

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**INTERFERENZE IDRAULICHE**

IN15 - Tombino Scatolare 2x3 (pk 7+482,10)

Relazione di calcolo scatolare

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 26 CL IN1500 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Gen-2020	M.Salleolini 	Gen-2020	A.Barreca 	Gen-2020	F.Sacchi Apr-2020
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Apr-2020	M.Salleolini 	Apr-2020	A.Barreca 	Apr-2020	

INDICE

1. <b>PREMESSA</b> .....	4
2. <b>GEOMETRIA DELLA STRUTTURA</b> .....	5
3. <b>PROGETTO NUOVO TOMBINO</b> .....	6
3.1. <b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	6
3.2. <b>UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA</b> .....	7
3.3. <b>GEOMETRIA</b> .....	7
3.4. <b>MATERIALI</b> .....	8
3.5. <b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b> .....	9
3.6. <b>INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA</b> .....	10
3.7. <b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	11
3.8. <b>VERIFICA REQUISITI S.T.I.</b> .....	19
3.9. <b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	21
3.10. <b>CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI</b> .....	28
3.10.1. <b>INVILUPPO SLU-SLV</b> .....	28
3.10.2. <b>INVILUPPO SLE (RARA)</b> .....	32
3.11. <b>VERIFICHE</b> .....	35
3.12. <b>VERIFICHE DELLE SEZIONI</b> .....	36
3.13. <b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b> .....	42
3.13.1. <b>BASE REACTION</b> .....	42
3.13.2. <b>VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI DRENATE</b> .....	46
3.13.3. <b>VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI NON DRENATE</b> .....	54
3.13.4. <b>VERIFICHE SLV IN CONDIZIONI DRENATE</b> .....	60
3.13.5. <b>VERIFICHE SLV IN CONDIZIONI NON DRENATE</b> .....	68
3.13.6. <b>TABELLA VERIFICHE GEOTECNICHE GEO</b> .....	74
3.14. <b>OPERE DI IMBOCCO E SBOCCO</b> .....	75
3.14.1. <b>GEOMETRIA</b> .....	75

<b>3.14.2.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>75</b>
<b>3.14.3.</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>76</b>
<b>3.14.4.</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI</b> .....	<b>79</b>
<b>3.14.4.1.</b>	<b>INVILUPPO SLU-SLV</b> .....	<b>79</b>
<b>3.14.4.2.</b>	<b>INVILUPPO SLE (RARA)</b> .....	<b>83</b>
<b>3.14.5.</b>	<b>VERIFICHE</b> .....	<b>86</b>
<b>3.14.5.1.</b>	<b>VERIFICHE DELLE SEZIONI</b> .....	<b>87</b>
<b>3.14.5.2.</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b> .....	<b>90</b>
<b>3.14.5.2.1.</b>	<b>BASE REACTION</b> .....	<b>90</b>
<b>3.14.6.</b>	<b>VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI DRENATE</b> .....	<b>94</b>
<b>3.14.7.</b>	<b>VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI NON DRENATE</b> .....	<b>102</b>
<b>3.14.8.</b>	<b>VERIFICHE SLV IN CONDIZIONI DRENATE</b> .....	<b>108</b>
<b>3.14.9.</b>	<b>VERIFICHE SLV IN CONDIZIONI NON DRENATE</b> .....	<b>116</b>
<b>3.14.10.</b>	<b>TABELLA VERIFICHE GEOTECNICHE GEO</b> .....	<b>122</b>



## 2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il tombino sottopassa la linea ferroviaria ad una distanza fra piano ferro ed estradosso soletta pari ad  $H_{ric}$ , di cui spessore medio ballast più armamento pari a 0.80 m e la rimanente parte il rinterro. Esso ha dimensioni interne 2.00×3.00 m, con piedritti e soletta superiori di spessore 0.30 m, soletta inferiore di spessore 0.40 m. Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. Nella figura [Fig. 2] di cui al paragrafo precedente sono riportate schematicamente la geometria dell'opera e la simbologia adottata.

Le caratteristiche geometriche hanno la seguente simbologia:

Spessore medio del ballast + armamento	$H_b$	[m]
Spessore traversina + rotaie (35 cm)	$H_{tb}$	[m]
Larghezza traversina	$L_{tb}$	[m]
Spessore del rinterro	$H_r$	[m]
Larghezza totale del sottopasso	$L_{tot}$	[m]
Larghezza utile del sottopasso	$L_{int}$	[m]
Spessore della soletta	$S_s$	[m]
Spessore piedritti	$S_p$	[m]
Spessore fondazione	$S_f$	[m]
Altezza libera del sottopasso	$H_{int}$	[m]
Altezza totale del sottopasso	$H_{tot}$	[m]
Larghezza striscia di calcolo	$b$	[m]

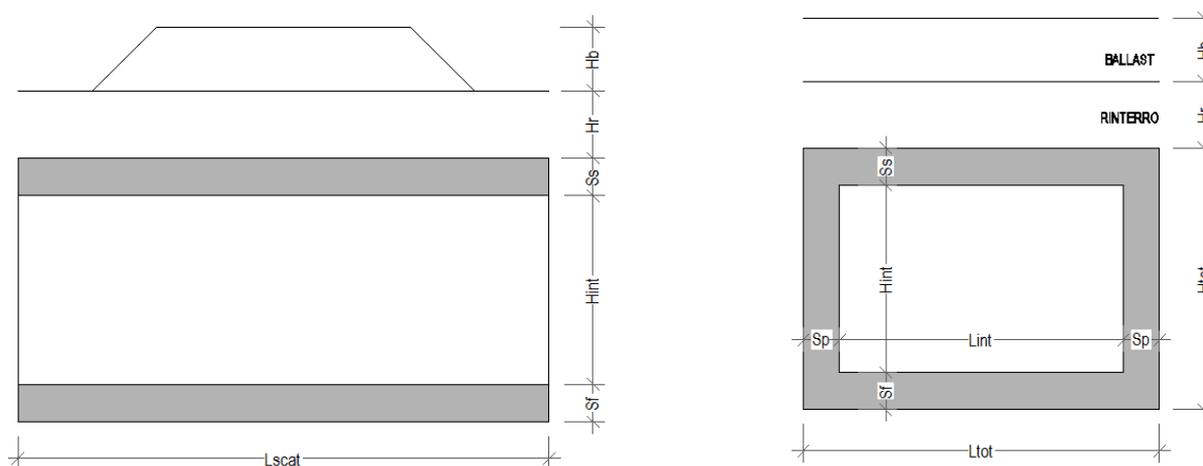


Figura 2. Simbologia adottata

### 3. PROGETTO NUOVO TOMBINO

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione di un nuovo tombino nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

