

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria



Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

IN58 – Tombino scatolare  
Relazione di calcolo muri

L'Appaltatore  
Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.  
Il Direttore Tecnico  
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)  
Ing. Massimo Facchini

Data 31/07/2023

firma

Data 31/07/2023

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	C L	I N 5 8 0 0	0 0 2	A	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	Ing. M. Pugliese	Luglio 2023	Ing. M. Calderoni	Luglio 2023	Ing. S. Canale	Luglio 2023	Ing. M. Facchini Luglio 2023

File: LI0B02EZZCLIN5800002A.DOCX

n. Elab.

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & P.L. 	MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 1 – RADDOPPIO RIPALTA-LESINA</b>									
		<b>IN58 - Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

## INDICE

<b>1.. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3.. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>4.. DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>6</b>
<b>5.. MATERIALI.....</b>	<b>7</b>
<b>6.. CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....</b>	<b>9</b>
<b>7.. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE .....</b>	<b>11</b>
7.1 Metodologia di calcolo.....	11
7.2 Azioni .....	12
<b>8.. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>16</b>
<b>9.. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>20</b>
9.1 Interazione terreno-struttura .....	22
<b>10.    DEFINIZIONE E CRITERI DI CALCOLO GEOTECNICO .....</b>	<b>23</b>
10.1 Definizione del carico limite per fondazioni dirette .....	23
10.2 Definizione del carico limite per fondazioni dirette in condizioni non drenate.....	24
10.3 Criteri di analisi e verifica del complesso terreno - fondazione .....	24
10.4 Fondazioni dirette in c.a. ....	25
10.5 Calcolo del carico limite delle fondazioni .....	26
<b>11.    VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI .....</b>	<b>29</b>
11.1 Verifica SLE .....	29
11.2 Verifica SLU .....	30
<b>12.    RISULTATI, ANALISI E VERIFICHE .....</b>	<b>32</b>
12.1 Modello di calcolo.....	32
12.2 Involuppo delle Sollecitazioni.....	35
12.3 Tabelle riepilogo Sollecitazioni .....	37
<b>13.    VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....</b>	<b>38</b>
13.1 Piedritti.....	38
13.2 Soletta inferiore .....	41
<b>14.    VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO .....</b>	<b>44</b>
14.1 Verifica a fessurazione .....	44

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>2</b>

15. VERIFICHE GEOTECNICHE .....45

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; S.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del corpo stradale ferroviario, delle opere d'arte e delle opere interferite relative al Raddoppio della linea Termoli-Lesina, tratta Termoli - Ripalta.

Il tombino si rende necessario per garantire la continuità idraulica fra le aree a nord e a sud del nuovo tracciato ferroviario. Vengono realizzati due tombini affiancati in c.a..

La sezione trasversale retta, per entrambi, ha una larghezza interna di  $L_{int} = 3.00$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 2.00$  m; lo spessore della platea di fondazione è di  $S_f = 0.50$  m, lo spessore dei piedritti è di  $S_p = 0.50$  m e lo spessore della soletta di copertura è di  $S_s = 0.50$  m. Il ricoprimento complessivo è pari a 1.78 m.

Nell'immagine seguente si riportano una sezione trasversale dell'opera.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.

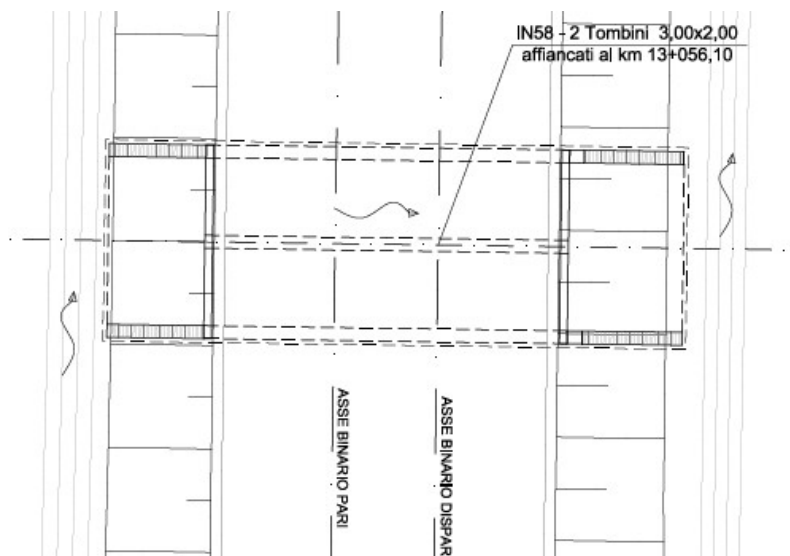


Fig. 1 – Inquadramento planimetrico

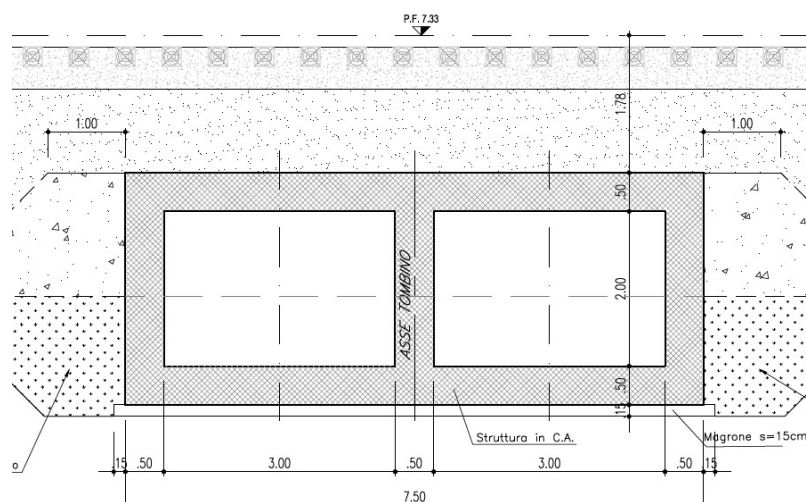
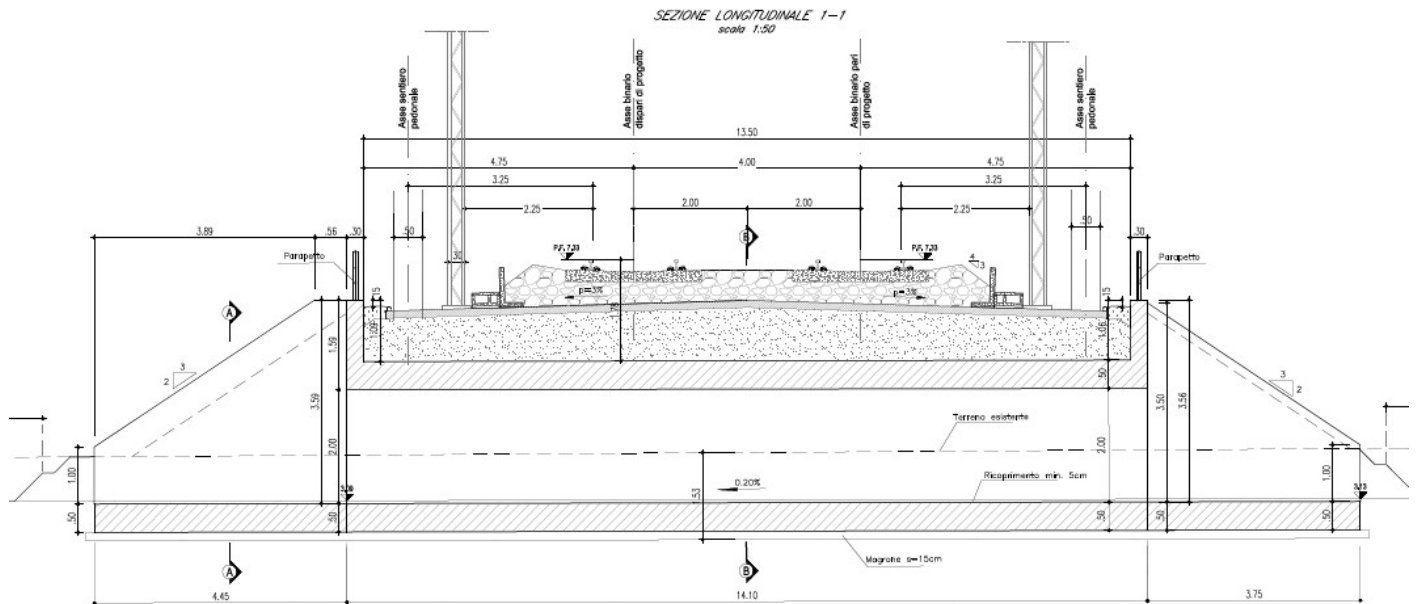


Fig. 2 – Sezione trasversale

**IN58- Relazione di calcolo  
muri**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>4</b>



*Fig. 3 – Sezione longitudinale*

## 2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento alle opere di sostegno muri d’ala dell’opera di linea IN58.

Tale opera è soggetta solo alle spinte dovute al peso del rilevato ferroviario e non viene influenzata

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>5</b>

### 3. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Di seguito si riporta l'elenco generale delle Normative Nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento, quale riferimento per la redazione degli elaborati tecnici e/o di calcolo dell'intero progetto nell'ambito della quale si inserisce l'opera oggetto della presente relazione:

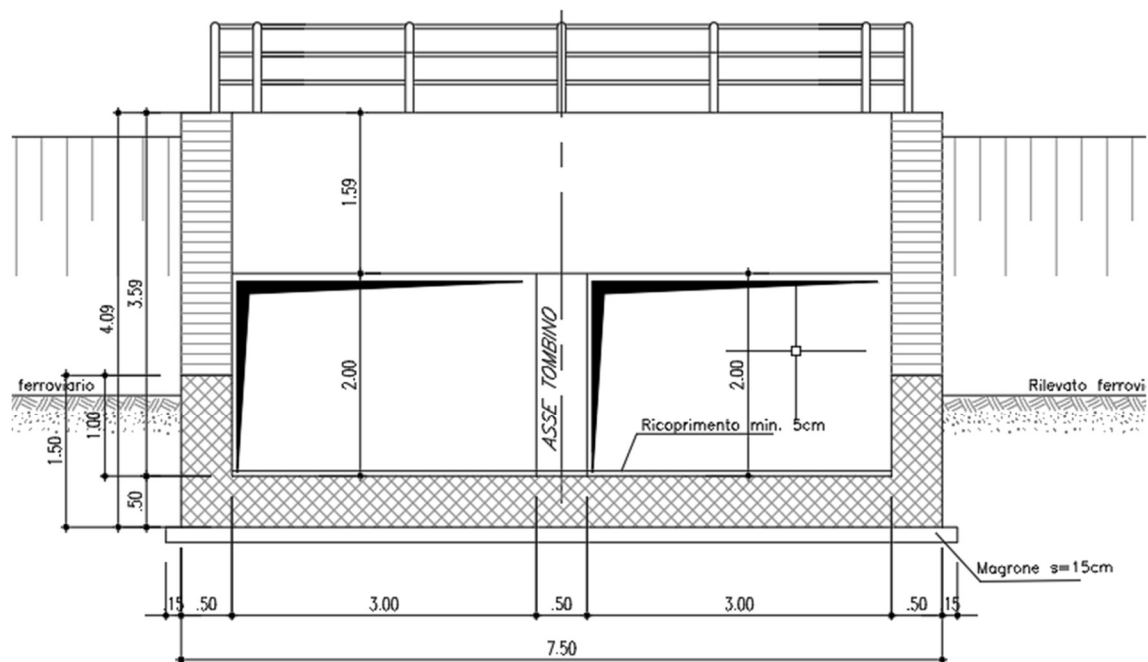
- L. n. 64 del 2/2/1974 "Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- L. n. 1086 del 5/11/1971 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.
- Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- RFI DTC SI SP IFS 001 C- Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- CNR-DT207/2008 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

#### 4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le opere di sostegno sono costituite da muri ad U in c.a.. Di seguito si riportano alcune immagini rappresentative delle sezioni di muro presenti. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento:

*SEZIONE A-A*  
*scala 1:50*



*Figura 1 – Sezioni trasversale tipo*

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, mm
- per i carichi ⇒ kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>7</b>

## 5. MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e del "Manuale di progettazione delle opere civili" RFI DTC SI MA IFS 001 B.

Nelle verifiche di resistenza dei calcestruzzi, a favore di sicurezza, viene sempre considerato un calcestruzzo di classe di resistenza C32/40.

Per la completa e puntuale definizione delle caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione dell'opera si rimanda all'elaborato specifico.

