a.**

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**  
1/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000001 A 15 di 262

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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.]		
A	0	1	A,L	Terreno di riporto
DG	1	12	G(S,L)	Depositi di ghiaia sabbioso/limosi
DLA1	12	25	L,A, L(G), L(A)	Depositi di limo/argilla con ghiaia
CG	25	-	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]
A	18	0.53	28	5	-	40	100	5÷15	8÷24	0.25	1.00E-07
DG	18	0.40	36÷38	0	-	50÷150	125÷375	15 + 3·z	24 + 5·z	0.25	1.00E-05
DLA1	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
CG	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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 16 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 16 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 16 di 262		

## 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;

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 17 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 17 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 17 di 262		

- $T_C^*$  - 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 ag su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di ag 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  $St = 1$ .

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



**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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 18 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

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

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

$$F_0 = 2.472$$

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

$$\eta = 1.0$$

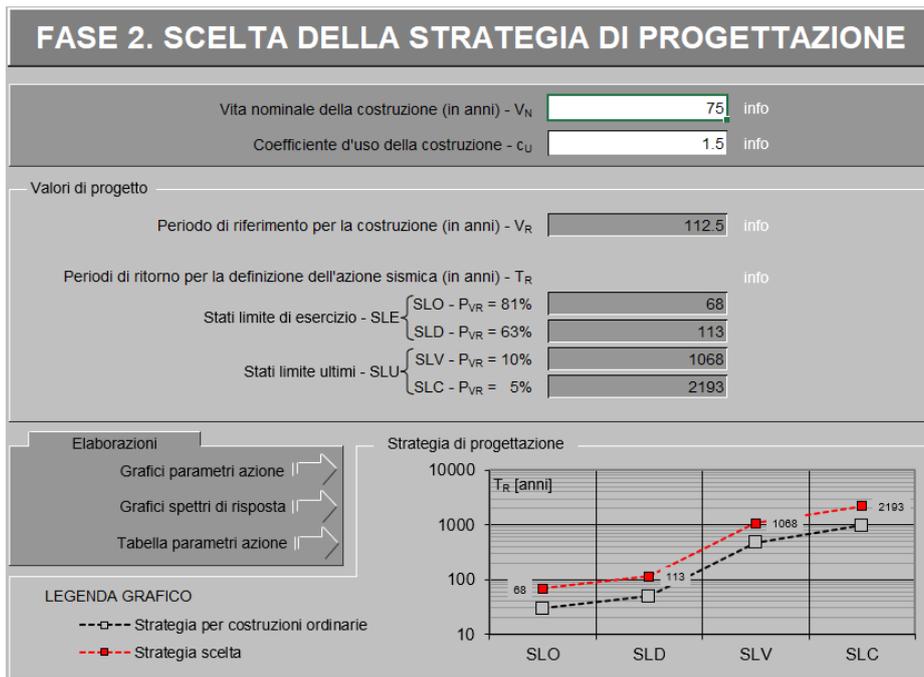
$$T_B = 0.131 \text{ s}$$

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

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

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

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





# 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  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 19 di 262

### 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

$h/H = 1.000$

$S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

#### Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

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

$\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_0$  **1**

Regol. in altezza **si** info

#### Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q$  **1**

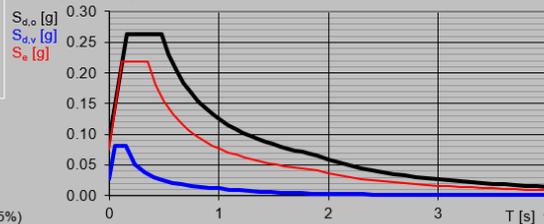
$\eta = 1.000$  info

#### 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**  
1/3

COMMESSA NM27 LOTTO 01 D 26 CODIFICA CL DOCUMENTO CS0000001 REV. A FOGLIO 20 di 262

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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.156 g
$F_o$	2.472
$T_c$	0.276 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**

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

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

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

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  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
$T_B$	0.131	0.463
$T_C$	0.393	0.463
	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
$T_D$	2.225	0.082
	2.309	0.078
	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:

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 21 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 21 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 21 di 262		

$\beta_m$  : 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 22 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 22 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 22 di 262		

## 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.

Le analisi sono state svolte utilizzando il software di calcolo Max 14.

Il programma MAX è dedicato all'analisi e al calcolo dei muri di sostegno. I tipi di muri che è possibile analizzare con il programma MAX sono:

- muri a gravità;
- a semigravità;
- muri in calcestruzzo armato.

Possono essere inoltre considerati, in funzione del tipo di muro e del materiale che lo costituisce, muri con:

- contrafforti;
- mensole di contrappeso e di marciapiede;
- pali di fondazione;
- tiranti di ancoraggio.

MAX consente inoltre l'analisi di muri di cantina. Il programma consente di stratificare il terreno sia in elevazione sia in fondazione, e di inserire carichi (concentrati e distribuiti) sul profilo e in qualsiasi posizione del muro.

### 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:

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

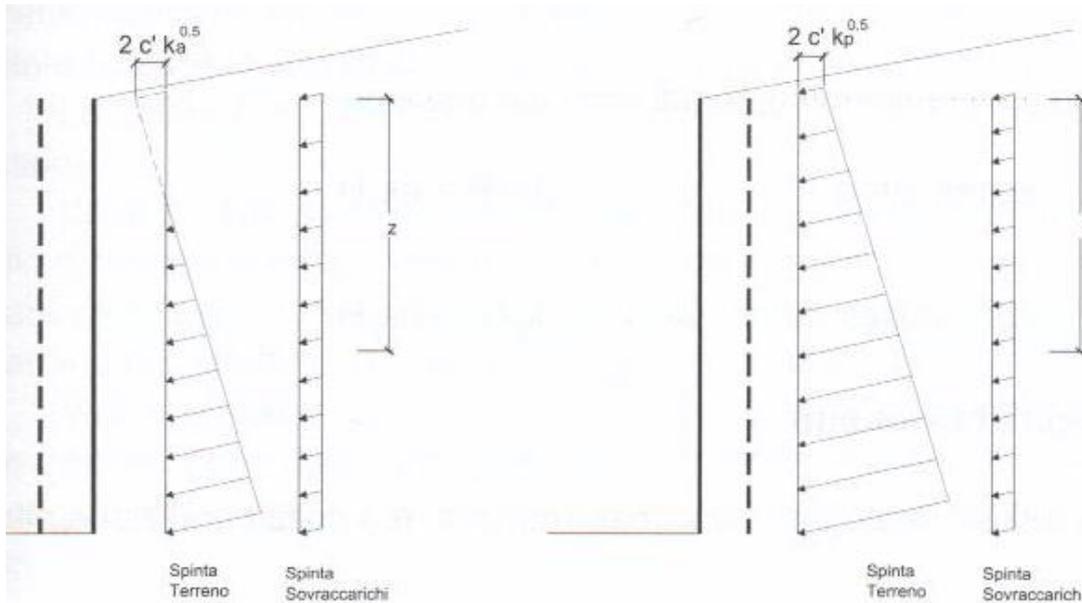
$$\sigma_p = \gamma k_p z + q k_p - 2c' \sqrt{k_p}$$

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

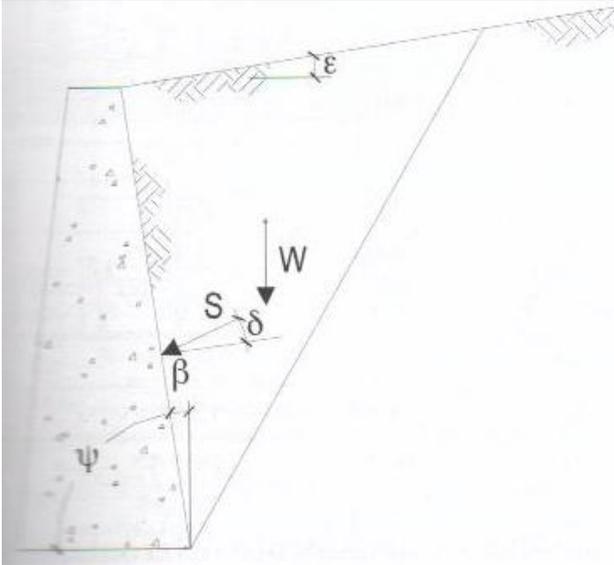
Con riferimento allo schema di Figura 7-1, in condizioni statiche il coefficiente di spinta attiva e quello di spinta passiva sono valutati attraverso le espressioni di Muller-Breslau (1924):

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

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



**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.

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:



**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**  
1/3

COMMESSA NM27 LOTTO 01 D 26 CODIFICA CL DOCUMENTO CS0000001 REV. A FOGLIO 25 di 262

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

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

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

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

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:

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

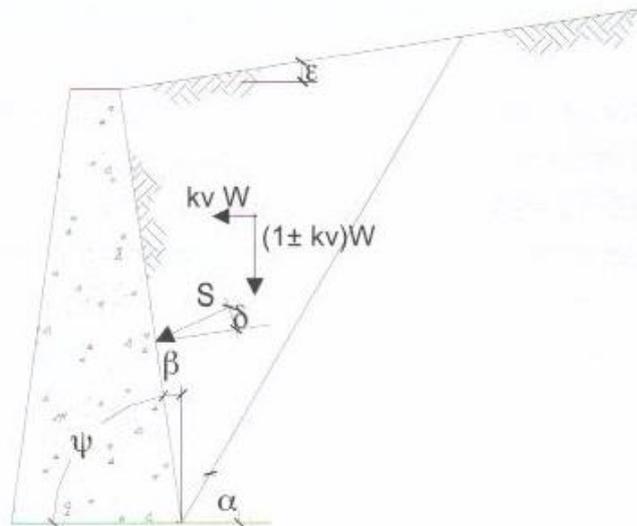
essendo:

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

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

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 26 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 26 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 26 di 262		



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

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

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

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

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

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:

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 27 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 27 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 27 di 262		

- 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:  $f = \operatorname{tg}(\delta) = \operatorname{tg}(\varphi)$  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.

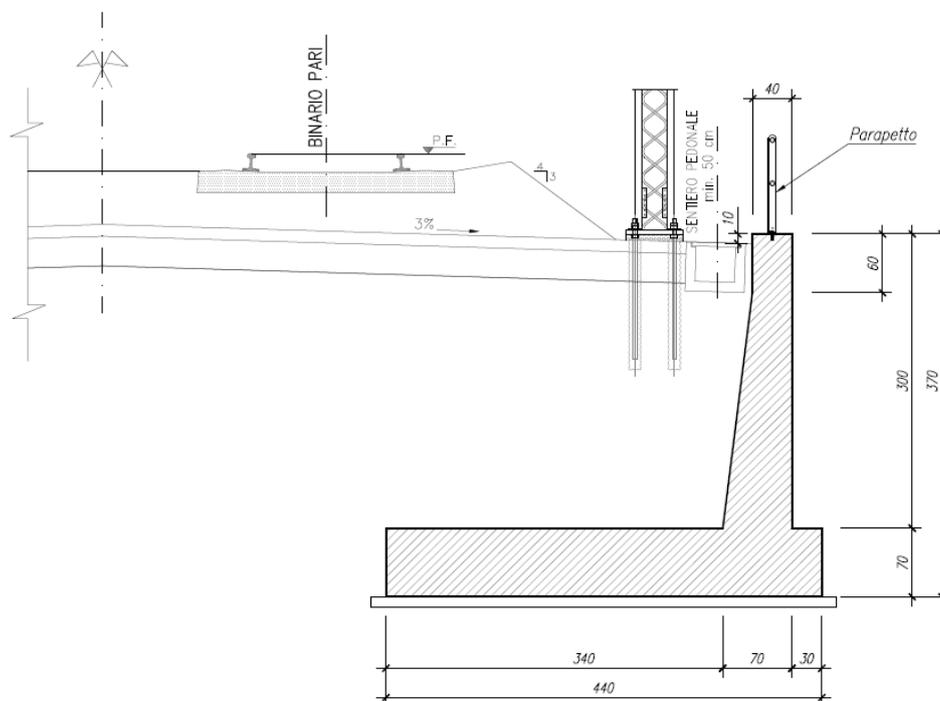
	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 28 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 28 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 28 di 262		

## 8 VERIFICHE

### 8.1 Sezione Tipo 3 PK 4+190 a 4+300

#### 8.1.1 Caratteristiche geometriche

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche del muro.



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

#### 8.1.2 Caratteristiche dei terreni

##### 8.1.2.1 Terreno spingente

Per il rilevato ferroviario 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  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 29 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 29 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 29 di 262		

### 8.1.2.2 Terreno di fondazione

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

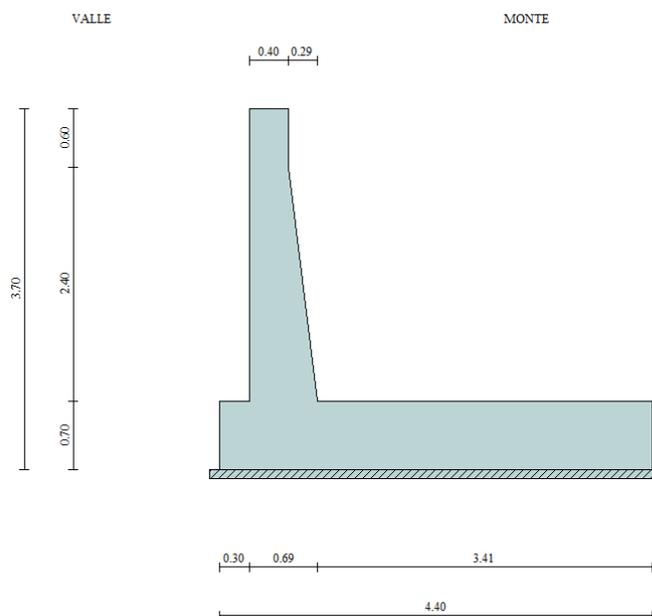
STRATO 1 (0 - 1m):

- 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  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.1.3 *Dati di progetto*



**Figura 8-2: Sezione muro alla progressiva 4+190 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 30 di 262

## Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a grandoni in c.a.**

### Descrizione dei gradoni

#### Simbologia adottata

Nr. numero d'ordine del gradone (a partire dall'alto)

Bs base superiore del gradone espressa in [m]

Bi base inferiore del gradone espressa in [m]

Hg altezza del gradone espressa in [m]

$\alpha_e$  inclinazione esterna del gradone espressa in [°]

$\alpha_i$  inclinazione interna del gradone espressa in [°]

Nr.	Bs	Bi	Hg	$\alpha_e$	$\alpha_i$
1	0,40	0,40	0,60	0,00	0,00
2	0,40	0,69	2,40	0,00	7,00

Altezza del paramento

3,00 [m]

### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle

0,30 [m]

Lunghezza mensola fondazione di monte

3,41 [m]

Lunghezza totale fondazione

4,40 [m]

Inclinazione piano di posa della fondazione

0,00 [%]

Spessore fondazione

0,70 [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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>31 di 262</b>

### *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	0,02-0,10	-78,69	
2	1,38-0,10	0,00	
3	2,380,80	41.99	
4	15,00	0,80	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]

### **8.1.4 Analisi dei carichi**

#### 8.1.4.1 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;

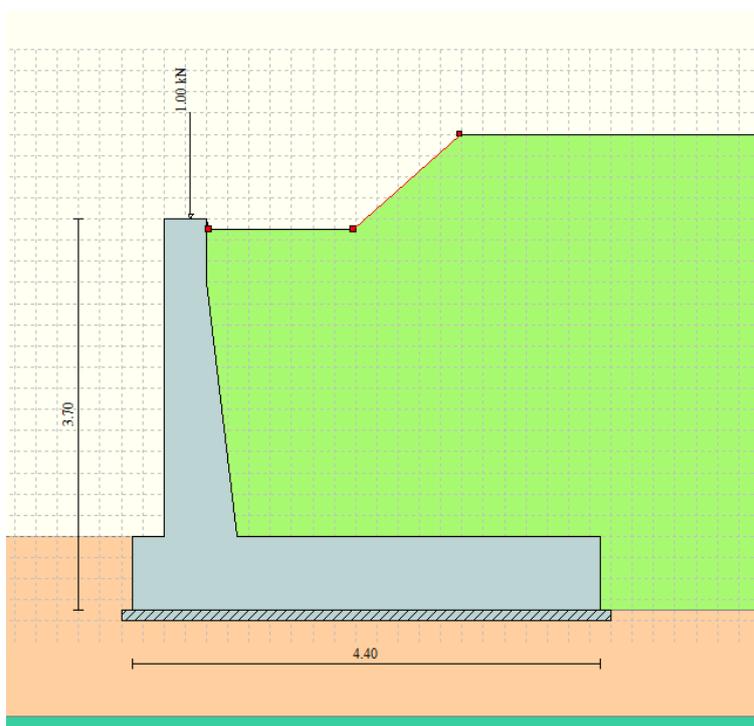
$\delta_k = 25.33^\circ$  angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 32 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 32 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 32 di 262		

#### 8.1.4.2 Carico parapetto

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



**Figura 8-3 – 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.

#### 8.1.4.3 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**  
1/3

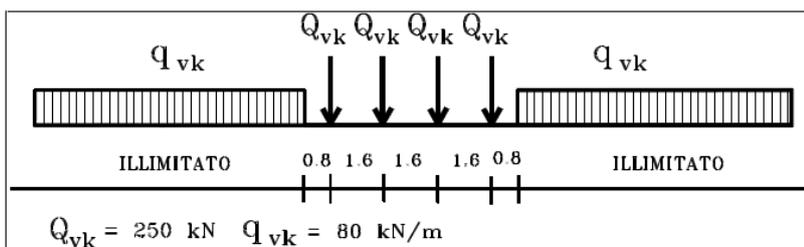
COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **33 di 262**

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.

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

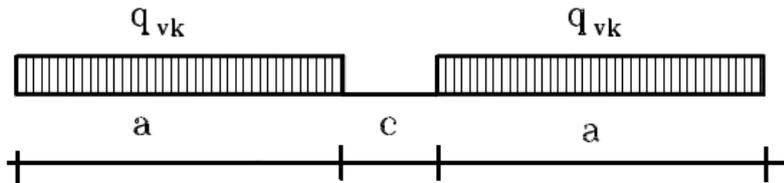
$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

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

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

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

Treno di carico SW2

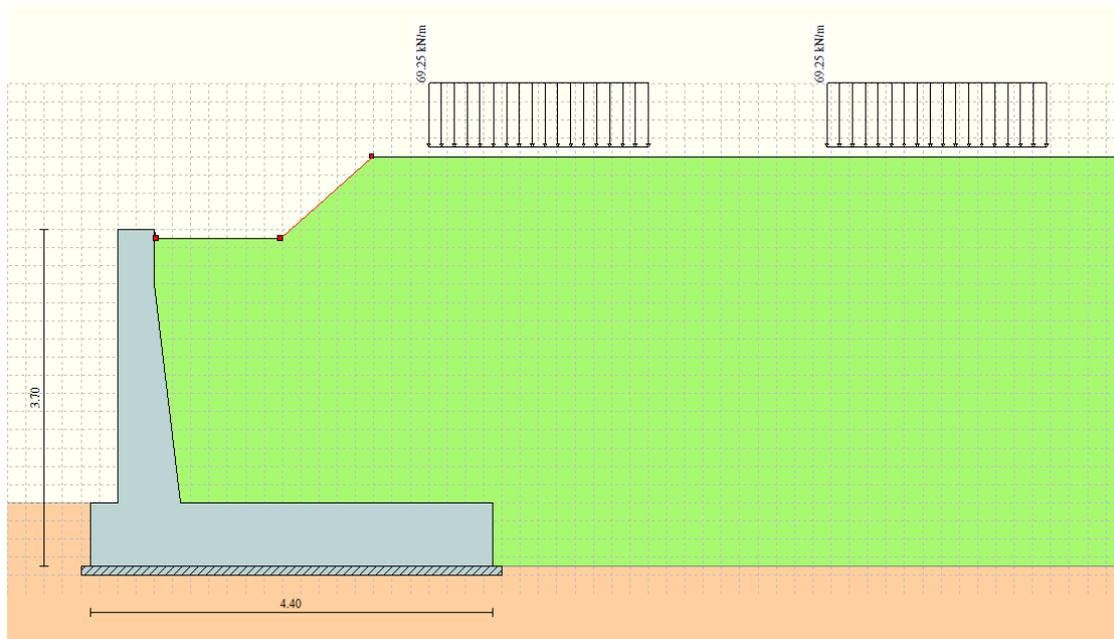


$$q_{\text{equivalente}} = 150/2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

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

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  $0.967 \times 71,61 \text{ kN/m}^2 = 69,25 \text{ kN/m}^2$ .

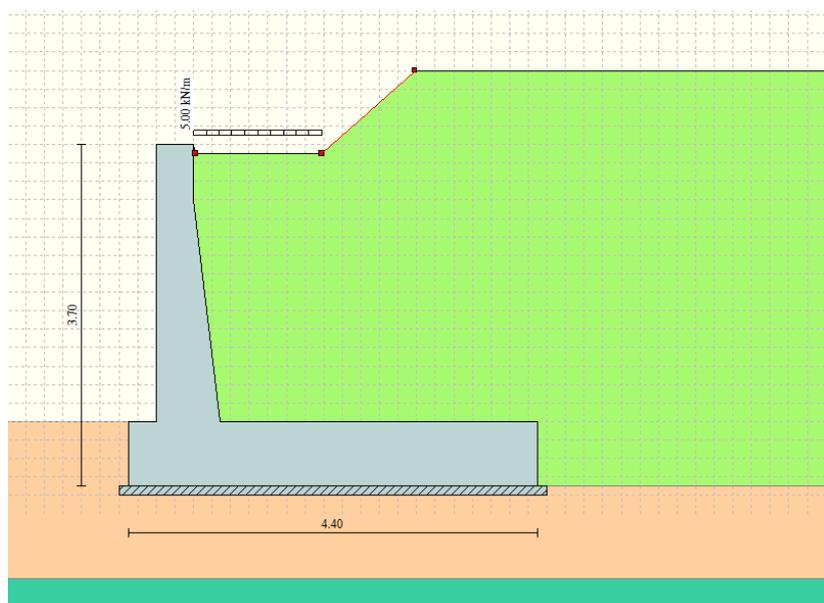


**Figura 8-4 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 35 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 35 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 35 di 262		

#### 8.1.4.4 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 8-5 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

#### 8.1.4.5 Sisma

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

#### 8.1.5 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 36 di 262

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		
	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		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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 37 di 262

	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:

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

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

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

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

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).

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>38 di 262</b>

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.

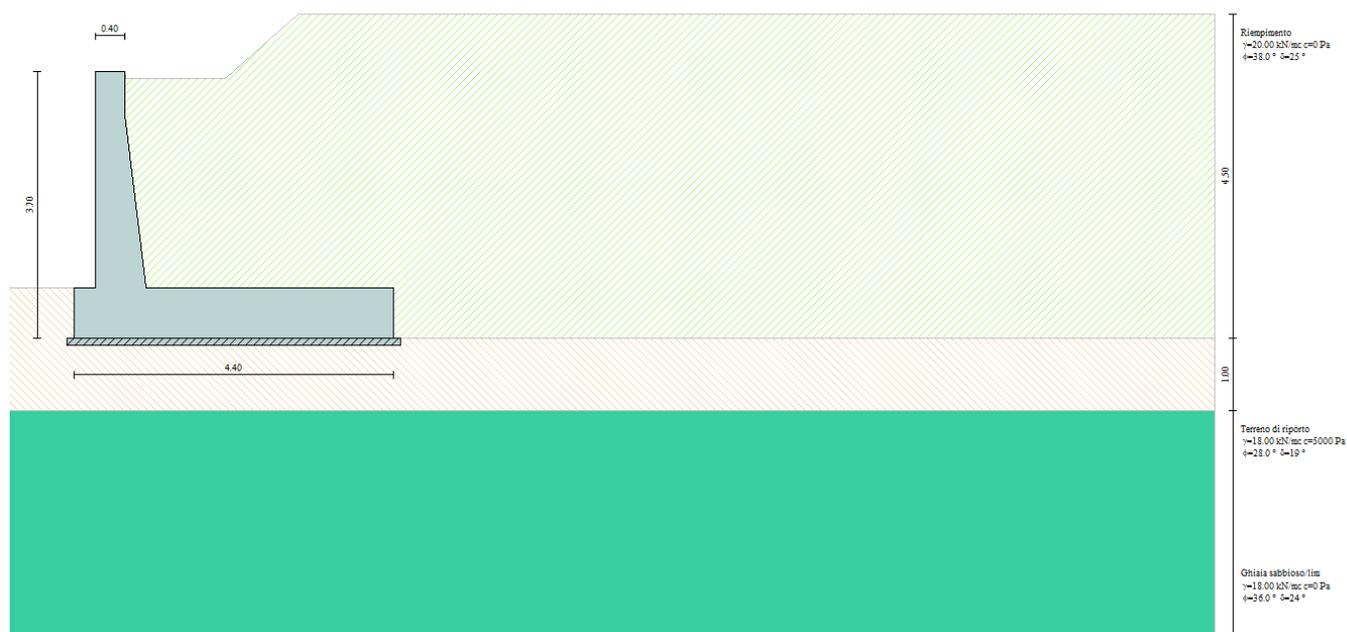


Figura 8-6 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1



**Figura 8-7 – 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **40 di 262**

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni	SFAV	1,50	0,80	1,20	

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 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **41 di 262**

Carichi treni SFAV 1.50 0.80 1.20

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV		1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV		1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV		1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,30	1,00	1,30
Carichi treni SFAV		1,30	0,80	1,04	

Combinazione n° 13 - 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **42 di 262**

Carichi accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni SFAV	1.50	1.00	1.50	

Combinazione n° 14 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20	
Carichi treni SFAV	1.50	1.00	1.50		

Combinazione n° 15 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20	
Carichi treni SFAV	1.50	1.00	1.50		

Combinazione n° 16 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20	
Carichi treni SFAV	1.50	1.00	1.50		

Combinazione n° 17 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20	
Carichi treni SFAV	1.50	1.00	1.50		

Combinazione n° 18 - 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		



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **43 di 262**

Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00	
Carichi accidentali	SFAV		1.30	0.80	1.04
Carichi treni	SFAV	1.30	1.00	1.30	

Combinazione n° 19 - 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	
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00	

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	

Combinazione n° 21 - 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	

Combinazione n° 22 - 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	

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	

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	



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **44 di 262**

Parapetto SFAV 1.00 1.00 1.00

Combinazione n° 25 - 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° 26 - 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi treni	SFAV	1,00	0,20	0,20	

Combinazione n° 27 - 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° 28 - 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° 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	
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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **45 di 262**

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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi treni	SFAV	1,00	0,20	0,20	

Combinazione n° 31 - 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 accidentali		SFAV	1,00	1,00	1,00
Carichi treni	SFAV	1,00	0,80	0,80	

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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi accidentali		SFAV	1,00	0,50	0,50

Combinazione n° 33 - 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	

Combinazione n° 34 - 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 accidentali		SFAV	1,00	0,80	0,80
Carichi treni	SFAV	1,00	1,00	1,00	

Combinazione n° 35 - Frequente (SLE)

S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$		
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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01 D 26	CL	CS0000001	A	46 di 262

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	

### 8.1.6 Verifiche

#### 8.1.6.1 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  $f_{cd}$

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 elastico  $E_{cm}$

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  $E_s$  / Modulo elastico medio  $E_s$

SLS Charact. -  $S_s$  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)

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 47 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 47 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 47 di 262		

**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 >=1.0  
**Fattore di sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult) e (N, Mx). Contorlorlo positivo se tale rapporto >=1.0**  
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)



## 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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 48 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	---------------------

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)**

e c Strain in each vertex

**Deformazione nei vertici**

Vertex N.	Xc Yc	Sc	e c
<b>Vertice N.</b>	<b>Xc Yc</b>	<b>Sc</b>	<b>e c</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)**

e s Strain in each bar

**Deformazione in ciascuna barra**

Bar N.	Xs Ys	Ss	e s
--------	-------	----	-----

#### 8.1.6.2 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. 27, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-8:

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	4.43		1.00	Spinta statica	53.5551 [kN]	Incremento sismico	10.2952 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--		--	Ang. rottura	64.085 [°]	Ang. rottura sismico	58.460 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--		--	Punto applicazione	(3.70 -1.95)	Punto applicazione	(3.70 -1.95)
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	--		--	Componente dir. X	48.4049 [kN]	Componente dir. X	9.3051 [kN]
				Componente dir. Y	22.9154 [kN]	Componente dir. Y	4.4051 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
Peso muro	113.68 [kN]		Inerzia muro	12.13 [kN]	Risultante dir. X	96.66 [kN]	Momento rib.	223.99 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X= 0.95 Y= -2.78		Inerzia verticale muro	-6.06 [kN]	Risultante dir. Y	373.01 [kN]	Momento stab.	932.38 [kNm]
Peso terrapieno	250.42 [kN]		Inerzia terrapieno	26.71 [kN]	Componente normale	373.01 [kN]	Componente parallela	96.66 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X= 2.03 Y= -1.28		Inerzia verticale terrapieno	-13.36 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.53 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 101102	Monte 68266		
Componente dir. X = 0.11 [kN]			Componente dir. Y = 1.00 [kN]	Eccentricità risultante	0.142 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.40 [m]	
				Carico limite della fondazione	1379.42 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>		

**Figura 8-8 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)**

● **Scorrimento**

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 13, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-9:

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	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
		CALCOLATI				RICHIESTI	
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--		--	Spinta statica	143.9351 [kN]	Incremento sismico	0.0000 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.30		1.10	Ang. rottura	69.335 [°]	Ang. rottura sismico	0.000 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	2.84		1.40	Punto applicazione	(3.70 -1.57)	Punto applicazione	(0.00 0.00)
Coefficiente di sicurezza stabilità globale	--		--	Componente dir. X	130.0934 [kN]	Componente dir. X	0.0000 [kN]
				Componente dir. Y	61.5875 [kN]	Componente dir. Y	0.0000 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		

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	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
Peso muro	113.68 [kN]		Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	130.09 [kN]	Momento rib.	276.52 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X= 0.95 Y= -2.78		Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	498.71 [kN]	Momento stab.	1339.20 [kNm]
Peso terrapieno	322.14 [kN]		Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	498.71 [kN]	Componente parallela	130.09 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X= 2.03 Y= -1.28		Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.62 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 124252	Monte 102195		
Componente dir. X = 1.30 [kN]			Componente dir. Y = 1.30 [kN]	Eccentricità risultante	0.072 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.40 [m]	
				Carico limite della fondazione	1418.31 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>		

**Figura 8-9 – 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **50 di 262**

• *Carico limite (portanza del sottosuolo)*

Il risultato più critico per il carico limite è dato dalla combinazione di resistenza num. 16, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-10:

Risultati combinazione n° 16				Risultati combinazione n° 16			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
		CALCOLATI	RICHIESTI				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--	--	--	Spinta statica	143.9351 [kN]	Incremento sismico	0.0000 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.38	1.10	1.10	Ang. rottura	69.335 [°]	Ang. rottura sismico	0.000 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	2.78	1.40	1.40	Punto applicazione	(3.70 -1.57)	Punto applicazione	(0.00 0.00)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--	--	--	Componente dir. X	130.0934 [kN]	Componente dir. X	0.0000 [kN]
				Componente dir. Y	61.5875 [kN]	Componente dir. Y	0.0000 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		

Risultati combinazione n° 16				Risultati combinazione n° 16			
Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno fav				Caso A1-M1 (STR) * Peso muro sfav + Peso terrapieno fav			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	147.79 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	130.09 [kN]	Momento rib.	276.52 [kNm]
Coordinate baicentro muro	X= 0.95 Y= -2.78	Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	532.82 [kN]	Momento stab.	1395.63 [kNm]
Peso terrapieno	322.14 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	532.82 [kN]	Componente parallela	130.09 [kN]
Coordinate baicentro terrapieno	X= 2.03 Y= -1.28	Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	13.72 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 137771	Monte	104161
				Eccentricita risultante	0.102 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.40 [m]
				Componente dir. Y = 1.30 [kN]	Carico limite della fondazione	1481.78 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>

**Figura 8-10 – 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. 18, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 8-11:

Risultati combinazione n° 18				Risultati combinazione n° 18			
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	147.7875 [kN]	Incremento sismico	0.0000 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--	--	--	Ang. rottura	69.328 [°]	Ang. rottura sismico	0.000 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--	--	--	Punto applicazione	(3.70 -1.49)	Punto applicazione	(0.00 0.00)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	1.11	1.10	1.10	Componente dir. X	138.2076 [kN]	Componente dir. X	0.0000 [kN]
				Componente dir. Y	52.3431 [kN]	Componente dir. Y	0.0000 [kN]
				Inclinazione spinta	20.74 °		

Risultati combinazione n° 18				Risultati combinazione n° 18			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	113.68 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	138.21 [kN]	Momento rib.	305.01 [kNm]
Coordinate baicentro muro	X= 0.95 Y= -2.78	Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	484.02 [kN]	Momento stab.	1289.54 [kNm]
Peso terrapieno	316.99 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	484.02 [kN]	Componente parallela	138.21 [kN]
Coordinate baicentro terrapieno	X= 2.05 Y= -1.24	Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	15.94 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 135073	Monte	84701
				Eccentricita risultante	0.168 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.40 [m]
				Componente dir. Y = 1.00 [kN]	Carico limite della fondazione	594.67 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>

**Figura 8-11 – 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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>51 di 262</b>

### 8.1.6.3 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo

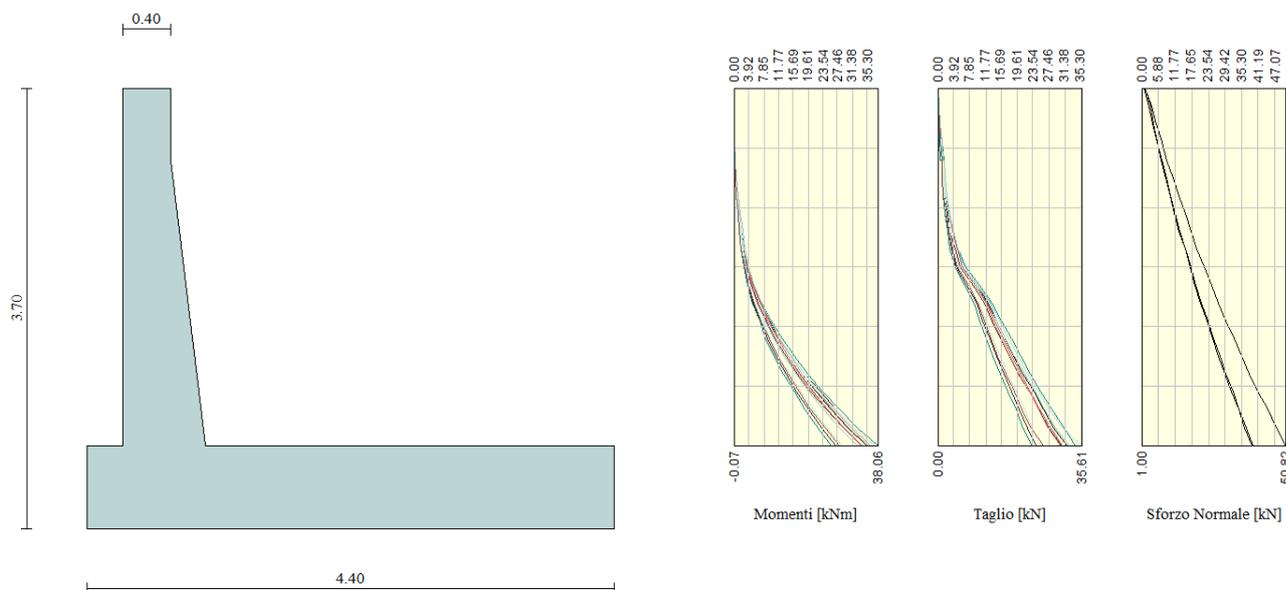
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti) delle NTC2018.