#### 3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Tutte le calcolazioni sono state eseguite nel rispetto delle normativa NTC18 attualmente vigente.. In particolare si è fatto riferimento:

- D.M. 17.01.2018 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 21 Gennaio 2019, Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento n. 7 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018
- RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sottobinario
- RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- EN 1992-1-1-1:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules of building
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 C Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - Sezione 2 Ponti e Strutture
- RFI DTC SI SP IFS 001 C Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili
- EC08 Eurocodice 8.
- Regolamento (UE) Specifiche tecniche di interoperabilità per il N.1299/2014 del 18 novembre sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario 2014 della Commissione dell'Unione Europea.  
Europea

### 3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale (SI):

Unità di misura principali

- N (Newton)                      unità di forza
- m (metro)                        unità di lunghezza
- kg (kilogrammo)                unità di massa
- s (secondo)                        unità di tempo

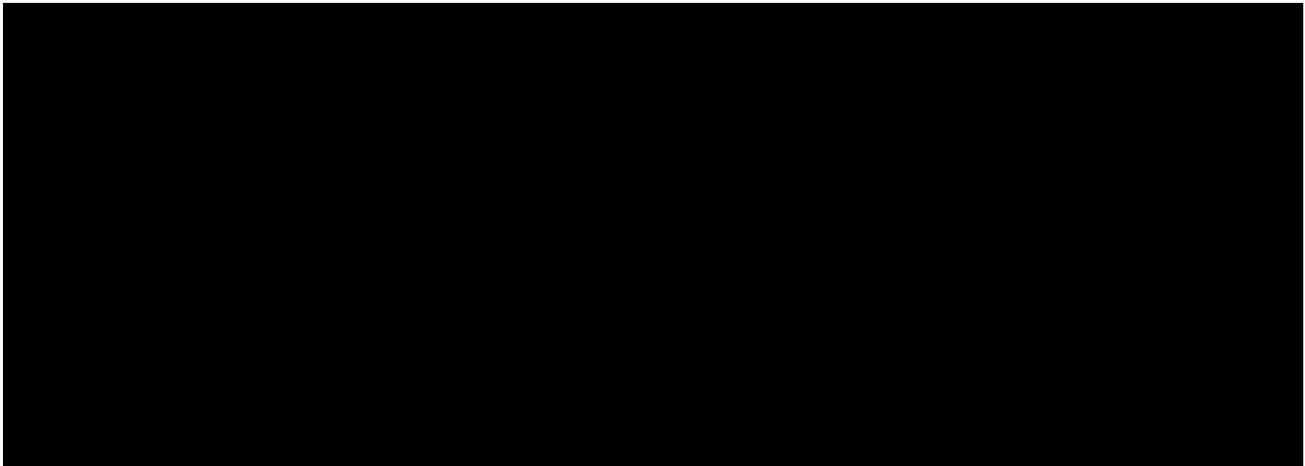
Unità di misura derivate da N

- (kiloNewton)                       $10^3$  N

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m <sup>3</sup> )
$\sigma$ (sigma)	tensione normale	(N/mm <sup>2</sup> )
$\tau$ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm <sup>2</sup> )
$\varepsilon$ (epsilon)	deformazione	(m/m)                      -
$\phi$ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)

### 3.3. GEOMETRIA



### 3.4. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo C (30/37) le cui caratteristiche principali sono:

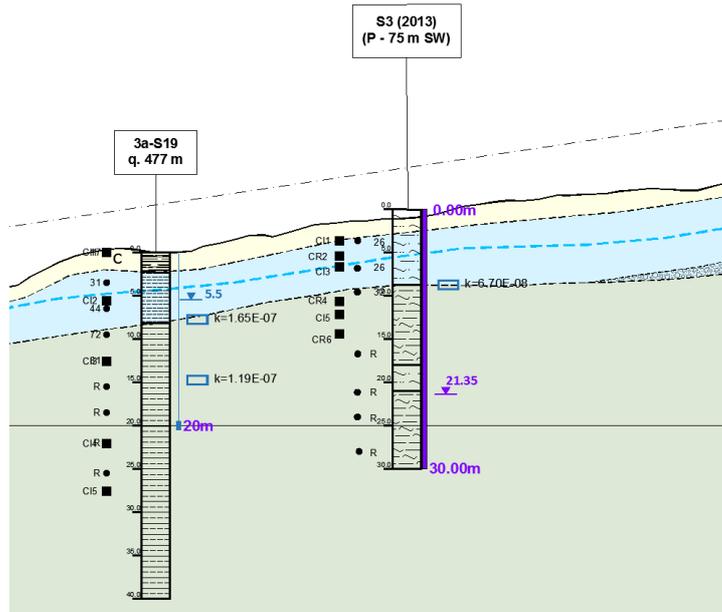
- Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice:  $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$ , dove:
  - $\alpha_{cc} = 0.85$  e  $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{cd} = 17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice:  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$ , dove :
  - $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{ctd} = 1,35 \text{ N/mm}^2$ .
- Modulo elastico:  $E_c = 32836 \text{ N/mm}^2$ .
- Tolleranza di posa del copriferro = 10 mm;
- Classe di esposizione XA1
- Copriferro = 40 mm
- Condizioni ambientali: aggressive
- Apertura fessure limite:  $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

Acciaio da cemento armato normale B450C controllato in stabilimento. Le barre sono ad aderenza migliorata. Le caratteristiche meccaniche sono:

- Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ Nmm}^2$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio:  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$  dove
  - $\gamma_s = 1.15$  = 391 Nmm<sup>2</sup>
- Allungamento  $D1 > 12\%$
- Modulo di elasticità:  $E_s = 206000 \text{ Nmm}^2$
- Sovrapposizioni barre  $\geq 40\phi$

### 3.5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si riporta di seguito uno stralcio del profilo geotecnico (RS3T30D26F6GE0000001C) della zona di riferimento:



Per l'inquadramento geotecnico si fa riferimento alla relazione geotecnica, della quale si riportano gli stralci significativi del profilo geotecnico e dei parametri geotecnici del terreno di fondazione, del rinterro e del rinfiacco.