### Calcestruzzo

Classe di resistenza

**C32/40**

Resistenza cubica caratteristica a compressione	$R_{ck}$	=	40 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{ck}$	=	33,20 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	$\gamma_c$	=	1,5
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	$\alpha_{cc}$	=	0,85
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd}$	=	18,81 N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica a compressione	$f_{cm}$	=	41,20 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico medio	$E_{cm}$	=	33642,78 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm}$	=	3,10 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm}$	=	3,72 N/mm <sup>2</sup>
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_c$	=	18,26 N/mm <sup>2</sup>
combinazione caratteristica (rara) = $0.55f_{ck}$			

### Barre di armatura

Tipologia

**B450C**

Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk}$	=	450,00 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	$\gamma_s$	=	1,15
Resistenza di progetto a snervamento	$f_{yd}$	=	391,30 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico longitudinale	$E_s$	=	210000,00 N/mm <sup>2</sup>
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_{lim}$	=	337,5 N/mm <sup>2</sup>
= $0.75 f_{yk}$			

In merito alla verifica a fessurazione, la verifica consiste nel controllo dell'ampiezza massima delle fessure per le combinazioni di carico di esercizio i cui valori limite sono stabiliti, nell'ambito del progetto di opere ferroviarie, nel documento RFI DTC SICS MA IFS 001 B – 2.5.1.8.3.2.4 (*Manuale di progettazione delle opere civili*)

In particolare, l'apertura convenzionale delle fessure  $\delta_f$  dovrà rispettare i seguenti limiti:



MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>8</b>

- $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$  per tutte le strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive (così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008 – Tab 4.1.III), per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie.

**Tabella 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

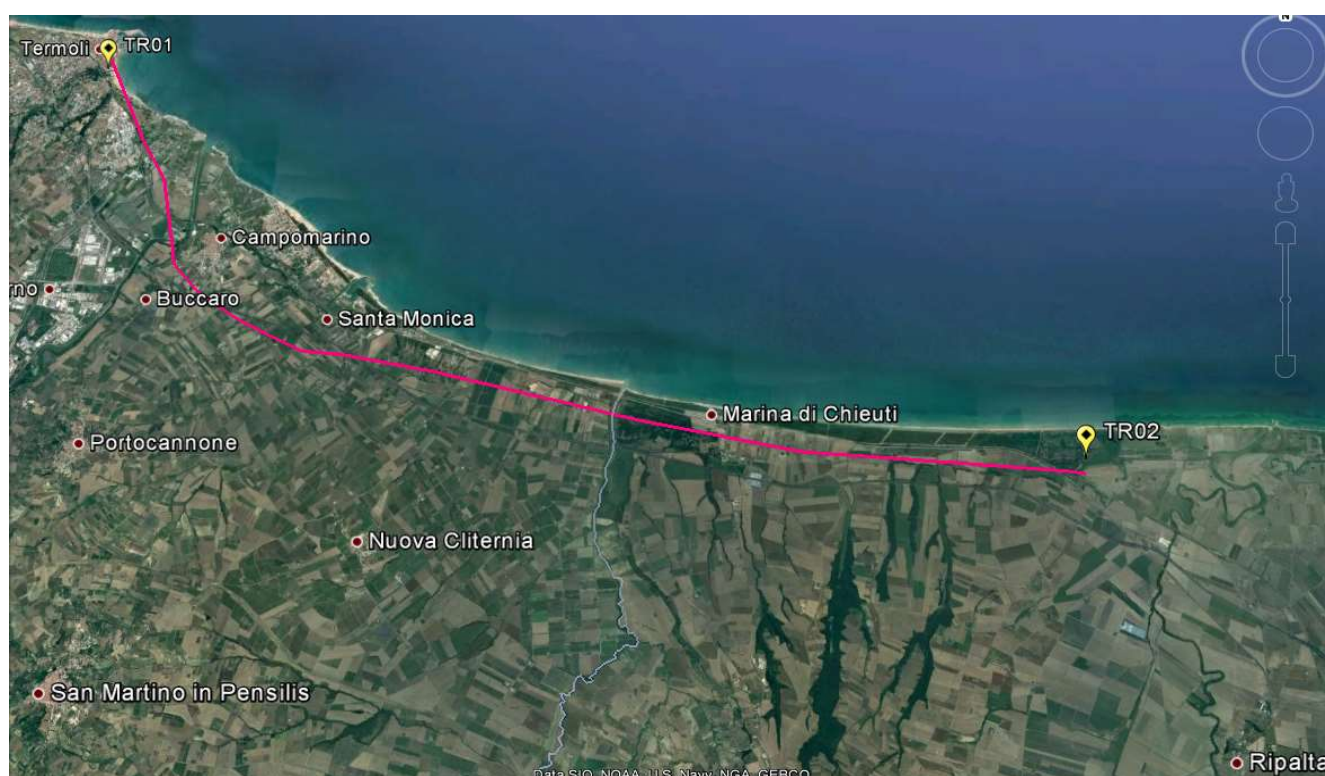
In definitiva, nel caso in esame, con riferimento alle indicazioni della tabella di cui in precedenza, si adotta il limite  **$w_1=0,20 \text{ mm}$**  sia per le parti in elevazione che per quelle in fondazione, in quanto in entrambi i casi trattasi di strutture a permanente contatto col terreno.

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>9</b>

## 6. CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo si riporta la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del D.M. 14 gennaio 2008 nonché la valutazione delle sollecitazioni di verifica e di dimensionamento dei vari elementi strutturali secondo il criterio della Gerarchia delle Resistenze.

L'opera in questione rientra in particolare nell'ambito del Progetto di Raddoppio della tratta Ferroviaria "Linea Pescara - Bari - Raddoppio Termoli - Lesina", che si sviluppa per circa 25 Km, attraversando il territorio di diverse località tra cui Termoli(CB), Campomarino(CB), Campomarino – Santa Monica (CB), Marina di Chieuti / Chieuti (FG), Serracapriola- Loc.SS16 (FG).



*Figura 1 – Configurazione planimetrica tracciato*

Alle opere si definisce una vita nominale  $V_N$  pari a 75 anni e una classe d'uso III a cui corrisponde il coefficiente  $C_u$  pari a 1.5 (§ 2.4.2, DM 14/01/2008). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a  $V_R = V_N \cdot C_u = 112.5$

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica,  $P_{VR}$ , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo  $V_R$  dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno  $T_R$  del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto,  $T_R$ , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale (Tabella 1 dell'allegato B del D.M. 14/01/2008):

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima
- $F_o$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T^*_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per le opere provvisorie di imbocco il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	10

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (DM 14/01/2008):

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

$S_s$  è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici  $F_0$  e  $a_g/g$  (Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008);

$S_T$  è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008).

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica sono riassunti nella seguente tabella:

LATITUDINE	41.921172
LONGITUDINE	15.105431
COMUNE	CAMPOMARINO
PROVINCIA	CAMPOBASSO
STATO LIMITE	SLV
CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	C
CATEGORIA TOPOGRAFICA	T1
VITA NOMINALE $V_N$	75
CLASSE D'USO	C III
COEFFICIENTE D'USO $C_U$	1.5
VITA DI RIFERIMENTO $V_R$	112.5
$a_g$ [g]	0.215
$F_0$	2.505
$T_c^*$ [s]	0.356
$S_s$	1.377
$C_c$	1.476
$S_T$	1.000
<b>PARAMETRI DIPENDENTI</b>	
S	1.377
$T_B$	0.175
$T_C$	0.526
$T_D$	2.460

Tabella 1 – Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	11

## 7. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/09.

### 7.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le analisi finalizzate al dimensionamento delle strutture sono state condotte con il programma di calcolo "Midas GEN" prodotto dalla MIDAS S.r.l. di MIDASoft, Inc. con sede al 450 7th Ave suite 2505, New York, NY 10123, United States.

La struttura viene discretizzata in elementi tipo trave. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite delle molle alla Winkler non reagenti a trazione.

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi. Il terreno di fondazione viene schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno e all'area di influenza della molla stessa. A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento,  $K_e$ , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura  $K$ . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali  $p$ . Indicando con  $u$  il vettore degli spostamenti nodali (incogniti), la relazione risolutiva può essere scritta nella forma

$$K u = p$$

Da questa equazione matriciale si ricavano gli spostamenti incogniti  $u$

$$u = K^{-1} p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nei vari elementi.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

L'analisi che viene effettuata è un'analisi al passo per tener conto delle molle che devono essere eliminate (molle in trazione). L'analisi fornisce i risultati in termini di spostamenti. Dagli spostamenti si risale alle sollecitazioni nodali ed alle pressioni sul terreno.

Il calcolo degli scatolari viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle pressioni in calotta (per gli scatolari ricoperti da terreno);
- Calcolo della spinta del terreno;
- Calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali (fondazione, piedritti e traverso);
- Progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	12

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

I pesi dei materiali dei materiali da costruzione e del terreno sono riportati nella tabella sottostante

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]
Calcestruzzo armato	25,00	-
Ballast + armamento	18,00	-
Sub ballast	19,00	-
Supercompattato	20,00	-
Strato protettivo	24,00	-
Terreno di ricoprimento (strato 0)	20,00	38
Terreno a ridosso dei piedritti (strato 1)	20,00	38
Terreno di fondazione (strato 2)	19,00	26

## 7.2 AZIONI

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno sono le seguenti:

CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	
1	Peso Proprio
2	Spinta terreno sinistra
3	Spinta terreno destra
4	Sisma sinistra
5	Sisma destra

Nel seguito si andranno ad esporre in dettaglio, le valutazioni di calcolo effettuate per ciascuna delle condizioni citate.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L. MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
	<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
<b>LI0B</b>		<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>13</b>

### 7.2.1 Peso proprio (DEAD)

Il peso proprio delle strutture è determinato automaticamente dal programma di calcolo, avendo considerato un peso dell'unità di volume del c.a.  $\gamma_{cls} = 25 \text{ KN/m}^3$ .

Peso soletta inferiore	$P_{si}$	=	<b>12.50</b>	kN/m <sup>2</sup>
Peso piedritti	$P_p$	=	<b>12.50</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 7.2.2 Spinta del terreno (SPTSX e SPTDX)

Per la valutazione delle Spinte del terreno sui piedritti, in considerazione della ridotta capacità de formativa dell'opera, si è assunto che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo. L'espressione della spinta esercitata da un terrapieno, di peso di volume  $\gamma$ , su una parete di altezza H, risulta espressa secondo la teoria di Coulomb dalla seguente relazione (per terreno incoerente) :

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0$$

Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione:

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

Dove  $\phi$  rappresenta l'angolo d'attrito interno del terreno di rinfiacco.

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono:

$$\sigma = \gamma \cdot z \cdot K_0 + p_v \cdot K_0$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_0 + p_v \cdot K_0 \cdot H$$

dove  $p_v$  è la pressione verticale agente in corrispondenza della calotta.

Coefficiente di spinta a riposo	$K_0$	=	0.384
Pressione estradosso soletta superiore	$p_1$	=	- kN/m <sup>2</sup>
Pressione in asse soletta superiore	$p_2$	=	- kN/m <sup>2</sup>
Pressione in asse soletta inferiore	$p_3$	=	<b>54.00</b> kN/m <sup>2</sup>
Pressione intradosso soletta inferiore	$p_4$	=	61.44 kN/m <sup>2</sup>

In più viene aggiunto, come carico concentrato nei nodi di estremità dei piedritti, la parte di spinta del terreno esercitata su metà spessore della soletta superiore e su metà spessore della soletta inferiore.

Spinta semispessore soletta superiore	$P_s$	=	- kN/m
Spinta semispessore soletta inferiore	$P_i$	=	<b>15.36</b> kN/m

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	14

### 7.2.3 Azioni Sismiche (Sisma H, Sisma V, SPSPDX/SX)

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ .

#### Forze d'inerzia

Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

$$\text{Forza sismica orizzontale} \quad F_h = k_h \cdot W$$

$$\text{Forza sismica verticale} \quad F_v = k_v \cdot W$$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = a_{max} / g$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Nel caso specifico, in accordo a quanto già riportato al paragrafo 6 risulta:

Condizione	Cat. di sottosuolo	$a_g/g$	$S=S_s S_t$	$a_{max}/g$	$\beta_m$ (-)	$K_h$ (-)
SLV	C	0.215	1.377	0.296	1.000	0.296

dove:

- $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- $\beta$  è il coefficiente di spostamento (Figura 7.11.3 del DM 14/01/2008).