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 8-12 – Inviluppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (parte superiore - 0.6m) Combinazione 8:  $M_{Ed} = 0.20$  kNm

Valore di progetto del taglio agente (parte superiore -0.6m) Combinazione 13:  $V_{Ed} = 1.00$  kN

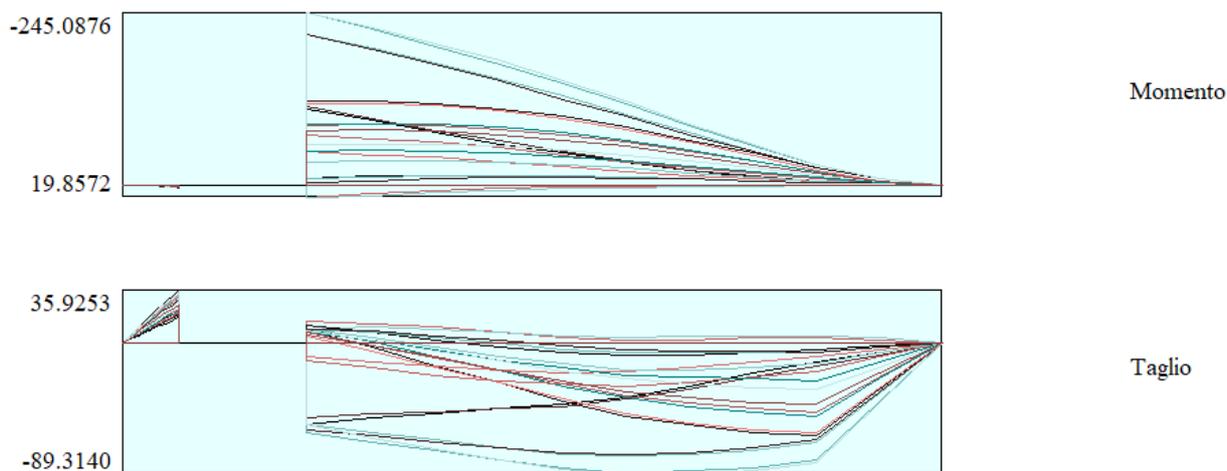
Valore di progetto del momento flettente agente (parte inferiore - 3.0m) Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 38.06$  kNm

Valore di progetto del taglio agente (parte inferiore - 3.0) Combinazione 13:  $V_{Ed} = 35.61$  kN

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 52 di 262

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



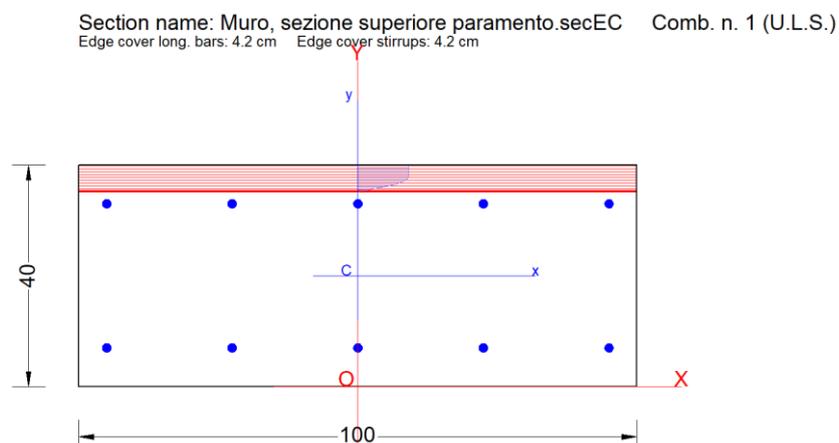
**Figura 8-13 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 16:  $M_{Ed} = -245.09 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 16:  $V_{Ed} = -89.32 \text{ kN}$

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

### 8.1.6.3.1 Sezione superiore 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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **53 di 262**

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

Section Name: **Muro, sezione superiore paramento.secEC**

Section description:  
 Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)  
 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  
 Shear reduced compressive strength  $v1*f_{cd}$ : 9.1 MPa (6.9)EC2  
 Coeff. Crd,c: 0.1200 § 6.2.2(1) EC2  
 Coeff. K1: 0.1500 § 6.2.2(1) EC2  
 Coeff. v min: 0.0115 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)  
 Strain at max strength  $ec2$ : 0.0020  
 Ultimate strain  $ecu$ : 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  
 wk lim =limit crack width Frequent SLS: 0.400 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: 0.300 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  
 Design ultimate strain  $esu$ : 0.068  
 Mean elastic modulus Es: 200000.0 MPa  
 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 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: 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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **54 di 262**

**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	0.20	1.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars: 4.2 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 20.9 cm  
Min edge cover of stirrups: 4.2 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 TensionArea 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	0.20	0.15	137.67	688.345	35.2	118.87	---	---	---
---	----	------	------	------	--------	---------	------	--------	-----	-----	-----

**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	-0.00891	40.0	-0.00157	33.0	-0.02040	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)



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 55 di 262

e c                      Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0254676
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	-0.0254676

**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	-0.0203983
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0203983
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0203983
6	-45.0	33.0	-313.87	-0.0015693
7	-22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
8	0.0	33.0	-313.87	-0.0015693
9	22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
10	45.0	33.0	-313.87	-0.0015693

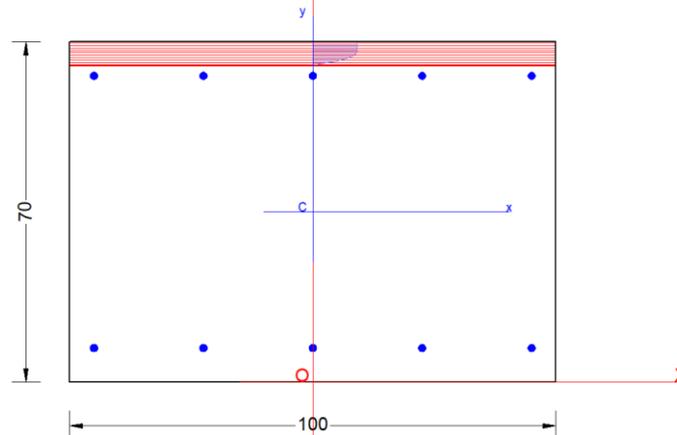
**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check                      Result of check  
 Ved                              Design value [daN] of applied shear force Vy (uniaxial shear)  
 Vwct                              Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]  
 d                                      Effective depth of section [cm]  
 bw                                      Effective min width of the cross-section [cm]  
 Ro                                      Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement =  $Asl/(bw d) < 0.02$   
 Scp                                      Mean compression stress  $(NEd/Ac)[Mpa] < 0.2 fcd$   
 k                                      Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	1.00	150.45	33.0	100.0	0.0000	0.00	1.778

### 8.1.6.3.2 Sezione inferiore del paramento

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



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:  
 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
	Shear reduced compressive strength v1*fcd:	9.1	MPa (6.9)EC2
	Coeff. Crd,c:	0.1200	§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff. K1:	0.1500	§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff. v min:	0.0115	Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
	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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **57 di 262**

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:	70.0	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	38.06	35.61	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm
Min edge cover of stirrups:	4.2	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 TensionArea 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	38.06	0.21	255.72	6.719	65.2	232.48	---	---	---
---	----	------	-------	------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----



**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**  
1/3

COMMESSA NM27 LOTTO 01 D 26 CODIFICA CL DOCUMENTO CS0000001 REV. A FOGLIO 58 di 262

**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  
 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	-0.01823	70.0	-0.00157	63.0	-0.04212	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	-0.0471917
2	-50.0	70.0	18.13	0.0035000
3	50.0	70.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0471917

**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	-0.0421225
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0421225
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0421225
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0421225
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0421225
6	-45.0	63.0	-313.83	-0.0015692
7	-22.5	63.0	-313.83	-0.0015692
8	0.0	63.0	-313.83	-0.0015692
9	22.5	63.0	-313.83	-0.0015692
10	45.0	63.0	-313.83	-0.0015692

**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check Result of check  
 Ved Design value [daN] of applied shear force  $V_y$  (uniaxial shear)  
 Vwct Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]  
 d Effective depth of section [cm]  
 bw Effective min width of the cross-section [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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **59 di 262**

Ro Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement =  $A_{sl}/(b_w d) [ < 0.02 ]$   
 Scp Mean compression stress (  $N_{Ed}/A_c$  ) [ Mpa ] [  $< 0.2 f_{cd}$  ]  
 k Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	b <sub>w</sub>	Ro	Scp	k
1	OK	35.61	203.53	63.0	100.0	0.0000	0.00	1.563

**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  
 $h = 700$  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  $A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset 16 = 10.05$  cm<sup>2</sup>  
 $\alpha_{cc} = 0.85$  coeff. riduttivo  $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00$  cm<sup>2</sup>  
 $d = 630$  mm altezza utile  $A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00$  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)

$N_{Ed} = 0.0$  kN  $V_{Ed} = 35.6$  kN

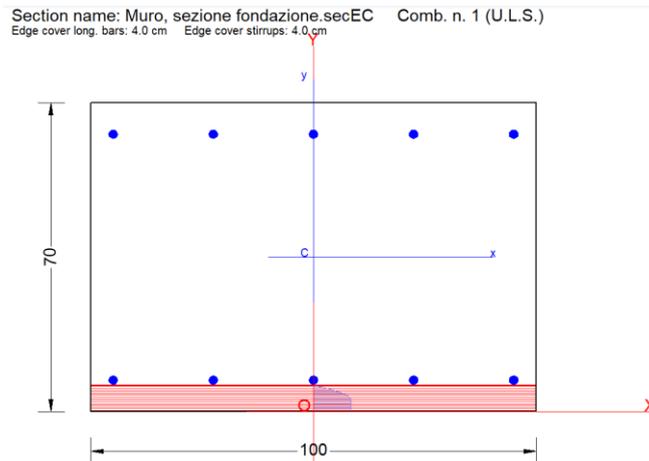
**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.563$  < 2  
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$   $v_{min} = 0.387$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.002$  < 0.02  
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$   
 $V_{Rd} = 203.5$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 243.8$  kN)  
 $V_{Rd} = 243.8$  kN assunto pari alla resistenza minima

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.1.6.3.3 Sezione della fondazione



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC

Section description:	
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
	Shear reduced compressive strength $v_1 \cdot f_{cd}$ :	8.5 MPa (6.9)EC2
	Coeff. Crd,c:	0.1200 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. k1:	0.1500 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. v min:	0.0111 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
	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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **61 di 262**

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:	70.0	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):	7.1	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	-245.09	-89.32	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.0	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.5	cm
Min edge cover of stirrups:	4.0	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	-245.09	-0.04	-380.89	1.554	6.0	-356.85	---	---	---
---	----	------	---------	-------	---------	-------	-----	---------	-----	-----	-----



**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**

1/3

COMMESSA NM27 LOTTO 01 D 26 CODIFICA CL DOCUMENTO CS0000001 REV. A FOGLIO 62 di 262

**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
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	-0.01409	0.0	-0.00066	7.1	-0.03337	62.9

**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	70.0	0.00	-0.0375359
3	50.0	70.0	0.00	-0.0375359
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	-132.44	-0.0006622
2	-22.5	7.1	-132.44	-0.0006622
3	0.0	7.1	-132.44	-0.0006622
4	22.5	7.1	-132.44	-0.0006622
5	45.0	7.1	-132.44	-0.0006622
6	-45.0	62.9	-434.78	-0.0333737
7	-22.5	62.9	-434.78	-0.0333737
8	0.0	62.9	-434.78	-0.0333737
9	22.5	62.9	-434.78	-0.0333737
10	45.0	62.9	-434.78	-0.0333737

**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check	Result of check
Ved	Design value [daN] of applied shear force $V_y$ (uniaxial shear)
Vwct	Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]
d	Effective depth of section [cm]
bw	Effective min width of the cross-section [cm]
Ro	Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement = $As_l/(bw d) [ < 0.02 ]$



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **63 di 262**

Scp	Mean compression stress (NEd/Ac)[Mpa] [ $< 0.2 f_{cd}$ ]							
k	Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2							
Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	-89.32	230.98	62.9	100.0	0.0000	0.00	1.564

**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
$h =$	700	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	Armadura longitudinale tesa:			
$\gamma_c =$	1.50		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} =$	5	Ø	20 = 15.71 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} =$	0.85		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	0	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$d =$	629	mm	altezza utile	$A_{sl,3} =$	0	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} =$	17.00	MPa	resist. di calcolo				15.71 cm <sup>2</sup>

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

$N_{ed} = 0.0$  kN  $V_{ed} = 89.3$  kN

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k =$	1.564	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} =$	0.375	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 =$	0.002	$< 0.02$
$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} =$	0.00	MPa $f_{cd}$

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

$$V_{Rd} = 231.0 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 235.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 235.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

**8.1.6.4 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.

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 64 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 64 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 64 di 262		

**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:
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck}$  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 = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 28.68 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -77.44 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 27.09 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -47.74 kNm

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

M = 0.15 kNm (per la 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**

**Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **65 di 262**

$M = 25.82$  kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

$M = -11.86$  kNm

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

**8.1.6.4.1 Sezione superiore 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	0.15

**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	0.15

**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	0.15

**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	0.01	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	10.1	21.5



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **66 di 262**

**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
$\emptyset   c$	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) = $0.6 S_{max} / E_s$
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	$\emptyset   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001	88.34

**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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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
---------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **67 di 262**

1 OK 0.01 40.0 0.00 28.7 -0.5 33.0 10.4 1044 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	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001 (0.40)	88.34

**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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	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	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001 (0.30)	88.34

**SLS - QUASI-PERMANENT 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **68 di 262**

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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	3.9
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	3.9

**8.1.6.4.2 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
---------	---	----



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **69 di 262**

1 0.00 28.68

**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 27.09

**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 25.82

**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	0.75	70.0	0.00	58.1	-48.5	63.0	17.5	1750	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
---------	-------	----	----	----	-------	-------	-------------	--------	----	---------



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **70 di 262**

1 OK -0.00028 0 0.500 16|6.2 0.006 0.000146 (0.00015) 684 0.100 267.37

**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	-0.0002759
2	-50.0	70.0	0.748	0.0000561
3	50.0	70.0	0.748	0.0000561
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002759

**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	-48.54	-0.0002427
2	-22.5	7.0	-48.54	-0.0002427
3	0.0	7.0	-48.54	-0.0002427
4	22.5	7.0	-48.54	-0.0002427
5	45.0	7.0	-48.54	-0.0002427
6	-45.0	63.0	4.58	0.0000229
7	-22.5	63.0	4.58	0.0000229
8	0.0	63.0	4.58	0.0000229
9	22.5	63.0	4.58	0.0000229
10	45.0	63.0	4.58	0.0000229

**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	0.71	70.0	0.00	58.1	-45.9	63.0	17.5	1750	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	-0.00026	0	0.500	16 6.2	0.006	0.000138 (0.00014)	684	0.094 (0.30)	267.37

**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
-----------	----	----	----	-----



**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**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **71 di 262**

1/3

1	-50.0	0.0	0.000	-0.0002606
2	-50.0	70.0	0.706	0.0000530
3	50.0	70.0	0.706	0.0000530
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002606

**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	-45.85	-0.0002293
2	-22.5	7.0	-45.85	-0.0002293
3	0.0	7.0	-45.85	-0.0002293
4	22.5	7.0	-45.85	-0.0002293
5	45.0	7.0	-45.85	-0.0002293
6	-45.0	63.0	4.32	0.0000216
7	-22.5	63.0	4.32	0.0000216
8	0.0	63.0	4.32	0.0000216
9	22.5	63.0	4.32	0.0000216
10	45.0	63.0	4.32	0.0000216

**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	0.68	70.0	0.00	58.1	-43.7	63.0	17.5	1750	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	0.006	0.000131 (0.00013)	684	0.090 (0.20)	267.37

**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	-0.0002484
2	-50.0	70.0	0.673	0.0000505
3	50.0	70.0	0.673	0.0000505
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002484

**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **72 di 262**

1	-45.0	7.0	-43.70	-0.0002185
2	-22.5	7.0	-43.70	-0.0002185
3	0.0	7.0	-43.70	-0.0002185
4	22.5	7.0	-43.70	-0.0002185
5	45.0	7.0	-43.70	-0.0002185
6	-45.0	63.0	4.12	0.0000206
7	-22.5	63.0	4.12	0.0000206
8	0.0	63.0	4.12	0.0000206
9	22.5	63.0	4.12	0.0000206
10	45.0	63.0	4.12	0.0000206

**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	0.93	0.40	3500	---	---	---	-529.17	10.1	8.7
1	Quasi-perm.	Web	0.93	0.40	3500	---	---	---	-529.17	10.1	8.7

**8.1.6.4.3 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	-77.47

**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	-47.74

**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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **73 di 262**

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-11.86

**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	1.64	0.0	0.00	14.1	-85.2	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00049	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000256 (0.00026)	592	0.151	-266.90

**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	1.634	0.0001226
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0004880
3	50.0	70.0	0.000	-0.0004880
4	50.0	0.0	1.634	0.0001226



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **74 di 262**

**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	12.13	0.0000606
2	-22.5	7.1	12.13	0.0000606
3	0.0	7.1	12.13	0.0000606
4	22.5	7.1	12.13	0.0000606
5	45.0	7.1	12.13	0.0000606
6	-45.0	62.9	-85.22	-0.0004261
7	-22.5	62.9	-85.22	-0.0004261
8	0.0	62.9	-85.22	-0.0004261
9	22.5	62.9	-85.22	-0.0004261
10	45.0	62.9	-85.22	-0.0004261

**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	1.01	0.0	0.00	14.1	-52.5	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00030	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000158 (0.00016)	592	0.093 (0.30)	-266.90

**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	1.007	0.0000755
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0003007
3	50.0	70.0	0.000	-0.0003007
4	50.0	0.0	1.007	0.0000755

**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	7.47	0.0000374
2	-22.5	7.1	7.47	0.0000374
3	0.0	7.1	7.47	0.0000374
4	22.5	7.1	7.47	0.0000374



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **75 di 262**

5	45.0	7.1	7.47	0.0000374
6	-45.0	62.9	-52.52	-0.0002626
7	-22.5	62.9	-52.52	-0.0002626
8	0.0	62.9	-52.52	-0.0002626
9	22.5	62.9	-52.52	-0.0002626
10	45.0	62.9	-52.52	-0.0002626

**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	0.27	0.0	0.00	19.6	-12.8	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00007	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000038 (0.00004)	592	0.023 (0.20)	-266.90

**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	0.260	0.0000195
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0000734
3	50.0	70.0	0.000	-0.0000734
4	50.0	0.0	0.260	0.0000195

**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	2.01	0.0000101
2	-22.5	7.1	2.01	0.0000101
3	0.0	7.1	2.01	0.0000101
4	22.5	7.1	2.01	0.0000101
5	45.0	7.1	2.01	0.0000101
6	-45.0	62.9	-12.79	-0.0000639
7	-22.5	62.9	-12.79	-0.0000639
8	0.0	62.9	-12.79	-0.0000639
9	22.5	62.9	-12.79	-0.0000639
10	45.0	62.9	-12.79	-0.0000639

**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]



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **76 di 262**

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)]
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	0.93	0.40	3500	---	---	---	-506.88	15.7	8.4
1	Quasi-perm.	Web	0.93	0.40	3500	---	---	---	-506.88	15.7	8.4

8.1.6.5 Riassunto delle armature

• *Sezione magra del muro*

**Lato a monte**                     $\Phi 16$  ogni 200mm  
**Lato a vale**                     $\Phi 16$  ogni 200mm  
**Armatura orizzontale**  
**nei entrambi lati**             $6 \times \Phi 12$  (3 ogni lato)

• *Sezione spessa del muro*

**Lato a monte**                     $\Phi 16$  ogni 200mm  
**Lato a vale**                     $\Phi 16$  ogni 200mm  
**Armatura orizzontale**  
**nei entrambi lati**             $22 \times \Phi 12$  (11 ogni lato)

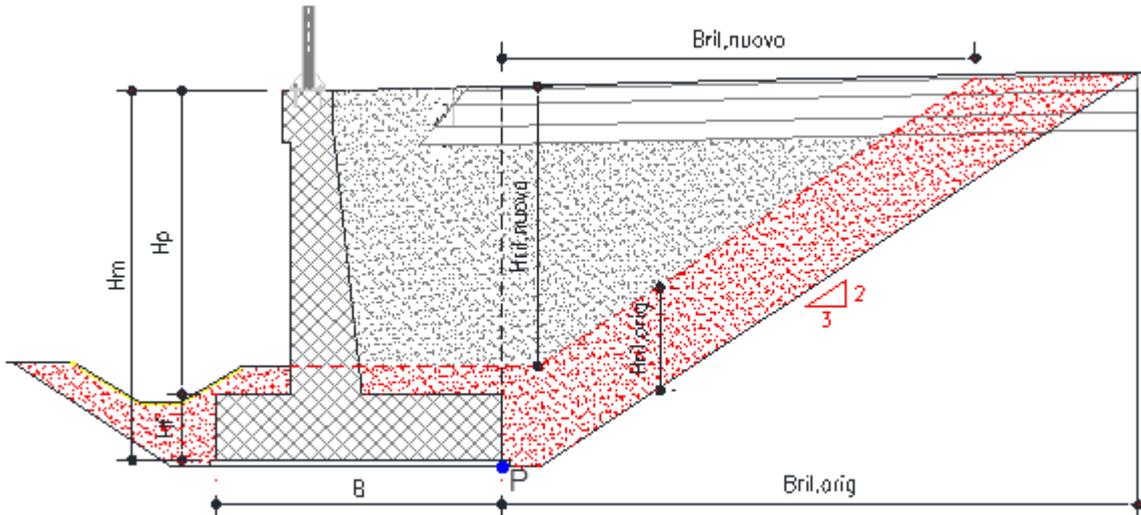
• *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**  $\Phi 20$  ogni 200mm  
**Armatura superiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm  
**Armatura inferiore, dir. principale**  $\Phi 20$  ogni 200mm  
**Armatura inferiore, dir. secondaria**  $\Phi 12$  ogni 200mm

8.1.6.6 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:

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 78 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 78 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 78 di 262		

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  $B' L'$

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

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

$$M = L'/B'$$

$$N = H/B'$$

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

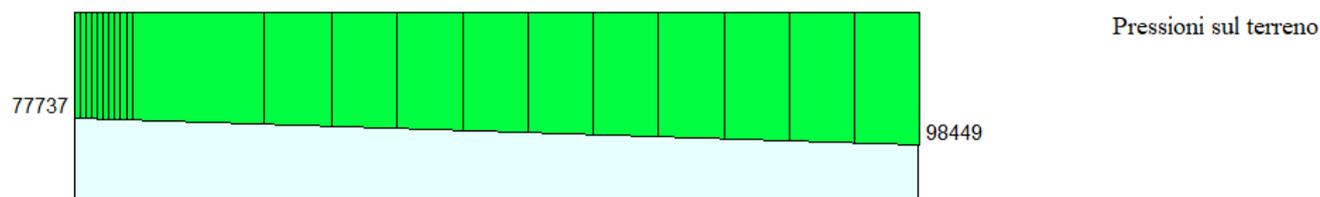
$I_F$  = coefficiente di influenza, che tiene conto della profondità del piano di posa. Tale coefficiente assume valori minori all'unità all'aumentare della profondità e che cautelativamente è stato posto pari a 1

$L'$  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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 79 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 79 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 79 di 262		

il 7% dei cedimenti, tale aspetto è tenuto in conto considerando un coefficiente  $Isr = 0.93$  Is 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 8-14 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 4.40 m

H rilevato esistente media = 0.70 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.70 \times 20 = 14$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(98 - 77) \times 2/3 + 77 = 91$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $91 - 14 = 77$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 48 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.



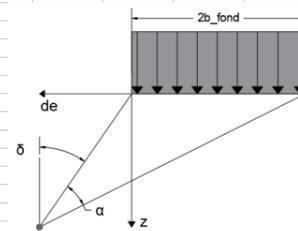
**REPORT DI CALCOLO**

Progetto  
Oggetto  
Rif.  
Creato da

Prog. N.  
Data  
Foglio n.  
Rev.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} = 18.00$	kN/m <sup>3</sup>
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	$2b_{\text{fond}} = 4.40$	m
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 105.00$	kN/m <sup>2</sup>
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} = 91.00$	kN/m <sup>2</sup>
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} = 14.00$	kN/m <sup>2</sup>

**RILEVATO**

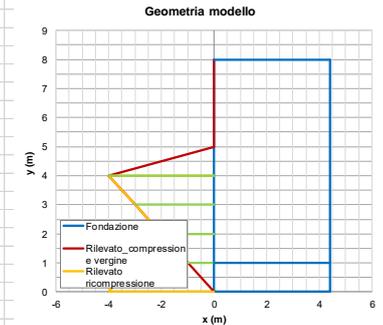
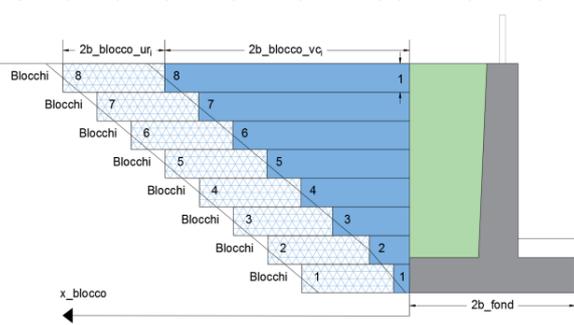
<b>BLOCCHI_COMPRESSIONE VERGINE</b>		Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} =$	1.00	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} =$	20.00	20.00	20.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00

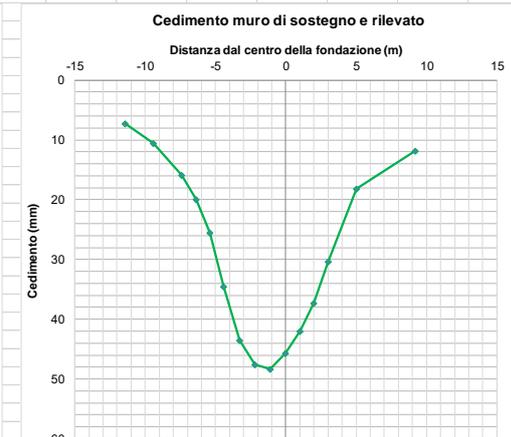
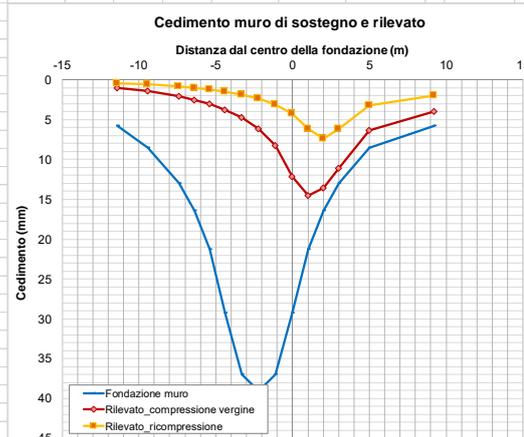
<b>BLOCCHI_RICOMPRESIONE</b>		Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	1.00	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} =$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_ur}} =$	20.00	20.00	20.00	14.00	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  $z_{\text{calc}} = 16.00$



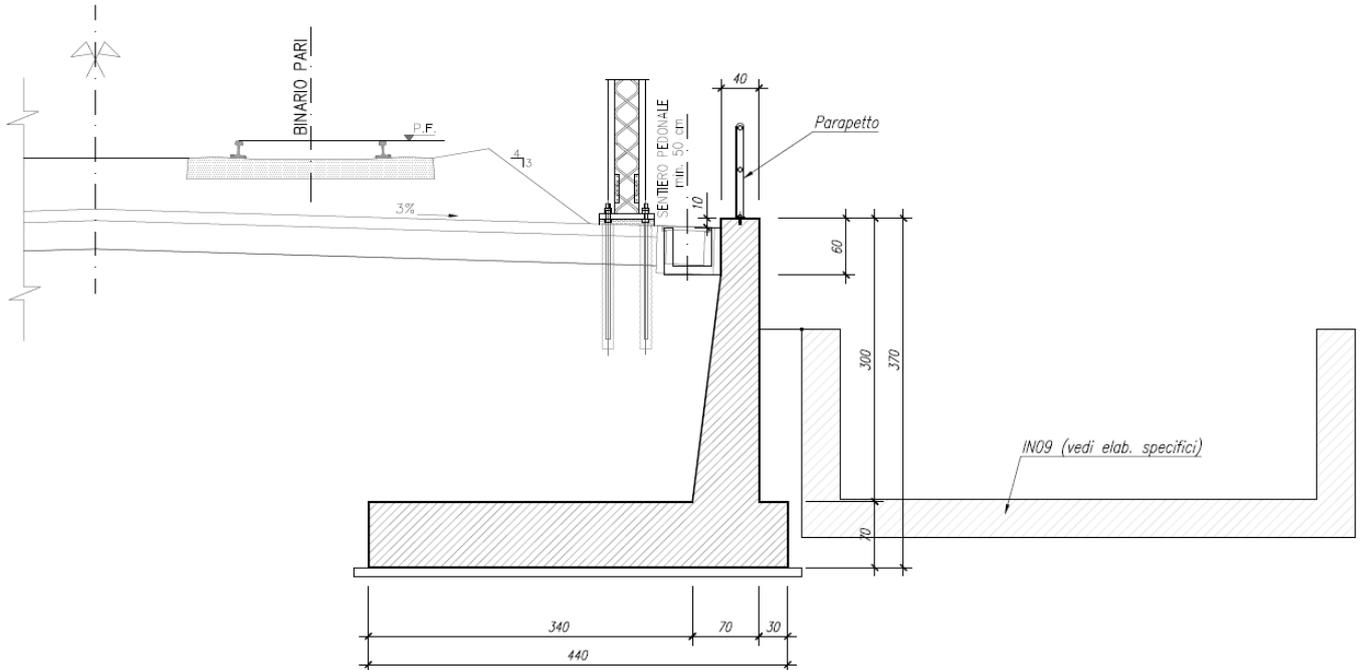
**SINTESI DEI RISULTATI**



Cedimento massimo = 48mm

## 8.2 Sezione Tipo 3 PK 4+300 a 4+420

### 8.2.1 Caratteristiche geometriche



### 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  $\rightarrow \delta_k = 25,33^\circ$
- 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):

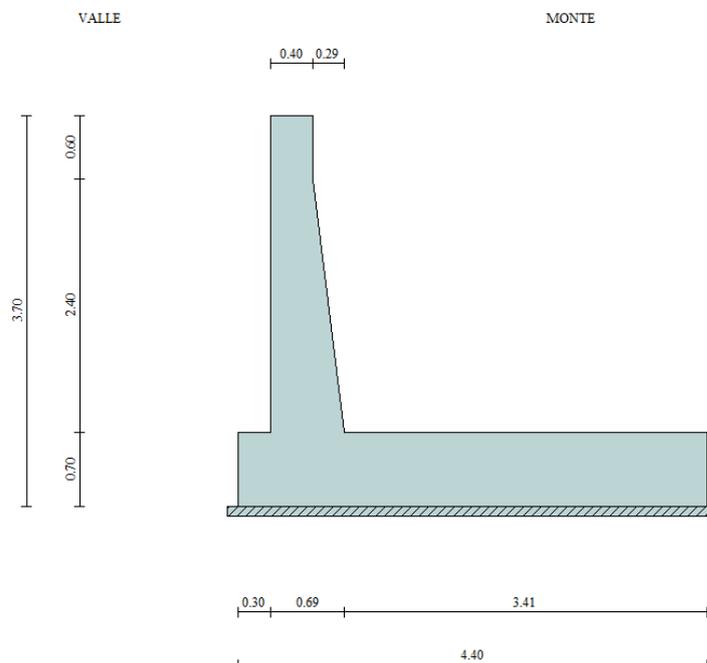
- Peso per unità di volume  $\rightarrow \gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

STRATO 2 (1 - 12m):

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

### 8.3.2 Dati di progetto

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (per il muro presente le azioni sono uguali a ogni punto lungo il muro).