Lo strato significativo del profilo geotecnico è l'unità  
la cui descrizione nella relazione geotecnica è:

1) a2

Alternanza di prevalenti argille e argille siltose di colore da bruno a bruno tabacco con siltiti e quarzoareniti torbiditiche

Peso specifico terreno	$\gamma_t$	18.0 kN/m <sup>3</sup>
angolo d'attrito terreno	$\phi$	25.0 [°]
coesione efficace terreno	$c'$	10.0 kN/m <sup>2</sup>
coesione non drenata terreno	$c_u$	50.0 kN/m <sup>2</sup>

I parametri geotecnici del rinterro e del terreno di rinfiacco sono i seguenti:

Peso specifico rinterro	<b>FERROVIARIO</b>	$\gamma_t$	20.0 kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito rinterro		$\phi'$	38.0 [°]	0.663 [rad]
coesione rinterro		$c_u$	0.0 kN/m <sup>2</sup>	
Peso specifico terreno di rinfiacco		$\gamma_t$	20.0 kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito terreno di rinfiacco		$\phi'$	38.0 [°]	0.663 [rad]
coesione terreno di rinfiacco		$c_u$	0.0 kN/m <sup>2</sup>	

### 3.6. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Di seguito sono trattati gli aspetti di natura geotecnica riguardanti l'interazione terreno-struttura relativamente all'opera in esame.

Per la determinazione della costante di sottofondo si può fare riferimento alle seguenti formulazioni assimilando il comportamento del terreno a quello di un mezzo elastico omogeneo:

- $s = B \cdot c_t \cdot (q - \sigma_{v0}) \cdot (1 - \nu^2) / E$

dove:

- s = cedimento elastico totale;
- B = lato minore della fondazione;
- $c_t$  = coefficiente adimensionale di forma ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (L = lato maggiore della fondazione):
 

$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L / B)$	rettangolare con $L / B \leq 10$
$c_t = 2 + 0.0089 (L / B)$	rettangolare con $L / B > 10$
- q = pressione media agente sul terreno;
- $\sigma_{v0}$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- E = modulo elastico medio del terreno sottostante.

Il valore della costante di sottofondo  $k_w$  è valutato attraverso il rapporto tra il carico applicato ed il corrispondente cedimento pertanto, si ottiene:

- $k_w = E / [(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t]$

Il litotipo presente nella zona oggetto di intervento è il seguente :

- **TERRENO a2** alluvioni (argilla e argilla limosa)  $E=20$  MPa

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, avendo considerato per E un valore medio.

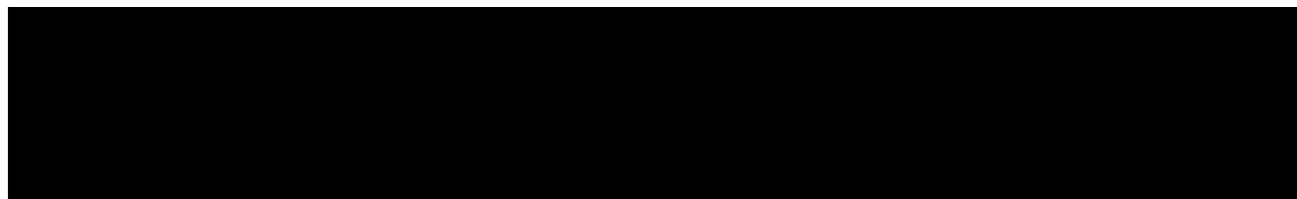
Terreno:	a2
E=	20000 kN/m <sup>2</sup>
$\nu$ =	0.3
B=	2 m
L=	10 m
L/B=	5
$c_t$ =	1.712
$k_w$ =	6417 kN/m <sup>3</sup>

### 3.7. ANALISI DEI CARICHI

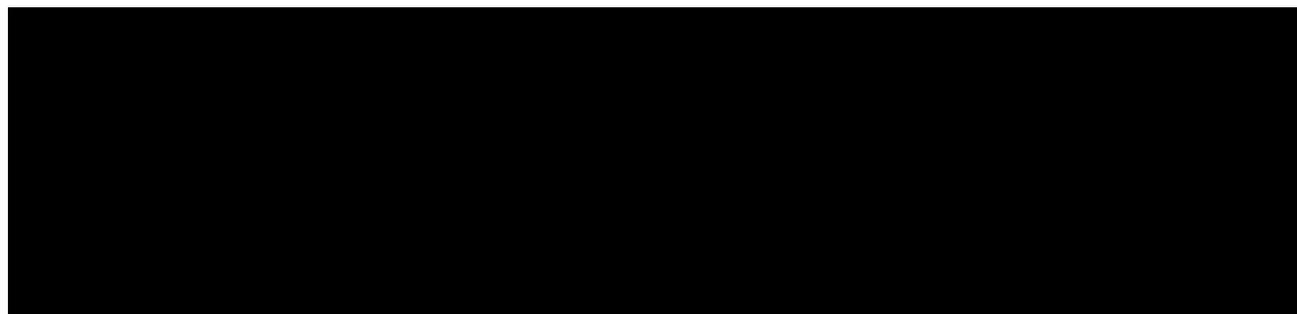
Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

#### **Peso proprio della struttura (condizione DEAD)**

Il *peso proprio* delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma=25\text{kN/m}^3$ .



#### **Carichi permanenti portati (condizione PERM)**



I carichi concentrati nei nodi 1 e 2 (i nodi tra la soletta superiore e i piedritti), rappresentano il carico permanente sulla soletta di copertura dovuto al peso della zona sovrastante la metà dello spessore del piedritto (la modellazione dello scatolare è stata fatta in asse piedritto).