Nel caso in esame si assume  $\beta=1$  in accordo alla teoria di Wood.

#### Spinta sismica terreno

In corrispondenza di un evento sismico è necessario tener conto dell'amplificazione/deamplificazione delle spinte del terreno a monte e a valle dell'opera. Si trascurano gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la struttura di sostegno (DM 14/01/2008).

Le spinte del terreno in fase sismica sono state determinate con la **teoria di Wood**, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza  $H$  viene determinata con la seguente espressione:  $\Delta S_E = K_h \cdot \gamma \cdot H^2$

L'effetto del sisma è ottenuto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Wood, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera. Utilizzando la formulazione seguente:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \gamma \cdot H^2 = E$$

Dove  $\gamma$  rappresenta il peso del volume di terreno che interagisce con l'opera,  $H$  rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso),  $S$  è il coeff. di amplificazione locale mentre  $a_g$  è la PGA.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.215 g
$F_o$	2.505
$T_C$	0.356 s
$S_s$	1.377
$C_C$	1.476
$S_T$	1.000
$q$	1.000

Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_s =$	1.377
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T =$	1.000
Accelerazione massima al suolo	$a_g =$	0.215 g
Accelerazione massima al suolo	$a_{max} =$	0.296 g
Coefficiente di riduzione	$\beta_m =$	1.000
Coefficiente di spinta sismica orizzontale	$k_h =$	0.296 g
Coefficiente di spinta sismica verticale	$k_v =$	0.148 g

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

Peso sismico dei piedritti  $G_{1,p} = 12.50 \text{ kN/m}^2$

### SismaH

Forza d'inerzia orizzontale sui piedritti  $F_{h,p} = 3.70 \text{ kN/m}^2$

La sovraspinta sismica del terreno è definita utilizzando la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza  $H$  è determinata con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = [a_{max} \cdot \gamma_r \cdot (H + h) \cdot H] \cdot b$$

avendo indicato con  $h$  lo spessore del ricoprimento sopra la soletta di copertura e con  $b$  la larghezza della striscia di carico.

### Spinta sismica terreno SPSPDX e SPSSX

Sovraspinta sismica del terrapieno agente sui piedritti esterni  $\Delta S_E = 82.27 \text{ kN}$

Sovraccarico sismico del terrapieno agente sui piedritti esterni  $\Delta p_E = 32.91 \text{ kN/m}^2$



MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	16

## 8. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche degli stati limite si riportano per comodità le combinazioni delle azioni riportate nella normativa ponti alla quale è possibile fare riferimento per la simbologia adottata:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite esercizi (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite esercizi (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli stati limite esercizi (SLE) a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

dove:

$$E = \pm 1,00 \cdot E_Y \pm 0,30 \cdot E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0,30 \cdot E_Y \pm 1,00 \cdot E_Z$$

Avendo indicato con  $E_Y$  e  $E_Z$  rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, non viene considerato tali carichi risultano agenti solo sullo scatolare e non interessano i muri d'ala

Nelle tabelle sopra riportate è indicato un coefficiente per gli effetti a sfavore di sicurezza e, tra parentesi, un coefficiente minore del precedente per gli effetti a favore di sicurezza.

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.	MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr <sub>1</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr <sub>2</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr <sub>3</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr <sub>4</sub>	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	F <sub>Wk</sub>	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T <sub>k</sub>	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 14/01/2008, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite ultimi e di esercizio in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

- combinazione fondamentale (SLU)
- combinazione di esercizio (SLE)
- combinazione sismica (SLV): il coefficiente di combinazione per il carico variabile  $Q_1$  è pari a 0

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L.		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	18

Ai fini della scelta dei coefficienti parziali da applicare alle azioni ( $\gamma$ ), la norma definisce inoltre, per il caso specifico delle opere di sostegno, due possibili approcci progettuali ovvero:

**Approccio 1:**

Fase Statica: A1+M1+R1 (STR – Combinazione per le verifiche strutturali)

A2+M2+R1 (GEO – Combinazione per le verifiche geotecniche)

Fase Sismica: 1+M1+R1 (EQK-STR – Combinazione per le verifiche strutturali in fase sismica)

1+M2+R1 (EQK-GEO – Combinazione per le verifiche geotecniche in fase sismica)

**Approccio 2:**

Fase Statica: A1+M1+R3 (STR / GEO – Combinazione per le verifiche strutturali e geotecniche)

Fase Sismica: 1+M1+R3 (EQK- STR/GEO – Combinazione per le verifiche strutturali e geotecniche in fase sismica)

essendo:

Nel caso in esame si opererà utilizzando l'APPROCCIO 2.

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	19

Di seguito un riepilogo delle Combinazioni di Calcolo considerate nelle analisi:

Si riportano di seguito le combinazioni di carico allo SLU ritenute più significative.

	SLU1	SLU2	SLU3	SLU4
DEAD	1,35	1,35	1,35	1,00
SPTSX	1,00	1,00	1,35	1,00
SPTDX	1,00	1,35	1,35	1,35

	SH1	SH2
DEAD	1,00	1,00
SPTSX	1,00	1,00
SPTDX	1,00	1,00
SismaH	1,00	1,00
SPSDX	0,00	1,00
SPSSX	1,00	0,00

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

	SLE1	SLE2
DEAD	1,00	1,00
SPTSX	1,00	0,80
SPTDX	0,80	1,00

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; S.R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>20</b>

## 9. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state desunte tenendo conto di quanto risultante nel Profilo Geotecnico dell'opera, tenendo conto della Caratterizzazione dei Litotipi riportata nella Relazione Geotecnica Generale.

A tal riguardo, si riporta per chiarezza, uno stralcio del Profilo Geotecnico riferito all'area interessata dalla realizzazione dell'opere oggetto di dimensionamento nell'ambito del presente documento:

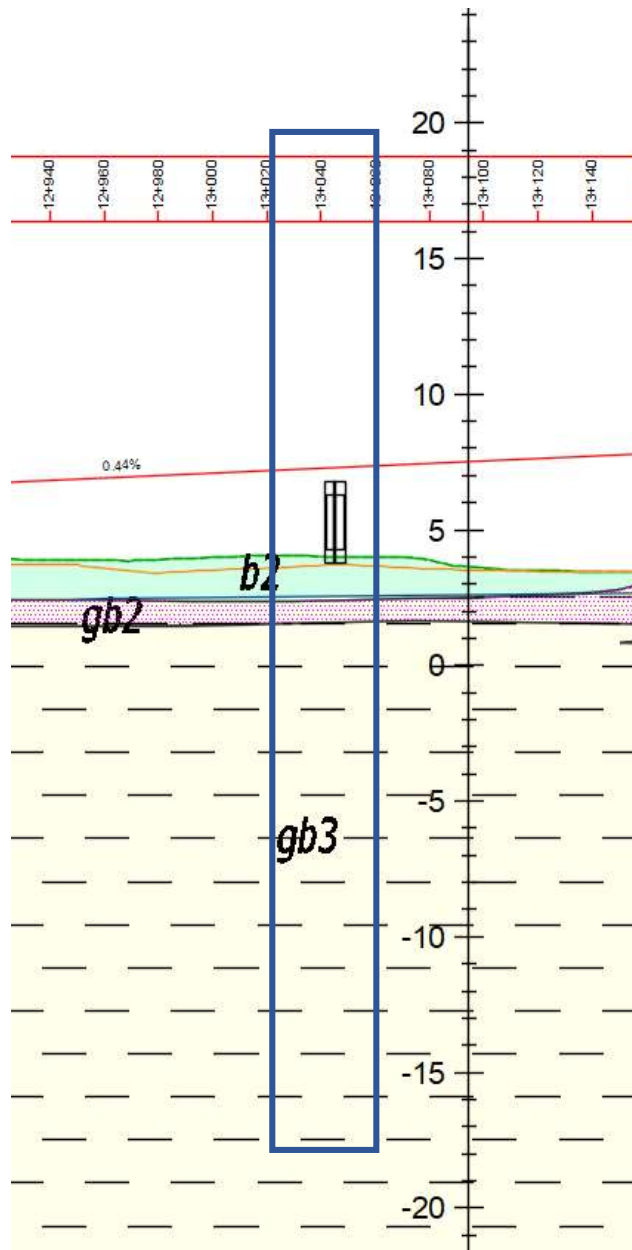


Fig. 4 – Stralcio del profilo geotecnico

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	58	00	002	A	21

### Unità ga3 – Argille limose (Depositi costieri attuali e recenti)

Si tratta di argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi. Si rinvencono lungo il tracciato al di sotto del terreno di riporto e/o delle coltri eluvio colluviali e delle alluvioni con spessori di 1-30 m.

$\gamma = 19.5 \div 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 23 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 40 \div 350 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$N_{spt} = 8 \div R$	numero di colpi da prova SPT
$V_s = 190 \div 360 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 70 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 180 \div 650 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

In merito al terreno di cui è costituito il riporto ferroviario, si riportano le seguenti caratteristiche desunte dal manuale di progettazione delle opere civili "RFI DTC SICS MA IFS 001 B del 22/12/2017".

$\gamma_{nat} = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 38^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$\nu = 0.20$	coefficiente di Poisson
$E_o = 300 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Il terreno di rinfiacco si considera cautelativamente il terreno in sito assumendo  $c'=0$  in virtù del rimaneggiamento a cui è sottoposto il terreno nelle operazioni di scavo e ritombamento.

La quota di falda coincide con il piano di posa della fondazione. Pertanto, il regime di pressioni non interagisce con l'opera.

In fase di analisi è stato dunque considerato il seguente modello geotecnico:

Terreno	Litotipo	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$E_o$
		( $\text{kN/m}^3$ )	( $^\circ$ )	( $\text{kPa}$ )	( $\text{kPa}$ )	( $\text{MPa}$ )
Terreno di Ricoprimento	Rilevato ferroviario	20	38	0	-	350
Terreno di Rinfiacco	terreno in sito: ga3	20	26	0	195	300
Terreno di Fondazione	ga3	20	26	0	195	300

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	22

## 9.1 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Per le analisi d'interazione struttura-terreno in direzione verticale, il coefficiente di sottofondo alla Winkler viene determinato con la seguente relazione:

$$k_w = \frac{E}{(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t}$$

dove:

E = modulo di deformazione elastico del terreno;

$\nu$  = coefficiente di Poisson = 0.3;

B = larghezza della fondazione.

$c_t$  = fattore di forma, coefficiente adimensionale ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (vedasi tabella seguente).

Fondazione Rigida	$c_t$
- rettangolare con $L/B \leq 10$	$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$
- rettangolare con $L/B > 10$	$c_t = 2 + 0.0089 (L/B)$
dove L è il lato maggiore della fondazione.	

Sulla base della geometria della fondazione e delle condizioni geotecniche locali verrà valutato il modulo di deformazione elastico per il calcolo dei coefficienti di sottofondo.

In particolare il modulo di deformazione elastico potrà essere determinato dal modulo di deformazione elastico iniziale ( $E_0$ ) come  $E = E_0 / (5 \div 10)$ .

Di seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, sulla scorta del valore di progetto di **E** attribuito allo strato di fondazione, avendo considerato una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaboranti:

Modulo elastico medio del terreno di fondazione	E =	60,000	kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson del terreno	$\nu$ =	0.25	
Lato minore della fondazione	B =	4.45	m
Lato maggiore della fondazione	L =	7.50	m
Rapporto tra lato maggiore lato minore della fondazione	L/B =	1.69	m
Coefficiente adimensionale di forma	$c_t$ =	1.13	
Modulo di reazione verticale del terreno	$K_w$ =	12,707.80	kN/m <sup>3</sup>

Cautelativamente si limita, ai fini del calcolo, il valore della costante di sottofondo a circa **12 700 kN/m<sup>3</sup>**.