**Figura 8-15: Sezione muro alla progressiva 4+300 km**

### Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a grandoni in c.a.**

Descrizione dei gradoni



## 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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 83 di 262

#### Simbologia adottata

Nr. numero d'ordine del gradone (a partire dall'alto)

Bs base superiore del gradone espressa in [m]

Bi base inferiore del gradone espressa in [m]

Hg altezza del gradone espressa in [m]

$\alpha_e$  inclinazione esterna del gradone espressa in [°]

$\alpha_i$  inclinazione interna del gradone espressa in [°]

Nr.	Bs	Bi	Hg	$\alpha_e$	$\alpha_i$
1	0,40	0,40	0,60	0,00	0,00
2	0,40	0,69	2,40	0,00	7,00

Altezza del paramento 3,00 [m]

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle 0,30 [m]

Lunghezza mensola fondazione di monte 3,41 [m]

Lunghezza totale fondazione 4,40 [m]

Inclinazione piano di posa della fondazione 0,00 [%]

Spessore fondazione 0,70 [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 [°]



**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**  
1/3

COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO  
NM27        01 D 26    CL        CS0000001    A        84 di 262

N	X	Y	A
1	0,02-0,10	-78,69	
2	1,38-0,10	0,00	
3	2,380,80	41,99	
4	15,00	0,80	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]

**8.3.3 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;

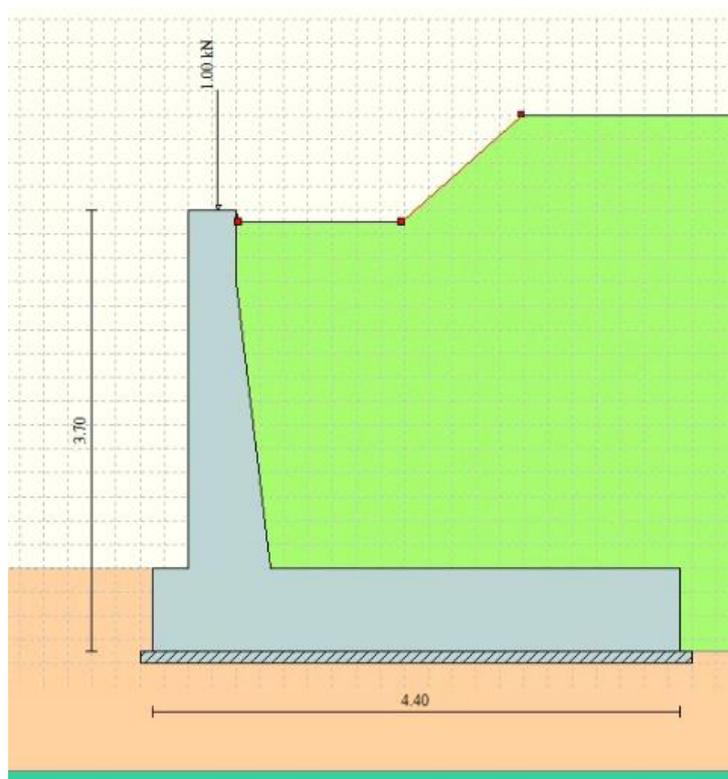
$\delta_k = 25.33^\circ$         angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>85 di 262</b>

### 8.3.3.2 Carico parapetto

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



**Figura 8-16 – Applicazione dei carichi: Peso parapetto**

Nota: Si assume che il peso del parapetto sia "ben definito" ai sensi di quanto stabilito 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



**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**  
1/3

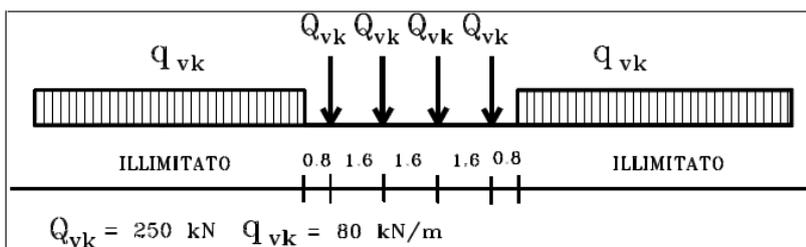
COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **86 di 262**

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.

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

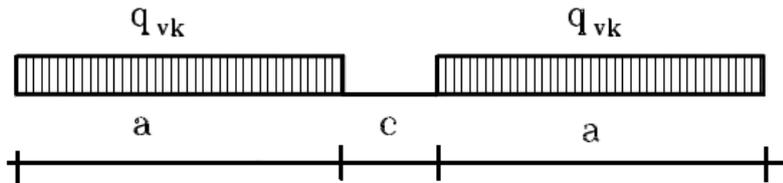
$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \varphi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

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

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

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

Treno di carico SW2

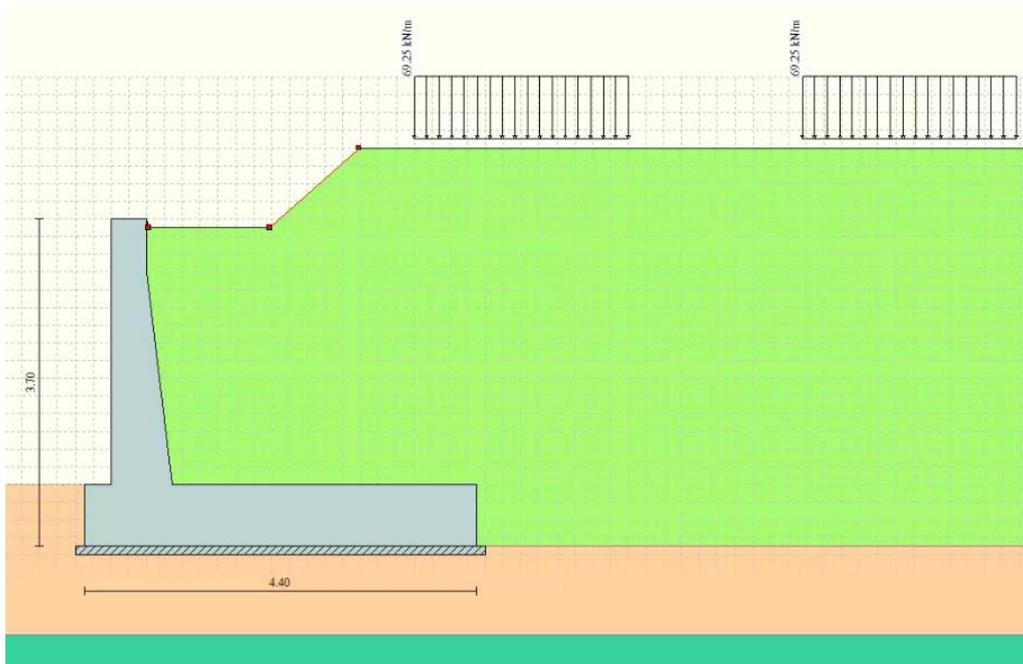


$$q_{\text{equivalente}} = 150/2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

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

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  $0.967 \times 71,61 \text{ kN/m}^2 = 69,25 \text{ kN/m}^2$ .

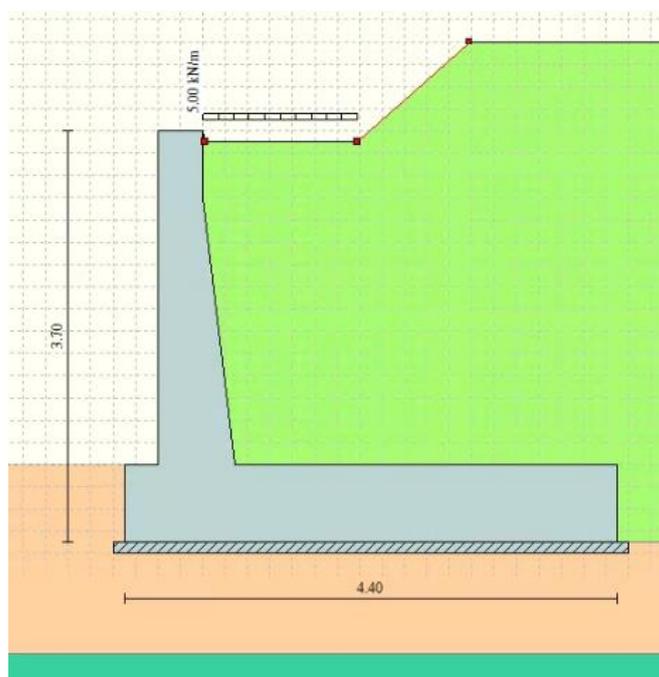


**Figura 8-17 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 88 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 88 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 88 di 262		

#### 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 8-18 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

#### 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)

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 89 di 262

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

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	
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		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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 90 di 262

	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).

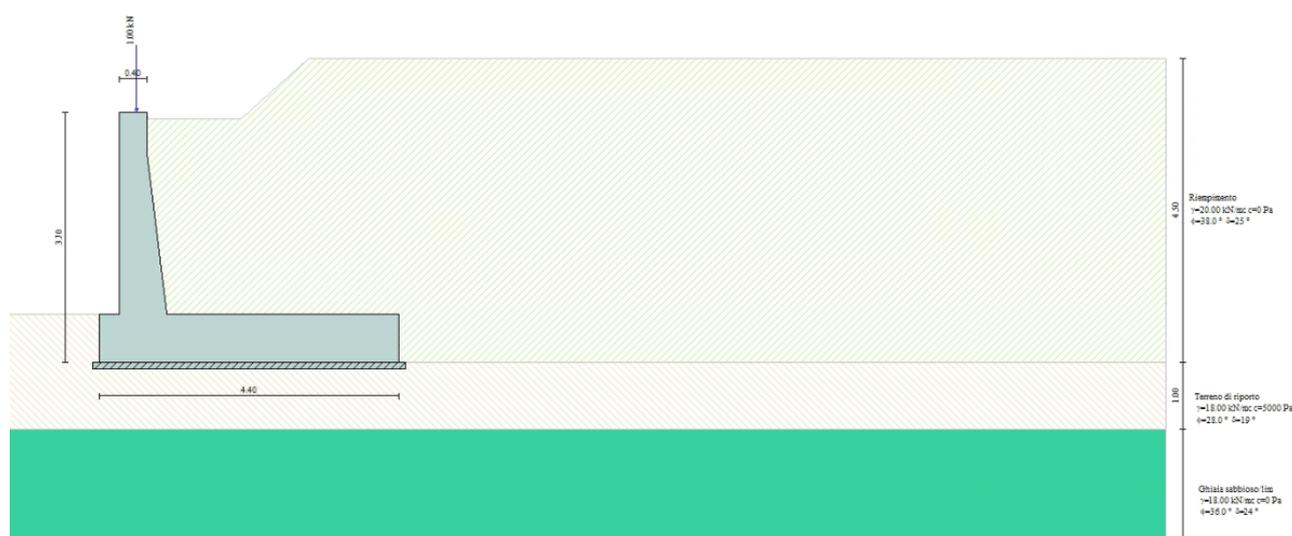
	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 91 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 91 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 91 di 262		

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.



**Figura 8-19 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**



**Figura 8-20 – 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)

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	

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	



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **93 di 262**

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni	SFAV	1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni	SFAV	1,50	0,80	1,20	

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



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 94 di 262

Spinta terreno SFAV	1,30	1,00	1,30		
Parapetto SFAV	1,30	1,00	1,30		
Carichi accidentali	SFAV	1,50	1,00	1,50	
Carichi treni SFAV	1,50	0,80	1,20		

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 accidentali	SFAV	1,50	1,00	1,50	
Carichi treni SFAV	1,50	0,80	1,20		

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 accidentali	SFAV	1,50	1,00	1,50	
Carichi treni SFAV	1,50	0,80	1,20		

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 accidentali	SFAV	1,30	1,00	1,30	
Carichi treni SFAV	1,30	0,80	1,04		

Combinazione n° 13 - 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 accidentali	SFAV	1,50	0,80	1,20	
Carichi treni SFAV	1,50	1,00	1,50		

Combinazione n° 14 - Caso A1-M1 (STR)

S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$		
Peso proprio muro	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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 95 di 262

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 accidentali	SFAV	1,50	0,80	1,20
Carichi treni SFAV	1,50	1,00	1,50	

Combinazione n° 15 - Caso A1-M1 (STR)

S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$	
Peso proprio muro		FAV	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno		SFAV	1,30	1,30
Spinta terreno SFAV		1,30	1,00	1,30
Parapetto SFAV		1,30	1,00	1,30
Carichi accidentali		SFAV	1,50	0,80
Carichi treni SFAV		1,50	1,00	1,50

Combinazione n° 16 - Caso A1-M1 (STR)

S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$	
Peso proprio muro		SFAV	1,30	1,00
Peso proprio terrapieno		FAV	1,00	1,00
Spinta terreno SFAV		1,30	1,00	1,30
Parapetto SFAV		1,30	1,00	1,30
Carichi accidentali		SFAV	1,50	0,80
Carichi treni SFAV		1,50	1,00	1,50

Combinazione n° 17 - Caso EQU (SLU)

S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$	
Peso proprio muro		FAV	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno		FAV	1,00	1,00
Spinta terreno SFAV		1,30	1,00	1,30
Parapetto SFAV		1,30	1,00	1,30
Carichi accidentali		SFAV	1,50	0,80
Carichi treni SFAV		1,50	1,00	1,50

Combinazione n° 18 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$	
Peso proprio muro		SFAV	1,00	1,00
Peso proprio terrapieno		SFAV	1,00	1,00
Spinta terreno SFAV		1,00	1,00	1,00
Parapetto SFAV		1,00	1,00	1,00
Carichi accidentali		SFAV	1,30	0,80
Carichi treni 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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **96 di 262**

Combinazione n° 19 - 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	

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	

Combinazione n° 21 - 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	

Combinazione n° 22 - 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	

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	

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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **97 di 262**

Spinta terreno	SFAV	1,00	1,00	1,00
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00

Combinazione n° 25 - 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° 26 - 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi treni	SFAV	1,00	0,20	0,20	

Combinazione n° 27 - 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° 28 - 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° 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi treni	SFAV	1,00	0,20	0,20	

Combinazione n° 30 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - 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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 98 di 262

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° 31 - 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 accidentali		SFAV	1,00	1,00	1,00
Carichi treni	SFAV	1,00	0,80	0,80	

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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi accidentali		SFAV	1,00	0,50	0,50

Combinazione n° 33 - 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	

Combinazione n° 34 - 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 accidentali		SFAV	1,00	0,80	0,80
Carichi treni	SFAV	1,00	1,00	1,00	

Combinazione n° 35 - Frequente (SLE)

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>99 di 262</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	

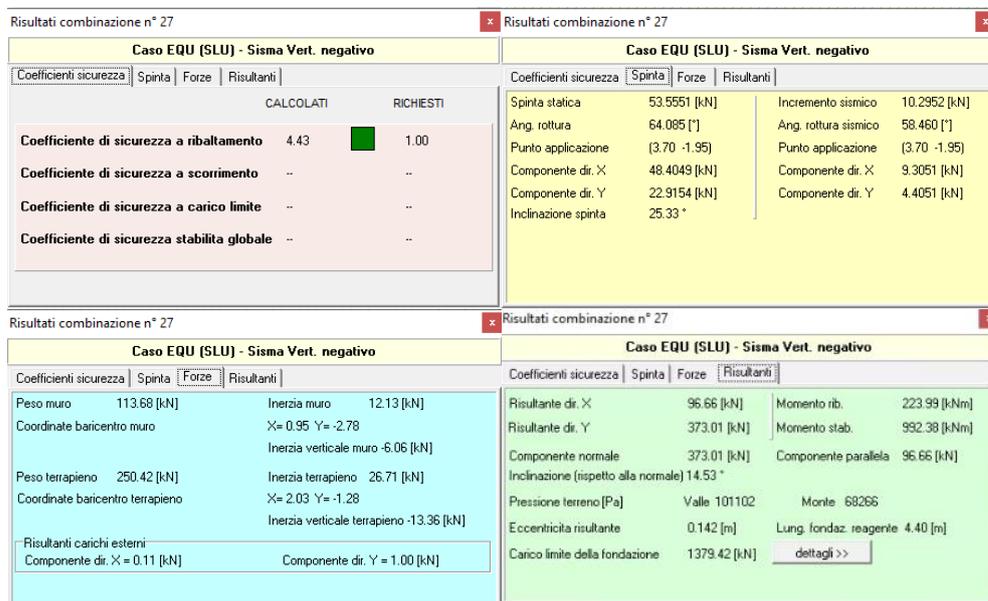
### 8.3.5 Verifiche

#### 8.3.5.1 Verifiche geotecniche

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

- *Ribaltamento*

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 27, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-21:



Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
CALCOLATI		RICHIESTI		Spinta		Risultanti	
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	4.43	1.00		Spinta statica	53.5551 [kN]	Incremento sismico	10.2952 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--	--		Ang. rottura	64.085 [°]	Ang. rottura sismico	58.460 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--	--		Punto applicazione	(3.70 -1.95)	Punto applicazione	(3.70 -1.95)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--	--		Componente dir. X	48.4049 [kN]	Componente dir. X	9.3051 [kN]
				Componente dir. Y	22.9154 [kN]	Componente dir. Y	4.4051 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Spinta		Risultanti		Spinta		Risultanti	
Peso muro	113.68 [kN]	Inerzia muro	12.13 [kN]	Risultante dir. X	96.66 [kN]	Momento rib.	223.99 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X= 0.95 Y= -2.78	Inerzia verticale muro	-6.06 [kN]	Risultante dir. Y	373.01 [kN]	Momento stab.	932.38 [kNm]
Peso terrapieno	250.42 [kN]	Inerzia terrapieno	26.71 [kN]	Componente normale	373.01 [kN]	Componente parallela	96.66 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X= 2.03 Y= -1.28	Inerzia verticale terrapieno	-13.36 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.53 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 101102	Monte 68266	
Componente dir. X = 0.11 [kN]		Componente dir. Y = 1.00 [kN]		Eccentricita risultante	0.142 [m]	Lung. fondaz. reagente 4.40 [m]	
				Carico limite della fondazione	1379.42 [kN]		

Figura 8-21 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)

- *Scorrimento*

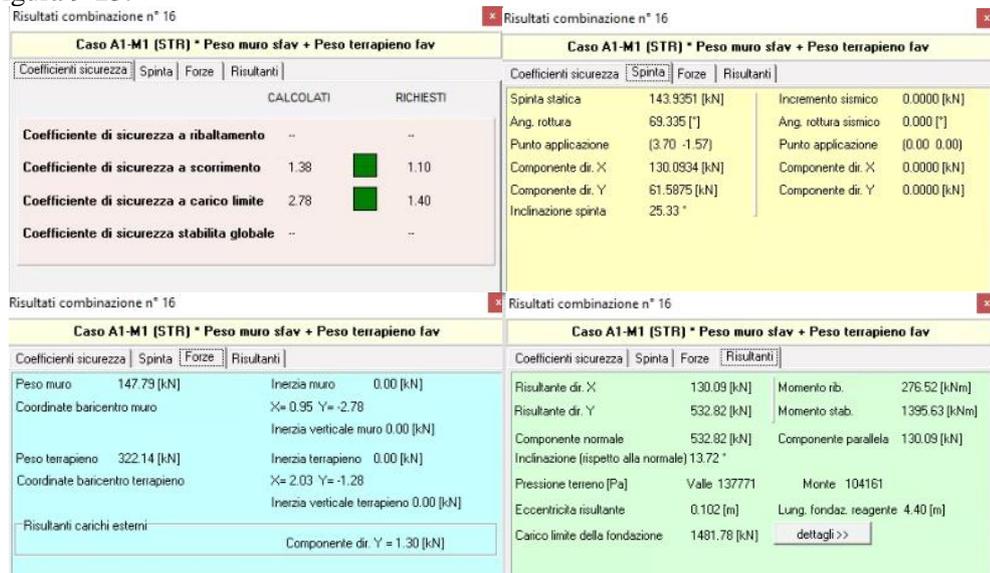
Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 13, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-22:



**Figura 8-22 – 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. 16, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-23:

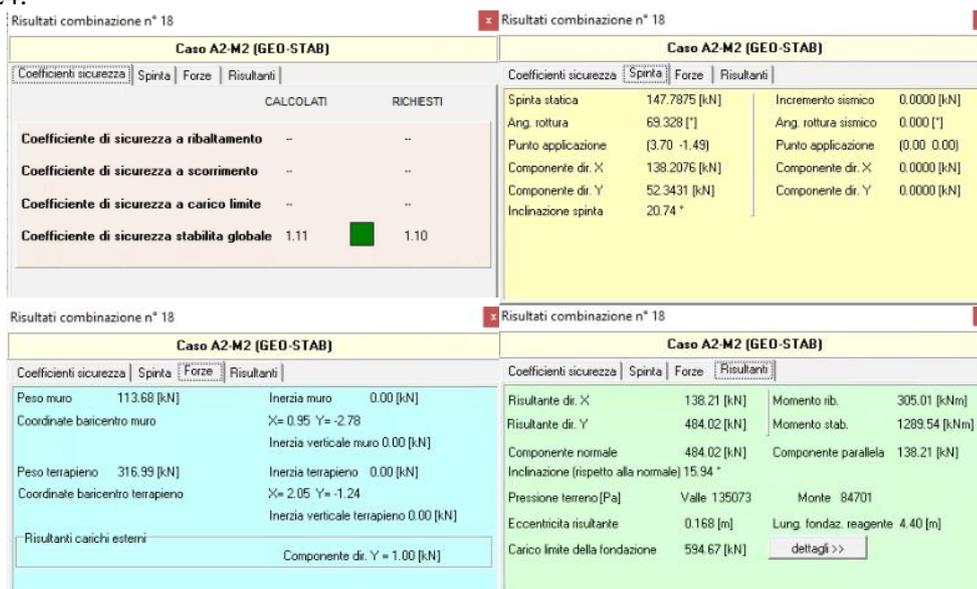


**Figura 8-23 – Risultati verifica al carico limite (da MAX 14)**

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA <b>NM27</b> LOTTO <b>01 D 26</b> CODIFICA <b>CL</b> DOCUMENTO <b>CS0000001</b> REV. <b>A</b> FOGLIO <b>101 di 262</b>

- *Stabilità globale (Cerchio limite)*

Il risultato più critico per la stabilità globale è dato dalla combinazione ‘geo’ num. 18, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-24:



**Figura 8-24 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

### 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 taglianti) delle NTC2018.

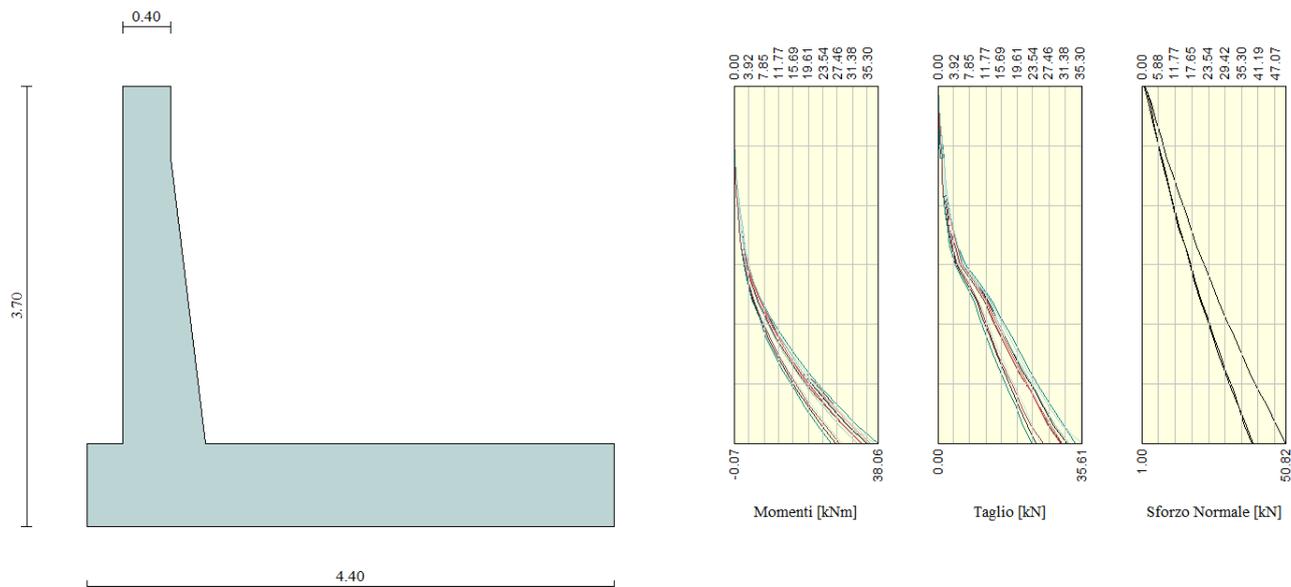
L’obiettivo in termini di resistenza a taglio è dimostrare che la sezione sostiene il valore dello sforzo di taglio agente ( $V_{Ed}$ ) senza armature trasversali.

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>102 di 262</b>

- *Flessione e taglio (nel muro)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-25 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (parte superiore - 0.6m) Combinazione 8:  $M_{Ed} = 0.20$  kNm

Valore di progetto del taglio agente (parte superiore -0.6m) Combinazione 13:  $V_{Ed} = 1.00$  kN

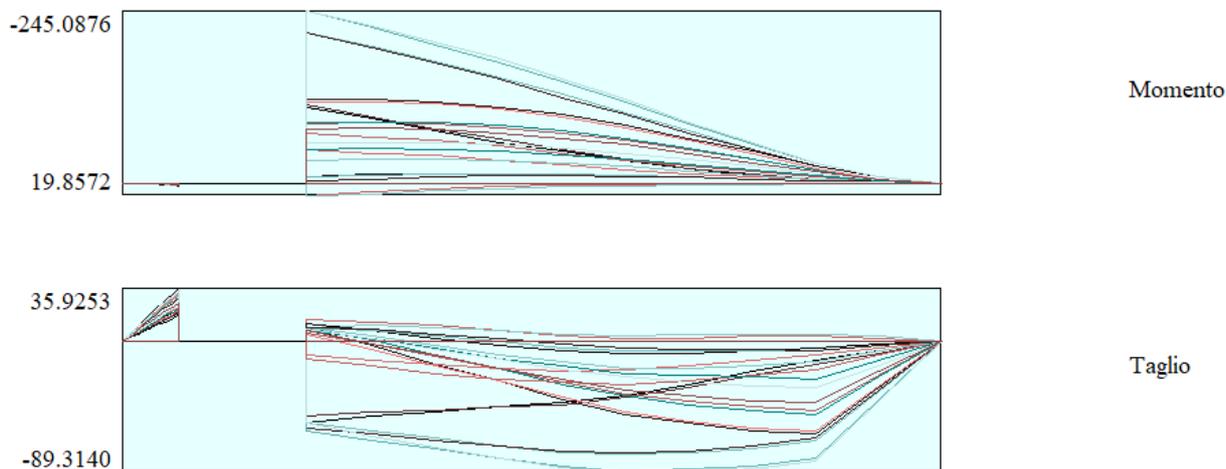
Valore di progetto del momento flettente agente (parte inferiore - 3.0m) Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 38.06$  kNm

Valore di progetto del taglio agente (parte inferiore - 3.0) Combinazione 13:  $V_{Ed} = 35.61$  kN

- *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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 103 di 262



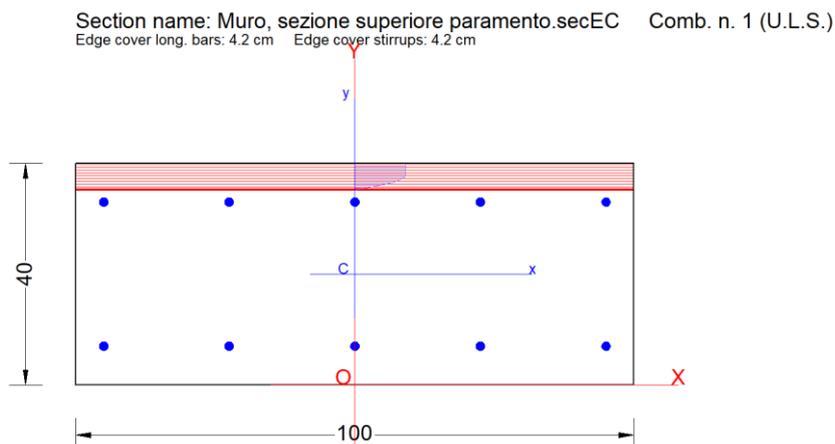
**Figura 8-26 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 16:  $M_{Ed} = -245.09 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 16:  $V_{Ed} = -89.32 \text{ kN}$

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 superiore del paramento



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione superiore paramento.secEC

Section description:



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **104 di 262**

Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)  
 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  
 Shear reduced compressive strength v1\*fcd: 9.1 MPa (6.9)EC2  
 Coeff. Crd,c: 0.1200 § 6.2.2(1) EC2  
 Coeff. k1: 0.1500 § 6.2.2(1) EC2  
 Coeff. v min: 0.0115 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)  
 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: 0.400 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: 0.300 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: 40.0 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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **105 di 262**

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	0.20	1.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars: 4.2 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 20.9 cm  
Min edge cover of stirrups: 4.2 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	0.20	0.15	137.67	688.345	35.2	118.87	---	---	---
---	----	------	------	------	--------	---------	------	--------	-----	-----	-----

**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	-0.00891	40.0	-0.00157	33.0	-0.02040	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)
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**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **106 di 262**

1/3

1	-50.0	0.0	0.00	-0.0254676
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	-0.0254676

**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	-0.0203983
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0203983
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0203983
6	-45.0	33.0	-313.87	-0.0015693
7	-22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
8	0.0	33.0	-313.87	-0.0015693
9	22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
10	45.0	33.0	-313.87	-0.0015693

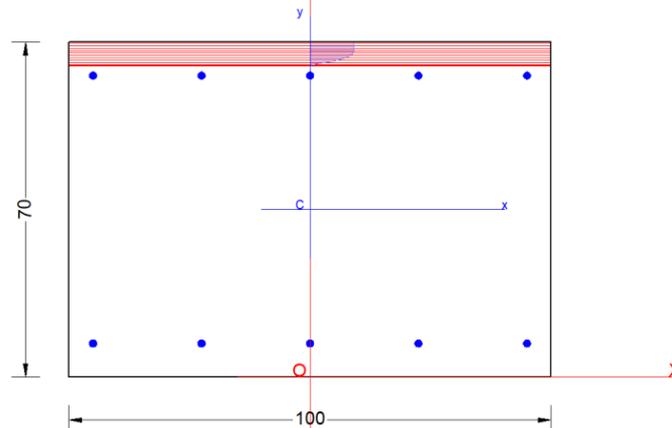
**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check Result of check  
 Ved Design value [daN] of applied shear force Vy (uniaxial shear)  
 Vwct Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]  
 d Effective depth of section [cm]  
 bw Effective min width of the cross-section [cm]  
 Ro Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement =  $A_s l / (b_w d) [ < 0.02 ]$   
 Scp Mean compression stress  $(N E_d / A_c) [Mpa] [ < 0.2 f_{cd} ]$   
 k Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	1.00	150.45	33.0	100.0	0.0000	0.00	1.778

### 8.3.5.2.2 Sezione inferiore del paramento

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



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:  
 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
	Shear reduced compressive strength $v_1 \cdot f_{cd}$ :	9.1	MPa (6.9)EC2
	Coeff. $\alpha_{ct}$ :	0.1200	§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff. $k_1$ :	0.1500	§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff. $\alpha_{s1}$ :	0.0115	Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
	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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **108 di 262**

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:	70.0	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	38.06	35.61	0.00

**CHECKS RESULTS**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.2	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.9	cm
Min edge cover of stirrups:	4.2	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 TensionArea 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	38.06	0.21	255.72	6.719	65.2	232.48	---	---	---
---	----	------	-------	------	--------	-------	------	--------	-----	-----	-----



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **109 di 262**

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

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at $ec/2$ 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	-0.01823	70.0	-0.00157	63.0	-0.04212	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	-0.0471917
2	-50.0	70.0	18.13	0.0035000
3	50.0	70.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0471917

**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	-0.0421225
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0421225
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0421225
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0421225
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0421225
6	-45.0	63.0	-313.83	-0.0015692
7	-22.5	63.0	-313.83	-0.0015692
8	0.0	63.0	-313.83	-0.0015692
9	22.5	63.0	-313.83	-0.0015692
10	45.0	63.0	-313.83	-0.0015692

**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check	Result of check
Ved	Design value [daN] of applied shear force Vy (uniaxial shear)
Vvct	Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]
d	Effective depth of section [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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **110 di 262**

bw Effective min width of the cross-section [cm]  
 Ro Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement =  $A_{sl}/(b_w d) [ < 0.02 ]$   
 Scp Mean compression stress ( $N_{Ed}/A_c$ ) [Mpa] [ $< 0.2 f_{cd}$ ]  
 k Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	35.61	203.53	63.0	100.0	0.0000	0.00	1.563

**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  
 $h = 700$  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  $A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset \text{ } 16 = 10.05 \text{ cm}^2$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$  coeff. riduttivo  $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $d = 630$  mm altezza utile  $A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $f_{cd} = 18.13$  MPa resist. di calcolo  $10.05 \text{ cm}^2$

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

$N_{Ed} = 0.0$  kN  $V_{ed} = 35.6$  kN

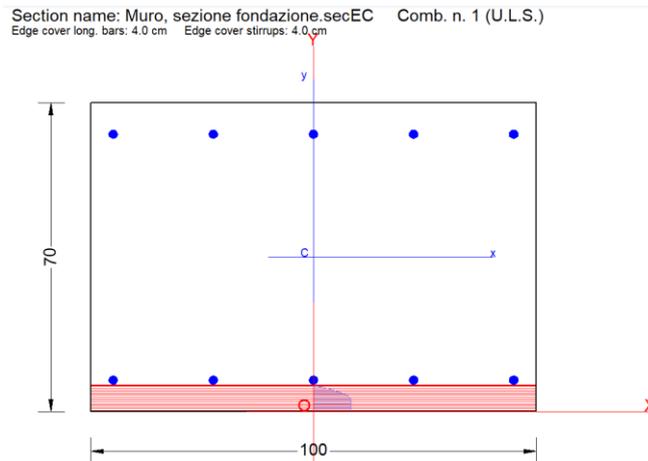
**• Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.563$   $< 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$   $v_{min} = 0.387$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.002$   $< 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$   
 $V_{Rd} = 203.5$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 243.8$  kN)  
 $V_{Rd} = 243.8$  kN assunto pari alla resistenza minima

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.3.5.2.3 Sezione della fondazione



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC

Section description:	
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
	Shear reduced compressive strength $v_1 \cdot f_{cd}$ :	8.5 MPa (6.9)EC2
	Coeff. Crd,c:	0.1200 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. k1:	0.1500 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. v min:	0.0111 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
	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



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **112 di 262**

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:	70.0	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):	7.1	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	-245.09	-89.32	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.0	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.5	cm
Min edge cover of stirrups:	4.0	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	-245.09	-0.04	-380.89	1.554	6.0	-356.85	---	---	---
---	----	------	---------	-------	---------	-------	-----	---------	-----	-----	-----



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **113 di 262**

**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	-0.01409	0.0	-0.00066	7.1	-0.03337	62.9

**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	70.0	0.00	-0.0375359
3	50.0	70.0	0.00	-0.0375359
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	-132.44	-0.0006622
2	-22.5	7.1	-132.44	-0.0006622
3	0.0	7.1	-132.44	-0.0006622
4	22.5	7.1	-132.44	-0.0006622
5	45.0	7.1	-132.44	-0.0006622
6	-45.0	62.9	-434.78	-0.0333737
7	-22.5	62.9	-434.78	-0.0333737
8	0.0	62.9	-434.78	-0.0333737
9	22.5	62.9	-434.78	-0.0333737
10	45.0	62.9	-434.78	-0.0333737

**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check	Result of check
Ved	Design value [daN] of applied shear force Vy (uniaxial shear)
Vwct	Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]
d	Effective depth of section [cm]
bw	Effective min width of the cross-section [cm]
Ro	Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement = Asl/(bw d)[<0.02]



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **114 di 262**

Scp Mean compression stress (NEd/Ac)[Mpa] [ $< 0.2 f_{cd}$ ]  
k Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	-89.32	230.98	62.9	100.0	0.0000	0.00	1.564

**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
$h =$	700	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	Ø	20 = 15.71 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} =$	0.85		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	0	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$d =$	629	mm	altezza utile	$A_{sl,3} =$	0	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} =$	17.00	MPa	resist. di calcolo				15.71 cm <sup>2</sup>

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

$N_{ed} = 0.0$  kN  $V_{ed} = 89.3$  kN

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k =$	1.564	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} =$	0.375	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 =$	0.002	$< 0.02$
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} =$	0.00	MPa $f_{cd}$

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

$$V_{Rd} = 231.0 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 235.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 235.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

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.