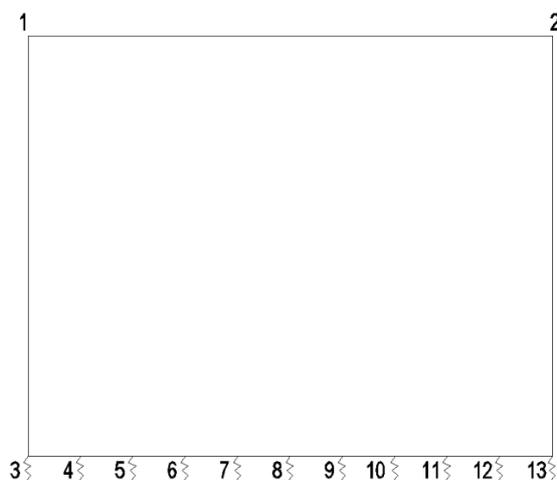


Figura 3. Numerazione dei nodi nel modello strutturale.

### Spinta del terreno (condizioni SPTSX eSPTDX)

Le caratteristiche del rinterro, di seguito riportate, sono state determinate con indagini in sito SPT:

$\phi=38^\circ$	Angolo di attrito
$\gamma_r= 19 \text{ kN/m}^3$	Peso specifico rinterro
$C_u = 0$	Coesione non drenata

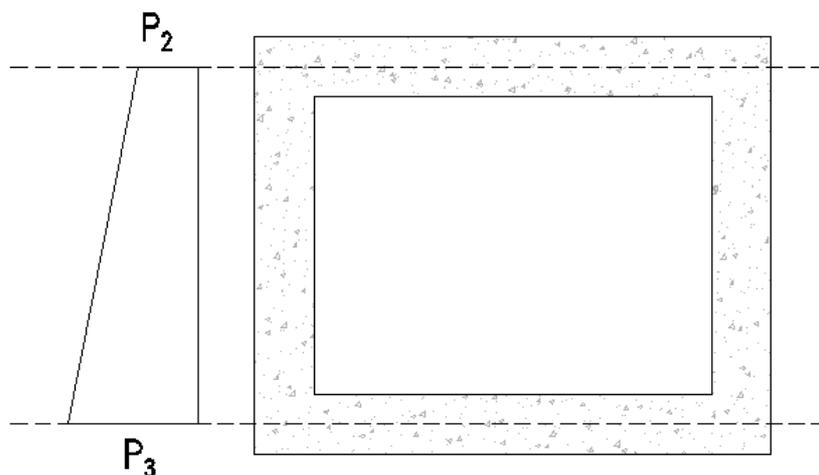
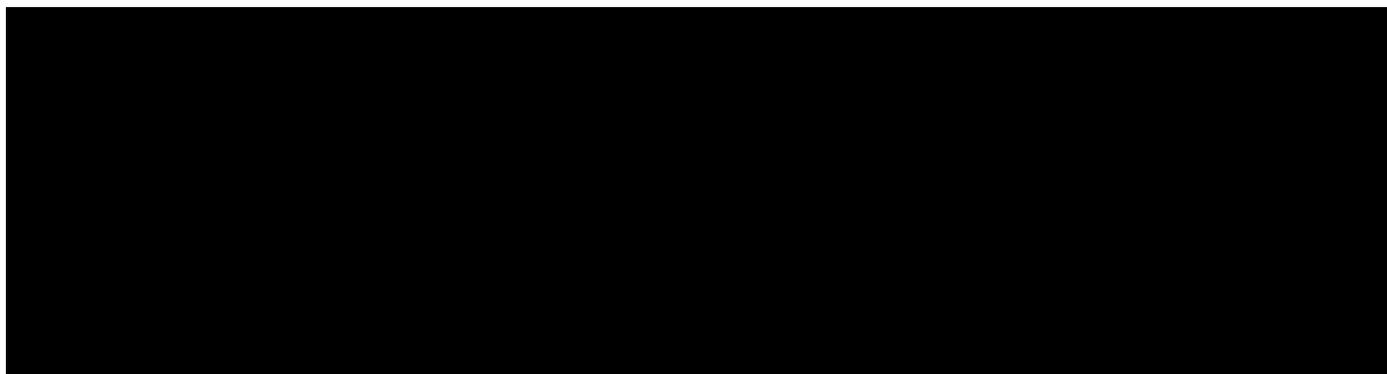


Figura 4. Spinte del terreno

I carichi concentrati nei nodi 1 e 3 (per la SPTSX) oppure 2 e 13 (per la SPTDX) rappresentano la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta sup. e su 1/2 spessore della soletta inferiore.

### Carichi accidentali, ripartizione carichi verticali (condizione ACCM)

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM 71 rispetto al carico dovuto al treno SW/2.

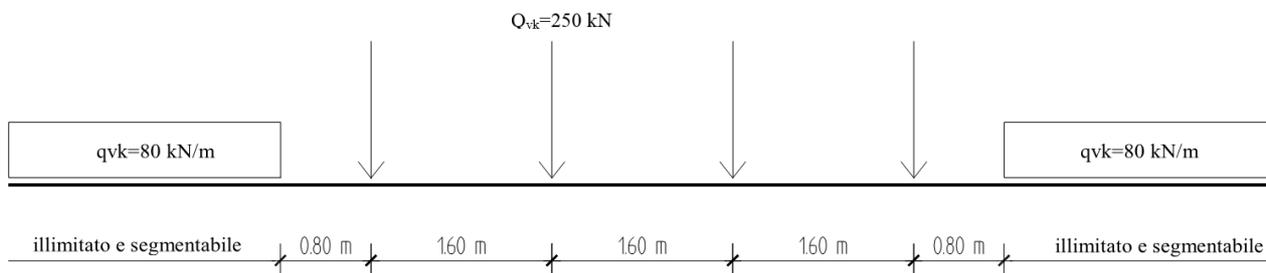


Figura 5. Treno LM71

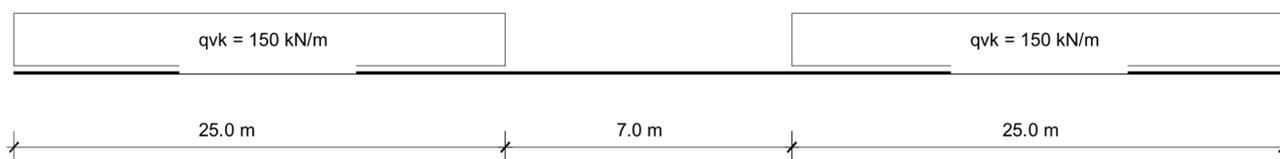


Figura 6. Treno SW/2

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al paragrafo 1.4.2 “effetti dinamici” delle istruzioni per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari.