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA		PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>

## 10. DEFINIZIONE E CRITERI DI CALCOLO GEOTECNICO

### 10.1 DEFINIZIONE DEL CARICO LIMITE PER FONDAZIONI DIRETTE

La verifica a carico limite della fondazione è stata eseguita in condizioni drenate ed in termini di tensioni effettive, facendo riferimento alla nota formula trinomia di Terzaghi.

$$q_{lim} = \zeta_q \cdot \xi_q \cdot N_q \cdot \gamma_1 \cdot D + \zeta_c \cdot \xi_c \cdot N_c \cdot c + \zeta_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot \gamma_2 \cdot \frac{B}{2}$$

in cui i parametri indicati rappresentano:

- $\gamma_1$  = il peso dell'unità di volume del terreno presente al di sopra del piano di posa della fondazione;
- $\gamma_2$  = il peso dell'unità di volume del terreno presente al di sotto del piano di posa della fondazione. In questo caso  $\gamma_1$  coincide con  $\gamma_2$ ;
- $D$  = la profondità del piano di posa della fondazione;
- $B$  = la larghezza della fondazione;
- $N_q, N_c, N_\gamma$  = coefficienti tabellati in funzione dell'angolo di attrito del terreno presente al di sotto del piano di posa;
- $\zeta_q, \zeta_c, \zeta_\gamma$  = coefficienti correttivi di forma; essi dipendono dalla lunghezza  $L$  e dalla larghezza  $B$  della fondazione;
- $\xi_q, \xi_c, \xi_\gamma$  = coefficienti correttivi di inclinazione del carico; essi dipendono dalla lunghezza  $L$  e dalla larghezza  $B$  della fondazione, dall'entità dei carichi verticale ed orizzontale agenti, dalla coesione e dall'angolo di attrito del terreno presente al di sotto del piano di posa;

In particolare, per la determinazione del carico verticale di esercizio, si pone:

$$q_v = [N + P_{trave}] / (L \times B)$$

dove

- $N$  = Risultante degli sforzi normali agenti sulla fondazione nella condizione di carico considerata;
- $P_{trave}$  = Peso proprio della fondazione;
- $L$  = Lunghezza della di fondazione;
- $B$  = Larghezza della fondazione.

Per la determinazione del carico orizzontale di esercizio, pari a:

$$q_h = (T)/(L \times B)$$

in cui:

- $T$  = Risultante degli sforzi di taglio agenti sulla fondazione nella condizione di carico considerata;
- $L$  = Lunghezza della fondazione;
- $B$  = Larghezza della fondazione

Per tener conto dell'eccentricità del carico viene considerata, ai fini del calcolo, una fondazione di dimensioni ridotte pari a:

$$L' = (L - 2 \cdot e_L)$$

$$B' = (B - 2 \cdot e_B)$$

con  $e_L$  ed  $e_B$  eccentricità del carico nelle due direzioni.

Nel seguito della presente, si riporta la determinazione del carico limite per la fondazione in c.a..



MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & R.L. MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
	<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
<b>LI0B</b>		<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	24

## 10.2 DEFINIZIONE DEL CARICO LIMITE PER FONDAZIONI DIRETTE IN CONDIZIONI NON DRENATE

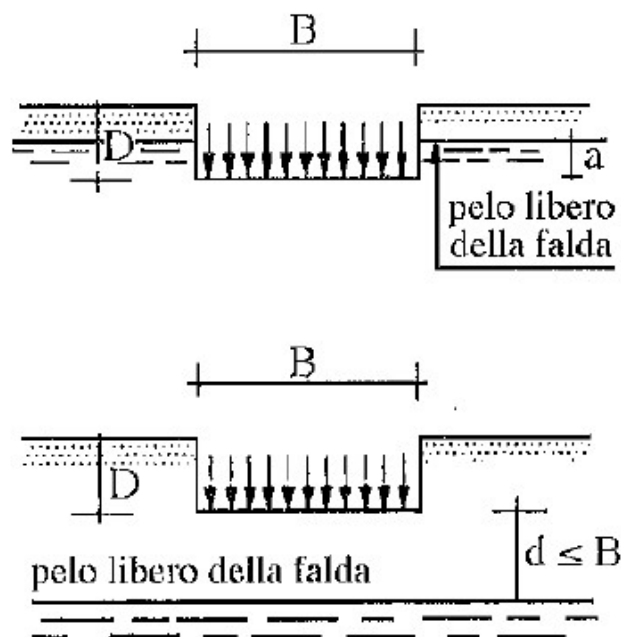
Per la verifica in condizioni non drenate, risulta più conveniente calcolare il carico limite in termini di tensioni totali, facendo riferimento alla nota formula di Terzaghi.

$$q_{lim} = N_q [\gamma_1(D - a) + \gamma'_1 a] + N_c c' + N_\gamma \gamma'_2 \frac{B}{2} + \gamma_w a$$

in cui i parametri indicati rappresentano:

- $\gamma_1$  = il peso dell'unità di volume del terreno presente al di sopra del piano di posa della fondazione;
- $\gamma'_1$  = il peso dell'unità di volume saturo del terreno presente al di sopra del piano di posa della fondazione;
- $\gamma'_2$  = il peso dell'unità di volume saturo del terreno presente al di sotto del piano di posa della fondazione. In questo il valore di  $\gamma'_2$  dipenderà anche dalla posizione della falda ed andrà a specializzare l'espressione;
- $D$  = la profondità del piano di posa;
- $B$  = la larghezza della fondazione;
- $N_q, N_c, N_\gamma$  = coefficienti tabellati in funzione dell'angolo di attrito del terreno presente al di sotto del piano di posa;

La quale viene specializzata a seconda della posizione e influenza della falda



Nel seguito della presente, si riporta la determinazione del carico limite.

## 10.3 CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DEL COMPLESSO TERRENO - FONDAZIONE

In generale, per ogni stato limite deve essere verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  rappresenta l'insieme amplificato delle azioni agenti, ed  $R_d$  l'insieme delle resistenze, queste ultime corrette in funzione della tipologia del metodo di approccio al calcolo eseguito, della geometria del sistema e delle proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni in uso.

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>25</b>

Nel caso in oggetto, è necessario definire i diversi approcci progettuali in funzione del tipo di opera geotecnica interessata, trattandosi di opere fondazioni dirette.

A secondo dell'approccio perseguito, sarà necessario applicare dei coefficienti di sicurezza o amplificativi, a secondo si tratti del calcolo delle caratteristiche di resistenza o delle azioni agenti.

In particolare, in funzione del tipo di verifica da eseguire, avremo, per le azioni derivanti da carichi gravitazionali, i seguenti coefficienti parziali:

Carichi	Coefficiente parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	$\gamma_{G1}$	0.9÷1.1	1.0÷1.3	1.0
Perm. strutturali Non	$\gamma_{G2}$	0.0÷1.5	0.0÷1.5	0.0÷1.3
Variabili	$\gamma_{Q,i}$	0.0÷1.5	0.0÷1.5	0.0÷1.3

*Tabella n°2 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni*

Ai fini delle resistenze, in funzione del tipo di verifica da eseguire, il valore di progetto può ricavarsi in base alle indicazioni innanzi riportate.

Parametro	Parametro di riferimento	Coefficiente parziale $\gamma_M$	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza $\varphi'$	$\tan \gamma'_{\kappa}$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
Coazione efficace	$c'_{\kappa}$	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

*Tabella n°3 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni*

Dalla visura dei coefficienti ed ipotizzando di posizionare la quota di imposta delle fondazioni circa pari a quella del piano di campagna, è possibile definire le caratteristiche meccaniche del terreno in funzione del tipo di approccio. In particolare, avremo secondo l'approccio A1+M1+R3:

Peso per unità di volume	$\gamma_t = 20.0 \text{ kN/m}^3$
Coazione	$c' = 0 \text{ kPa}$
Angolo di attrito	$\varphi = 26.00^\circ$
Resistenza al taglio in condizioni non drenate	$c_u = 195 \text{ kPa}$

Relativamente alla definizione dei coefficienti di resistenza **R**, la norma rimanda alle diverse tipologie di opere geotecniche, secondo quanto riportato nel seguito della presente.

#### 10.4 FONDAZIONI DIRETTE IN C.A.

Relativamente alle opere di fondazione dirette, la normativa cogente indica, per le verifiche relative al complesso terreno – fondazione, due differenti approcci progettuali: il primo definito per le verifiche agli SLU di tipo geotecnica (GEO) mentre un secondo approccio per le verifiche di natura strutturale (STR).

Trattandosi di opere di fondazione dirette, dopo aver determinato e corretto i diversi parametri geotecnici caratteristici del sottosuolo, ed a seguito della determinazione del carico limite della fondazione,

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; S.R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	26

si applica, ai fini della verifica, un ulteriore coefficiente di sicurezza, funzione della metodologia di analisi e calcolo perseguita e del tipo di verifica condotta, secondo le indicazioni contenute nella tabella n°4.

Verifica	Coefficiente parziale R1	Coefficiente parziale R2	Coefficiente parziale R3
Capacità portante	$\gamma_R = 1.00$	$\gamma_R = 1.80$	$\gamma_R = 2.30$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.00$	$\gamma_R = 1.10$	$\gamma_R = 1.10$

Tabella n°4 – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi per fondazioni superficiali

Le verifiche, riportate nel seguito della presente, saranno effettuate nei confronti dei seguenti stati limite e con gli approcci metodologici di fianco riportati.

SLU di tipo Geotecnico – Strutturale – Approccio 2	
- STR1 – Verifica degli elementi di fondazione	<b>A1+M1+R3</b>
- STR2 – Verifica degli elementi di fondazione	<b>A1+M1+R3</b>
SLU di tipo Geotecnica – Approccio 2	
- GEO – Collasso per carico limite del complesso	<b>A1+M1+R3</b>
- GEO – Collasso per scorrimento sul piano di posa	<b>A1+M1+R3</b>
- GEO – Stabilità globale della struttura	<b>A1+M1+R3</b>
SLE di tipo Geotecnico – Approccio 1	
- SLD – Stato limite di danno	<b>A1+M1+R1</b>

Relativamente alle verifiche di resistenza e di esercizio relative agli elementi costituenti il sistema fondale, si rimanda al seguito della presente.

## 10.5 CALCOLO DEL CARICO LIMITE DELLE FONDAZIONI

Sulla scorta delle considerazioni succitate, si riporta di seguito il calcolo del carico limite per la fondazioni diretta del monolite in base alla definizione in precedenza riportata, assumendo ai fini dei calcoli i parametri caratteristici addietro riportati.

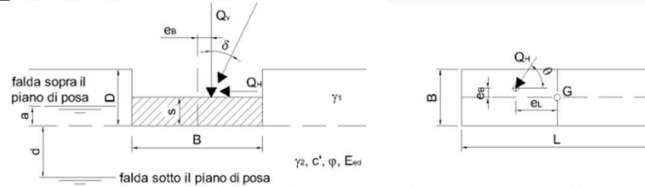
MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>27</b>

### 10.5.1 Condizione non drenata

#### CARICO LIMITE DI FONDAZIONI DIRETTE

##### GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Geometria della fondazione					Geometria del sito			
B	L	s	e <sub>B</sub>	e <sub>L</sub>	D	ω	ε	Muro di sostegno?
m	m	m	m	m	m	°	°	
4.25	7.50	0.00	0.00	0.00	1.53	0	0	no
Posizione della falda					a	d		
					m	m		
Sotto il piano di posa (d<B e a=0)					0.00	0.00		
Caratteristiche fisiche dei terreni					Caratteristiche meccaniche terreni			
γ <sub>1</sub>	γ <sub>1sat</sub>	γ <sub>w</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>2sat</sub>	c'	c <sub>u</sub>	φ'	E <sub>ed</sub>
kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	°	MPa
19	20	10	19	20	0.00	195.0	0.00	60
Forma della fondazione					Condizioni			
Rettangolo(B<L')					Non drenate			



##### DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO DI VERIFICA E DEI CARICHI (NTC 2008)

Combinazione	Componenti e direzione dei carichi				θ = angolo rispetto a L Se Q <sub>v</sub> //B θ = 90° Se Q <sub>v</sub> //L θ = 0°		
	Q <sub>v</sub>	Q <sub>H</sub>	δ	θ			
	kN	kN	°	°			
Appr.2-A1+M1+R3	0	0	0.0	0			
Caratteristiche di calcolo dei terreni							
γ <sub>1</sub>	γ <sub>1sat</sub>	γ <sub>w</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>2sat</sub>	c'	c <sub>u</sub>	φ'
kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	°
19	20	10	19	20	0.00	195.00	0.0

##### VERIFICA DEL TIPO DI ROTTURA

G	σ	I <sub>r</sub>	I <sub>crit</sub>	Tipo di rottura: Generale
MPa	MPa			
-	-	-	-	

##### CALCOLO DEL CARICO LIMITE SECONDO TERZAGHI

$$Q_{lim} = \zeta_q \zeta_g \alpha_q \beta_q [\gamma_1 (D-a) + \gamma_{sat} a] + 5,14 \zeta_c \zeta_e \alpha_c \beta_c c_u + \gamma_{wa}$$