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 115 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 115 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 115 di 262		

**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:
  - $\sigma_{s,max} \leq 0,75 f_{yk}$  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 = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 28.68 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -77.44 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 27.09 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -47.74 kNm

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

M = 0.15 kNm (per la 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**

**Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **116 di 262**

$M = 25.82$  kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

$M = -11.86$  kNm

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

**8.3.5.3.1 Sezione superiore 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	0.15

**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	0.15

**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	0.15

**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	0.01	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	10.1	21.5



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **117 di 262**

**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; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ 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
$\sigma   c$	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) = $0.6 S_{max} / E_s$
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = $sr \text{ max} \cdot (e \text{ sm} - e \text{ cm}) / [eq.(7.8)]$ . Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\sigma   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001	88.34

**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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **118 di 262**

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	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	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	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001 (0.40)	88.34

**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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	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	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001 (0.30)	88.34

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

**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **119 di 262**

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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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 [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	10.1	3.9
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	3.9

**8.3.5.3.2 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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **120 di 262**

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	28.68

**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	27.09

**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	25.82

**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	0.75	70.0	0.00	58.1	-48.5	63.0	17.5	1750	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]



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **121 di 262**

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	Ø   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00028	0	0.500	16 6.2	0.006	0.000146 (0.00015)	684	0.100	267.37

**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	-0.0002759
2	-50.0	70.0	0.748	0.0000561
3	50.0	70.0	0.748	0.0000561
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002759

**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	-48.54	-0.0002427
2	-22.5	7.0	-48.54	-0.0002427
3	0.0	7.0	-48.54	-0.0002427
4	22.5	7.0	-48.54	-0.0002427
5	45.0	7.0	-48.54	-0.0002427
6	-45.0	63.0	4.58	0.0000229
7	-22.5	63.0	4.58	0.0000229
8	0.0	63.0	4.58	0.0000229
9	22.5	63.0	4.58	0.0000229
10	45.0	63.0	4.58	0.0000229

**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	0.71	70.0	0.00	58.1	-45.9	63.0	17.5	1750	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	-0.00026	0	0.500	16 6.2	0.006	0.000138 (0.00014)	684	0.094 (0.30)	267.37

**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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **122 di 262**

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0002606
2	-50.0	70.0	0.706	0.0000530
3	50.0	70.0	0.706	0.0000530
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002606

**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	-45.85	-0.0002293
2	-22.5	7.0	-45.85	-0.0002293
3	0.0	7.0	-45.85	-0.0002293
4	22.5	7.0	-45.85	-0.0002293
5	45.0	7.0	-45.85	-0.0002293
6	-45.0	63.0	4.32	0.0000216
7	-22.5	63.0	4.32	0.0000216
8	0.0	63.0	4.32	0.0000216
9	22.5	63.0	4.32	0.0000216
10	45.0	63.0	4.32	0.0000216

**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	0.68	70.0	0.00	58.1	-43.7	63.0	17.5	1750	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	0.006	0.000131 (0.00013)	684	0.090 (0.20)	267.37

**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	-0.0002484
2	-50.0	70.0	0.673	0.0000505
3	50.0	70.0	0.673	0.0000505
4	50.0	0.0	0.000	-0.0002484

**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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **123 di 262**

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-43.70	-0.0002185
2	-22.5	7.0	-43.70	-0.0002185
3	0.0	7.0	-43.70	-0.0002185
4	22.5	7.0	-43.70	-0.0002185
5	45.0	7.0	-43.70	-0.0002185
6	-45.0	63.0	4.12	0.0000206
7	-22.5	63.0	4.12	0.0000206
8	0.0	63.0	4.12	0.0000206
9	22.5	63.0	4.12	0.0000206
10	45.0	63.0	4.12	0.0000206

**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	0.93	0.40	3500	---	---	---	-529.17	10.1	8.7
1	Quasi-perm.	Web	0.93	0.40	3500	---	---	---	-529.17	10.1	8.7

**8.3.5.3.3 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	-77.47

**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	-47.74

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

N	Axial force [kN] aplied 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **124 di 262**

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	-11.86

**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	1.64	0.0	0.00	14.1	-85.2	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00049	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000256 (0.00026)	592	0.151	-266.90

**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	1.634	0.0001226
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0004880
3	50.0	70.0	0.000	-0.0004880



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **125 di 262**

4 50.0 0.0 1.634 0.0001226

**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	12.13	0.0000606
2	-22.5	7.1	12.13	0.0000606
3	0.0	7.1	12.13	0.0000606
4	22.5	7.1	12.13	0.0000606
5	45.0	7.1	12.13	0.0000606
6	-45.0	62.9	-85.22	-0.0004261
7	-22.5	62.9	-85.22	-0.0004261
8	0.0	62.9	-85.22	-0.0004261
9	22.5	62.9	-85.22	-0.0004261
10	45.0	62.9	-85.22	-0.0004261

**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	1.01	0.0	0.00	14.1	-52.5	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00030	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000158 (0.00016)	592	0.093 (0.30)	-266.90

**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	1.007	0.0000755
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0003007
3	50.0	70.0	0.000	-0.0003007
4	50.0	0.0	1.007	0.0000755

**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	7.47	0.0000374
2	-22.5	7.1	7.47	0.0000374



**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**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **126 di 262**

1/3

3	0.0	7.1	7.47	0.0000374
4	22.5	7.1	7.47	0.0000374
5	45.0	7.1	7.47	0.0000374
6	-45.0	62.9	-52.52	-0.0002626
7	-22.5	62.9	-52.52	-0.0002626
8	0.0	62.9	-52.52	-0.0002626
9	22.5	62.9	-52.52	-0.0002626
10	45.0	62.9	-52.52	-0.0002626

**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	0.27	0.0	0.00	19.6	-12.8	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00007	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000038 (0.00004)	592	0.023 (0.20)	-266.90

**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	0.260	0.0000195
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0000734
3	50.0	70.0	0.000	-0.0000734
4	50.0	0.0	0.260	0.0000195

**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	2.01	0.0000101
2	-22.5	7.1	2.01	0.0000101
3	0.0	7.1	2.01	0.0000101
4	22.5	7.1	2.01	0.0000101
5	45.0	7.1	2.01	0.0000101
6	-45.0	62.9	-12.79	-0.0000639
7	-22.5	62.9	-12.79	-0.0000639
8	0.0	62.9	-12.79	-0.0000639
9	22.5	62.9	-12.79	-0.0000639
10	45.0	62.9	-12.79	-0.0000639

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

N.Comb. SLS combination number  
 Comb.Type Frequent or Quasi-Permanent



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **127 di 262**

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	0.93	0.40	3500	---	---	---	-506.88	15.7	8.4
1	Quasi-perm.	Web	0.93	0.40	3500	---	---	---	-506.88	15.7	8.4

8.3.5.4 Riassunto delle armature

• *Sezione magra del muro*

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

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

**Armatura orizzontale**

**nei entrambi lati** 6x $\Phi 12$  (3 ogni lato)

• *Sezione spessa del muro*

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

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

**Armatura orizzontale**

**nei entrambi lati** 22x $\Phi 12$  (12 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**  $\Phi 20$  ogni 200mm

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

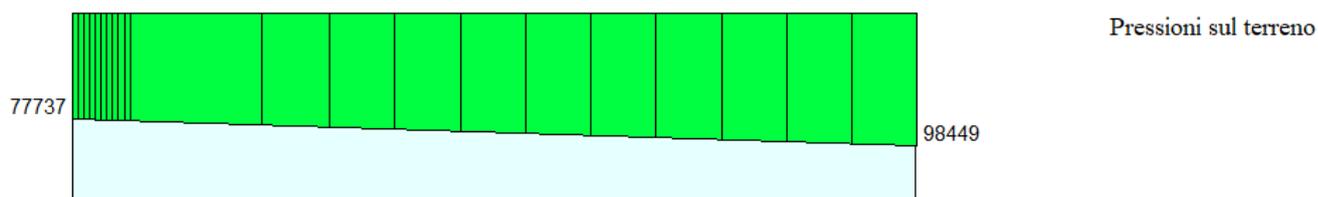
**Armatura inferiore, dir. principale**  $\Phi 20$  ogni 200mm

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

8.3.5.5 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 128 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 128 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 128 di 262		



**Figure 8-27 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 4.40 m

H rilevato esistente media = 0.70 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.70 \times 20 = 14$  kPa

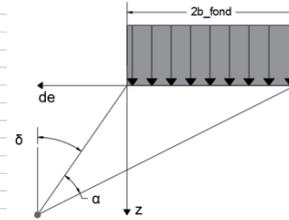
Pressione media dalla fondazione =  $(98 - 77) \times 2/3 + 77 = 91$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $91 - 14 = 77$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 46 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} = 18.00$	$\text{kN/m}^3$
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	$2b_{\text{fond}} = 4.40$	$\text{m}$
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 91.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond}_{vc}} = 77.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricomprensione	$q_{\text{fond}_{ur}} = 14.00$	$\text{kN/m}^2$

**RILEVATO**

**BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE**

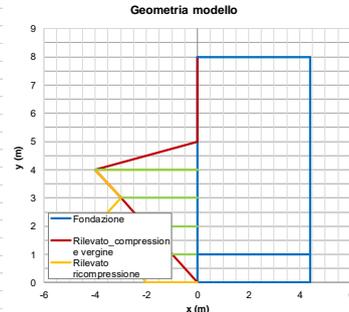
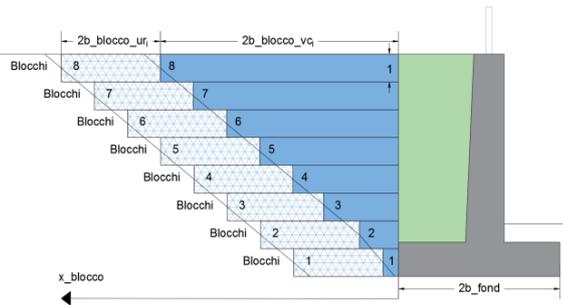
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{vc}} = 1.00$	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco}_{vc}} = 20.00$	20.00	20.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{kPa}$

**BLOCCHI\_RICOMPRESIONE**

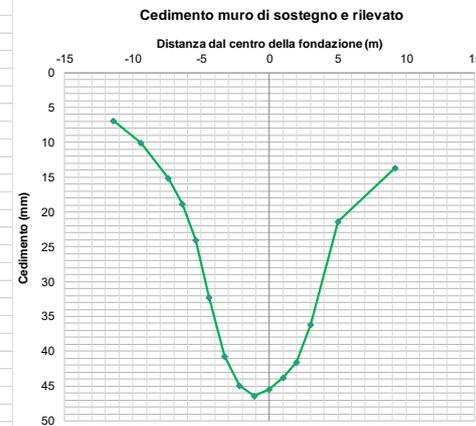
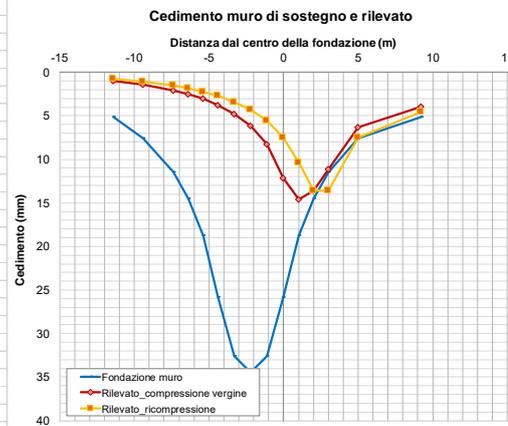
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{ur}} = 2.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco}_{ur}} = 20.00$	20.00	20.00	14.00	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	$z_{\text{calc}} = 16.00$



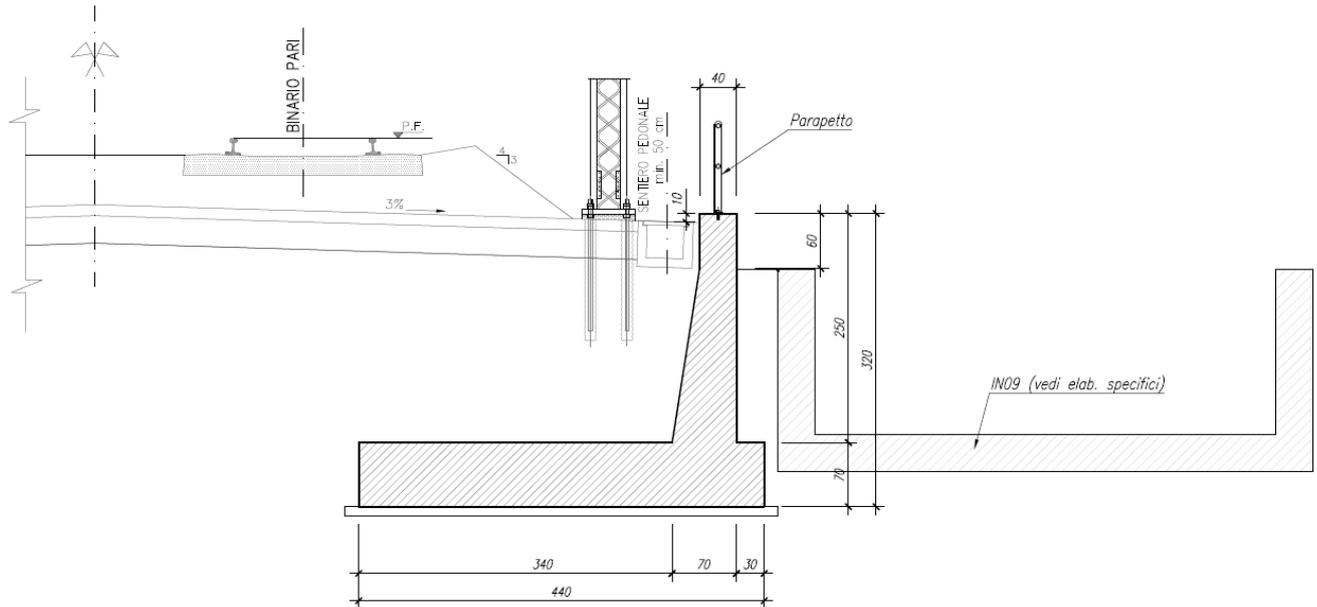
**SINTESI DEI RISULTATI**



Cedimento massimo = 46mm

### 8.4 Sezione Tipo 3 PK 4+420 a 4+480

#### 8.4.1 Caratteristiche geometriche



#### 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  $\rightarrow \gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
- 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  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

##### 8.5.1.2 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  $\rightarrow \phi = 28,00^\circ$

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 131 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 131 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 131 di 262		

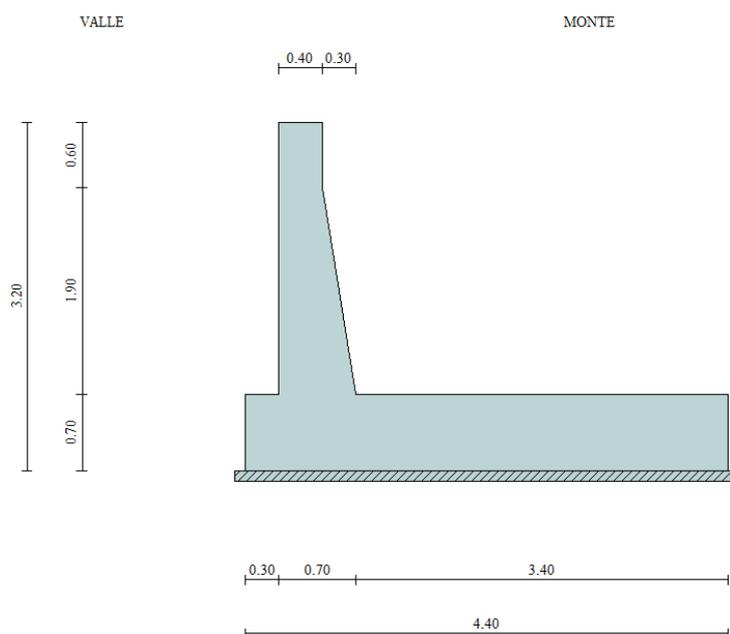
- Coesione efficace  $\rightarrow c = 5,00 \text{ kN/m}^2$

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  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

### 8.5.2 Dati di progetto

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (per il muro presente le azioni sono uguali a ogni punto lungo il muro).



**Figura 8-28: Sezione muro alla progressiva 4+420 km**

### Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a gradoni in c.a.**

### Descrizione dei gradoni

### Simbologia adottata

Nr. numero d'ordine del gradone (a partire dall'alto)

Bs base superiore del gradone espressa in [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 1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 132 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

Bi base inferiore del gradone espressa in [m]

Hg altezza del gradone espressa in [m]

$\alpha_e$  inclinazione esterna del gradone espressa in [°]

$\alpha_i$  inclinazione interna del gradone espressa in [°]

Nr.	Bs	Bi	Hg	$\alpha_e$	$\alpha_i$
1	0,40	0,40	0,60	0,00	0,00
2	0,40	0,70	1,90	0,00	9,00

Altezza del paramento 2,50 [m]

#### Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle 0,30 [m]

Lunghezza mensola fondazione di monte 3,40 [m]

Lunghezza totale fondazione 4,40 [m]

Inclinazione piano di posa della fondazione 0,00 [%]

Spessore fondazione 0,70 [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	0,02-0,10	-78,69	
2	1,38-0,10	0,00	
3	2,380,80	41,99	



**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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 133 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

4                      15,00                      0,80                      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]

**8.5.3 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:

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

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

$c_k = 0$                       coesione;

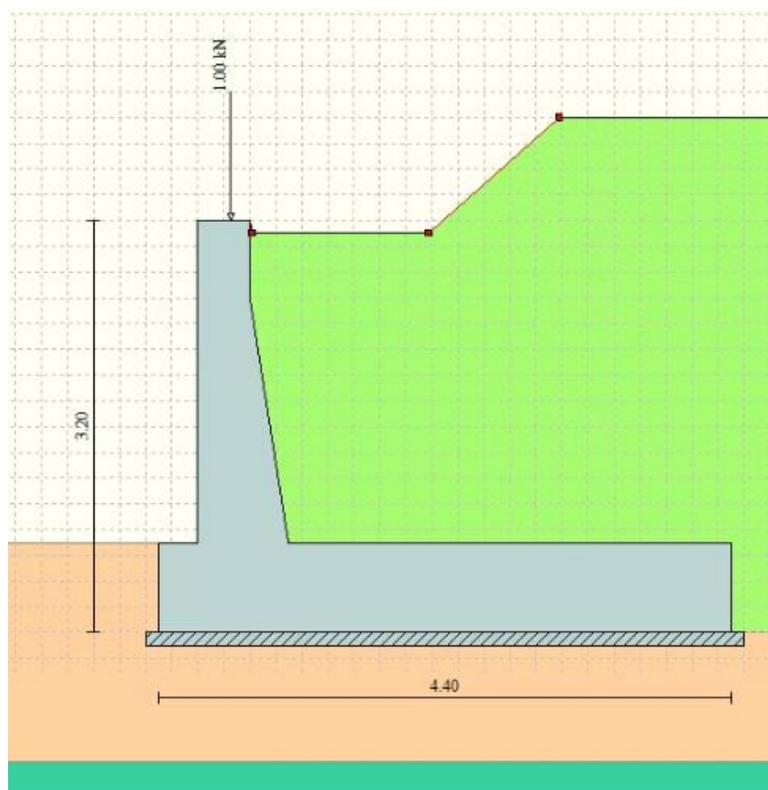
$\delta_k = 25.33^\circ$                       angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 134 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 134 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 134 di 262		

### 8.5.3.2 Carico parapetto

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



**Figura 8-29 – 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.

### 8.5.3.3 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

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 135 di 262

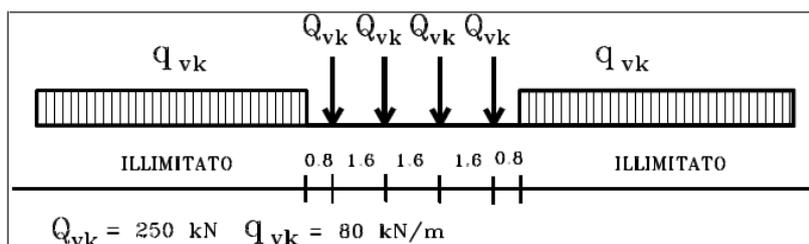
leggera metropolitana), viene di seguito riportata la tabella con la variabilità del coefficiente in base al tipo di linea o categoria di linea

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

### Treno di carico LM71



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

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

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

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

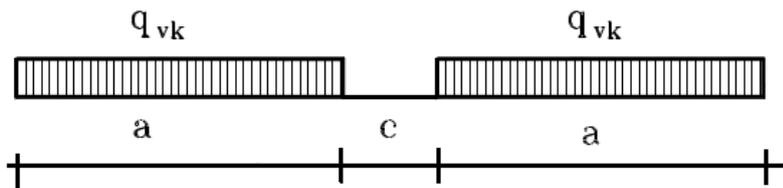
$$q = q_{equivalente} \times \alpha \times \phi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

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

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

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

Treno di carico SW2

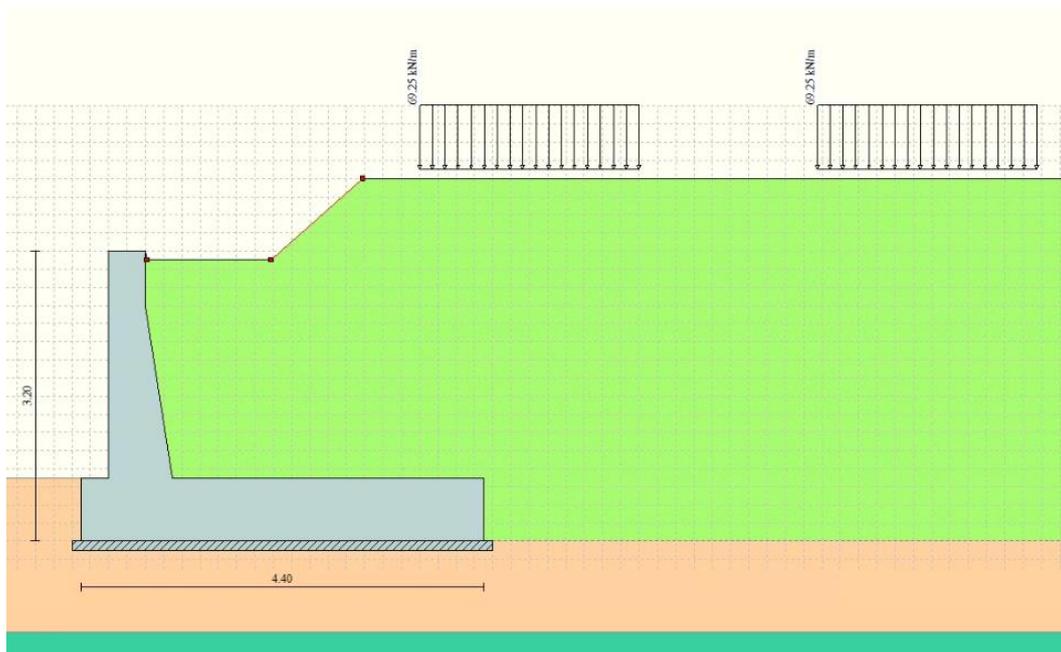


$$q_{\text{equivalente}} = 150/2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

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

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  $0.967 \times 71,61 \text{ kN/m}^2 = 69,25 \text{ kN/m}^2$ .

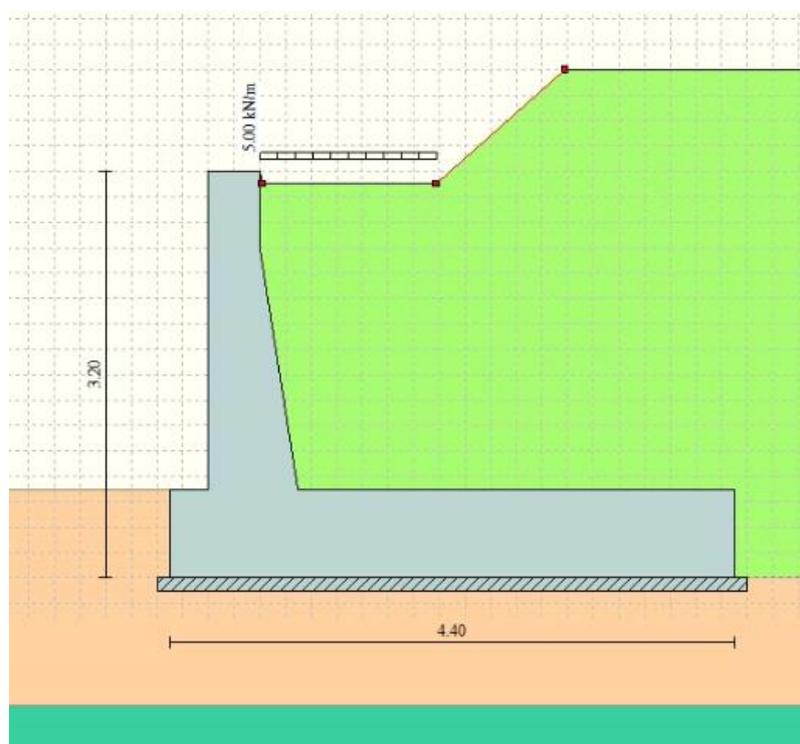


**Figura 8-30 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 137 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 137 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 137 di 262		

#### 8.5.3.4 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 8-31 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

#### 8.5.3.5 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).



**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**  
1/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000001 A 138 di 262

- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

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		
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		



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 139 di 262

	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:

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

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

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

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>140 di 262</b>

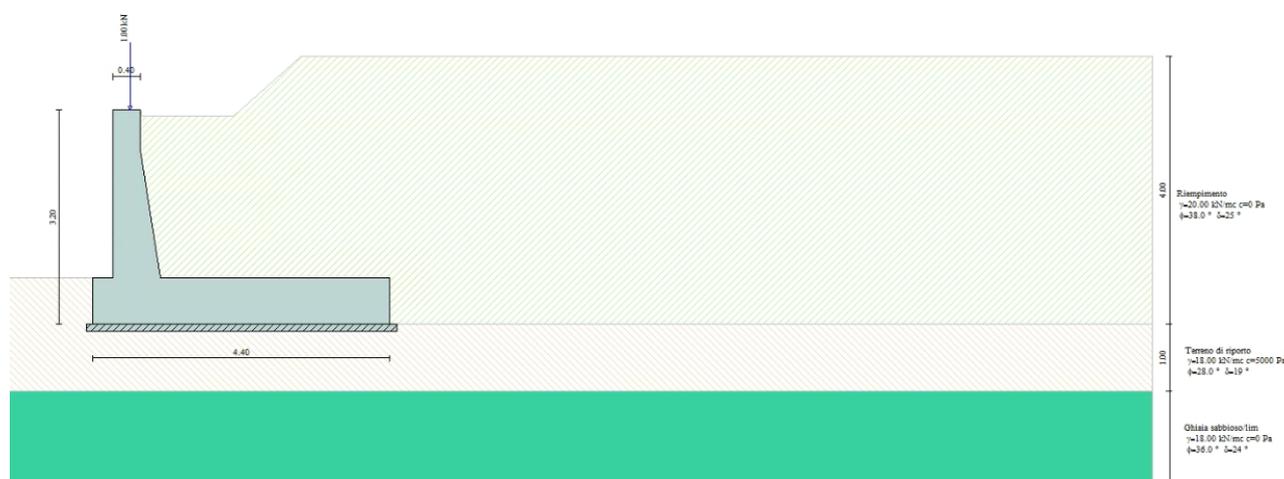
I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

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:

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.