poiché risulta:

$H_{int} < 5 \text{ m}$

$L_{int} < 8 \text{ m}$

Si ottiene considerando un ridotto standar manutentivo  $\Phi_3 = 1.35$ . In accordo al §5.2.2.2.3 NTC18 tale coefficiente dinamico nei casi di scatolari, con o senza solettone, aventi copertura  $h > 1,0$  può essere ridotto nella seguente maniera:

$$\Phi_{rid} = \Phi - \frac{h - 1,00}{10} \geq 1,0$$

dove  $h$ , in metri, è l’altezza della copertura dall’estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse [ $H_{ric}$ ]. Per le strutture dotate di una copertura maggiore di 2,50 m può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario.

Si riporta di seguito una schematizzazione della diffusione dei carichi ferroviari (LM71 e SW2) rispettivamente attraverso ballast, rinterro e soletta.

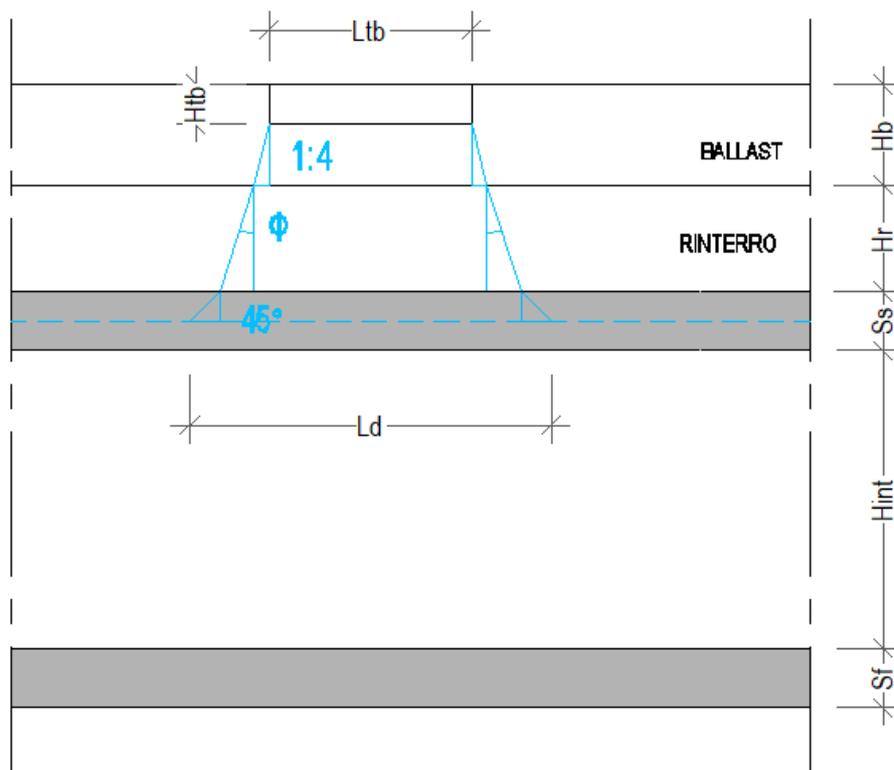


Figura 7. Schema modalità di diffusione dei carichi ferroviari

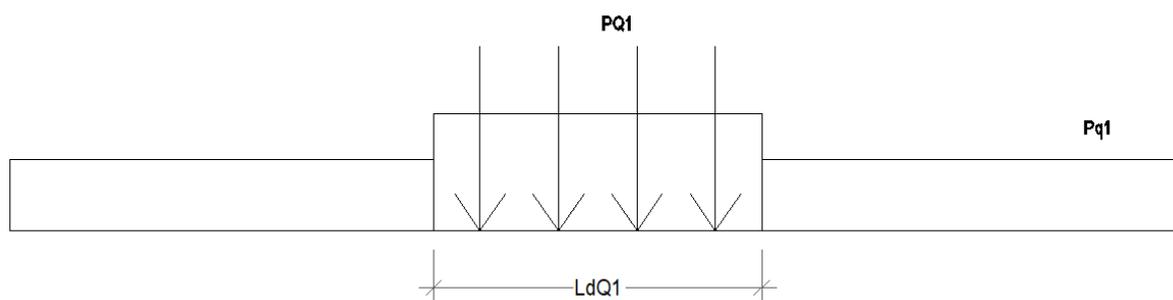


Figura 8. Carichi Treno LM71 su  $L_d$

Sia per il calcolo delle sollecitazioni massime in mezzeria della soletta superiore che per quelle massime all'incastro con i piedritti di detta soletta, il carico dovuto al treno LM71 viene distribuito per tutta la larghezza  $L_{dQ1}$  del treno di carico.

### Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (condizioni SPACCSX e SPACCDX)

### Frenatura e avviamento (condizione AVV)

La forza di frenatura del modello SW/2 agente su tutta la larghezza dello scatolare è pari a 35 kN/m, mentre quella di avviamento del modello LM71 è di 33 kN/m. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento. Distribuendo tale forza sulla larghezza di diffusione del carico si avrà:

### Azioni termiche (condizione:TERM)

Alla soletta superiore si applica una variazione termica uniforme pari a  $\Delta t = \pm 15^{\circ}\text{C}$  ed una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a  $\Delta t = \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

### Ritiro (condizione: RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 17-01-2018.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

Variazione termica uniforme equivalente  $\Delta T_{\text{ritiro}} = -[11,29^\circ]$  *Sulla soletta superiore*

### Azioni sismiche

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza 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  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$

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

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

Con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, ai fini del calcolo dell'azione sismica secondo il DM 17/01/2018 viene assegnata all'opera una vita nominale  $V_N \geq 75$  anni ed una III classe d'uso  $C_U = 1,5$ ;

segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_U = 112,5$  anni

A seguito di tale assunzione si ottiene allo stato limite ultimo SLV in funzione della Latitudine e Longitudine del sito in esame un valore dell'accelerazione pari ad  $a_g$ , il cui valore è di seguito riportato, come desunto anche dalla relazione geotecnica.

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

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

dove assumendo un terreno del tipo ed in base al fattore di amplificazione del sito  $F_0$  si ottiene:

Le forze di inerzia sullo **scatolare** (masse di peso proprio soletta superiore e piedritti, rinterro e ballast, 20% treno di carico,...) sono pari alle masse moltiplicate per  $kh$  e  $k_v$  ove:  $kh = \beta_M \times S \times ag/g$  e  $k_v = kh / 2$ . Essendo lo scatolare non libero di subire spostamenti relativi rispetto al terreno,  $\beta_M = 1$ .

vita nominale	$V_N$	75 anni
classe d'uso	CL	III
coefficiente d'uso	$C_U$	1.50
vita di riferimento = $C_U * V_N$	$V_R$	112.5 anni
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	$P_{VR}$	10%
periodo di ritorno del sisma	$T_R$	1068 anni

### Spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

#### Coordinate del sito in oggetto:

Latitudine	37.71193
Longitudine	13.74047

#### Parametri sismici di progetto

#### spettro di risposta in accelerazione della componente orizzontale

accelerazione massima orizzontale al bedrock	ago	0.108 g
fattore amplificazione massima spettro accelerazione	$F_0$	2.645 sec
periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz.	$T^*c$	0.384
categoria sottosuolo		C
categoria topografica		T1
amplificazione topografica	$S_T$	1.000
smorzamento viscoso convenzionale	$\xi$	5%
fattore di correzione per $\xi <> 5\%$	$\eta$	1.000

Tab.3.2.V	$S_s$	$C_C$	$S_s$	$C_C$
A	1.00	1.00	1.50	1.44
B	1.20	1.33		
C	1.50	1.44		
D	1.80	2.02		
E	1.60	1.69		

coefficiente amplificazione stratigrafica	$S_s$	1.500
coefficiente di amplificazione	S	<b>1.500</b>
coefficiente categoria sottosuolo	$C_C$	1.440
periodo inizio tratto a accelerazione costante = $T_c / 3$	$T_B$	0.184 sec
periodo inizio tratto a velocità costante = $C_c * T^*c$	$T_C$	0.553 sec
periodo inizio tratto a spostamento costante = $4 * ag/g + 1,6$	$T_D$	2.032 sec
accelerazione massima orizzontale al suolo = $S_s \times S_t \times ag/g$	ago,max	<b>0.162 g</b>

### Accelerazioni per il calcolo delle forze di inerzia agenti sullo scatolare

Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito	$\beta$	<b>1.000</b>
$a_o = kh = a_{go,max} = S \times ag/g$	$a_o = kh$	<b>0.1620 g</b>
$a_v = k_v = kh / 2$	$a_v = k_v$	<b>0.0810 g</b>

*valore PGA x scatolare*

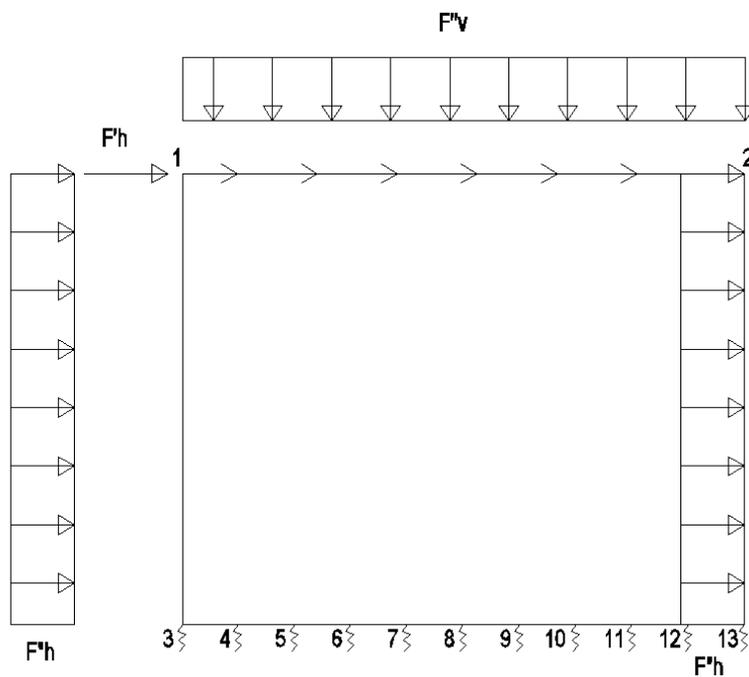
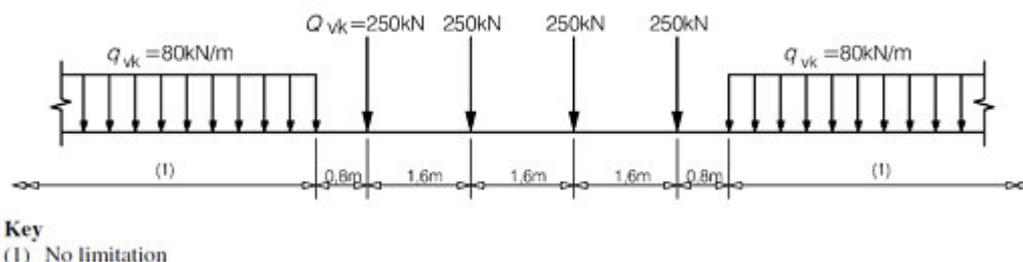


Figura 9. Forze sismiche agenti sulla struttura

### 3.8. VERIFICA REQUISITI S.T.I.

Di seguito si effettua la valutazione del carico equivalente previsto dalle Specifiche Tecniche di Interoperabilita con cui si da evidenza che l'opera in esame è idonea a sostenere tale carico.