							B'	L'	
							m	m	
							4.25	7.50	
	Coefficienti di carico limite	Coefficienti di punzonamento	Coefficienti di forma	Coefficienti di inclinazione carichi	Coefficienti piano di posa	Coefficienti piano di campagna	Termini del trinomio e spinta idraulica		
	N	Ψ	ζ	ξ	α	β			
q	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	I° term.	30.6	
c	5.14	1.00	1.11	1.00	1.00	1.00	II° term.	1112.8	
γ	0.00	1.00	0.77	1.00	1.00	1.00	III° term.	0.0	
								<b>Spinta idraulica</b>	<b>15.3</b>

##### Verifica della capacità portante

Coeff. parz. di sicurezza γ <sub>R</sub>	2.30	
Carici Limite Q <sub>lim</sub> /γ <sub>R</sub>	<b>0.504</b>	MPa in cond. Non drenate

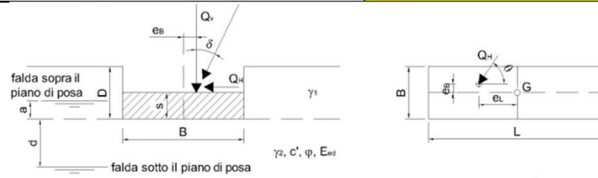
MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

### 10.5.2 Condizione drenata

#### CARICO LIMITE DI FONDAZIONI DIRETTE

##### GEOMETRIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Geometria della fondazione					Geometria del sito			
B	L	s	e <sub>B</sub>	e <sub>L</sub>	D	ω	ε	Muro di sostegno?
m	m	m	m	m	m	°	°	
4.25	7.50	0.00	0.00	0.00	1.53	0	0	no
Posizione della falda					a	d		
Assente (a=0 e d=0)					0.00	0.00		
Caratteristiche fisiche dei terreni					Caratteristiche meccaniche terreni			
γ <sub>1</sub>	γ <sub>1sat</sub>	γ <sub>w</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>2sat</sub>	c'	c <sub>u</sub>	φ'	E <sub>ed</sub>
kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	°	MPa
19	20	10	19	20	0.00	0.00	26.00	60
Forma della fondazione					Condizioni			
Rettangolo (B' < L')					Drenate			



##### DEFINIZIONE DELL'APPROCCIO DI VERIFICA E DEI CARICHI (NTC 2008)

Combinazione	Componenti e direzione dei carichi				θ = angolo rispetto a L Se Q <sub>v</sub> //B θ = 90° Se Q <sub>v</sub> //L θ = 0°		
	Q <sub>v</sub>	Q <sub>H</sub>	δ	θ			
	kN	kN	°	°			
Appr.2-A1+M1+R3	0	0	0.0	0			
Caratteristiche di calcolo dei terreni							
γ <sub>1</sub>	γ <sub>1sat</sub>	γ <sub>w</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>2sat</sub>	c'	c <sub>u</sub>	φ'
kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kPa	kPa	°
19	20	10	19	20	0.00	0.00	26.0

##### VERIFICA DEL TIPO DI ROTTURA

G	σ	I <sub>r</sub>	I <sub>crit</sub>	Tipo di rottura: Generale
MPa	MPa			
20.00	0.07	590.48	65.36	

##### CALCOLO DEL CARICO LIMITE SECONDO TERZAGHI

$$Q_{lim} = N_q \Psi_{q1} \zeta_{q1} \alpha_q \beta_q [\gamma_1 (D-a) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) a] + N_c \Psi_{c1} \zeta_{c1} \alpha_c \beta_c c' + N_{\gamma} \Psi_{\gamma1} \zeta_{\gamma1} \alpha_{\gamma} \beta_{\gamma} \gamma_2 (B'/2) + \gamma_w a$$

	Coeff. di carico limite	Coeff. di punzonamento	Coeff. di forma	Coeff. di inclinazione carichi	Coeff. di piano di posa	Coeff. di piano di campagna	B'	L'	Termini del trinomio e spinta idraulica
							m	m	
							4.25	7.50	
	N	Ψ	ζ	ξ	α	β			
q	11.85	1.00	1.28	1.00	1.00	1.00	I° term.		439.8 kPa
c	22.25	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00	II° term.		0.0 kPa
γ	12.54	1.00	0.77	1.00	1.00	1.00	III° term.		391.5 kPa
							Spinta idraulica		0.0 kPa

##### Verifica della capacità portante

Coeff. parz. di sicurezza γ<sub>R</sub> 2.30

Carici Limite Q<sub>lim</sub>/γ<sub>R</sub> 0.361

MPa in cond. Drenate

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	29

## 11. VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

### 11.1 VERIFICA SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio, il tasso di lavoro nei materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato.

#### 11.1.1 Verifica alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento quelli previsti da manuale di progettazione [N.8].

#### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- Per combinazioni di carico caratteristica (rara):  $\sigma_{c,lim} < 0,55 \cdot f_{ck}$ ;
- Per combinazioni di carico quasi permanente:  $\sigma_{c,lim} < 0,40 \cdot f_{ck}$ ;

#### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie deve essere rispettato il seguente limite:  $\sigma_{s,lim} < 0,75 \cdot f_{yk}$ .

#### 11.1.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio è possibile definire l'apertura limite delle fessure secondo il prospetto seguente:

Tabella 1. Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione.

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_{d,lim}$	Stato limite	$w_{d,lim}$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

risultando:

$$-w_1=0,2 \text{ mm};$$

$$-w_2=0,3 \text{ mm};$$

$$-w_3=0,4 \text{ mm}.$$

Per le verifiche a fessurazione del calcestruzzo armato si adotta la classe di esposizione **XC4** ed una tipologia di armatura poco sensibile. Tale classe di esposizione rientra nelle condizioni ambientali aggressive, come desumibile dalla tabella 4.1.III del D.M. 14/01/2008.

Alle prescrizioni normative presenti nelle NTC si sostituiscono nel caso specifico quelle fornite dal manuale di progettazione opere civili RFI al §2.5.1.8.3.2.4 secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del D.M. 14/01/2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0,2 \text{ mm (combinazione di carico caratteristica)}$$

## 11.2 VERIFICA SLU

### 11.2.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC08, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali.

La verifica delle sezioni viene eseguita secondo il metodo degli stati limite basato sulle seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Calcestruzzo non resistente a trazione;
- Perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo.

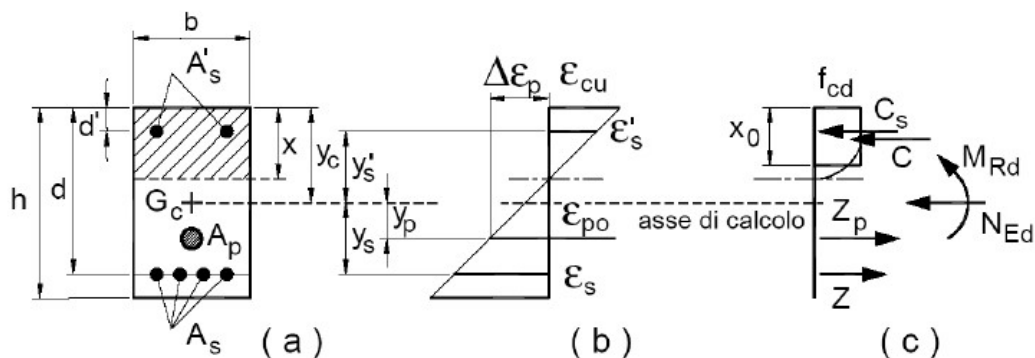


Fig. 5 – Schema per la valutazione della capacità resistente di una sezione presso-inflessa

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

- $M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;
- $N_{Ed}$  è il valore di calcolo della compressione assiale (sforzo normale) dell'azione;
- $M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione

### 11.2.2 Taglio

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

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura a sezione rettangolare priva di specifiche armature trasversali risulta pari a:

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	58	00	002	A	31

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

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

e dove

- $d$  è l'altezza utile della sezione in [mm];  
 $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );  
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 \cdot f_{cd}$ );  
 $b_w$  è la larghezza minima della sezione in [mm]

#### 11.2.2.2 Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è pari al minimo tra la resistenza di calcolo a "taglio trazione"  $V_{Rsd}$  e la resistenza di calcolo a "taglio compressione"  $V_{Rcd}$ .

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

essendo  $\theta$  l'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento che deve soddisfare le seguenti limitazioni:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

e dove si è posto:

- $A_{sw}$  area dell'armatura trasversale;  
 $s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;  
 $\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;  
 $f'_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );
- |            |                                  |                                      |   |
|------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|
| $\alpha_c$ | coefficiente maggiorativo pari a | 1                                    | per membrature non compresse                    |
|            |                                  | $1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$             | per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$          |
|            |                                  | 1,25                                 | per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < 0,5 f_{cd}$ |
|            |                                  | $2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$ | per $0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < f_{cd}$      |



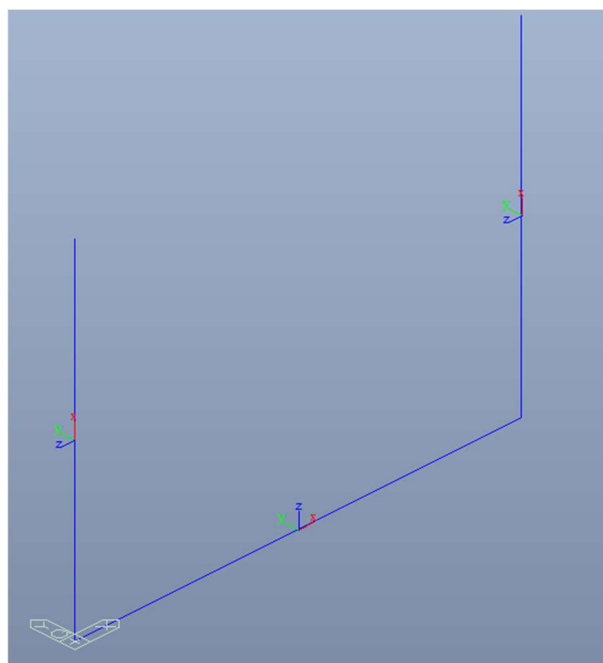
MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	32

## 12. RISULTATI, ANALISI E VERIFICHE

Di seguito si riporta una descrizione della modellazione effettuata con l'ausilio del software di calcolo MidasGEN prodotto dalla Midas Corporation, con una descrizione del modello strutturale implementato e con l'esposizione delle sollecitazioni di calcolo ottenute e risultati delle verifiche effettuate.

### 12.1 MODELLO DI CALCOLO

Di seguito di riporta una descrizione del modello geometrico/geotecnico considerato ai fini del dimensionamento:



*Fig. 6 – Stralcio Modello geometrico e sistema di riferimento*

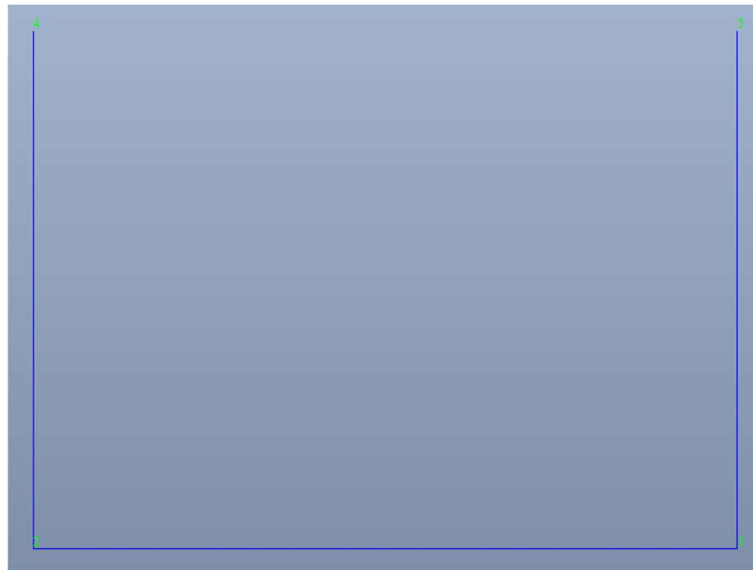
Lo scatolare in c.a. è stato modellato come una struttura a telaio.