**Figura 8-32 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**



**Figura 8-33 – 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)

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	

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **142 di 262**

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 accidentali	SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV	1,50	0,80	1,20	

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 accidentali	SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV	1,50	0,80	1,20	

Combinazione n° 9 - 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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 143 di 262

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV		1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV		1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,50	1,00	1,50
Carichi treni SFAV		1,50	0,80	1,20	

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 accidentali		SFAV	1,30	1,00	1,30
Carichi treni SFAV		1,30	0,80	1,04	

Combinazione n° 13 - 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 accidentali		SFAV	1,50	0,80	1,20
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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 144 di 262

Combinazione n° 14 - 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 accidentali		SFAV	1,50	0,80	1,20
Carichi treni	SFAV	1,50	1,00	1,50	

Combinazione n° 15 - 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 accidentali		SFAV	1,50	0,80	1,20
Carichi treni	SFAV	1,50	1,00	1,50	

Combinazione n° 16 - 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 accidentali		SFAV	1,50	0,80	1,20
Carichi treni	SFAV	1,50	1,00	1,50	

Combinazione n° 17 - 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 accidentali		SFAV	1,50	0,80	1,20
Carichi treni	SFAV	1,50	1,00	1,50	

Combinazione n° 18 - 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 accidentali		SFAV	1,30	0,80	1,04
Carichi treni	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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **145 di 262**Combinazione n° 19 - 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	

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	

Combinazione n° 21 - 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	

Combinazione n° 22 - 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	

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	

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	

Combinazione n° 25 - Caso A1-M1 (STR) - 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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 146 di 262

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° 26 - 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi treni	SFAV	1,00	0,20	0,20	

Combinazione n° 27 - 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° 28 - 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° 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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi treni	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	



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 147 di 262

Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 31 - 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 accidentali		SFAV	1,00	1,00	1,00
Carichi treni	SFAV	1,00	0,80	0,80	

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	
Parapetto	SFAV	1,00	1,00	1,00	
Carichi accidentali		SFAV	1,00	0,50	0,50

Combinazione n° 33 - 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	

Combinazione n° 34 - 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 accidentali		SFAV	1,00	0,80	0,80
Carichi treni	SFAV	1,00	1,00	1,00	

Combinazione n° 35 - 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	

 <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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA <b>NM27</b> LOTTO <b>01 D 26</b> CODIFICA <b>CL</b> DOCUMENTO <b>CS0000001</b> REV. <b>A</b> FOGLIO <b>148 di 262</b>

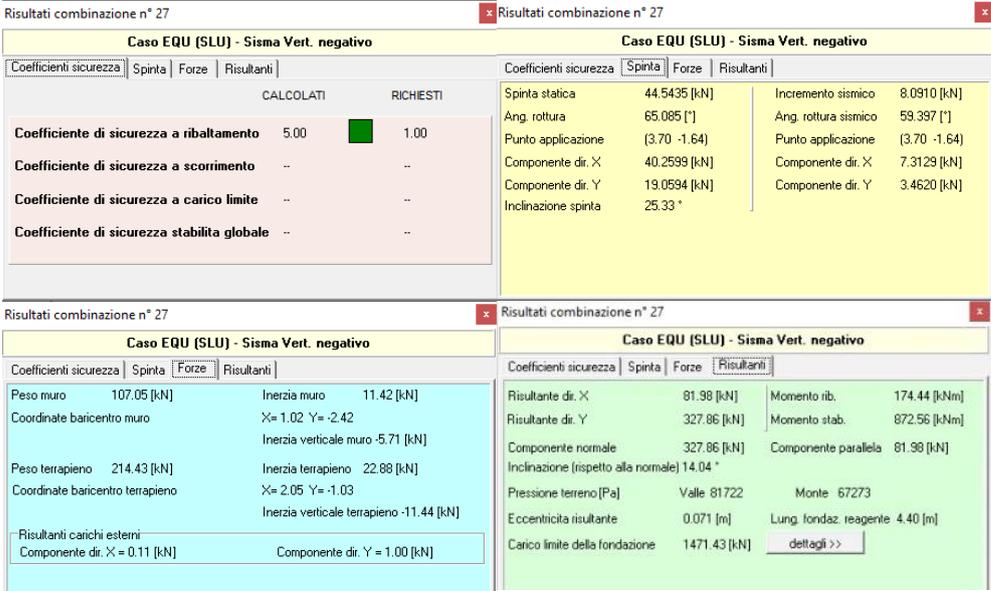
### 8.5.5 Verifiche

#### 8.5.5.1 Verifiche geotecniche

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

- **Ribaltamento**

Il risultato più critico per il ribaltamento è dato dalla combinazione di equilibrio num. 27, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-34:



Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
	CALCOLATI		RICHESTI				
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	5.00		1.00	Spinta statica	44.5435 [kN]		Incremento sismico 8.0910 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--		--	Ang. rottura	65.085 [°]		Ang. rottura sismico 59.397 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--		--	Punto applicazione	(3.70 -1.64)		Punto applicazione (3.70 -1.64)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--		--	Componente dir. X	40.2599 [kN]		Componente dir. X 7.3129 [kN]
				Componente dir. Y	19.0594 [kN]		Componente dir. Y 3.4620 [kN]
				Inclinazione spinta	25.33 °		

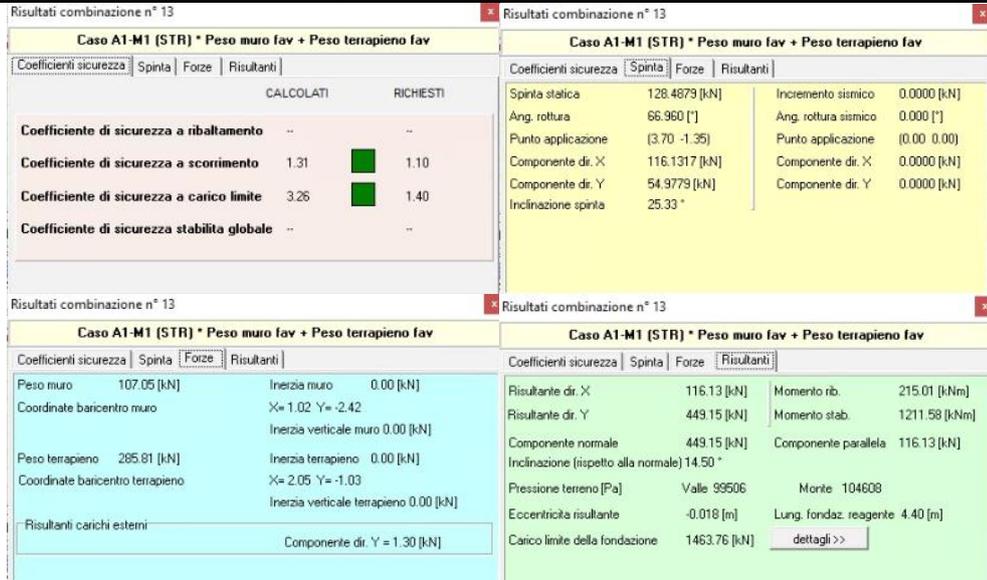
  

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	
Peso muro	107.05 [kN]		Inerzia muro	11.42 [kN]	Risultante dir. X	81.98 [kN]	Momento rib.	174.44 [kNm]
Coordinate baricentro muro			X= 1.02 Y= -2.42		Risultante dir. Y	327.86 [kN]	Momento stab.	872.56 [kNm]
			Inerzia verticale muro	-5.71 [kN]	Componente normale	327.86 [kN]	Componente parallela	81.98 [kN]
Peso terrapieno	214.43 [kN]		Inerzia terrapieno	22.88 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.04 °		
Coordinate baricentro terrapieno			X= 2.05 Y= -1.03		Pressione terreno [Pa]	Valle 81722	Monte 67273	
			Inerzia verticale terrapieno	-11.44 [kN]	Eccentricita risultante	0.071 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.40 [m]
Risultanti carichi esterni					Carico limite della fondazione	1471.43 [kN]	dettagli >>	
Componente dir. X = 0.11 [kN]			Componente dir. Y = 1.00 [kN]					

Figura 8-34 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)

- **Scorrimento**

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 13, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-35:



**Figura 8-35 – 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. 15, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-36:



**Figura 8-36 – 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. 18, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-37:

Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
CALCOLATI		RICHESTI		Spinta		Risultanti	
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	--	--	--	Spinta statica	133.2931 [kN]	Incremento sismico	0.0000 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--	--	--	Ang. rottura	66.953 [°]	Ang. rottura sismico	0.000 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--	--	--	Punto applicazione	(3.70 -1.28)	Punto applicazione	(0.00 0.00)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	1.12	1.10	1.10	Componente dir. X	124.6528 [kN]	Componente dir. X	0.0000 [kN]
				Componente dir. Y	47.2095 [kN]	Componente dir. Y	0.0000 [kN]
				Inclinazione spinta	20.74 °		

Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Spinta		Risultanti		Spinta		Risultanti	
Peso muro	107.05 [kN]	Inerzia muro	0.00 [kN]	Risultante dir. X	124.65 [kN]	Momento rib.	239.40 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X= 1.02 Y= -2.42	Inerzia verticale muro	0.00 [kN]	Risultante dir. Y	435.97 [kN]	Momento stab.	1168.51 [kNm]
Peso terrapieno	280.70 [kN]	Inerzia terrapieno	0.00 [kN]	Componente normale	435.97 [kN]	Componente parallela	124.65 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X= 2.06 Y= -0.99	Inerzia verticale terrapieno	0.00 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	15.96 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 108424 Monte 89700
Risultanti carichi esterni	Componente dir. Y = 1.00 [kN]			Eccentricita risultante	0.069 [m]	Lung. fondaz. reagente	4.40 [m]
				Carico limite della fondazione	622.25 [kN]	<input type="button" value="dettagli &gt;&gt;"/>	

**Figura 8-37 – Risultati verifica di stabilita globale (da MAX 14)**

**8.5.5.2 Verifiche strutturali - Stato Limite Ultimo**

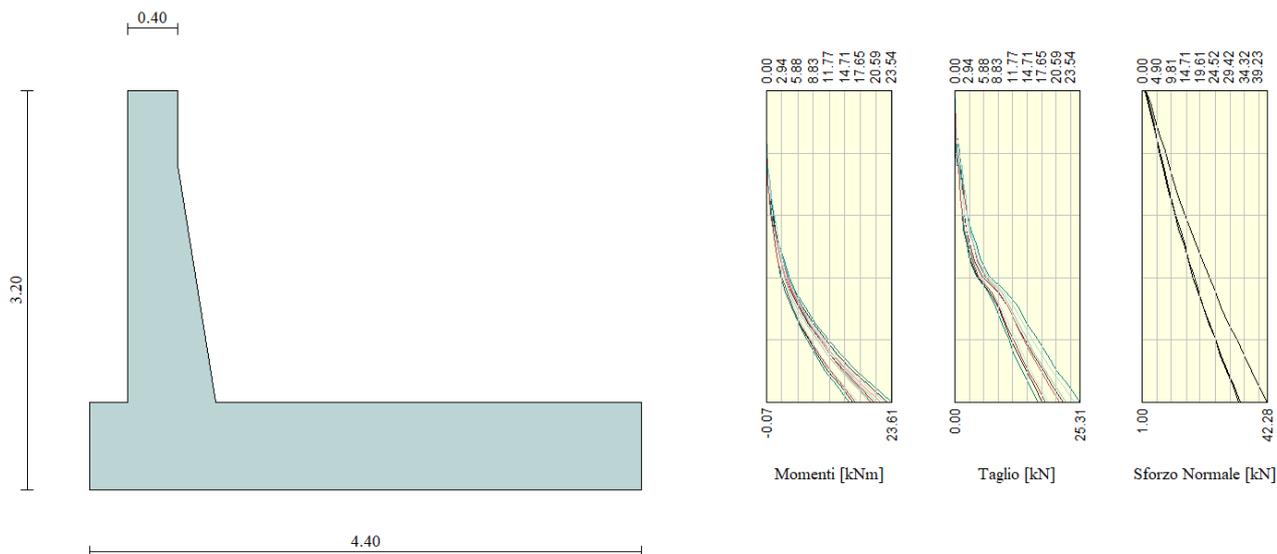
Le verifiche allo Stato Limite Ultimo sono condotte secondo i paragrafi 4.1.2.3.4 (per la resistenza flessionale) e 4.1.2.3.5 (per la resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti) delle NTC2018.

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.

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>151 di 262</b>

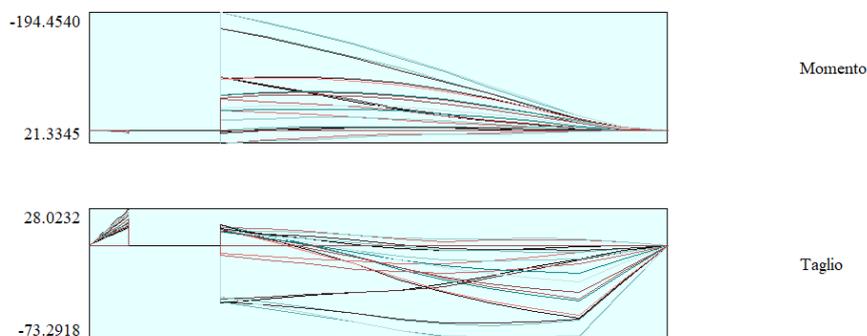
- Flessione e taglio (nel muro)*  
 Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-38 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

- Valore di progetto del momento flettente agente (parte superiore - 0.6m) Combinazione 8:  $M_{Ed} = 0.30 \text{ kNm}$   
 Valore di progetto del taglio agente (parte superiore -0.6m) Combinazione 13:  $V_{Ed} = 1.30 \text{ kN}$   
 Valore di progetto del momento flettente agente (parte inferiore – 2.50m) Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 23.61 \text{ kNm}$   
 Valore di progetto del taglio agente (parte inferiore – 2.50) Combinazione 8:  $V_{Ed} = 25.31 \text{ kN}$

- Flessione e taglio (nella fondazione)*  
 Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



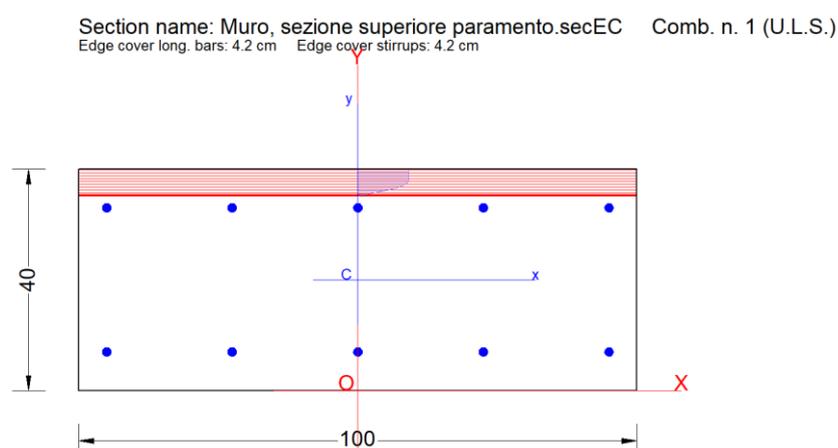
**Figura 8-39 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

- Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 16:  $M_{Ed} = -194.46 \text{ kNm}$   
 Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 16:  $V_{Ed} = -73.30 \text{ kN}$

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 152 di 262

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 superiore del paramento



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione superiore paramento.secEC

Section description:	
Exposure Class:	XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
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
	Shear reduced compressive strength $v_1 \cdot f_{cd}$ :	9.1 MPa (6.9)EC2
	Coeff. Crd,c:	0.1200 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. K1:	0.1500 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. v min:	0.0115 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
	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:	0.400 mm



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **153 di 262**

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: 0.300 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: 40.0 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	0.30	1.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **154 di 262**

As Tension Area bars in tension zone [cm2] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]]

As TensionArea bars in tension zone [cm2] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]]

1	OK	0.00	0.30	0.15	137.67	458.897	35.2	118.87	---	---	---
---	----	------	------	------	--------	---------	------	--------	-----	-----	-----

**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	-0.00891	40.0	-0.00157	33.0	-0.02040	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	-0.0254676
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	-0.0254676

**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	-0.0203983
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0203983
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0203983
6	-45.0	33.0	-313.87	-0.0015693
7	-22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
8	0.0	33.0	-313.87	-0.0015693
9	22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
10	45.0	33.0	-313.87	-0.0015693

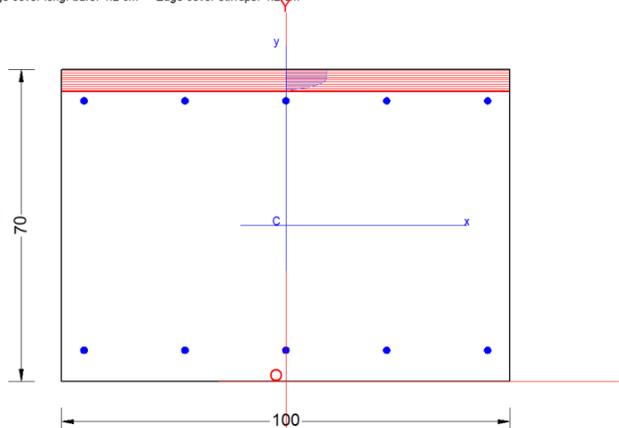
**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check	Result of check
Ved	Design value [daN] of applied shear force Vy (uniaxial shear)
Vwct	Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]
d	Effective depth of section [cm]
bw	Effective min width of the cross-section [cm]
Ro	Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement = $Asl/(bw d) < 0.02$
Scp	Mean compression stress $(NEd/Ac)$ [Mpa] [ $< 0.2 fcd$ ]
k	Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	1.00	150.45	33.0	100.0	0.0000	0.00	1.778

### 8.5.5.2.2 Sezione inferiore del paramento

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



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione inferiore paramento.secEC

Section description:	
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



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **156 di 262**

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:	70.0	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
Yy	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	23.61	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



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **157 di 262**

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 TensionArea 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	23.61	0.21	255.72	10.831	65.2	232.48	---	---	---
---	----	------	-------	------	--------	--------	------	--------	-----	-----	-----

**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	-0.01823	70.0	-0.00157	63.0	-0.04212	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	-0.0471917
2	-50.0	70.0	18.13	0.0035000
3	50.0	70.0	18.13	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0471917

**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	-0.0421225
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0421225
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0421225
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0421225
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0421225
6	-45.0	63.0	-313.83	-0.0015692
7	-22.5	63.0	-313.83	-0.0015692



**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**

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **158 di 262**

1/3

8	0.0	63.0	-313.83	-0.0015692
9	22.5	63.0	-313.83	-0.0015692
10	45.0	63.0	-313.83	-0.0015692

**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
$h =$	700	mm	altezza	$\gamma_s =$	1.15		coeff. sicurezza
$c =$	70	mm	coprifero	$f_{yd} =$	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	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>
$d =$	630	mm	altezza utile	$A_{sl,3} =$	0	Ø	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	kN	$V_{ed} =$	25.3	kN
----------	---	-----	----	------------	------	----

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

$k = 1+(200/d)^{1/2} < 2$	$k =$	1.563	<2
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} =$	0.387	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d)$	$\rho_1 =$	0.002	<0.02
<0.02			<0.2
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} =$	0.00	MPa fcd

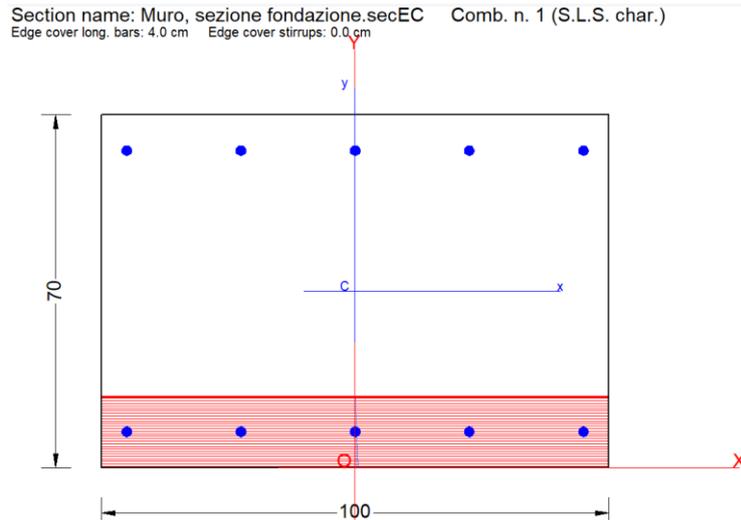
$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 203.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 243.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 243.8 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

### 8.5.5.2.3 Sezione della fondazione



### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Muro, sezione fondazione.secEC

Section description:	
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	



**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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 160 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

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:	70.0	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):	7.1	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)
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	-194.46	0.00	0.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	4.0	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	20.5	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	-194.46	-0.04	-380.89	1.959	6.0	-356.85	---	---	---
---	----	------	---------	-------	---------	-------	-----	---------	-----	-----	-----

**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **161 di 262**

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	-0.01409	0.0	-0.00066	7.1	-0.03337	62.9

**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	70.0	0.00	-0.0375359
3	50.0	70.0	0.00	-0.0375359
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	-132.44	-0.0006622
2	-22.5	7.1	-132.44	-0.0006622
3	0.0	7.1	-132.44	-0.0006622
4	22.5	7.1	-132.44	-0.0006622
5	45.0	7.1	-132.44	-0.0006622
6	-45.0	62.9	-434.78	-0.0333737
7	-22.5	62.9	-434.78	-0.0333737
8	0.0	62.9	-434.78	-0.0333737
9	22.5	62.9	-434.78	-0.0333737
10	45.0	62.9	-434.78	-0.0333737

**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<sub>w</sub> = 1000 mm larghezza f<sub>yk</sub> = 450 MPa resist. caratteristica  
 h = 700 mm altezza γ<sub>s</sub> = 1.15 coeff. sicurezza  
 c = 71 mm copriferro f<sub>yd</sub> = 391.3 MPa resist. di calcolo  
 f<sub>ck</sub> = 30 a resist. caratteristica Armatura longitudinale tesa:



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **162 di 262**

$$\begin{aligned} \gamma_c &= 1.50 && \text{coeff. sicurezza} && A_{sl,1} &= && 5 && \emptyset && \frac{2}{0} &= && 15.71 && \text{cm}^2 \\ \alpha_{cc} &= && && && && && && && && \\ &= 0.85 && \text{coeff. riduttivo} && A_{sl,2} &= && 0 && \emptyset && \frac{0}{0} &= && 0.00 && \text{cm}^2 \\ d &= 629 && \text{mm} && \text{altezza utile} && A_{sl,3} &= && 0 && \emptyset && \frac{0}{0} &= && 0.00 && \text{cm}^2 \\ &= 17.0 && \text{MP} && && && && && && && \\ f_{cd} &= 0 && \text{a} && \text{resist. di calcolo} && && && && && && 15.71 && \text{cm}^2 \end{aligned}$$

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

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 74.0 \text{ kN}$$

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

$$\begin{aligned} k &= 1+(200/d)^{1/2} < 2 && k &= && 1.564 && && && < 2 \\ v_{min} &= 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} && v_{min} &= && 0.375 && && && && && \\ \rho_1 &= A_{sl}/(b_w \times d) && \rho_1 &= && 0.002 && && && < 0.02 \\ &< 0.02 && && && && && && < 0.2 \\ \sigma_{cp} &= N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd} && \sigma_{cp} &= && 0.00 && \text{MPa} && f_{cd} && && && && \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d \\ V_{Rd} &= 231. && && && 235. && && && && && \\ &= 0 && \text{kN}; && && && && && && && \\ V_{Rd} &= 235. && && && && && && && && \\ &= 8 && \text{kN} && \text{assunto pari alla resistenza minima} && && && && && && \end{aligned}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

**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:

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

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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 163 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 163 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 163 di 262		

*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 = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 17.34 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -58.06 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 16.32 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -35.60 kNm

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

M = 0.15 kNm (per la parte superiore)

M = 15.70 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = -7.78 kNm

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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **164 di 282**

**8.5.5.3.1 Sezione superiore 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	0.15

**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	0.15

**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	0.15

**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	0.01	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	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



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **165 di 262**

$\emptyset | c$  Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
 $r_{eff}$  Geometrical ratio  $A_{s\,eff}/A_{c\,eff}$  [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) =  $0.6 S_{max} / E_s$   
 $s_{r\,max}$  Max final crack [mm] spacing  
 $w_k$  Calculated value [mm] of crack width =  $s_{r\,max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [eq.(7.8)]. Limit value of  $w_k$  is shown between brackets  
 $M_{crack}$  First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	$r_{eff}$	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\,max}$	$w_k$	$M_{crack}$
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001	88.34

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

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 $X_c, Y_c$  X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 $S_c$  Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 $e_c$  Strain in each vertex

Vertex N.	$X_c$	$Y_c$	$S_c$	$e_c$
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 $X_s, Y_s$  X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 $S_s$  Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 $e_s$  Strain in each bar

Bar N.	$X_s$	$Y_s$	$S_s$	$e_s$
1	-45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

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

Comb.N.	Check	$S_c\,max$	$Y_c\,max$	$S_c\,min$	$Y_c\,min$	$S_s\,min$	$Y_s\,min$	$h_{c\,eff}$	$A_{c\,eff}$	$A_{s\,Eff}$	D bars
1	OK	0.01	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	10.1	21.5

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	$r_{eff}$	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\,max}$	$w_k$	$M_{crack}$
1	OK	0.00000	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001 (0.40)	88.34

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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **166 di 262**

**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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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	40.0	0.00	28.7	-0.5	33.0	10.4	1044	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	0.010	0.000001 (0.00000)	493	0.001 (0.30)	88.34

**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	-0.0000031
2	-50.0	40.0	0.012	0.0000009
3	50.0	40.0	0.012	0.0000009
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000031



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **167 di 262**

**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	-0.49	-0.0000024
2	-22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
3	0.0	7.0	-0.49	-0.0000024
4	22.5	7.0	-0.49	-0.0000024
5	45.0	7.0	-0.49	-0.0000024
6	-45.0	33.0	0.03	0.0000002
7	-22.5	33.0	0.03	0.0000002
8	0.0	33.0	0.03	0.0000002
9	22.5	33.0	0.03	0.0000002
10	45.0	33.0	0.03	0.0000002

**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 [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	10.1	3.9
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	3.9

**8.5.5.3.2 Sezione inferiore del paramento**

**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	17.34

**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	17.34



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **168 di 262**

1 0.00 16.32

**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	15.70

**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	0.45	70.0	0.00	58.1	-29.3	63.0	17.5	1750	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	-0.00017	0	0.500	16 6.2	0.006	0.000088 (0.00009)	684	0.060	267.37

**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



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 169 di 262

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	e c
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0001668
2	-50.0	70.0	0.452	0.0000339
3	50.0	70.0	0.452	0.0000339
4	50.0	0.0	0.000	-0.0001668

**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	-29.35	-0.0001467
2	-22.5	7.0	-29.35	-0.0001467
3	0.0	7.0	-29.35	-0.0001467
4	22.5	7.0	-29.35	-0.0001467
5	45.0	7.0	-29.35	-0.0001467
6	-45.0	63.0	2.77	0.0000138
7	-22.5	63.0	2.77	0.0000138
8	0.0	63.0	2.77	0.0000138
9	22.5	63.0	2.77	0.0000138
10	45.0	63.0	2.77	0.0000138

**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	0.43	70.0	0.00	58.1	-27.6	63.0	17.5	1750	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	-0.00016	0	0.500	16 6.2	0.006	0.000083 (0.00008)	684	0.057 (0.30)	267.37

**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	-0.0001570
2	-50.0	70.0	0.425	0.0000319
3	50.0	70.0	0.425	0.0000319
4	50.0	0.0	0.000	-0.0001570

**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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **170 di 262**

Bar N.	Xs	Ys	Ss	e s
1	-45.0	7.0	-27.62	-0.0001381
2	-22.5	7.0	-27.62	-0.0001381
3	0.0	7.0	-27.62	-0.0001381
4	22.5	7.0	-27.62	-0.0001381
5	45.0	7.0	-27.62	-0.0001381
6	-45.0	63.0	2.60	0.0000130
7	-22.5	63.0	2.60	0.0000130
8	0.0	63.0	2.60	0.0000130
9	22.5	63.0	2.60	0.0000130
10	45.0	63.0	2.60	0.0000130

**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	0.41	70.0	0.00	58.1	-26.6	63.0	17.5	1750	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	-0.00015	0	0.500	16 6.2	0.006	0.000080 (0.00008)	684	0.055 (0.20)	267.37

**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	-0.0001510
2	-50.0	70.0	0.409	0.0000307
3	50.0	70.0	0.409	0.0000307
4	50.0	0.0	0.000	-0.0001510

**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	-26.57	-0.0001329
2	-22.5	7.0	-26.57	-0.0001329
3	0.0	7.0	-26.57	-0.0001329
4	22.5	7.0	-26.57	-0.0001329
5	45.0	7.0	-26.57	-0.0001329
6	-45.0	63.0	2.50	0.0000125
7	-22.5	63.0	2.50	0.0000125
8	0.0	63.0	2.50	0.0000125
9	22.5	63.0	2.50	0.0000125
10	45.0	63.0	2.50	0.0000125



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **171 di 262**

**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	0.93	0.40	3500	---	---	---	-529.17	10.1	8.7
1	Quasi-perm.	Web	0.93	0.40	3500	---	---	---	-529.17	10.1	8.7

**8.5.5.3.3 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	-58.06

**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	-35.60

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT 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	-7.78

**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)



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **172 di 262**

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	1.23	0.0	0.00	14.1	-63.9	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00037	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000192 (0.00019)	592	0.113	-266.90

**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	1.225	0.0000919
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0003658
3	50.0	70.0	0.000	-0.0003658
4	50.0	0.0	1.225	0.0000919

**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	9.09	0.0000454
2	-22.5	7.1	9.09	0.0000454
3	0.0	7.1	9.09	0.0000454
4	22.5	7.1	9.09	0.0000454



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **173 di 262**

5	45.0	7.1	9.09	0.0000454
6	-45.0	62.9	-63.87	-0.0003193
7	-22.5	62.9	-63.87	-0.0003193
8	0.0	62.9	-63.87	-0.0003193
9	22.5	62.9	-63.87	-0.0003193
10	45.0	62.9	-63.87	-0.0003193

**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	0.75	0.0	0.00	14.1	-39.2	7.1	17.8	1775	15.7	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	-0.00022	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000117 (0.00012)	592	0.070 (0.30)	-266.90

**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	0.751	0.0000563
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0002243
3	50.0	70.0	0.000	-0.0002243
4	50.0	0.0	0.751	0.0000563

**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	5.57	0.0000279
2	-22.5	7.1	5.57	0.0000279
3	0.0	7.1	5.57	0.0000279
4	22.5	7.1	5.57	0.0000279
5	45.0	7.1	5.57	0.0000279
6	-45.0	62.9	-39.16	-0.0001958
7	-22.5	62.9	-39.16	-0.0001958
8	0.0	62.9	-39.16	-0.0001958
9	22.5	62.9	-39.16	-0.0001958
10	45.0	62.9	-39.16	-0.0001958

**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	0.18	0.0	0.00	19.6	-8.4	7.1	17.8	1775	15.7	21.5



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **174 di 262**

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\sigma_c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00005	0	0.500	20 6.1	0.009	0.000025 (0.00003)	592	0.015 (0.20)	-266.90

**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	0.170	0.0000128
2	-50.0	70.0	0.000	-0.0000481
3	50.0	70.0	0.000	-0.0000481
4	50.0	0.0	0.170	0.0000128

**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	1.32	0.0000066
2	-22.5	7.1	1.32	0.0000066
3	0.0	7.1	1.32	0.0000066
4	22.5	7.1	1.32	0.0000066
5	45.0	7.1	1.32	0.0000066
6	-45.0	62.9	-8.39	-0.0000419
7	-22.5	62.9	-8.39	-0.0000419
8	0.0	62.9	-8.39	-0.0000419
9	22.5	62.9	-8.39	-0.0000419
10	45.0	62.9	-8.39	-0.0000419

**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 [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	0.93	0.40	3500	---	---	---	-506.88	15.7	8.4
1	Quasi-perm.	Web	0.93	0.40	3500	---	---	---	-506.88	15.7	8.4

Riassunto delle armature

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 175 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 175 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 175 di 262		

• *Sezione magra del muro*

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

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

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**             $6 \times \Phi 12$  (3 ogni lato)

• *Sezione spessa del muro*

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

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

**Armatura orizzontale nei entrambi lati**             $10 \times \Phi 12$  (5 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

**Armatura superiore, dir. principale**    $\Phi 20$  ogni 200mm

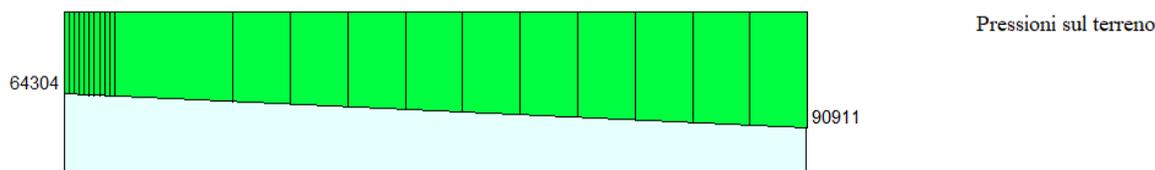
**Armatura superiore, dir. secondaria**    $\Phi 12$  ogni 200mm

**Armatura inferiore, dir. principale**    $\Phi 20$  ogni 200mm

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

8.5.5.4 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.