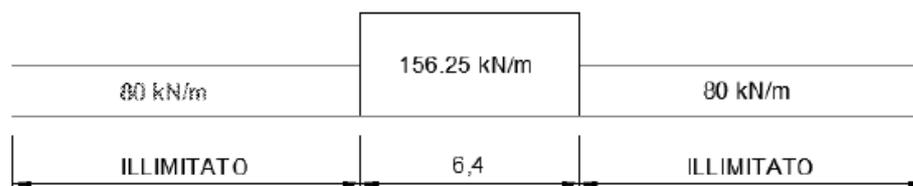
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



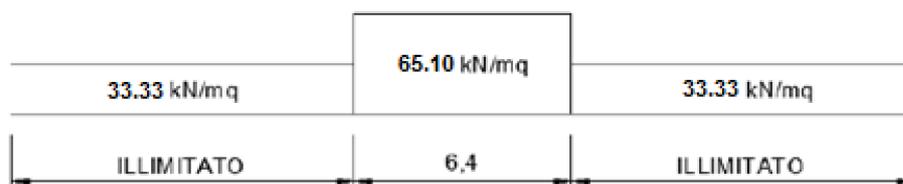
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kPa}$$



Considerando che la distribuzione trasversale dei carichi è su una larghezza massima di 3 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si utilizza una larghezza di progetto pari a 2,40 m in quanto risulta cautelativo rispetto a quanto previsto dalla norma sopra citata. Si ricava, quindi, il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



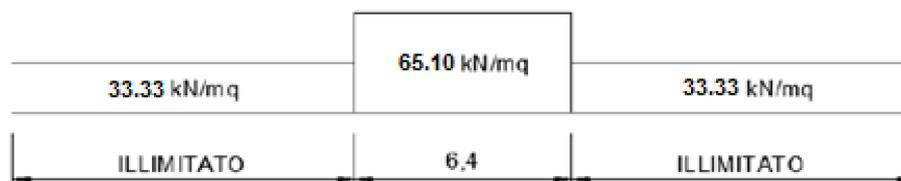
A tali carichi si deve applicare il coefficiente  $\alpha$  relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

Tabella 11

**Fattore alfa ( $\alpha$ ) per la progettazione di strutture nuove**

Tipo di traffico	Valore minimo del fattore alfa ( $\alpha$ )
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	Punto in sospenso
P1600	1,1
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	Punto in sospenso
F1600	1,1

Nel caso in esame, il coefficiente  $\alpha$  è pari ad 1.0 perché le categorie di traffico sono P4 per il traffico passeggeri ed F2 per il traffico merci per cui alle opere si applicano i seguenti carichi equivalenti:



In conclusione nell'opera in oggetto la ripartizione del carico a quota del piano di regolamento è stata effettuata considerando una distribuzione in senso trasversale secondo una pendenza di 1 a 4 all'interno del ballast per cui risulta:

$$L_d = 2.4 + 0.40 / 4 * 2 = 2.60 \text{ m}$$

anziché:

$$L_d = 3.0 + 0.40 / 4 * 2 = 3.20 \text{ m}$$

come previsto dalla EN 1991 – 2:2003/AC:2010 che risulterebbe meno gravoso.

Longitudinalmente invece i carichi assiali sono stati distribuiti uniformemente su 6.4 m.

A tali carichi è stato applicato un coefficiente  $\alpha$  pari a 1.1 come indicato nel manuale di progettazione per cui in definitiva il carico considerato a quota della piattaforma ferroviaria è pari a:

- $q_1 = 4 \cdot 250 / 6.4 / 2.60 = 60.10 \text{ kN/m}^2$
- $q_2 = 80 / 2.60 = 30.77 \text{ kN/m}^2$

a vantaggio di sicurezza rispetto ai carichi calcolati con riferimento alle STI.

### 3.9. COMBINAZIONI DI CARICO

Gli effetti dei carichi verticali, dovuti alla presenza dei convogli, vengono sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti di cui alla Tabella 5.2.IV del DM 17/01/2018 di seguito riportata. In particolare, per ogni gruppo viene individuata una azione dominante che verrà considerata per intero; per le altre azioni, vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

**Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte**

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante <sup>(2)</sup>
		caso a <sup>(1)</sup>	caso b <sup>(1)</sup>	
1	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	-	1,0 SW/2
	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	-	1,0 SW/2
2	secondo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	-	1,0 (LM 71''+"SW/0)
	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	0,75 (LM 71''+"SW/0)	1,0 SW/2
≥3	secondo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	0,75 (LM 71''+"SW/0)	1,0 (LM 71''+"SW/0)
	Altri	-	0,75 (LM 71''+"SW/0)	-

<sup>(1)</sup> LM71 ''+" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

<sup>(2)</sup> Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

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.

In fase di combinazione, ai fini delle verifiche degli SLU e SLE per la verifica delle tensioni, si sono considerati i soli Gruppo 1 e 3, mentre per la verifica a fessurazione è stato utilizzato il Gruppo 4. Nella tabella 5.2.III vengono riportati i carichi da utilizzare in caso di impalcati con due, tre o più binari caricati.

I Gruppi definiscono le azioni che nelle diverse combinazioni sono generalmente definite come  $Q_{ki}$ .

I coefficienti di amplificazione dei carichi  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

In particolare nel calcolo della struttura scatolare si fa riferimento alla combinazione A1 STR.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota 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> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(6)</sup> 1,20 per effetti locali

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	$gr_1$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$gr_2$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$gr_3$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$gr_4$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> 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.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Peso proprio	DEAD
Carichi permanenti	PERM
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Carico Accidentale LM71	ACCM
Spinta del carico acc. (LM71) sulla parete Sx	SPACCSX
Spinta del carico acc. (LM71) sulla parete Dx	SPACCDX

Avviamento e frenatura	AVV
Variazione termica sulla soletta superiore	ENV_TER
Ritiro	RITIRO
Azione sismica orizzontale	Sisma H
Azione sismica verticale	Sisma V
Incremento sismico della spinta sul terreno	SPSDX/SX

La 4 condizioni di carico:

$\Delta T_{\text{uniforme}} = \pm 15^\circ$

$\Delta T_{\text{differenziale}} = \pm 5^\circ$

e le loro 4 combinazioni sono state preventivamente involuppate nella condizione ENV\_TERM, la quale viene impiegata nelle successive combinazioni di carico per massimizzare gli effetti termici.