In particolare, il modello spaziale è composto da elementi monodimensionali e bidimensionali con fondazioni insistenti su suolo elastico alla Winkler. La modellazione è stata eseguita con l'utilizzo di elementi monodimensionali (aste). Il programma realizza l'assemblaggio diretto della matrice di rigidità della struttura a partire dalle matrici dei singoli elementi strutturali. Il sistema lineare, completato con la scrittura del vettore dei carichi costituito dalle azioni esterne concentrate e/o distribuite viene quindi risolto con il metodo della diagonalizzazione, pervenendo alla determinazione delle azioni di Taglio, Momento e Sforzo normale per ciascun elemento strutturale e per ciascuna condizione di carico. Le azioni orizzontali da sisma vengono determinate automaticamente dal programma di calcolo in relazione ai carichi permanenti e variabili, secondo il relativo coefficiente di sovraccarico, realmente agenti su ciascun elemento strutturale, e riportate ai suoi nodi di estremità.

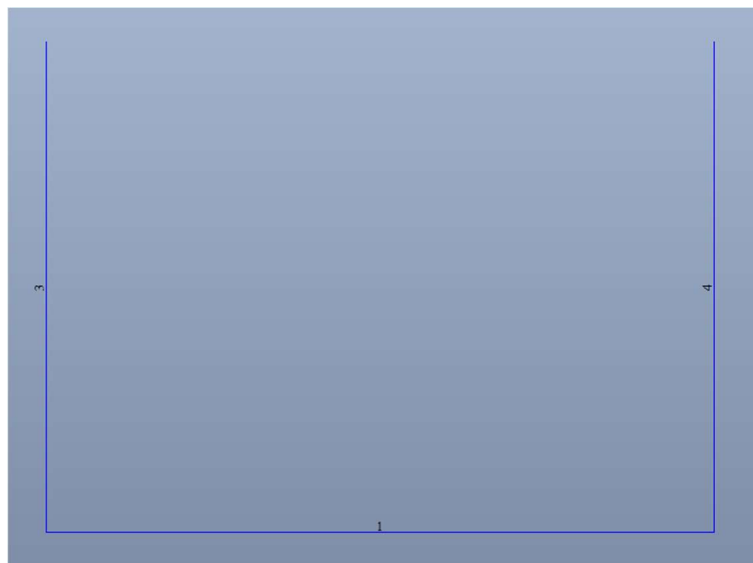
La verifica delle membrature, dell'intero corpo strutturale, viene effettuata, in automatico, dal programma di calcolo, utilizzando le formule della S.d.C. in conformità con le NTC 08.

Di seguito si riporta il modello unifilare con evidenza dei nodi e delle aste:

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>



*Fig. 7 – Numerazione nodi modello unifilare*



*Fig. 8 – Numerazione Frame modello unifilare*

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	34

### 12.1.1 Sollecitazioni di calcolo

**F<sub>x</sub>**: Axial force in the element's local x-direction

Note:

When axial force (F<sub>x</sub>) is selected, and "Show Truss Force" is checked, truss member forces are simultaneously produced. When axial force (F<sub>x</sub>) is selected and "Only Truss Force" is checked, only the truss member forces are generated.

**M<sub>x</sub>**: Torsional moment about the element's local x-axis

**F<sub>y</sub>**: Shear force in the element's local y-direction

**F<sub>z</sub>**: Shear force in the element's local z-direction

**F<sub>yz</sub>**: Shear forces, F<sub>y</sub> & F<sub>z</sub> displayed simultaneously

**M<sub>y</sub>**: Bending moment about the element's local y-axis

**M<sub>z</sub>**: Bending moment about the element's local z-axis

**M<sub>yz</sub>**: Bending moment, M<sub>y</sub> & M<sub>z</sub> displayed simultaneously

**M<sub>b</sub>**: Bi-moment

**M<sub>t</sub>**: Twisting moment

**M<sub>w</sub>**: Warping Moment

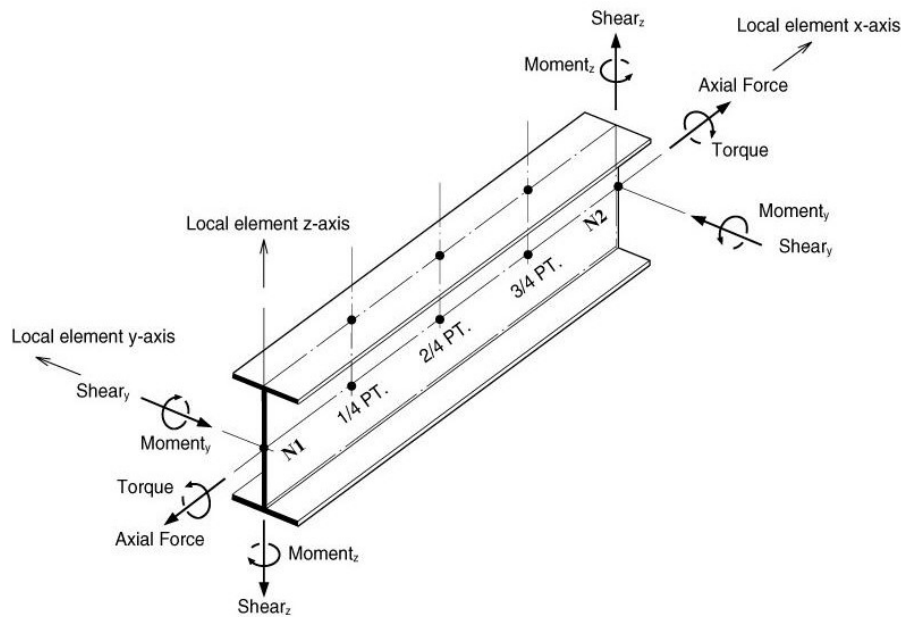
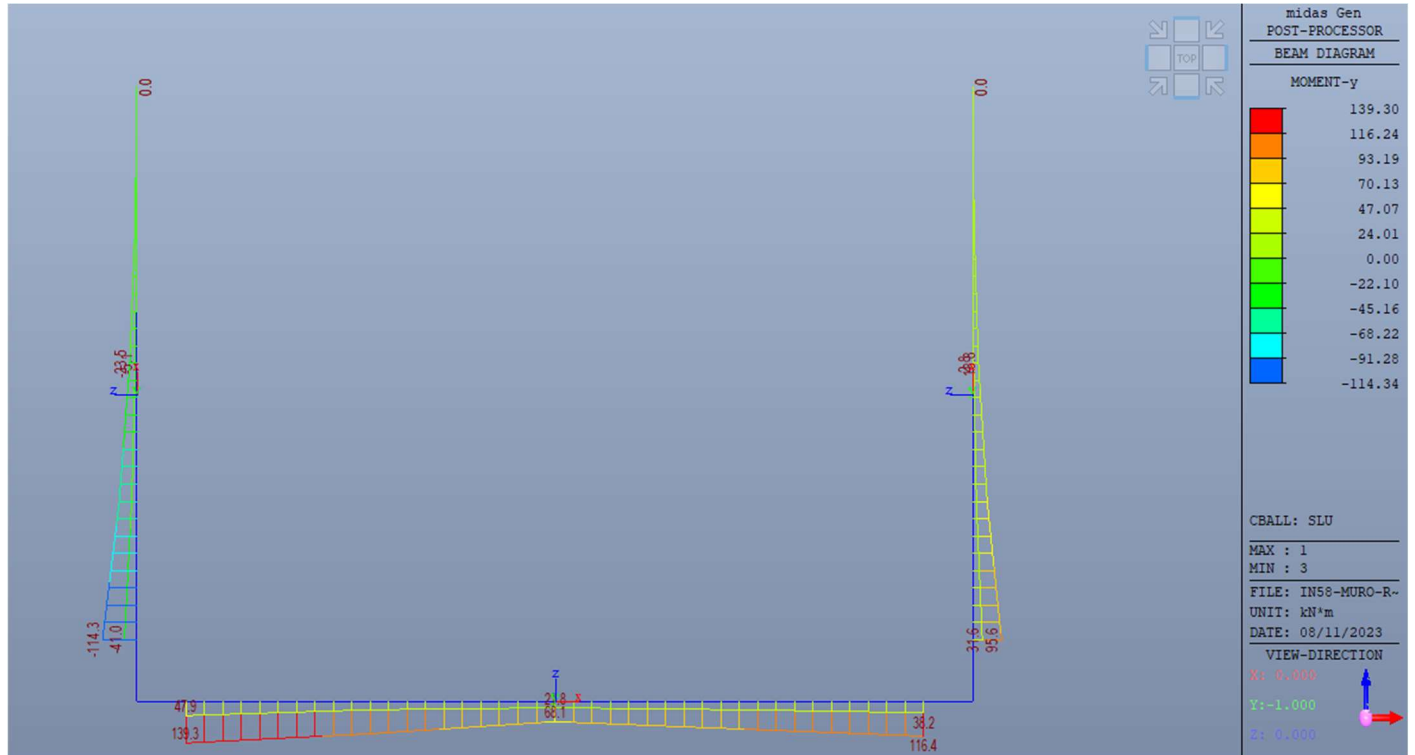


Fig. 7 - Convenzione dei segni del riferimento locale dell'elemento

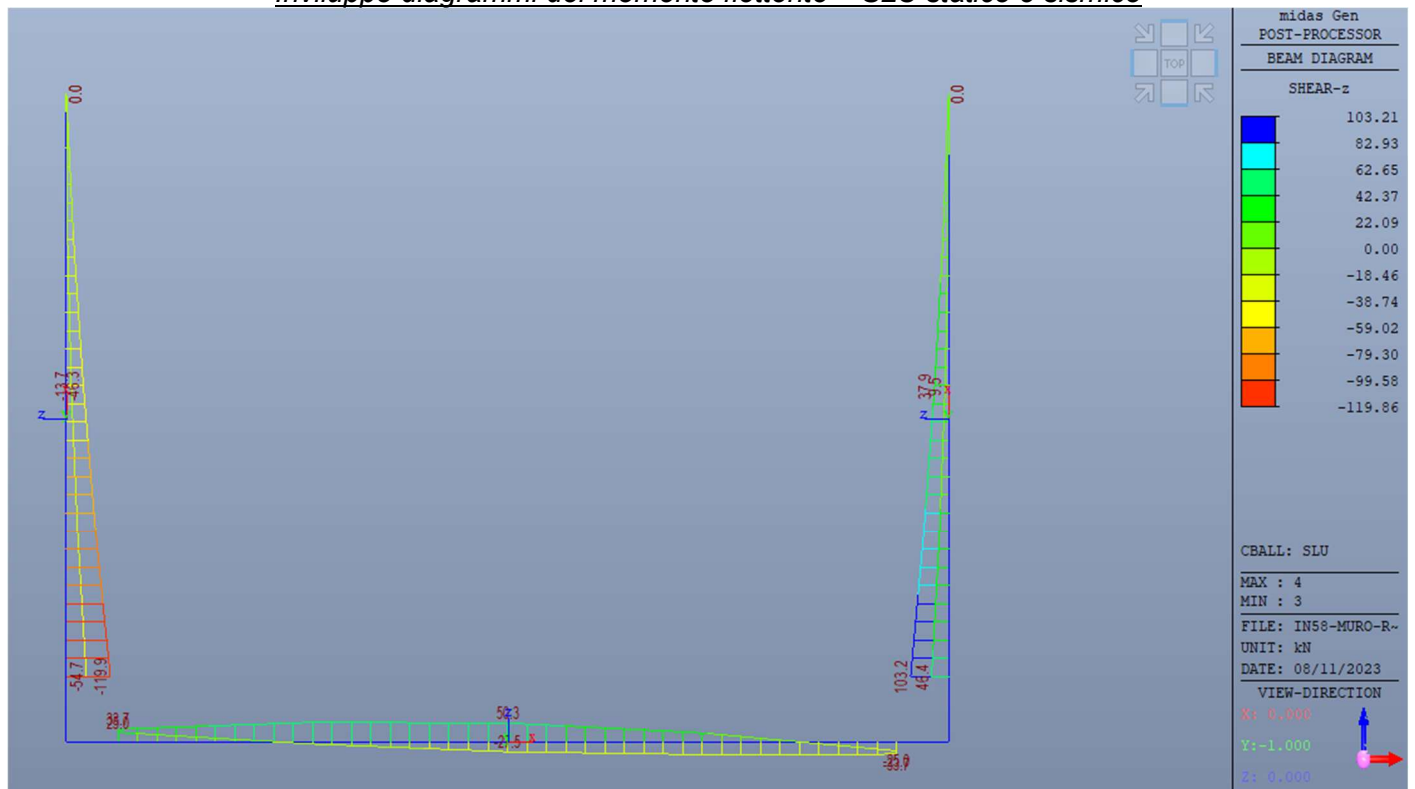
**IN58- Relazione di calcolo  
muri**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	58	00	002	A	35