**Figure 8-40 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 4.40 m

H rilevato esistente media = 0.70 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.70 \times 20 = 14$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(90 - 64) \times 2/3 + 64 = 81$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $81 - 14 = 67$  kPa

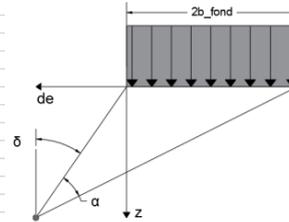
Il cedimento ottenuto, circa 39 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$\gamma_{\text{terreno}} =$	18.00	$\text{kN/m}^3$
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	$2b_{\text{fond}} =$	4.40	m
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} =$	81.00	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond}_{vc}} =$	67.00	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond}_{ur}} =$	14.00	$\text{kN/m}^2$



**RILEVATO**

**BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE**

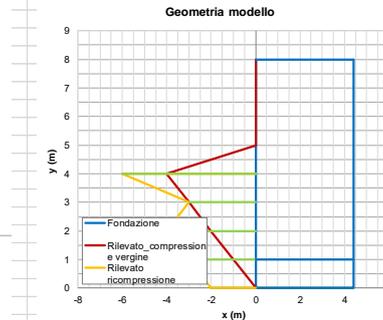
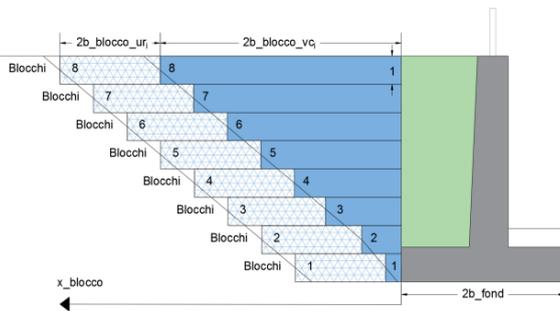
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{vc}} =$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco}_{vc}} =$	1.00	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{kPa}$

**BLOCCHI\_RICOMPRESSIONE**

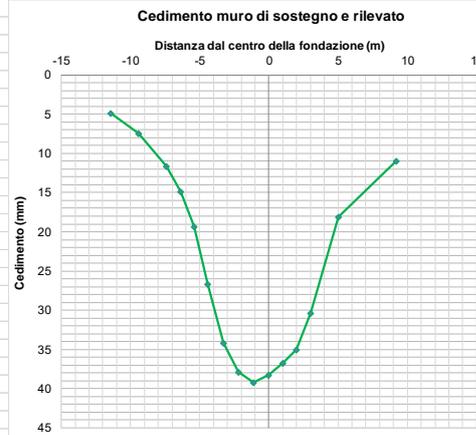
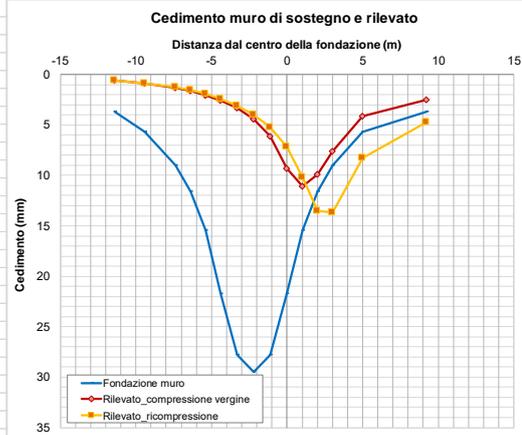
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} =$	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{ur}} =$	1.00	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco}_{ur}} =$	2.00	2.00	20.00	20.00	4.00	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  $z_{\text{calc}} = 14.00$



**SINTESI DEI RISULTATI**

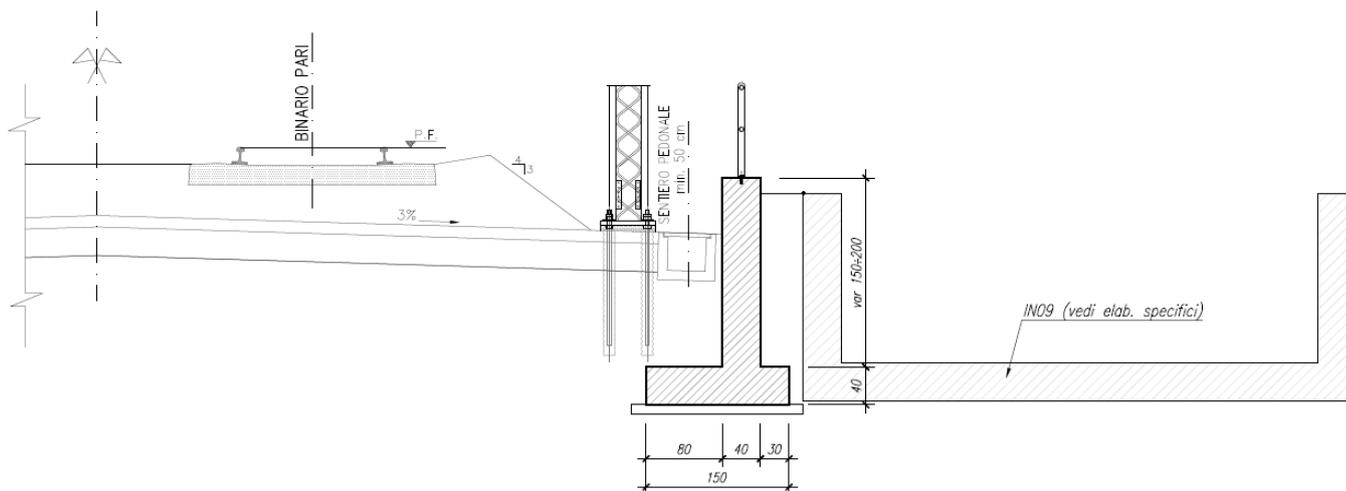


Cedimento massimo = 39mm

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 177 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 177 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 177 di 262		

## 8.6 Sezione Tipo 6 PK 4+480 a 4+545

### 8.6.1 Caratteristiche geometriche



### 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  $\rightarrow \gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
- 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  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

#### 8.7.1.2 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):

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 178 di 262

- 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 (per il muro presente le azioni sono uguali a ogni punto lungo il muro).

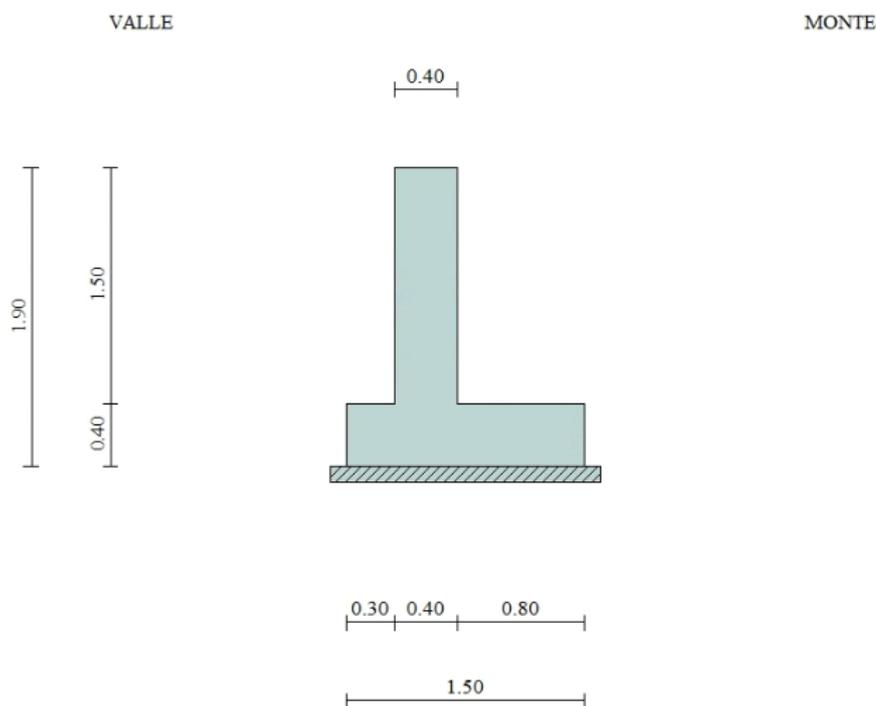


Figura 8-41: Sezione muro alla progressiva 4+480 km

### Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a mensola in c.a.**

Altezza del paramento	1.50 [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 [°]

**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 179 di 262

Lunghezza del muro 10.00 [m]

FondazioneLunghezza mensola fondazione di valle 0,30 [m]  
Lunghezza mensola fondazione di monte 0,80 [m]  
Lunghezza totale fondazione 1,50 [m]  
Inclinazione piano di posa della fondazione 0,00 [%]  
Spessore fondazione 0,40 [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	0,02-0,10	-78,69	
2	1,38-0,10	0,00	
3	2,380,80	41.99	
4	15,00	0,80	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 0.50 [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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 180 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 180 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 180 di 262		

### 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.

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

Un sovraccarico permanente pari a  $0.4 \times 0.5 \times 25 = 5 \text{ kN/m}^2$ , che corrisponde all'altezza variabile del muro spora rilevato, è stato applicato a testa del muro.

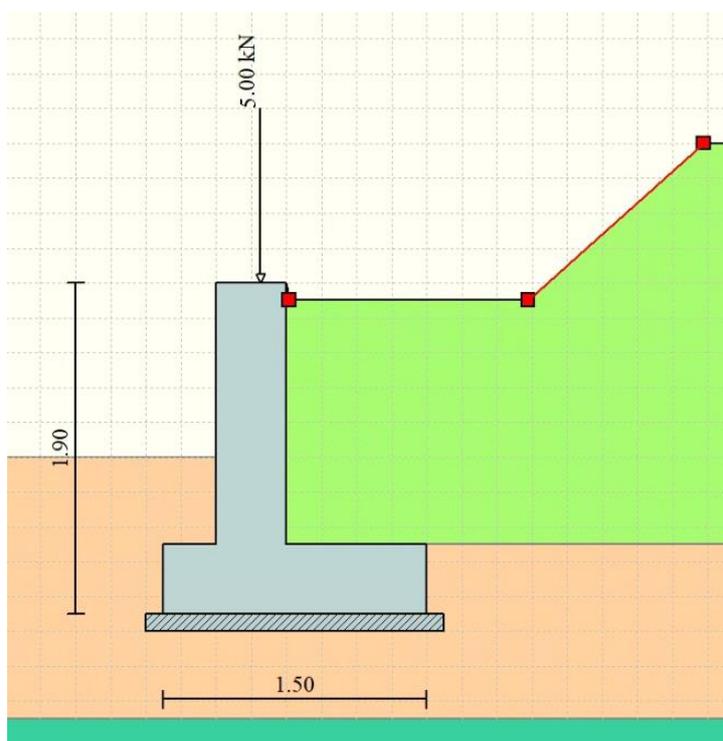
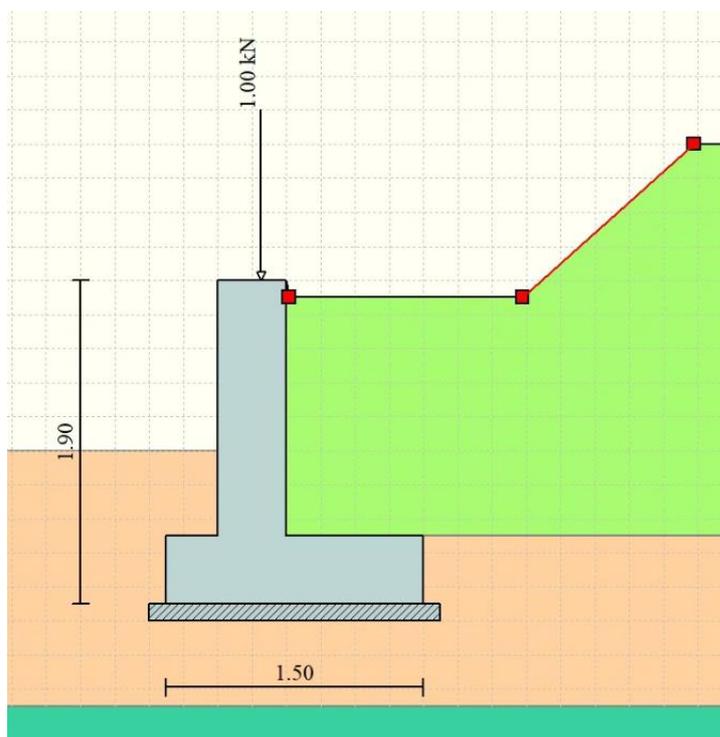


Figura 8-42 – Applicazione dei carichi: sovraccarico permanente sul muro

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 181 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 181 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 181 di 262		

### 8.7.3.2 Carico parapetto

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



**Figura 8-43 – Applicazione dei carichi: Peso parapetto**

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

### 8.7.3.3 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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>182 di 262</b>

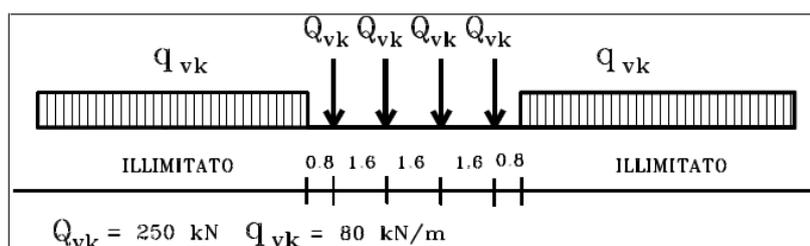
leggera metropolitana), viene di seguito riportata la tabella con la variabilità del coefficiente in base al tipo di linea o categoria di linea

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

### 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.

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

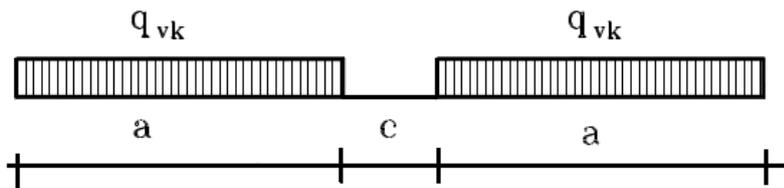
$$q = q_{\text{equivalente}} \times \alpha \times \phi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

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

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

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

Treno di carico SW2

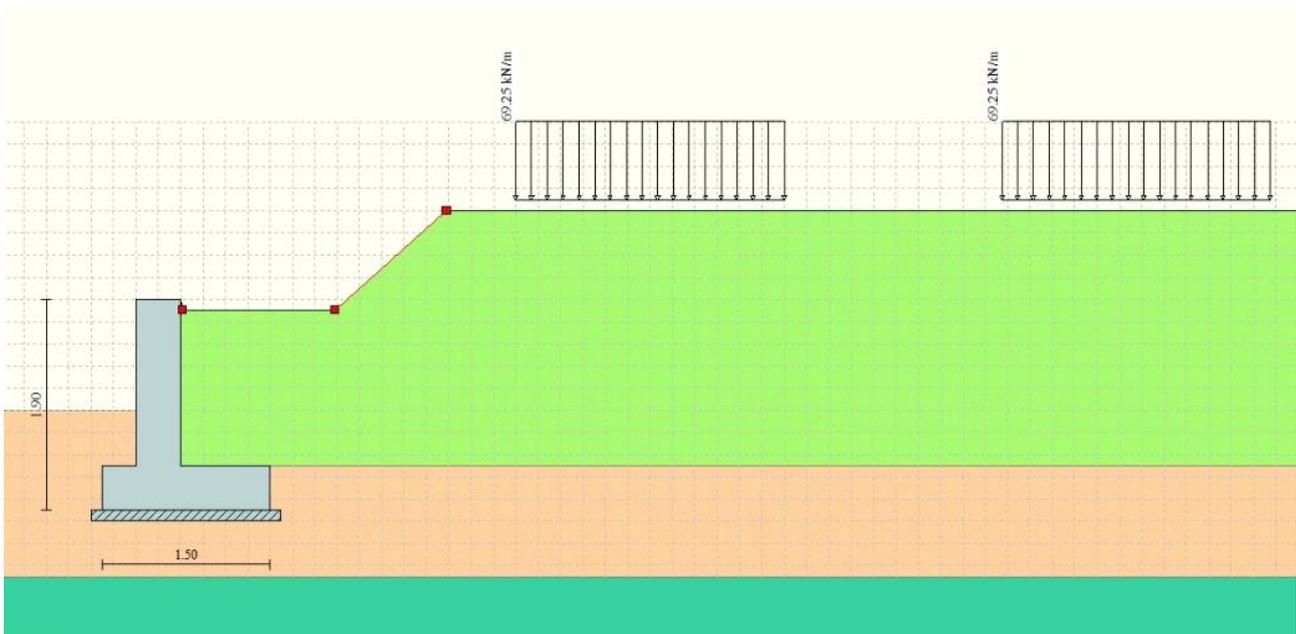


$$q_{\text{equivalente}} = 150/2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

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

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  $0.967 \times 71,61 \text{ kN/m}^2 = 69,25 \text{ kN/m}^2$ .

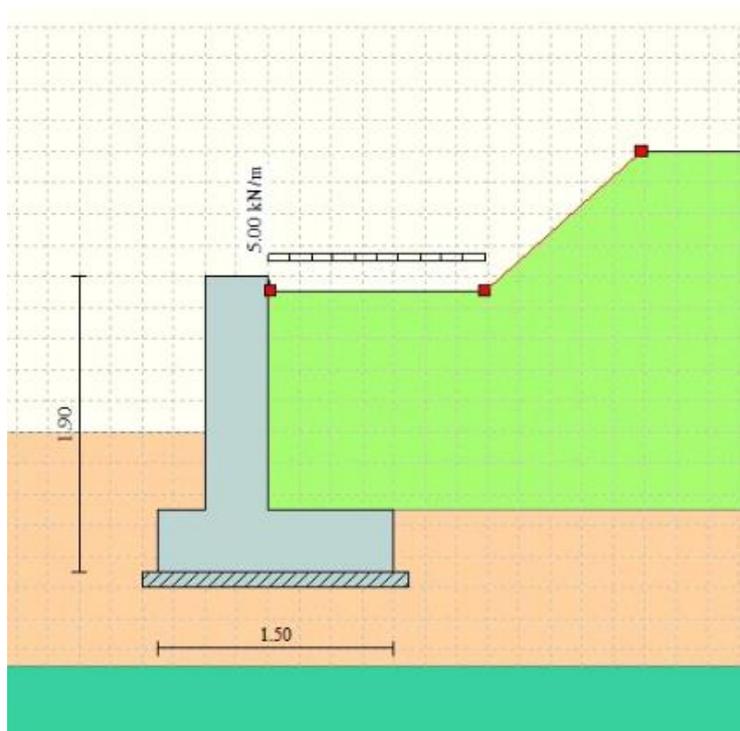


**Figura 8-44 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 184 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 184 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 184 di 262		

#### 8.7.3.4 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 8-45 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

#### 8.7.3.5 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**  
1/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
NM27 01 D 26 CL CS0000001 A 185 di 262

- SLU di tipo strutturale (STR)
- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

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(*)

**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		



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 186 di 262

	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:

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

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

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

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

	<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 - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>187 di 262</b>

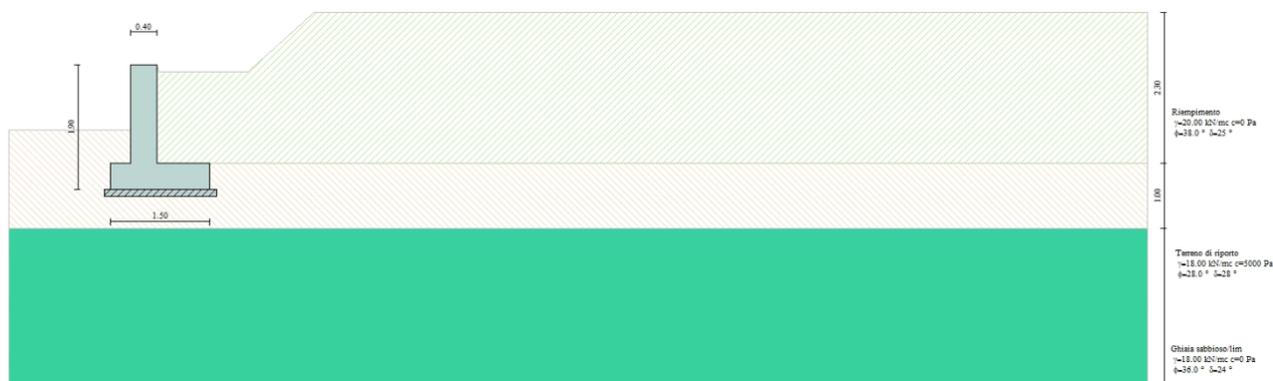
I valori di  $\psi_0$ ,  $\psi_1$ , e  $\psi_2$  per il carico variabile accidentale sono quelli prescritti dal Tab. 5.2.VI delle NTC 2018, pari rispettivamente a 0.8, 0.6 e 0 con  $\psi_2 = 0.2$  per il sisma (5.2.2.8 delle NTC 2018).

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:

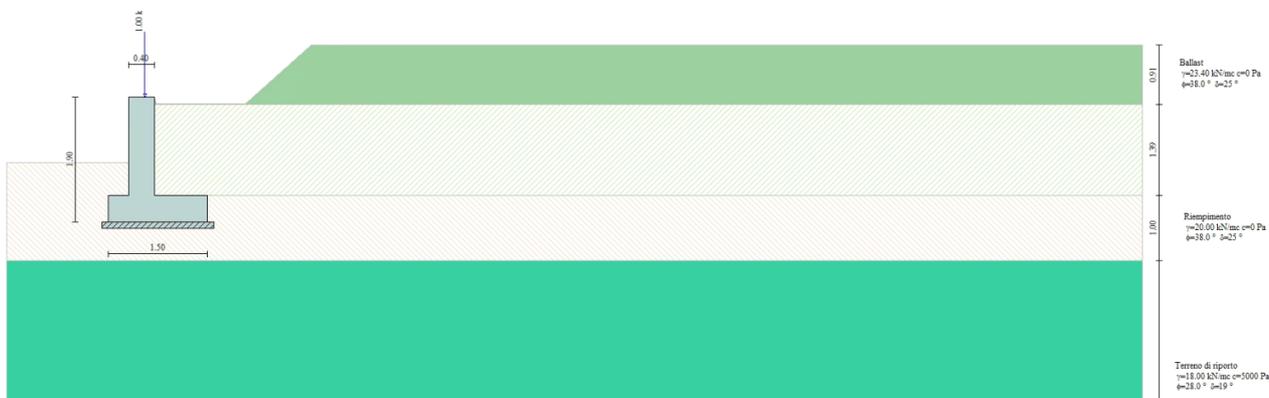
per A1:  $1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv$  peso specifico rilevato

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.



**Figura 8-46 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**



**Figura 8-47 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A2**

Descrizione combinazione di carico



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **188 di 262**

*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
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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **189 di 262**

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 190 di 262

Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi treni	SFAV	1.30	0.80	1.04

Combinazione n° 13 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 14 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 15 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 16 - 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



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 191 di 262

Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 17 - 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 accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 18 - 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 accidentali	SFAV	1.30	0.80	1.04
Carichi treni	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 19 - 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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00

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

Combinazione n° 21 - 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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **192 di 262**

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
Parapetto	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
Parapetto	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
Parapetto	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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	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
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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 193 di 262

Combinazione n° 28 - 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° 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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
sovraccarico permanente	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
sovraccarico permanente	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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **194 di 262**

Combinazione n° 33 - 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
sovraccarico permanente	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 34 - 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
sovraccarico permanente	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

Combinazione n° 35 - 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
sovraccarico permanente	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

**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. 27, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-47:

Risultati combinazione n° 27				Risultati combinazione n° 27			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
CALCOLATI		RICHESTI					
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	3.66		1.00	Spinta statica	8.6350 [kN]	Incremento sismico	4.9829 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--		--	Ang. rottura	47.489 [°]	Ang. rottura sismico	38.802 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--		--	Punto applicazione	(0.80 -1.32)	Punto applicazione	(0.80 -1.32)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--		--	Componente dir. X	7.7433 [kN]	Componente dir. X	4.4684 [kN]
				Componente dir. Y	3.8214 [kN]	Componente dir. Y	2.2052 [kN]
				Inclinazione spinta	26.27 °		

Risultati combinazione n° 27				Risultati combinazione n° 27			
Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	29.42 [kN]	Inerzia muro	3.14 [kN]	Risultante dir. X	17.85 [kN]	Momento rib.	14.38 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.08 Y=-1.22	Inerzia verticale muro	-1.57 [kN]	Risultante dir. Y	56.10 [kN]	Momento stab.	52.63 [kNm]
Peso terrapieno	22.42 [kN]	Inerzia terrapieno	2.39 [kN]	Componente normale	56.10 [kN]	Componente parallela	17.85 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.40 Y=-0.80	Inerzia verticale terrapieno	-1.20 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	17.65 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 47604	Monte	27198
Componente dir. X = 0.11 [kN]		Componente dir. Y = 1.00 [kN]		Eccentricita risultante	0.068 [m]	Lung. fondaz. reagente	1.50 [m]
				Carico limite della fondazione	398.50 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-48 – Risultati verifica al ribaltamento (da MAX 14)**

- Scorrimento**

Il risultato più critico per lo scorrimento è dato dalla combinazione di resistenza num. 25, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-48:

Risultati combinazione n° 25				Risultati combinazione n° 25			
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	8.6350 [kN]	Incremento sismico	3.0173 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2.10		1.00	Ang. rottura	47.489 [°]	Ang. rottura sismico	40.489 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	8.61		1.20	Punto applicazione	(0.80 -1.32)	Punto applicazione	(0.80 -1.32)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--		--	Componente dir. X	7.7433 [kN]	Componente dir. X	2.7057 [kN]
				Componente dir. Y	3.8214 [kN]	Componente dir. Y	1.3353 [kN]
				Inclinazione spinta	26.27 °		

Risultati combinazione n° 25				Risultati combinazione n° 25			
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	29.42 [kN]	Inerzia muro	2.09 [kN]	Risultante dir. X	14.21 [kN]	Momento rib.	10.94 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.08 Y=-1.22	Inerzia verticale muro	-1.05 [kN]	Risultante dir. Y	56.15 [kN]	Momento stab.	51.33 [kNm]
Peso terrapieno	22.42 [kN]	Inerzia terrapieno	1.59 [kN]	Componente normale	56.15 [kN]	Componente parallela	14.21 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.40 Y=-0.80	Inerzia verticale terrapieno	-0.80 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.20 °		
Risultanti carichi esterni				Pressione terreno [Pa]	Valle 42033	Monte	32839
Componente dir. X = 0.07 [kN]		Componente dir. Y = 1.00 [kN]		Eccentricita risultante	0.031 [m]	Lung. fondaz. reagente	1.50 [m]
				Carico limite della fondazione	483.69 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>	

**Figura 8-49 – 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. 14, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-49:

Risultati combinazione n° 14				Risultati combinazione n° 14			
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		Risultanti	
		CALCOLATI		RICHESTI			
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltamento</b>		--	--				
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>		2.77	<span style="color: green;">■</span>	1.10			
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		6.53	<span style="color: green;">■</span>	1.40			
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>		--	--				

Risultati combinazione n° 14				Risultati combinazione n° 14			
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		Risultanti	
Spinta statica		17.5144 [kN]	Incremento sismico		0.0000 [kN]		
Ang. rottura		39.239 [°]	Ang. rottura sismico		0.000 [°]		
Punto applicazione		(0.80 -1.39)	Punto applicazione		(0.00 0.00)		
Componente dir. X		15.6440 [kN]	Componente dir. X		0.0000 [kN]		
Componente dir. Y		7.8751 [kN]	Componente dir. Y		0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta		26.72 °					

Risultati combinazione n° 14				Risultati combinazione n° 14			
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		Risultanti	
Peso muro		38.25 [kN]	Inerzia muro		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro muro		X=-0.08 Y=-1.22	Inerzia verticale muro		0.00 [kN]		
Peso terrapieno		33.95 [kN]	Inerzia terrapieno		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno		X=0.40 Y=-0.80	Inerzia verticale terrapieno		0.00 [kN]		
Risultanti carichi esterni		Componente dir. Y = 1.30 [kN]					

Risultati combinazione n° 14				Risultati combinazione n° 14			
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		Risultanti	
Risultante dir. X		15.64 [kN]	Momento rib.		7.94 [kNm]		
Risultante dir. Y		81.37 [kN]	Momento stab.		73.76 [kNm]		
Componente normale		81.37 [kN]	Componente parallela		15.64 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)		10.88 °					
Pressione terreno [Pa]		Valle 41456	Monte		67034		
Eccentricita risultante		-0.059 [m]	Lung. fondaz. reagente		1.50 [m]		
Carico limite della fondazione		531.26 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>				

**Figura 8-50 – 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. 18, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-50:

Risultati combinazione n° 18				Risultati combinazione n° 18			
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 stabilita globale</b>		1.19	<span style="color: green;">■</span>	1.10			

Risultati combinazione n° 18				Risultati combinazione n° 18			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Spinta statica		25.9316 [kN]	Incremento sismico		0.0000 [kN]		
Ang. rottura		37.521 [°]	Ang. rottura sismico		0.000 [°]		
Punto applicazione		(0.80 -1.38)	Punto applicazione		(0.00 0.00)		
Componente dir. X		24.6108 [kN]	Componente dir. X		0.0000 [kN]		
Componente dir. Y		8.1706 [kN]	Componente dir. Y		0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta		18.37 °					

Risultati combinazione n° 18				Risultati combinazione n° 18			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Peso muro		23.42 [kN]	Inerzia muro		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro muro		X=-0.08 Y=-1.22	Inerzia verticale muro		0.00 [kN]		
Peso terrapieno		26.61 [kN]	Inerzia terrapieno		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno		X=0.40 Y=-0.80	Inerzia verticale terrapieno		0.00 [kN]		
Risultanti carichi esterni		Componente dir. Y = 1.00 [kN]					

Risultati combinazione n° 18				Risultati combinazione n° 18			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti		Risultanti	
Risultante dir. X		24.61 [kN]	Momento rib.		12.77 [kNm]		
Risultante dir. Y		65.20 [kN]	Momento stab.		60.45 [kNm]		
Componente normale		65.20 [kN]	Componente parallela		24.61 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)		20.68 °					
Pressione terreno [Pa]		Valle 46712	Monte		40224		
Eccentricita risultante		0.019 [m]	Lung. fondaz. reagente		1.50 [m]		
Carico limite della fondazione		208.72 [kN]	<a href="#">dettagli &gt;&gt;</a>				

**Figura 8-51 – 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 taglianti) delle NTC2018.

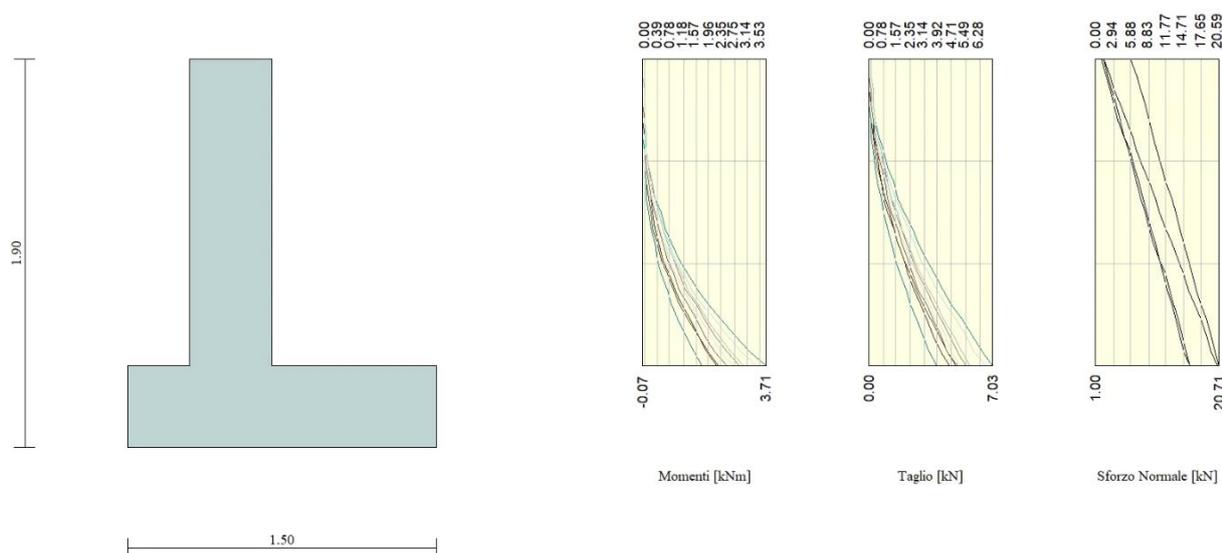
	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> <b>1/3</b>	COMMESSA <b>NM27</b>	LOTTO <b>01 D 26</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>CS0000001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>197 di 262</b>

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:



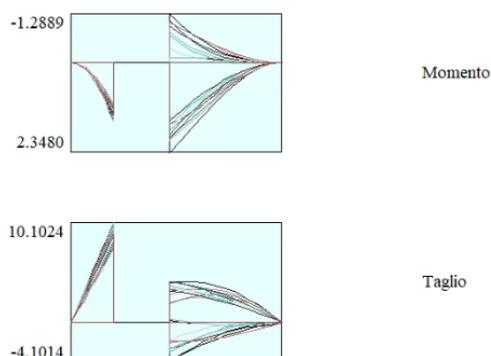
**Figura 8-52 – Involuppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (parte inferiore – 2.00m) Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 3.71 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente (parte inferiore – 2.00) Combinazione 8:  $V_{Ed} = 7.03 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-53 - Involuppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

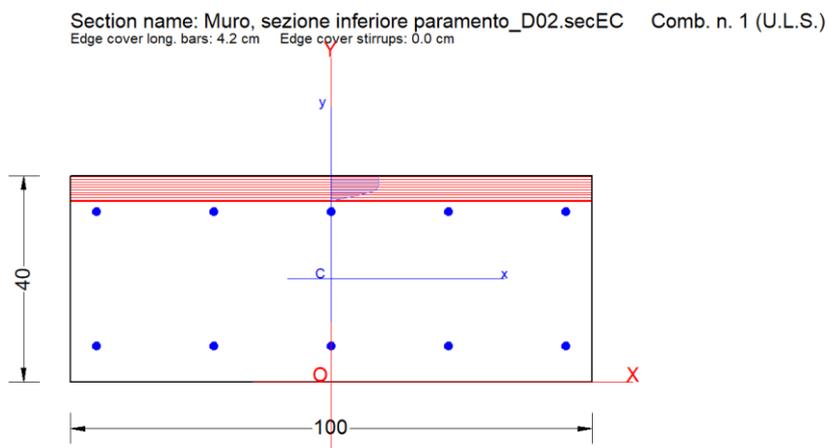
	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 198 di 262

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 14:  $M_{Ed} = 2.35 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 26:  $V_{Ed} = 10.1 \text{ kN}$

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 $f_{cd}$ :	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
	wk lim = limit crack width Frequent SLS:	0.300 mm
	Coeff. $k_3$ :	3.4000 § 7.3.4(3) 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **199 di 262**

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:	40.0	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	3.71	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]



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **200 di 262**

As TensionArea 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 3.71 0.15 137.67 37.108 35.2 118.87 --- --- ---

**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	-0.00891	40.0	-0.00157	33.0	-0.02040	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	-0.0254676
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	-0.0254676

**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	-0.0203983
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0203983
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0203983
6	-45.0	33.0	-313.87	-0.0015693
7	-22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
8	0.0	33.0	-313.87	-0.0015693
9	22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
10	45.0	33.0	-313.87	-0.0015693

 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 201 di 262

### 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
$c = 70$	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	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset$	$= 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 330$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset$	$= 0.00$ 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)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 7.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.778 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.470$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.003 < 0.02$$

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

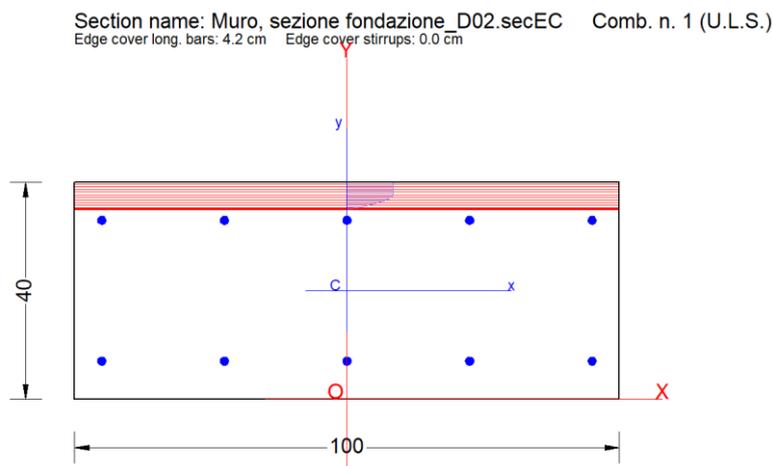
$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 150.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 155.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 155.0 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

#### 8.7.5.2.2 Sezione della 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**

1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 202 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

**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:	40.0	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**



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **203 di 262**

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	2.35	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 TensionArea 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	2.35	0.02	135.98	57.862	35.0	118.38	---	---	---
---	----	------	------	------	--------	--------	------	--------	-----	-----	-----

**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	-0.00860	40.0	-0.00144	33.0	-0.01980	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	-0.0247420
2	-50.0	40.0	17.00	0.0035000
3	50.0	40.0	17.00	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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **204 di 262**

4 50.0 0.0 0.00 -0.0247420

**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	-0.0197996
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0197996
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0197996
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0197996
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0197996
6	-45.0	33.0	-288.47	-0.0014423
7	-22.5	33.0	-288.47	-0.0014423
8	0.0	33.0	-288.47	-0.0014423
9	22.5	33.0	-288.47	-0.0014423
10	45.0	33.0	-288.47	-0.0014423

**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  
 $c = 70$  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  $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $d = 330$  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  $V_{ed} = 10.1$  kN

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.778 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$   $v_{min} = 0.455$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.003 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$   
 $V_{Rd} = 147.2$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 150.0$  kN)

$V_{Rd} = 150.0$  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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 205 di 262

### 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.

**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:
  - o  $\sigma_{c,max} \leq 0,55 f_{ck}$  per combinazione caratteristica
  - o  $\sigma_{c,max} \leq 0,40 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
- La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
  - o  $\sigma_{s,max} \leq 0,75 f_{yk}$  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 = 2,71 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = 1,97 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 2,23 kNm (per la parte inferiore)



**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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 206 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

*Fondazione*

$$M = 1,88 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

$$M = 1,76 \text{ kNm (per la parte inferiore)}$$

*Fondazione*

$$M = 1,64 \text{ kNm}$$

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	2.71

**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	2.23

**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	1.76

**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)



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **207 di 262**

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	0.21	40.0	0.00	31.3	-9.0	33.0	10.5	1054	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; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ 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 = $sr_{max} \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00006	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000027 (0.00003)	496	0.013	88.34

**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	-0.0000577
2	-50.0	40.0	0.204	0.0000153
3	50.0	40.0	0.204	0.0000153
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000577

**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	-8.99	-0.0000450
2	-22.5	7.0	-8.99	-0.0000450
3	0.0	7.0	-8.99	-0.0000450
4	22.5	7.0	-8.99	-0.0000450
5	45.0	7.0	-8.99	-0.0000450
6	-45.0	33.0	0.50	0.0000025
7	-22.5	33.0	0.50	0.0000025
8	0.0	33.0	0.50	0.0000025
9	22.5	33.0	0.50	0.0000025



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **208 di 262**

10 45.0 33.0 0.50 0.0000025

**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	0.17	40.0	0.00	31.3	-7.4	33.0	10.5	1054	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	-0.00005	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000022 (0.00002)	496	0.011 (0.30)	88.34

**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	-0.0000475
2	-50.0	40.0	0.168	0.0000126
3	50.0	40.0	0.168	0.0000126
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000475

**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	-7.40	-0.0000370
2	-22.5	7.0	-7.40	-0.0000370
3	0.0	7.0	-7.40	-0.0000370
4	22.5	7.0	-7.40	-0.0000370
5	45.0	7.0	-7.40	-0.0000370
6	-45.0	33.0	0.41	0.0000021
7	-22.5	33.0	0.41	0.0000021
8	0.0	33.0	0.41	0.0000021
9	22.5	33.0	0.41	0.0000021
10	45.0	33.0	0.41	0.0000021

**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	40.0	0.00	31.3	-5.8	33.0	10.5	1054	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	0.010	0.000018 (0.00002)	496	0.009 (0.20)	88.34



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **209 di 262**

**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	-0.0000375
2	-50.0	40.0	0.132	0.0000099
3	50.0	40.0	0.132	0.0000099
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000375

**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	-5.84	-0.0000292
2	-22.5	7.0	-5.84	-0.0000292
3	0.0	7.0	-5.84	-0.0000292
4	22.5	7.0	-5.84	-0.0000292
5	45.0	7.0	-5.84	-0.0000292
6	-45.0	33.0	0.33	0.0000016
7	-22.5	33.0	0.33	0.0000016
8	0.0	33.0	0.33	0.0000016
9	22.5	33.0	0.33	0.0000016
10	45.0	33.0	0.33	0.0000016

**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	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	3.9
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **210 di 262**

**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	1.97

**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	1.88

**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	1.64

**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	0.15	40.0	0.00	31.3	-6.5	33.0	10.5	1054	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										



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **211 di 262**

$\emptyset | c$  Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]  
 $r_{eff}$  Geometrical ratio  $A_{s\,eff}/A_{c\,eff}$  [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) =  $0.6 S_{max} / E_s$   
 $s_{r\,max}$  Max final crack [mm] spacing  
 $w_k$  Calculated value [mm] of crack width =  $s_{r\,max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [eq.(7.8)]. Limit value of  $w_k$  is shown between brackets  
 $M_{crack}$  First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	$r_{eff}$	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\,max}$	$w_k$	$M_{crack}$
1	OK	-0.00004	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000020 (0.00002)	496	0.010	84.62

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

**Concrete vertices:**

N.Vertex Assigned numbers to concrete vertices  
 $X_c, Y_c$  X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O  
 $S_c$  Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)  
 $e_c$  Strain in each vertex

Vertex N.	$X_c$	$Y_c$	$S_c$	$e_c$
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000420
2	-50.0	40.0	0.148	0.0000111
3	50.0	40.0	0.148	0.0000111
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000420

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
 $X_s, Y_s$  X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O  
 $S_s$  Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)  
 $e_s$  Strain in each bar

Bar N.	$X_s$	$Y_s$	$S_s$	$e_s$
1	-45.0	7.0	-6.54	-0.0000327
2	-22.5	7.0	-6.54	-0.0000327
3	0.0	7.0	-6.54	-0.0000327
4	22.5	7.0	-6.54	-0.0000327
5	45.0	7.0	-6.54	-0.0000327
6	-45.0	33.0	0.37	0.0000018
7	-22.5	33.0	0.37	0.0000018
8	0.0	33.0	0.37	0.0000018
9	22.5	33.0	0.37	0.0000018
10	45.0	33.0	0.37	0.0000018

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

Comb.N.	Check	$S_c\,max$	$Y_c\,max$	$S_c\,min$	$Y_c\,min$	$S_s\,min$	$Y_s\,min$	$h_{c\,eff}$	$A_{c\,eff}$	$A_s\,Eff$	D bars
1	OK	0.15	40.0	0.00	31.3	-6.2	33.0	10.5	1054	10.1	21.5

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	$r_{eff}$	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\,max}$	$w_k$	$M_{crack}$
1	OK	-0.00004	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000019 (0.00002)	496	0.009 (0.30)	84.62

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



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **212 di 262**

**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	-0.0000401
2	-50.0	40.0	0.142	0.0000106
3	50.0	40.0	0.142	0.0000106
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000401

**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	-6.24	-0.0000312
2	-22.5	7.0	-6.24	-0.0000312
3	0.0	7.0	-6.24	-0.0000312
4	22.5	7.0	-6.24	-0.0000312
5	45.0	7.0	-6.24	-0.0000312
6	-45.0	33.0	0.35	0.0000017
7	-22.5	33.0	0.35	0.0000017
8	0.0	33.0	0.35	0.0000017
9	22.5	33.0	0.35	0.0000017
10	45.0	33.0	0.35	0.0000017

**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	0.13	40.0	0.00	31.3	-5.4	33.0	10.5	1054	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	-0.00003	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000016 (0.00002)	496	0.008 (0.20)	84.62

**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	-0.0000349
2	-50.0	40.0	0.123	0.0000093
3	50.0	40.0	0.123	0.0000093
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000349



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **213 di 262**

**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	-5.44	-0.0000272
2	-22.5	7.0	-5.44	-0.0000272
3	0.0	7.0	-5.44	-0.0000272
4	22.5	7.0	-5.44	-0.0000272
5	45.0	7.0	-5.44	-0.0000272
6	-45.0	33.0	0.30	0.0000015
7	-22.5	33.0	0.30	0.0000015
8	0.0	33.0	0.30	0.0000015
9	22.5	33.0	0.30	0.0000015
10	45.0	33.0	0.30	0.0000015

**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	0.72	0.40	2000	---	---	---	-289.65	10.1	3.7
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-289.65	10.1	3.7

**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** 10x $\Phi 12$  (5 ogni lato)

• *Sezione della fondazione*

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

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

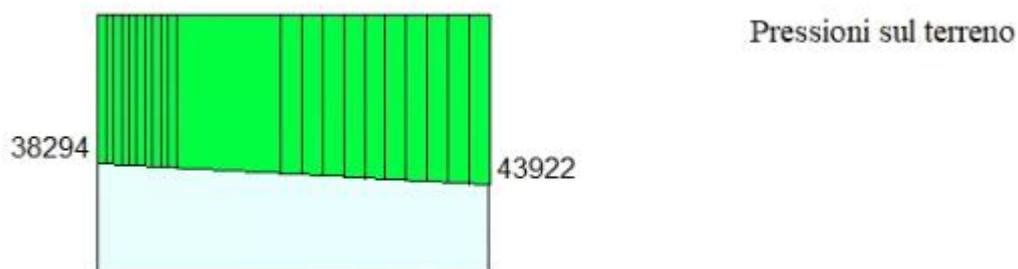
**Armatura inferiore, dir. principale**  $\Phi 16$  ogni 200mm

**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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 214 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 214 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 214 di 262		

### 8.7.5.5 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.



**Figure 8-54 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]**

Larghezza fondazione= 1.50 m

H rilevato esistente media = 0.9 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.9 \times 20 = 18.00$  kPa

Pressione media dalla fondazione =  $(44 - 38) \times 2/3 + 38 = 42$  kPa

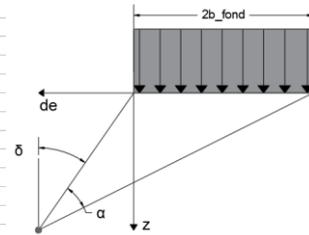
Pressione in compressione vergine =  $42 - 18 = 24$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 10 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume  
Modulo elastico di compressione vergine  
Modulo elastico di scarico e ricarica  
Profondità falda rispetto alla fondazione

$\gamma_{\text{terreno}} = 18.00 \text{ kN/m}^3$   
 $E_{vc} = 20.00 \text{ MPa}$   
 $E_{ur} = 10.00 \text{ MPa}$   
 $H_w = 30.00 \text{ m}$



**MURO DI SOSTEGNO**

Larghezza della fondazione  
Azione di calcolo  
Azione di compressione vergine  
Azione di ricompressione

$2b_{\text{fond}} = 1.50 \text{ m}$   
 $q_{\text{fond}} = 42.00 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{\text{fond}_{vc}} = 24.00 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{\text{fond}_{ur}} = 18.00 \text{ kN/m}^2$

**RILEVATO**

**BLOCCHI\_COMPRESSIONE VERGINE**

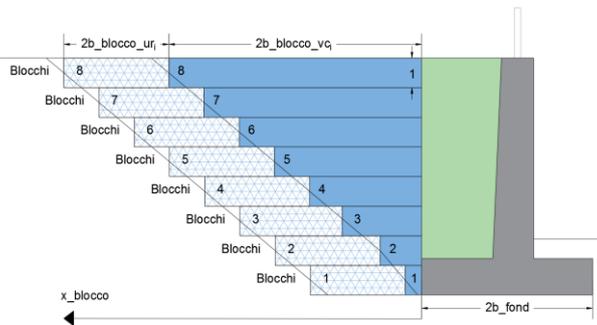
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{vc}} = 1.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume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

**BLOCCHI\_RICOMPRESSIONE**

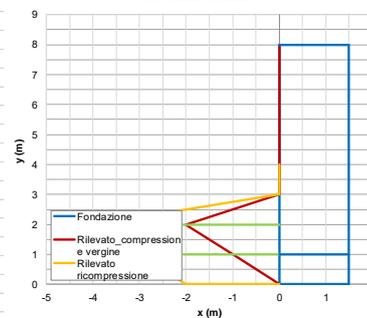
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco}_{ur}} = 2.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	m
Peso del blocco per unità di volume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

**CALCOLO**

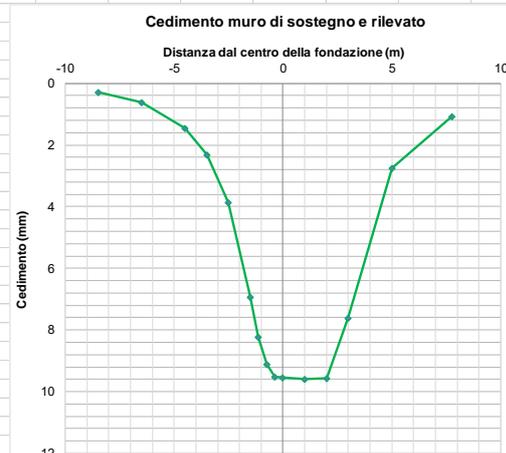
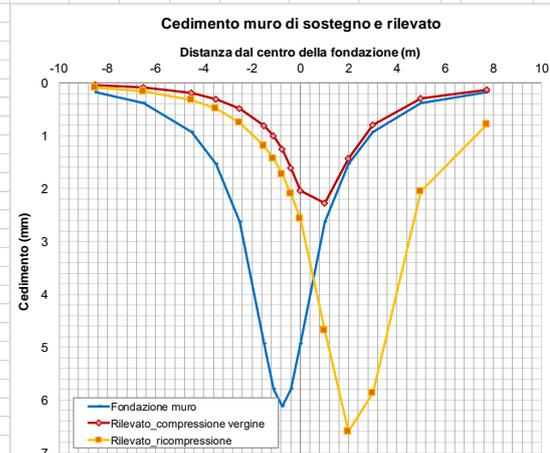
Criterio definizione della profondità significativa: sulla base di un valore target di incremento di sforzo  
Valore target di incremento di sforzo  $\Delta\sigma/\sigma'_{v0} = 0.10$   
Profondità significativa  $z_{\text{calc}} = 6.00$



**Geometria modello**



**SINTESI DEI RISULTATI**

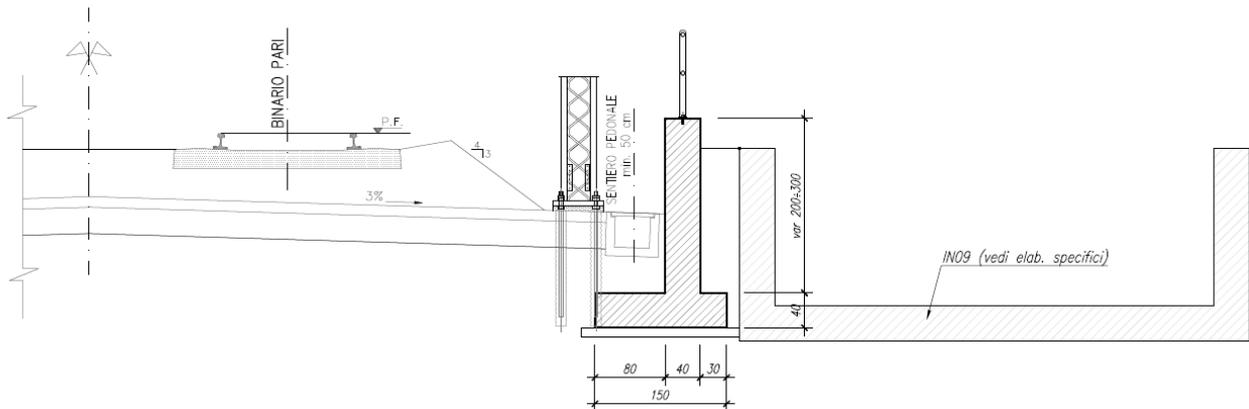


Cedimento massimo = 10mm

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 216 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 216 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 216 di 262		

## 8.8 Sezione Tipo 6 PK 4+545 a 4+796

### 8.8.1 Caratteristiche geometriche



### 8.9.1 Caratteristiche dei terreni

#### 8.9.1.1 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  $\rightarrow c = 0,00 \text{ kN/m}^2$

#### 8.9.1.2 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):

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 217 di 262

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

### 8.9.2 Dati di progetto

Per verificare l'adeguatezza della geometria del muro è stato verificato un caso critico (per il muro presente gli azioni sono uguali a ogni punto lungo il muro).

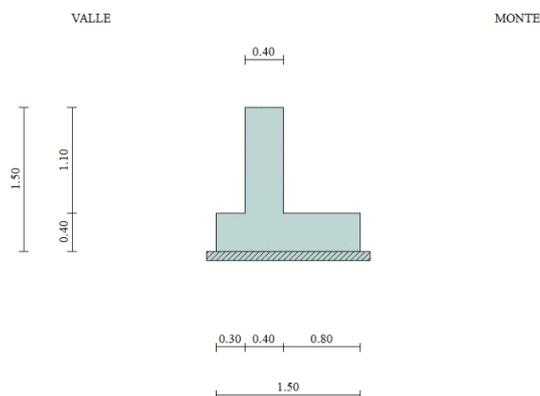


Figura 8-55: Sezione muro alla progressiva 4+545km

### Geometria muro e fondazione

Descrizione

**Muro a mensola in c.a.**

Altezza del paramento	1.10 [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	0,30 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0,80 [m]
Lunghezza totale fondazione	1,50 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0,00 [%]
Spessore fondazione	0,40 [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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 218 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

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	0,02-0,10	-78,69	
2	1,38-0,10	0,00	
3	2,380,80	41,99	
4	15,00	0,80	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]

#### 8.9.3 Analisi dei carichi

##### 8.9.3.1 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;

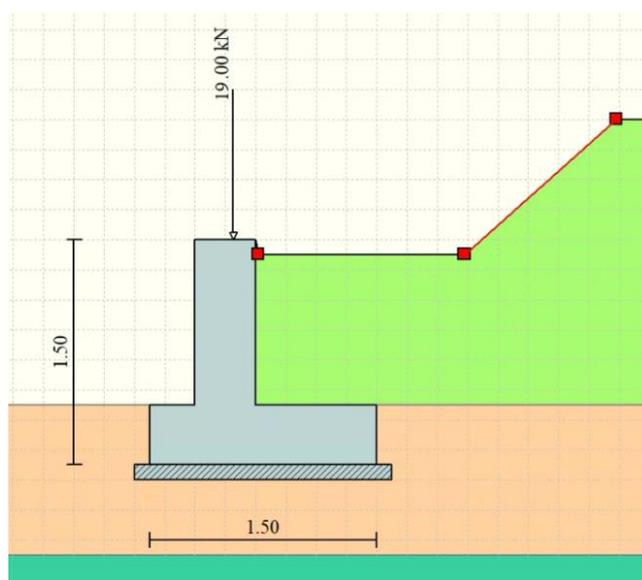
$c_k = 0$  coesione;

$\delta_k = 25.33^\circ$  angolo di attrito tra paramento verticale muro e terreno.

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 219 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 219 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 219 di 262		

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

Un sovraccarico permanente pari a  $(3-1.1) \times 0.4 \times 25 = 19 \text{ kN/m}^2$ , che corrisponde all'altezza variabile del muro spora rilevato, è stato applicato a testa del muro.

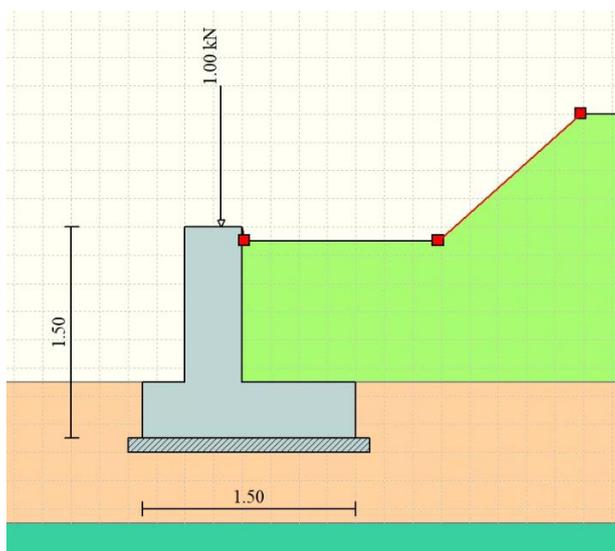


**Figura 8-56 – Applicazione dei carichi: sovraccarico permanente sul muro**

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 220 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 220 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 220 di 262		

### 8.9.3.2 Carico parapetto

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



**Figura 8-57 – 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.

### 8.9.3.3 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 metropolitane), 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**  
1/3

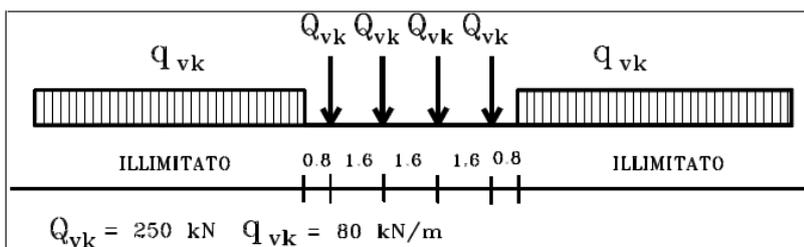
COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **221 di 262**

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.

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

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

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

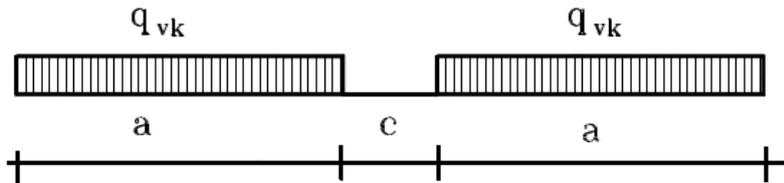
$$q = q_{equivalente} \times \alpha \times \varphi = 65.10 \times 1.10 = \mathbf{71.61 \text{ kN/m}^2}$$

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

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

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

Treno di carico SW2

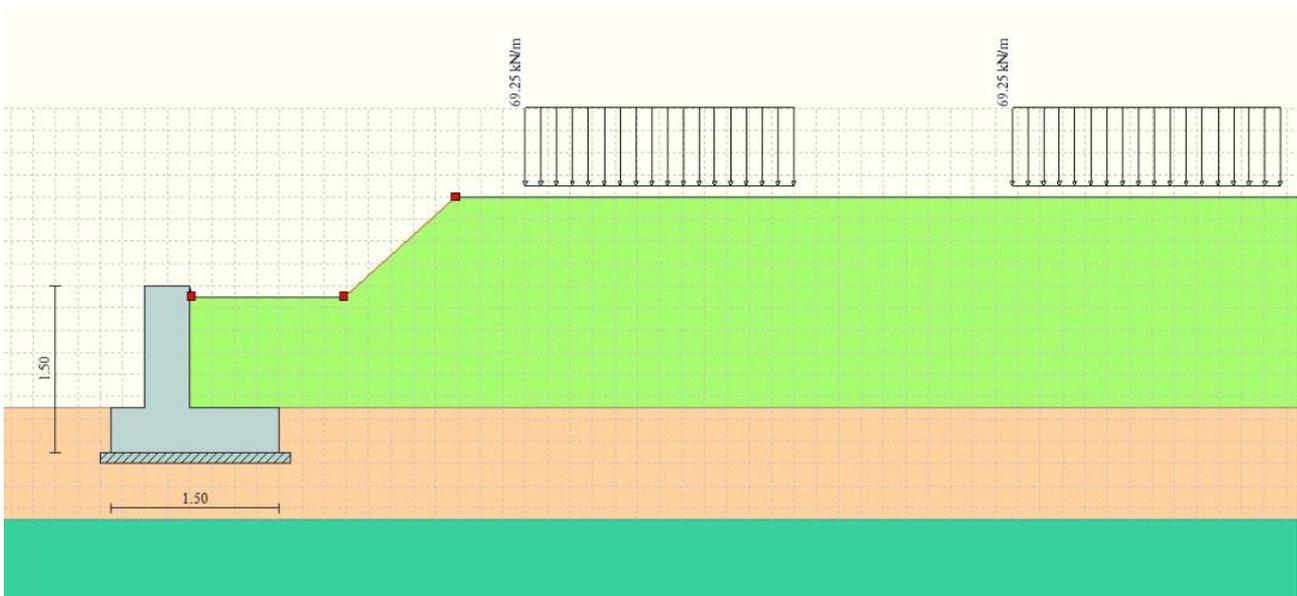


$$q_{\text{equivalente}} = 150/2.4 = 62.5 \text{ kN/m}^2$$

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

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.

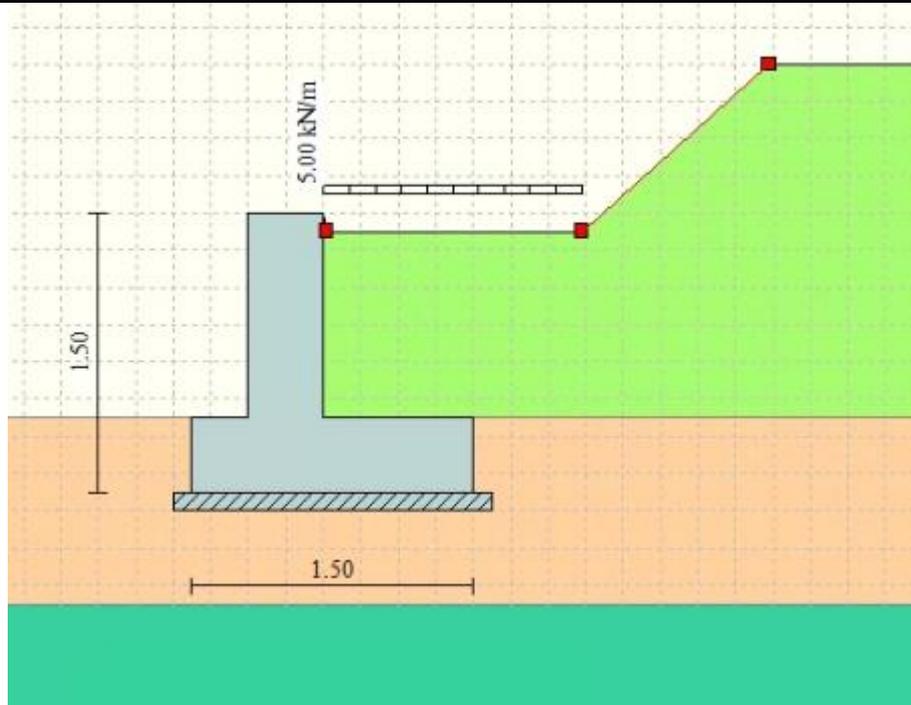
Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  (1.5) per i carichi variabili, per l'imposizione dei carichi di traffico ferroviario si è adottato un valore ridotto che tiene conto del diverso valore del coefficiente  $\gamma$  (1.45) da utilizzare 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 8-58 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico treni**

**8.9.3.4 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 8-59 – Applicazione dei carichi: Sovraccarico accidentale**

#### 8.9.3.5 Sisma

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

#### 8.9.4 *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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 224 di 262

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	Favorevoli	0.0		
	Sfavorevoli	1.45		

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 225 di 262

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:

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

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

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

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

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).

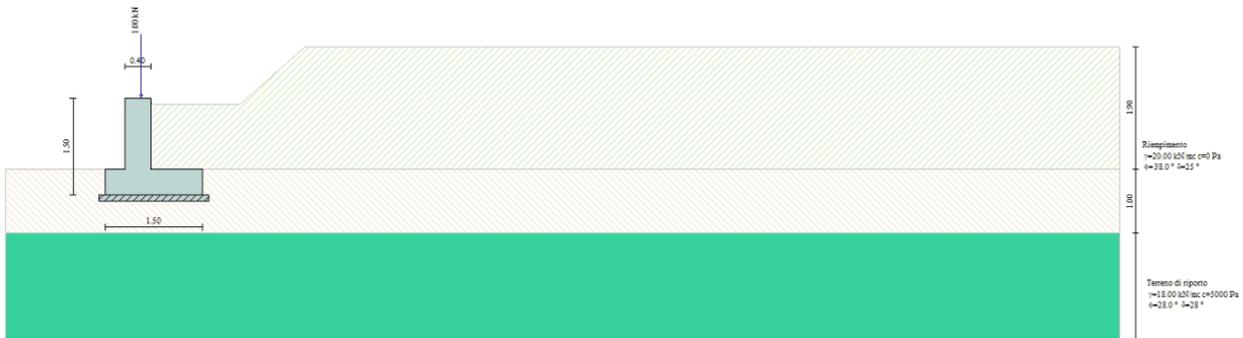
Nota: Poichè il software di analisi Max14 non permette l'inserimento di più di un coefficiente  $\gamma$  per i carichi permanenti, deve essere utilizzato un approccio specifico per l'applicazione del carico ballast, che ha un

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:

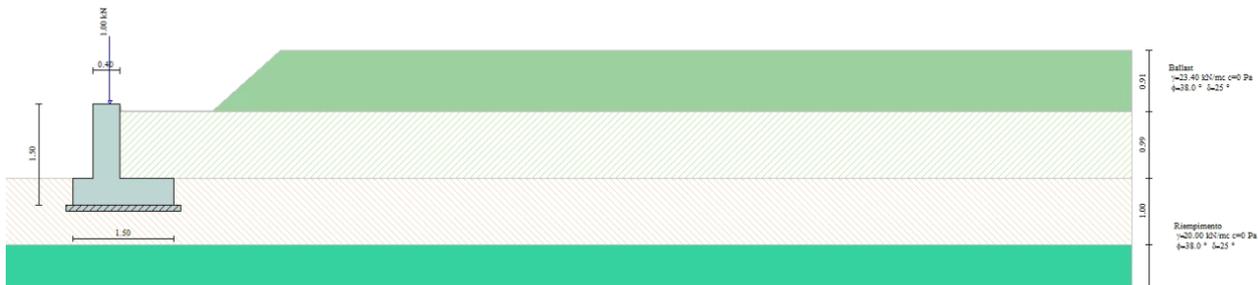
per A1:  $1.50/1.35 = 1.11 \rightarrow 1.11 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 20 \text{ kN/m}^3 \equiv$  peso specifico rilevato

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.