**12.2 INVILUPPO DELLE SOLLECITAZIONI**



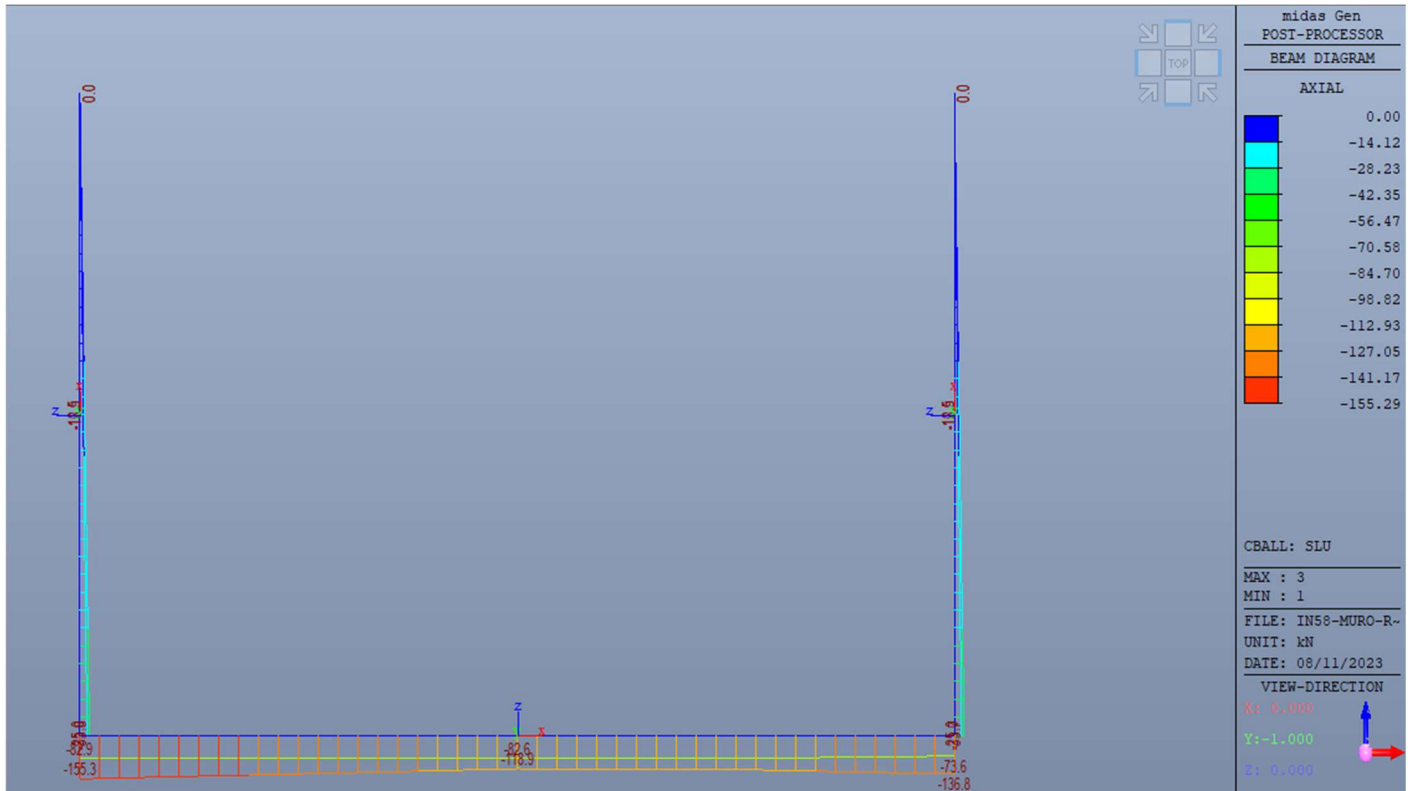
*Inviluppo diagrammi del momento flettente – SLU statico e sismico*



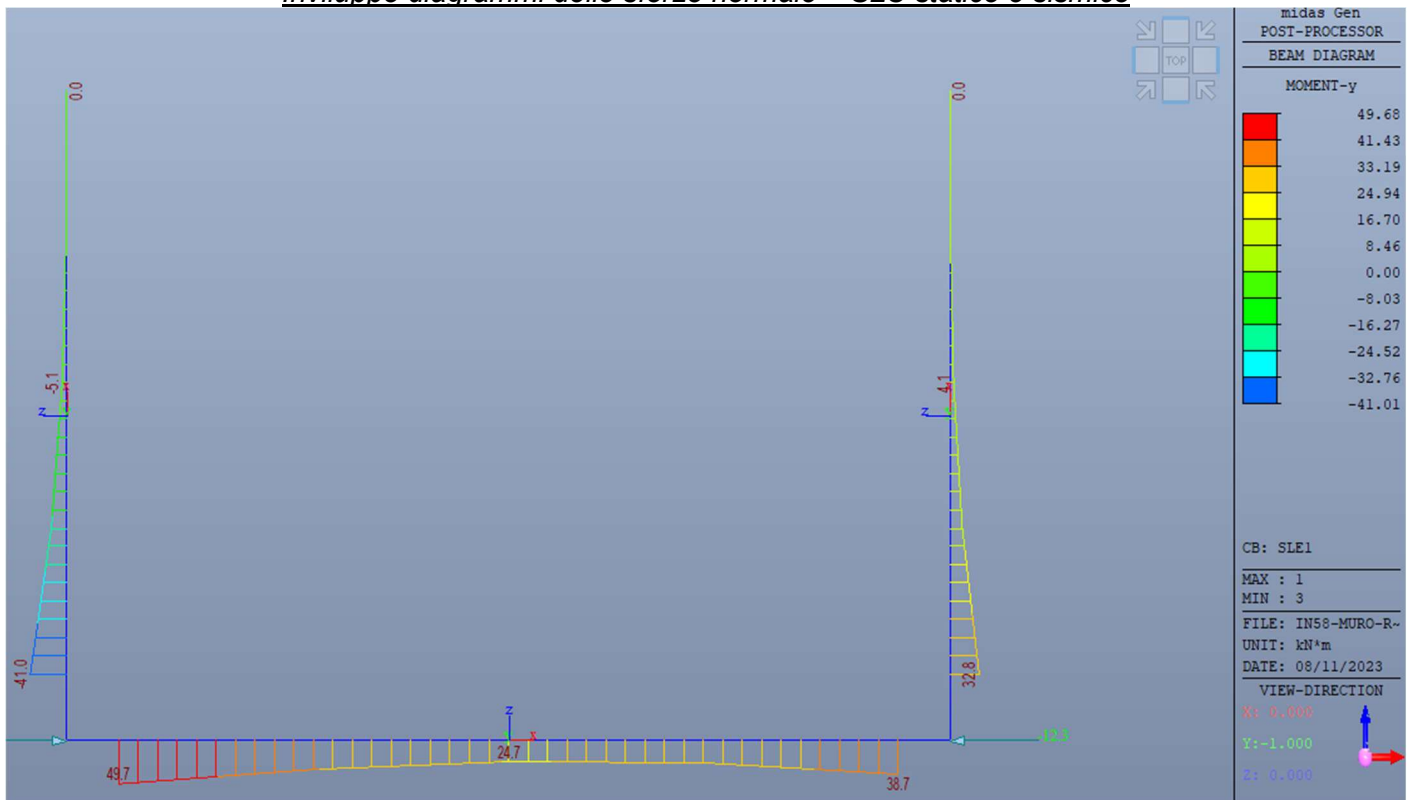
*Inviluppo diagrammi del taglio – SLU statico e sismico*

**IN58- Relazione di calcolo  
muri**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	58	00	002	A	36



*Inviluppo diagrammi dello sforzo normale – SLU statico e sismico*



*Inviluppo diagrammi del momento flettente – SLE*

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

### 12.3 TABELLE RIEPILOGO SOLLECITAZIONI

Elemento	Sezione	N [KN/m]	M <sub>yy</sub> [KNm/m]	M <sub>rdy</sub> [KNm/m]	Comb. LCB
Piedritti	Base	57.82	114.34	262.00	5
Soletta Fondazione	Campata	-	108.20	500.40	8
	Appoggio	-	139.30	500.40	8

*Tabella – Momenti massimi di progetto involuppo delle combinazioni SLU+sisma e relative resistenze*

Elemento		V <sub>xx</sub> [KN/m]	V <sub>rd,x</sub> [KN/m]
Piedritti	Base	119.85	1530
Soletta Fondazione		52.0	1980

*Tabella –Tagli di progetto involuppo delle combinazioni SLU+sisma e relative resistenze*

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>38</b>

### 13. VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU

La verifica viene eseguita prendendo in considerazione le sezioni più sollecitate degli elementi.

Per la disposizione della armature longitudinali negli elementi si considera, per convenzione, superiore l'armatura disposta sul lato esterno dello scatolare, inferiore l'armatura disposta sul lato interno del suddetto. Per il piedritto interno, si segue la medesima convenzione utilizzata per il piedritto esterno di sinistra: armature superiore e inferiore disposte rispettivamente sul lato sinistro e destro dell'elemento.

#### 13.1 PIEDRITTI

Si riporta di seguito la verifica a flessione e taglio dell'elemento.

##### Geometria sezione

Larghezza	b	=	100	cm
Altezza	h	=	50	cm
Copriferro	c	=	6	cm
Altezza utile	d=h-c	=	44	cm

##### Materiali

###### Calcestruzzo

Classe di resistenza		=	C32/40
Resistenza cubica caratteristica a compressione	$R_{ck}$	=	40 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{ck}$	=	33.20 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	$\gamma_c$	=	1,50
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	$\alpha_{cc}$	=	0,85
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd}$	=	18,81 N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica a compressione	$f_{cm}$	=	41.20 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico medio	$E_{cm}$	=	33.643 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm}$	=	3,10 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctfm}$	=	3,72 N/mm <sup>2</sup>

###### Barre di armatura

Tipologia		=	B450C
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk}$	=	450 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	$\gamma_s$	=	1,15
Resistenza di progetto a snervamento	$f_{yd}$	=	391 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico longitudinale	$E_s$	=	210.000 N/mm <sup>2</sup>

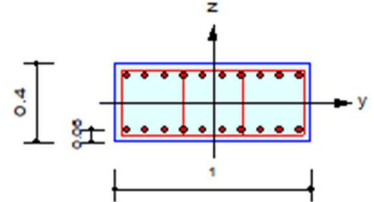
**IN58- Relazione di calcolo  
muri**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	58	00	002	A	39

**Verifica a Pressoflessione retta**

**1. Design Condition**

Design Code : Eurocode2:04 & NTC2008                      UNIT SYSTEM : kN, m  
 Member Number : 3  
 Material Data :  $f_{ck} = 30000$ ,  $f_{yk} = 450000$ ,  $f_{yw} = 450000$  KPa  
 Column Height : 2.5 m  
 Section Property : Piedritti (No : 2)  
 Rebar Pattern : 20 - 2 - P16                                       $A_{st} = 0.00402 \text{ m}^2$  ( $R_{host} = 0.010$ )

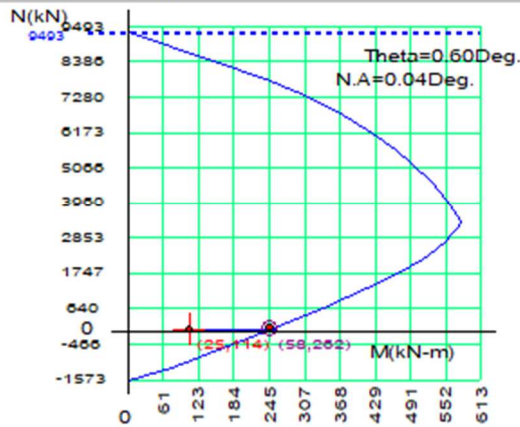


**2. Axial and Moments Capacity**

Load Combination : 5 (Pos : I)

Concentric Max. Axial Load	$N_{Rdmax}$	= 9492.64 kN	
Axial Load Ratio	$N_{Ed} / N_{Rd}$	= 25.0000 / 57.8282	= 0.432 < 1.000 ..... O.K
Moment Ratio	$M_{Ed} / M_{Rd}$	= 114.343 / 262.281	= 0.436 < 1.000 ..... O.K
	$M_{Edy} / M_{Rdy}$	= 114.337 / 262.267	= 0.436 < 1.000 ..... O.K
	$M_{Edz} / M_{Rdz}$	= 1.25000 / 2.76305	= 0.452 < 1.000 ..... O.K

**M-N Interaction Diagram**



$N_{Rd}$ (kN)	$M_{Rd}$ (kN-m)
9492.64	0.00
8014.97	253.73
6855.77	398.30
5776.05	494.20
4797.32	555.61
3975.85	594.09
3491.31	613.40
3251.20	606.21
2816.17	585.19
2252.82	543.91
1353.05	441.94
-175.20	228.28
-1573.04	0.00



MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	40

**Verifica a taglio (4.1.1.2.1.3.1/2 - D.M. 14-01-2008)**

**3. Shear Capacity**

[ END ]	y (LCB : 8, POS : J)	z (LCB : 5, POS : I)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	119.857 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	119.857 / 191.192 = 0.627
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 132.417 = 0.000	119.857 / 95.7913 = 1.251
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 1692.00 = 0.000	119.857 / 1530.00 = 0.078
Shear Ratio	0.000 < 1.000 ..... O.K	0.627 < 1.000 ..... O.K
Asw-H_use	0.00040 m <sup>2</sup> /m, 2-P8 @250	0.00080 m <sup>2</sup> /m, 4-P8 @250
[ MIDDLE ]	y (LCB : 8, POS : 1/2)	z (LCB : 5, POS : 1/2)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	79.6416 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 168.030 = 0.000	79.6416 / 189.598 = 0.420
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 132.417 = 0.000	79.6416 / 95.7913 = 0.831
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 1692.00 = 0.000	79.6416 / 1530.00 = 0.052
Shear Ratio	0.000 < 1.000 ..... O.K	0.420 < 1.000 ..... O.K
Asw-H_use	0.00040 m <sup>2</sup> /m, 2-P8 @250	0.00080 m <sup>2</sup> /m, 4-P8 @250

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.	MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	41

### 13.2 SOLETTA INFERIORE

Si riporta di seguito la verifica a flessione e taglio dell'elemento.