**Figura 8-60 – Rappresentazione degli strati di ballast e terreno spingente in MAX14 per la combinazione A1**



**Figura 8-61 – 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)

	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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 227 di 262

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

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20



**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**  
1/3

COMMESSA NM27 LOTTO 01 D 26 CODIFICA CL DOCUMENTO CS0000001 REV. A FOGLIO 228 di 262

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
Parapetto	SFAV	1.30	1.00	1.30
Carichi accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	SFAV	1.50	1.00	1.50
Carichi treni	SFAV	1.50	0.80	1.20

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 accidentali	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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **230 di 262**

Carichi accidentali	SFAV	1.50	0.80	1.20
Carichi treni	SFAV	1.50	1.00	1.50

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
Parapetto	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi accidentali	SFAV	1.30	0.80	1.04
Carichi treni	SFAV	1.30	1.00	1.30

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
Parapetto	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
Parapetto	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>
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° 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
Parapetto	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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **231 di 262**

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

Combinazione n° 28 - 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 treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 29 - 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>
--	------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------------



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **232 di 262**

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° 30 - 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 treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 31 - 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
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
sovraccarico permanente	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 32 - 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
sovraccarico permanente	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° 33 - 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
sovraccarico permanente	SFAV	1.00	1.00	1.00
Carichi treni	SFAV	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 34 - Rara (SLE)

	<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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **233 di 262**

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
sovraccarico permanente	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

Combinazione n° 35 - 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
sovraccarico permanente	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

## 8.9.5 Verifiche

### 8.9.5.1 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. 27, che include i carichi permanenti, i sovraccarichi treni e accidentali, ma non include le azioni sismiche. I risultati sono riportati nella Figura 9-60:

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
CALCOLATI		RICHESTI					
Coefficiente di sicurezza a ribaltamento	4.95		1.00	Spinta statica	4.2313 [kN]	Incremento sismico	2.9328 [kN]
Coefficiente di sicurezza a scorrimento	--		--	Ang. rottura	45.802 [°]	Ang. rottura sismico	36.927 [°]
Coefficiente di sicurezza a carico limite	--		--	Punto applicazione	(0.80 -1.03)	Punto applicazione	(0.80 -1.03)
Coefficiente di sicurezza stabilita globale	--		--	Componente dir. X	3.7878 [kN]	Componente dir. X	2.6254 [kN]
				Componente dir. Y	1.8859 [kN]	Componente dir. Y	1.3071 [kN]
				Inclinazione spinta	26.47 °		

Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo				Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo			
Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti	Coefficienti sicurezza	Spinta	Forze	Risultanti
Peso muro	25.50 [kN]	Inerzia muro	2.72 [kN]	Risultante dir. X	10.95 [kN]	Momento rib.	7.96 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.06 Y=-0.98	Inerzia verticale muro	-1.36 [kN]	Risultante dir. Y	43.50 [kN]	Momento stab.	39.38 [kNm]
Peso terrapieno	16.02 [kN]	Inerzia terrapieno	1.71 [kN]	Componente normale	43.50 [kN]	Componente parallela	10.95 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.40 Y=-0.60	Inerzia verticale terrapieno	-0.85 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	14.13 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 32212    Monte 25783
Risultanti carichi esterni				Eccentricita risultante	0.028 [m]	Lung. fondaz. reagente	1.50 [m]
Componente dir. X	0.11 [kN]	Componente dir. Y	1.00 [kN]	Carico limite della fondazione	313.77 [kN]	dettagli >>	

**Figura 8-62 – 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 9-61:

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	Spinta statica	4.2313 [kN]	Incremento sismico	1.5774 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza a ribaltimento</b>	--	--	--	Ang. rottura	45.802 [°]	Ang. rottura sismico	42.802 [°]
<b>Coefficiente di sicurezza a scorrimento</b>	2.82	1.00	1.00	Punto applicazione	(0.80 -1.03)	Punto applicazione	(0.80 -1.03)
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>	8.78	1.20	1.20	Componente dir. X	3.7878 [kN]	Componente dir. X	1.4120 [kN]
<b>Coefficiente di sicurezza stabilita globale</b>	--	--	--	Componente dir. Y	1.8859 [kN]	Componente dir. Y	0.7030 [kN]
				Inclinazione spinta	26.47 °		

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	25.50 [kN]	Inerzia muro	1.81 [kN]	Risultante dir. X	8.22 [kN]	Momento rib.	5.75 [kNm]
Coordinate baricentro muro	X=-0.06 Y=-0.98	Inerzia verticale muro	-0.91 [kN]	Risultante dir. Y	43.63 [kN]	Momento stab.	38.47 [kNm]
Peso terrapieno	16.02 [kN]	Inerzia terrapieno	1.14 [kN]	Componente normale	43.63 [kN]	Componente parallela	8.22 [kN]
Coordinate baricentro terrapieno	X=0.40 Y=-0.60	Inerzia verticale terrapieno	-0.57 [kN]	Inclinazione (rispetto alla normale)	10.67 °	Pressione terreno [Pa]	Valle 29077    Monte 29097
Risultanti carichi esterni				Eccentricita risultante	0.000 [m]	Lung. fondaz. reagente	1.50 [m]
Componente dir. X	0.07 [kN]	Componente dir. Y	1.00 [kN]	Carico limite della fondazione	383.23 [kN]	dettagli >>	

**Figura 8-63 – 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 Figura 9-62:

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>		5.08	1.10				
<b>Coefficiente di sicurezza a carico limite</b>		6.67	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		7.5568 [kN]	Incremento sismico		0.0000 [kN]		
Ang. rottura		46.739 [°]	Ang. rottura sismico		0.000 [°]		
Punto applicazione		(0.80 -0.96)	Punto applicazione		(0.00 0.00)		
Componente dir. X		6.7699 [kN]	Componente dir. X		0.0000 [kN]		
Componente dir. Y		3.3577 [kN]	Componente dir. Y		0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta		26.38 °					

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		33.15 [kN]	Inerzia muro		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro muro		X=-0.06 Y=-0.98					
		Inerzia verticale muro 0.00 [kN]					
Peso terrapieno		26.83 [kN]	Inerzia terrapieno		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno		X= 0.40 Y= -0.60					
		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		6.77 [kN]	Momento rib.		3.65 [kNm]		
Risultante dir. Y		64.63 [kN]	Momento stab.		56.60 [kNm]		
Componente normale		64.63 [kN]	Componente parallela		6.77 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)		5.98 °					
Pressione terreno [Pa]		Valle 31147	Monte		55027		
Eccentricita risultante		-0.069 [m]	Lung. fondaz. reagente		1.50 [m]		
Carico limite della fondazione		430.85 [kN]	dettagli >>				

**Figura 8-64 – 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 9-63:

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	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 stabilita globale</b>		1.78	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			
Spinta statica		13.0389 [kN]	Incremento sismico		0.0000 [kN]		
Ang. rottura		35.896 [°]	Ang. rottura sismico		0.000 [°]		
Punto applicazione		(0.80 -1.09)	Punto applicazione		(0.00 0.00)		
Componente dir. X		12.4275 [kN]	Componente dir. X		0.0000 [kN]		
Componente dir. Y		3.9458 [kN]	Componente dir. Y		0.0000 [kN]		
Inclinazione spinta		17.62 °					

Risultati combinazione n° 12				Risultati combinazione n° 12			
Caso A2-M2 (GEO-STAB)				Caso A2-M2 (GEO-STAB)			
Coefficienti sicurezza		Spinta	Forze	Risultanti			
Peso muro		25.50 [kN]	Inerzia muro		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro muro		X=-0.06 Y=-0.98					
		Inerzia verticale muro 0.00 [kN]					
Peso terrapieno		21.25 [kN]	Inerzia terrapieno		0.00 [kN]		
Coordinate baricentro terrapieno		X= 0.40 Y= -0.60					
		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			
Risultante dir. X		12.43 [kN]	Momento rib.		5.12 [kNm]		
Risultante dir. Y		51.69 [kN]	Momento stab.		46.26 [kNm]		
Componente normale		51.69 [kN]	Componente parallela		12.43 [kN]		
Inclinazione (rispetto alla normale)		13.52 °					
Pressione terreno [Pa]		Valle 28153	Monte		40773		
Eccentricita risultante		-0.046 [m]	Lung. fondaz. reagente		1.50 [m]		
Carico limite della fondazione		162.30 [kN]	dettagli >>				

**Figura 8-65 – Risultati verifica di stabilità globale (da MAX 14)**

### 8.9.5.2 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 taglianti) delle NTC2018.

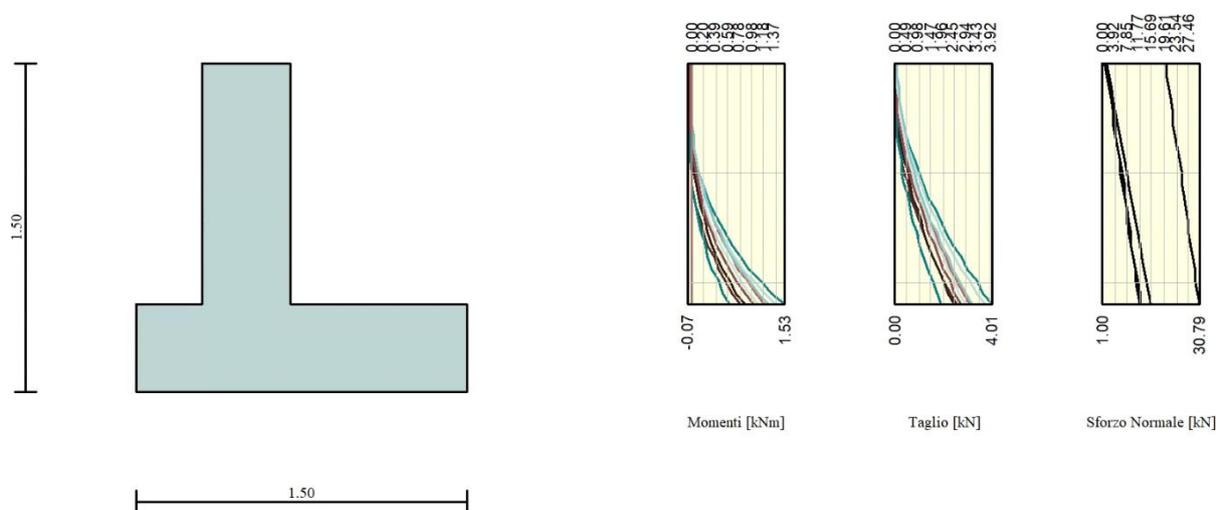
	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>						
<p><b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 236 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 236 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 236 di 262		

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:



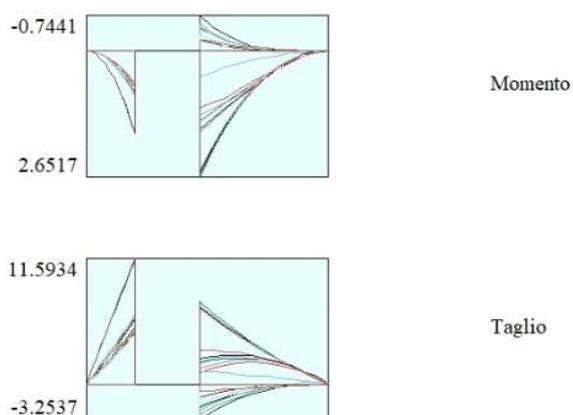
**Figura 8-66 – Inviluppo delle sollecitazioni nel muro (da MAX14)**

Valore di progetto del momento flettente agente (parte inferiore – 2.00m) Combinazione 8 :  $M_{Ed} = 1.53 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente (parte inferiore – 2.00) Combinazione 8:  $V_{Ed} = 4.01 \text{ kN}$

- *Flessione e taglio (nella fondazione)*

Le sollecitazioni massime ottenute da MAX14 sono:



**Figura 8-67 - Inviluppo di sollecitazioni nella fondazione (da MAX14)**

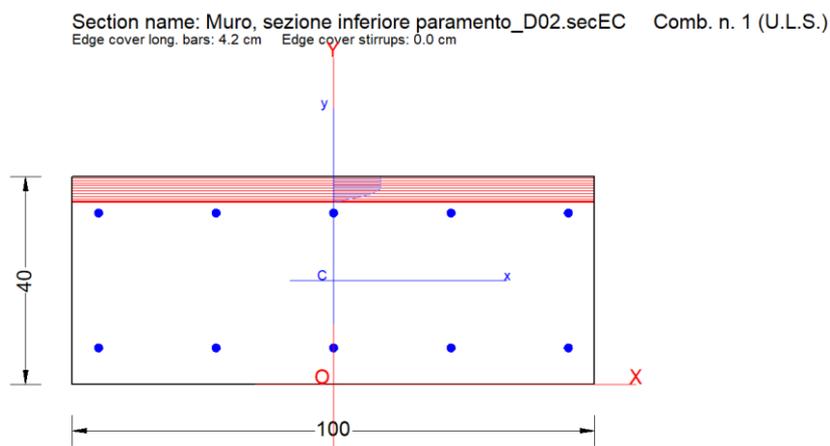
	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Muri di sostegno ferroviari - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 237 di 262

Valore di progetto del momento flettente agente - Combinazione 31:  $M_{Ed} = 2.65 \text{ kNm}$

Valore di progetto del taglio agente - Combinazione 34:  $V_{Ed} = 11.59 \text{ kN}$

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

### 8.9.5.2.1 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
	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. $k_3$ :	3.4000 § 7.3.4(3) 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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **238 di 262**

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:	40.0	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	1.53	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]



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **239 di 262**

As TensionArea 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 1.53 0.15 137.67 89.980 35.2 118.87 --- --- ---

**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	-0.00891	40.0	-0.00157	33.0	-0.02040	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	-0.0254676
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	-0.0254676

**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	-0.0203983
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0203983
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0203983
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0203983
6	-45.0	33.0	-313.87	-0.0015693
7	-22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
8	0.0	33.0	-313.87	-0.0015693
9	22.5	33.0	-313.87	-0.0015693
10	45.0	33.0	-313.87	-0.0015693

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 240 di 262

### 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
$c = 70$	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	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset 16$	$= 10.05$	$\text{cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0$	$= 0.00$	$\text{cm}^2$
$d = 330$	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)

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 4.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.778 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.470$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.003 < 0.02$$

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

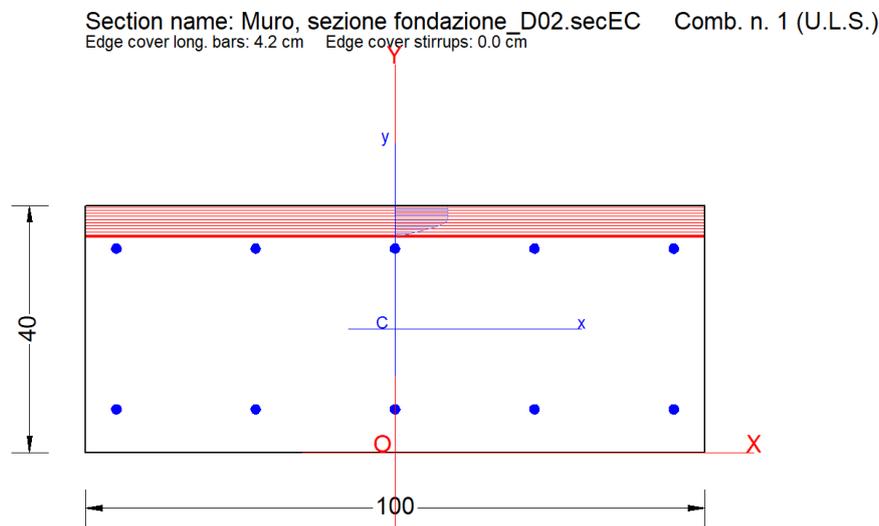
$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 150.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 155.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 155.0 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

#### 8.9.5.2.2 Sezione della 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**

1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 241 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

**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:	40.0	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



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **242 di 262**

VY with positive direction if such as to compress the upper edge of the section  
 T Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y  
 Design torsional Moment [kN m]

Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	2.65	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	2.65	0.02	135.98	51.311	35.0	118.38	---	---	---
---	----	------	------	------	--------	--------	------	--------	-----	-----	-----

**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	-0.00860	40.0	-0.00144	33.0	-0.01980	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)
ec	Strain in each vertex

Vertex N.	Xc	Yc	Sc	ec
1	-50.0	0.0	0.00	-0.0247420
2	-50.0	40.0	17.00	0.0035000
3	50.0	40.0	17.00	0.0035000
4	50.0	0.0	0.00	-0.0247420



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **243 di 262**

**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	-0.0197996
2	-22.5	7.0	-434.78	-0.0197996
3	0.0	7.0	-434.78	-0.0197996
4	22.5	7.0	-434.78	-0.0197996
5	45.0	7.0	-434.78	-0.0197996
6	-45.0	33.0	-288.47	-0.0014423
7	-22.5	33.0	-288.47	-0.0014423
8	0.0	33.0	-288.47	-0.0014423
9	22.5	33.0	-288.47	-0.0014423
10	45.0	33.0	-288.47	-0.0014423

**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  
 $c = 70$  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  $A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset \text{ } 16 = 10.05 \text{ cm}^2$   
 $\alpha_{cc} = 0.85$  coeff. riduttivo  $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $d = 330$  mm altezza utile  $A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0 = 0.00 \text{ cm}^2$   
 $f_{cd} = 17.00$  MPa resist. di calcolo  $10.05 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} = 0.0$  kN  $V_{ed} = 11.6$  kN

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

$k = 1+(200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.778 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$   $v_{min} = 0.455$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.003 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

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

$V_{Rd} = 147.2$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 150.0$  kN)

$V_{Rd} = 150.0$  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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 244 di 262

### 8.9.5.3 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
  - $\sigma_{c,max} \leq 0,75 f_{ck}$  per combinazione quasi permanente.
- La tensione massima dell'acciaio per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:
  - $\sigma_{s,max} \leq 0,8 f_{yk}$  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 = 1.10 kNm (per la parte inferiore)

*Fondazione*

M = 2,52 kNm

Sollecitazioni SLE Frequente:

*Muro*

M = 0.86 kNm (per la parte inferiore)



**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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 245 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

*Fondazione*

$$M = 2,65 \text{ kNm}$$

Sollecitazioni SLE Quasi-permanente:

*Muro*

$$M = 2.61 \text{ kNm (per la parte inferiore)}$$

*Fondazione*

$$M = 2,65 \text{ kNm}$$

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

**8.9.5.3.1 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	1.10

**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	0.86

**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	2.61

**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)



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **246 di 262**

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	0.09	40.0	0.00	31.3	-3.6	33.0	10.5	1054	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; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ 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 = $sr\ max \cdot (e\ sm - e\ cm) [eq.(7.8)]$ . 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	-0.00002	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000011 (0.00001)	496	0.005	88.34

**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	-0.0000234
2	-50.0	40.0	0.083	0.0000062
3	50.0	40.0	0.083	0.0000062
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000234

**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	-3.65	-0.0000182
2	-22.5	7.0	-3.65	-0.0000182
3	0.0	7.0	-3.65	-0.0000182
4	22.5	7.0	-3.65	-0.0000182
5	45.0	7.0	-3.65	-0.0000182
6	-45.0	33.0	0.20	0.0000010
7	-22.5	33.0	0.20	0.0000010
8	0.0	33.0	0.20	0.0000010
9	22.5	33.0	0.20	0.0000010



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **247 di 262**

10 45.0 33.0 0.20 0.0000010

**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	40.0	0.00	31.3	-2.9	33.0	10.5	1054	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	0.010	0.000009 (0.00001)	496	0.004 (0.30)	88.34

**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	-0.0000183
2	-50.0	40.0	0.065	0.0000049
3	50.0	40.0	0.065	0.0000049
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000183

**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	-2.85	-0.0000143
2	-22.5	7.0	-2.85	-0.0000143
3	0.0	7.0	-2.85	-0.0000143
4	22.5	7.0	-2.85	-0.0000143
5	45.0	7.0	-2.85	-0.0000143
6	-45.0	33.0	0.16	0.0000008
7	-22.5	33.0	0.16	0.0000008
8	0.0	33.0	0.16	0.0000008
9	22.5	33.0	0.16	0.0000008
10	45.0	33.0	0.16	0.0000008

**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	0.20	40.0	0.00	31.3	-8.7	33.0	10.5	1054	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	-0.00006	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000026 (0.00003)	496	0.013 (0.20)	88.34



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **248 di 262**

**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	-0.0000556
2	-50.0	40.0	0.196	0.0000147
3	50.0	40.0	0.196	0.0000147
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000556

**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	-8.66	-0.0000433
2	-22.5	7.0	-8.66	-0.0000433
3	0.0	7.0	-8.66	-0.0000433
4	22.5	7.0	-8.66	-0.0000433
5	45.0	7.0	-8.66	-0.0000433
6	-45.0	33.0	0.48	0.0000024
7	-22.5	33.0	0.48	0.0000024
8	0.0	33.0	0.48	0.0000024
9	22.5	33.0	0.48	0.0000024
10	45.0	33.0	0.48	0.0000024

**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 [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	10.1	3.9
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-302.38	10.1	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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **249 di 262**

**8.9.5.3.2 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	2.52

**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	2.65

**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	2.65

**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	0.20	40.0	0.00	31.3	-8.4	33.0	10.5	1054	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										



**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**

1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **250 di 262**

$\emptyset   c$	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
$r_{eff}$	Geometrical ratio $A_{s\,eff}/A_{c\,eff}$ [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) = $0.6 S_{max} / E_s$
$s_{r\,max}$	Max final crack [mm] spacing
$w_k$	Calculated value [mm] of crack width = $s_{r\,max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [eq.(7.8)]. Limit value of $w_k$ is shown between brackets
$M_{crack}$	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	$r_{eff}$	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\,max}$	$w_k$	$M_{crack}$
1	OK	-0.00005	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000025 (0.00003)	496	0.012	84.62

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

**Concrete vertices:**

N.Vertex	Assigned numbers to concrete vertices
$X_c, Y_c$	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of vertices in the reference X,Y,O
$S_c$	Stress [Mpa] in each vertex (+ if compressive)
$e_c$	Strain in each vertex

Vertex N.	$X_c$	$Y_c$	$S_c$	$e_c$
1	-50.0	0.0	0.000	-0.0000537
2	-50.0	40.0	0.190	0.0000142
3	50.0	40.0	0.190	0.0000142
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000537

**Longitudinal Bars:**

N. Bar	Assigned numbers to each bar
$X_s, Y_s$	X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each bar in the reference X,Y,O
$S_s$	Stress [Mpa] in each bar (+ if compressive)
$e_s$	Strain in each bar

Bar N.	$X_s$	$Y_s$	$S_s$	$e_s$
1	-45.0	7.0	-8.36	-0.0000418
2	-22.5	7.0	-8.36	-0.0000418
3	0.0	7.0	-8.36	-0.0000418
4	22.5	7.0	-8.36	-0.0000418
5	45.0	7.0	-8.36	-0.0000418
6	-45.0	33.0	0.47	0.0000023
7	-22.5	33.0	0.47	0.0000023
8	0.0	33.0	0.47	0.0000023
9	22.5	33.0	0.47	0.0000023
10	45.0	33.0	0.47	0.0000023

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

Comb.N.	Check	$S_c\,max$	$Y_c\,max$	$S_c\,min$	$Y_c\,min$	$S_s\,min$	$Y_s\,min$	$h_{c\,eff}$	$A_{c\,eff}$	$A_{s\,Eff}$	D bars
1	OK	0.21	40.0	0.00	31.3	-8.8	33.0	10.5	1054	10.1	21.5

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

Comb.N.	Check	e1	e2	k2	$\emptyset   c$	$r_{eff}$	$e_{sm} - e_{cm}$	$s_{r\,max}$	$w_k$	$M_{crack}$
1	OK	-0.00006	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000026 (0.00003)	496	0.013 (0.30)	84.62

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



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **251 di 262**

**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	-0.0000565
2	-50.0	40.0	0.199	0.0000150
3	50.0	40.0	0.199	0.0000150
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000565

**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	-8.79	-0.0000440
2	-22.5	7.0	-8.79	-0.0000440
3	0.0	7.0	-8.79	-0.0000440
4	22.5	7.0	-8.79	-0.0000440
5	45.0	7.0	-8.79	-0.0000440
6	-45.0	33.0	0.49	0.0000025
7	-22.5	33.0	0.49	0.0000025
8	0.0	33.0	0.49	0.0000025
9	22.5	33.0	0.49	0.0000025
10	45.0	33.0	0.49	0.0000025

**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	0.21	40.0	0.00	31.3	-8.8	33.0	10.5	1054	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	-0.00006	0	0.500	16 6.2	0.010	0.000026 (0.00003)	496	0.013 (0.20)	84.62

**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	-0.0000565
2	-50.0	40.0	0.199	0.0000150
3	50.0	40.0	0.199	0.0000150
4	50.0	0.0	0.000	-0.0000565



**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**  
1/3

COMMESSA **NM27** LOTTO **01 D 26** CODIFICA **CL** DOCUMENTO **CS0000001** REV. **A** FOGLIO **252 di 262**

**Longitudinal Bars:**

N. Bar Assigned numbers to each bar  
Xs, Ys X-coordinate, Y-coordinate [cm] of each 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	-8.79	-0.0000440
2	-22.5	7.0	-8.79	-0.0000440
3	0.0	7.0	-8.79	-0.0000440
4	22.5	7.0	-8.79	-0.0000440
5	45.0	7.0	-8.79	-0.0000440
6	-45.0	33.0	0.49	0.0000025
7	-22.5	33.0	0.49	0.0000025
8	0.0	33.0	0.49	0.0000025
9	22.5	33.0	0.49	0.0000025
10	45.0	33.0	0.49	0.0000025

**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	0.72	0.40	2000	---	---	---	-289.65	10.1	3.7
1	Quasi-perm.	Web	0.72	0.40	2000	---	---	---	-289.65	10.1	3.7

**8.9.5.4 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** 10x $\Phi 12$  (5 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 - Relazione di calcolo</b> 1/3</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA NM27</td> <td>LOTTO 01 D 26</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO CS0000001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 253 di 262</td> </tr> </table>	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 253 di 262
COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 253 di 262		

#### 8.9.5.5 Verifica dei cedimenti

I risultati di pressione derivati in MAX14 sono riportati qui di seguito.

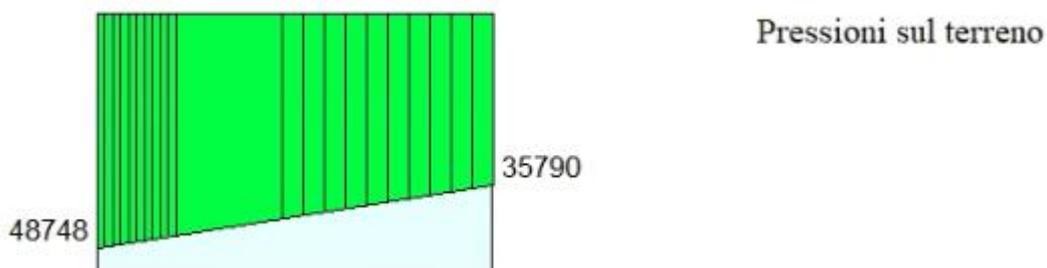


Figure 8-68 – Pressione sul terreno sotto la fondazione per SLE quasi permanente [Pa]

Larghezza fondazione= 1.50 m

H rilevato esistente media = 0.4 m

Pressione in scarico/ricarico =  $0.4 \times 20 = 8$  kPa

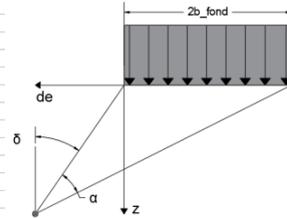
Pressione media dalla fondazione =  $(49 - 36) \times 2/3 + 36 = 45$  kPa

Pressione in compressione vergine =  $45 - 8 = 37$  kPa

Il cedimento ottenuto, circa 21 mm, è immediato, pertanto non ci sono problemi per i binari, costruiti successivamente.

**STRATIGRAFIA**

Peso per unità di volume	$y_{\text{terreno}} = 18.00$	$\text{kN/m}^3$
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	$2b_{\text{fond}} = 1.50$	$\text{m}$
Azione di calcolo	$q_{\text{fond}} = 45.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di compressione vergine	$q_{\text{fond\_vc}} = 37.00$	$\text{kN/m}^2$
Azione di ricompressione	$q_{\text{fond\_ur}} = 8.00$	$\text{kN/m}^2$

**RILEVATO**

**BLOCCHI COMPRESSIONE VERGINE**

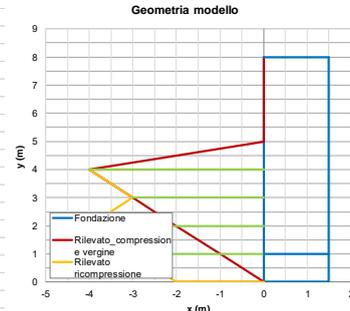
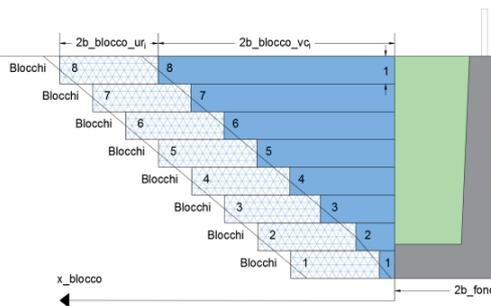
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 0.00$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_vc}} = 1.00$	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_vc}} = 20.00$	20.00	20.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{kPa}$

**BLOCCHI RICOMPRESSIONE**

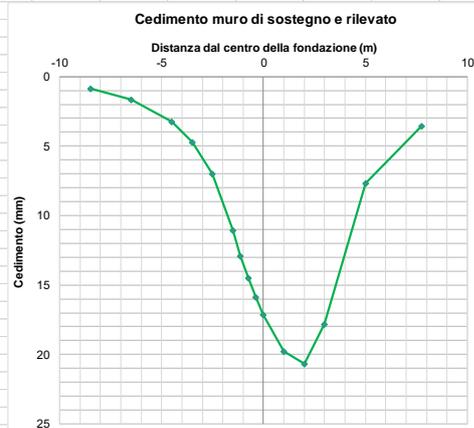
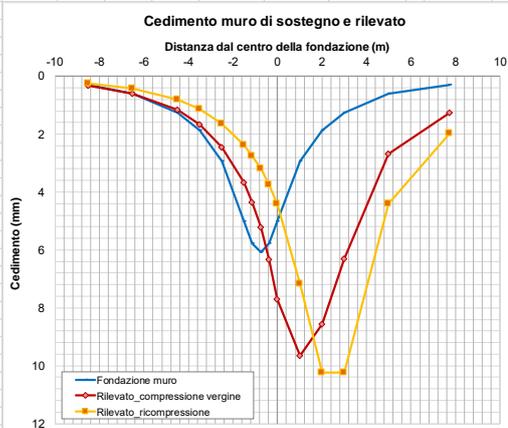
	Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4	Blocco 5	Blocco 6	Blocco 7	Blocco 8	
Distanza del blocco dalla fondazione	$x_{\text{blocco}} = 1.00$	2.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Larghezza del blocco	$2b_{\text{blocco\_ur}} = 2.00$	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\text{m}$
Peso del blocco per unità di volume	$q_{\text{blocco\_ur}} = 20.00$	20.00	20.00	8.00	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 = 21mm

	<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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 255 di 262

## 9 INCIDENZA ARMATURA

### 9.1 Tipo 3 PK 4+190 a 4+300

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **55 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **45 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>	0.7	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez1</sub>	0.6	m
L <sub>sez2</sub>	2.4	m
Vol. per m di muro	1.92	m <sup>3</sup>

##### **Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.7	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez</sub>	4.4	m
Vol. per m di muro	3.08	m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850	kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15	

##### **Ferri di paramento (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	4.735



**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 - Relazione di calcolo</b> 1/3	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01 D 26	CL	CS0000001	A	256 di 262

Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	4.735
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	3	2.663
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	3	2.663
<u>Parte inferiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	18.940
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	18.940
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	12	10.654
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	12	10.654

Incidenza paramento **44.31 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	20	0.000314	5	54.255
Lato a vale arm. verticale	20	0.000314	5	54.255
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	22	19.532

Incidenza Fondazione **55.10 kg/m<sup>3</sup>**

**9.2 Tipo 3 PK 4+300 a 4+420**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **55 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **45 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**



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 257 di 262

**Paramento**

H <sub>sez1</sub>	0.4	m
H <sub>sez2</sub>	0.7	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez1</sub>	0.6	m
L <sub>sez2</sub>	2.4	m
Vol. per m di muro	1.92	m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.7	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez</sub>	4.4	m
Vol. per m di muro	3.08	m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850	kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15	

**Ferri di paramento (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	4.735
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	4.735
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	3	2.663
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	3	2.663
<u>Parte inferiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	18.940
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	18.940
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	12	10.654
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	12	10.654

Incidenza paramento                    **44.31**    **kg/m<sup>3</sup>**

**Ferri di fondazione (per m di muro)**

φ	A	n° barre	peso
---	---	----------	------



**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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 258 di 262

	mm	m <sup>2</sup>	-	kg/m
Armatura superiore, dir. Principale	20	0.000314	5	54.255
Lato a vale arm. verticale	20	0.000314	5	54.255
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Incidenza Fondazione	<b>55.10</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		

**9.3 Tipo 3PK 4+420 a 4+480**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **55 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **45 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>	0.7	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez1</sub>	0.6	m
L <sub>sez2</sub>	1.9	m
Vol. per m di muro	1.57	m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.7	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez</sub>	4.4	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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 259 di 262

Vol. per m di muro	3.08	m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850	kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15	

**Ferri di paramento (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	4.735
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	4.735
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	3	2.663
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	3	2.663
<u>Parte inferiore</u>				
Lato a monte, arm. verticale	16	0.000201	5	14.994
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	14.994
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	10	8.878
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	10	8.878

Incidenza paramento                    **45.81**                    **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	20	0.000314	5	54.255
Lato a vale arm. verticale	20	0.000314	5	54.255
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	22	19.532
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	22	19.532

Incidenza Fondazione                    **55.10**                    **kg/m<sup>3</sup>**

**9.4 Tipo 6 PK 4+480 a 4+545**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **75 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**  
1/3

COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO CS0000001	REV. A	FOGLIO 260 di 262
------------------	------------------	----------------	------------------------	-----------	----------------------

- Paramento = **105 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	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez1</sub>	2	m
L <sub>sez2</sub>	0	m
Vol. per m di muro	0.8	m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.4	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez</sub>	1.5	m
Vol. per m di muro	0.6	m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850	kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15	

**Ferri di paramento (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	10	8.878
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	10	8.878
Incidenza paramento	<b>105.64</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 261 di 262

**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
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	11.838
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	8	7.103
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	8	7.103
Incidenza Fondazione	<b>72.60</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		

**9.5 Tipo 6 PK 4+545 a 4+796**

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

- Fondazione = **75 kg/m<sup>3</sup>**;
- Paramento = **95 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	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez1</sub>	3	m
L <sub>sez2</sub>	0	m
Vol. per m di muro	1.2	m <sup>3</sup>

**Fondazione**

H <sub>sez</sub>	0.4	m
B <sub>sez</sub>	1	m
L <sub>sez</sub>	1.5	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**  
1/3

COMMESSA NM27    LOTTO 01 D 26    CODIFICA CL    DOCUMENTO CS0000001    REV. A    FOGLIO 262 di 262

Vol. per m di muro	0.6	m <sup>3</sup>
Peso acciaio	7850	kg/m <sup>3</sup>
Idennità di legature	0.15	

**Ferri di paramento (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	23.675
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	23.675
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	15	13.317
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	15	13.317
Incidenza paramento	<b>94.06</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	11.838
Lato a vale arm. verticale	16	0.000201	5	11.838
Lato a monte, arm. orizzontale	12	0.000113	8	7.103
Lato a vale arm. Orizzontale	12	0.000113	8	7.103
Incidenza Fondazione	<b>72.60</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		