#### Geometria sezione

Larghezza	b	=	100	cm
Altezza	h	=	50	cm
Copriferro	c	=	6	cm
Altezza utile	d=h-c	=	44	cm

#### Materiali

##### Calcestruzzo

Classe di resistenza		=	C32/40
Resistenza cubica caratteristica a compressione	$R_{ck}$	=	40 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{ck}$	=	33.20 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	$\gamma_c$	=	1,50
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	$\alpha_{cc}$	=	0,85
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd}$	=	18,81 N/mm <sup>2</sup>
Valore medio della resistenza cilindrica a compressione	$f_{cm}$	=	41.20 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico medio	$E_{cm}$	=	33.643 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm}$	=	3,10 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm}$	=	3,72 N/mm <sup>2</sup>

##### Barre di armatura

Tipologia		=	B450C
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk}$	=	450 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	$\gamma_s$	=	1,15
Resistenza di progetto a snervamento	$f_{yd}$	=	391 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico longitudinale	$E_s$	=	210.000 N/mm <sup>2</sup>

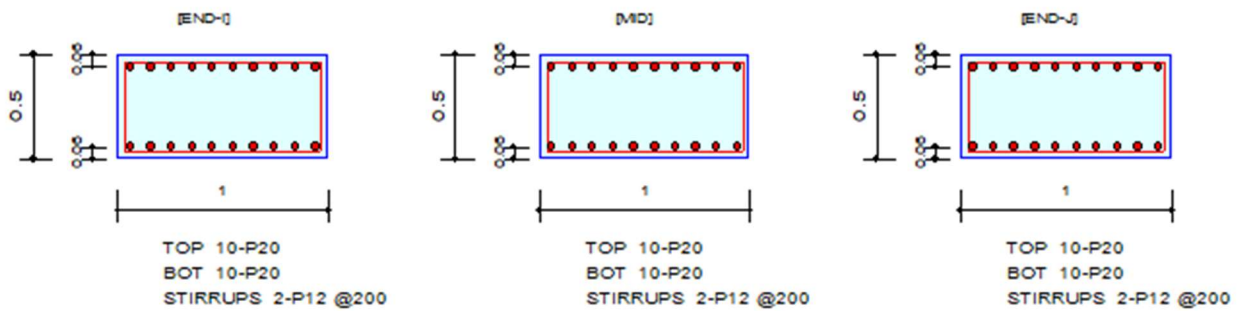
**IN58- Relazione di calcolo  
muri**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IN	58	00	002	A	42

**Verifica a Flessione**

**1. Design Information**

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2008	Unit System	kN, m
Material Data	$f_{ck} = 30000$ , $f_{yk} = 450000$ , $f_{yw} = 450000$ KPa		
Section Property	Soletta inf (No : 1)	Beam Span	3.4m



**2. Bending Moment Capacity**

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	8	8	8
Moment ( $M_{Ed}$ )	0.00	0.00	0.00
Factored Strength ( $M_{Rd}$ )	500.44	500.44	500.44
Check Ratio ( $M_{Ed}/M_{Rd}$ )	0.0000	0.0000	0.0000
Neutral Axis ( $x/d$ )	0.1484	0.1484	0.1484
(+) Load Combination No.	5	5	6
Moment ( $M_{Ed}$ )	139.30	108.28	116.41
Factored Strength ( $M_{Rd}$ )	500.44	500.44	500.44
Check Ratio ( $M_{Ed}/M_{Rd}$ )	0.2784	0.2164	0.2326
Neutral Axis ( $x/d$ )	0.1484	0.1484	0.1484
Using Rebar Top ( $A_{s\_top}$ )	0.0031	0.0031	0.0031
Using Rebar Bot ( $A_{s\_bot}$ )	0.0031	0.0031	0.0031

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b> S.P.A.		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	43

Verifica a taglio (4.1.1.2.1.3.1/2 - D.M. 14-01-2008)

### 3. Shear Capacity

	END-I	MD	END-J
Load Combination No.	5	5	6
Factored Shear Force (V <sub>Ed</sub> )	52.36	52.36	35.17
V <sub>Rdc</sub>	245.46	245.46	245.46
V <sub>Rds</sub>	175.10	175.10	175.10
V <sub>Rdmax</sub>	1980.00	1980.00	1980.00
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0011	0.0011	0.0011
Using Stirrups Spacing	2-P12 @200	2-P12 @200	2-P12 @200
V <sub>Ed</sub> / V <sub>Rdc</sub>	0.2133	0.2133	0.1433
V <sub>Ed</sub> / min(V <sub>Rds</sub> , V <sub>Rdmax</sub> )	0.2990	0.2990	0.2008
Check Ratio	0.2133	0.2133	0.1433

MANDATARIA 	MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IN58- Relazione di calcolo</b> <b>muri</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IN 58 00</b>			PROGR <b>002</b>

## 14. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio si è provveduto a verificare che le tensioni massime nel calcestruzzo e nell'acciaio siano inferiori ai valori massimi consentiti dalla normativa (§11.1.1). In accordo con quanto previsto al §11.1.2, si è inoltre proceduto a verificare che l'apertura delle fessure sia inferiore al valore limite di  $w_1=0,2$  mm (Classe di esposizione XC4 ed una tipologia di armatura poco sensibile).

### 14.1 VERIFICA A FESSURAZIONE

#### 14.1.1 Piedritti

##### 4. Serviceability : Stress Limit Check

	Conc.(Tens.)	Conc.(Comp.)	Conc.(Comp.)(QP)	Rebar
Load Combination	7(F)	7(F)	-	7(F)
Stress(s)	-1263.54	1375.91	0.00	10568.99
Allowable Stress(sa)	3475.76	16500.00	0.00	360000.00
Stress Ratio(s/sa)	0.3635	0.0834	*****	0.0294
Check Linear Creep			*****	

#### 14.1.2 Soletta di fondazione

##### 2. Stress Check

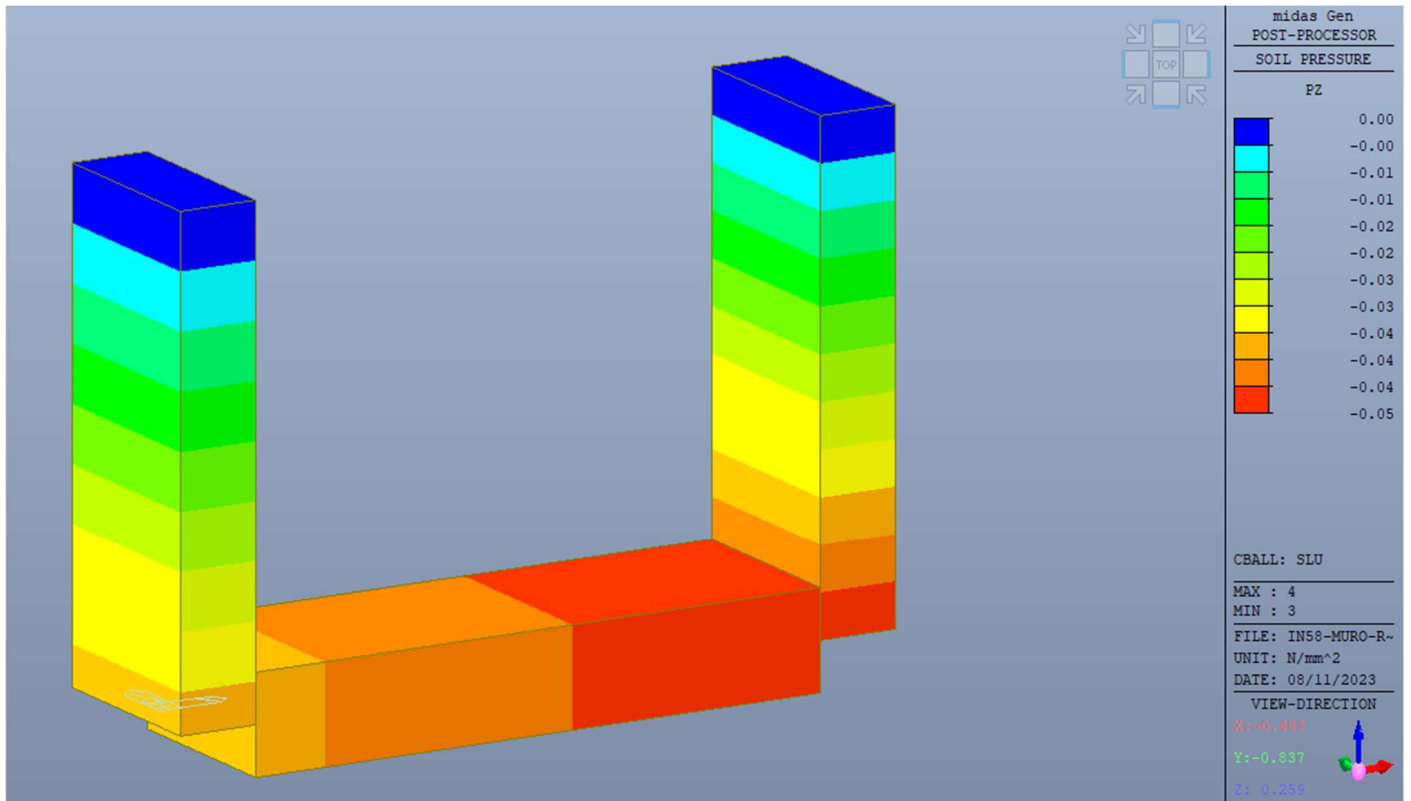
	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	8(F)	8(F)	8(F)	8(F)	8(F)	8(F)
Stress(s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Allowable Stress(sa)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(+) Load Combination No.	7(F)	7(F)	8(F)	8(F)	8(F)	8(F)
Stress(s)	958.86	8877.08	645.61	5977.03	958.86	8877.08
Allowable Stress(sa)	16500.00	360000.00	16500.00	360000.00	16500.00	360000.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0581	0.0247	0.0391	0.0166	0.0581	0.0247

##### 4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	8(F)	8(F)	8(F)
Crack Width(w)	0.00	0.00	0.00
Allowable Crack Width(wa)	0.00	0.00	0.00
Check Ratio(w/wa)	0.0000	0.0000	0.0000
(+) Load Combination No.	7(F)	8(F)	8(F)
Crack Width(w)	0.00	0.00	0.00
Allowable Crack Width(wa)	0.00	0.00	0.00
Check Ratio(w/wa)	0.0201	0.0135	0.0201

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; R.L.</small>		MANDANTI <b>HYpro</b>		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IN58- Relazione di calcolo muri</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IN</b>	<b>58</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>A</b>	<b>45</b>

## 15. VERIFICHE GEOTECNICHE



La sollecitazione risulta pari a **0.05 Mpa** e minore di quella resistente derivante dalla verifica in CD pari a **0.361 Mpa**.

La verifica risulta soddisfatta.