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza. Combinazione fondamentale

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

Combinazioni di carico SLU (non sismiche)													
	1s	2sl	3slu	4slu	5slu	6slu	7sl	8sl	9sl	10sl	11sl	12sl	13sl
DEAD	1.	1.3	1.35	1.35	1.35	1.35	1.3	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
PERM	1.	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SPTSX	1	1	1	1	1.35	1.35	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTDX	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1.3	1.35	1.35	1	1	1	1
ACCM	1.	1.4	1.45	1.45	1.45	0	1.4	0	1.45	1.45	1.16	1.16	1.01
SPACCS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.45	0	0	0
SPACCD	1.	0	0	1.45	1.45	1.45	1.4	1.45	1.45	0	1.16	1.16	1.01
AVV	1.	1.4	1.45	1.45	1.45	0	1.4	0	0	0	0	0	1.45
ENV_T	0	-	0	0	0	0	-	0	0.9	-0.9	-1.5	1.5	0.9
RITIRO	0	1.2	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Combinazione sismica, 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:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

Combinazioni di Carico Sismiche								
	SH1	SH	SH	SH	SV1	SV2	SV3	SV4
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1	1	1	1
ACCM	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0
SPACCDX	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
AVV	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ENV_TERM	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
RITIRO	0	0	0	0	0	0	0	0
Sisma H	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
Sisma V	0.3	-0.3	0.3	-0.3	-1	1	-1	1
SPSDX	0	0	1	1	0	0	0.3	0.3
SPSSX	1	1	0	0	0.3	0.3	0	0

Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni SH vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni SV per Sisma V=-0.3.

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative.

Combinazione rara

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

Combinazioni di carico SLE			
	1sle	2sle	3sle
DEAD	1	1	1
PERM	1	1	1
SPTSX	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8
ACCM	0.8	0.8	0.8
SPACCSX	0.8	0.8	0
SPACCDX	0.8	0.8	0.8
AVV	-0.8	0.8	-0.8
ENV_TER	-0.6	0.6	-0.6
RITIRO	0	0	1

### Modellazione adottata

Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

Le caratteristiche delle aste modellate con elementi frame sono le seguenti:

Asta 1 = Sezione 100 x 40 cmq (soletta inferiore)

Aste 2,4 = Sezione 100 x 30 cmq (piedritti)

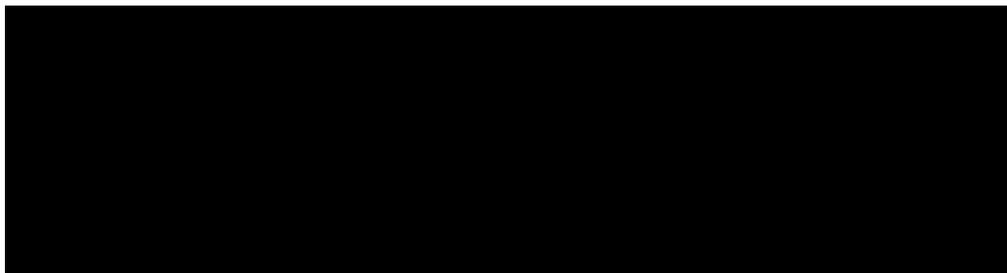
Aste 3 = Sezione 100 x 30 cmq (soletta superiore)

L'opera è stata considerata vincolata alla base mediante dei vincoli cedevoli in funzione delle caratteristiche elastiche del terreno di sottofondo.

La soletta inferiore viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura. Per la rigidità delle molle, nel caso in esame, si assume il valore del Modulo di reazione verticale desunto dalla relazione geotecnica:

#### Rigidità molle nodali SAP

ks		6417 kN/m <sup>3</sup>
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
Linfl		0.230 m
Kcentrale	ks x Linfl x 1	1476 kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
Linfl		0.230 m
Kintermedio	1,5 x ks x Linfl x 1	2214 kN/m
nodi estremità (3,13)		
Linfl		0.265 m
Kestremità	2,0 x ks x Linfl x 1	3401 kN/m



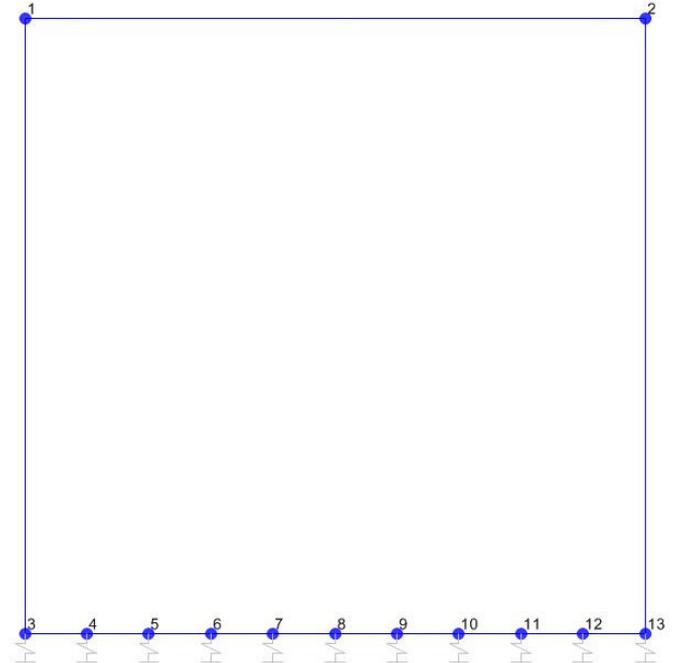


Figura 10. Numerazione nodi modello SAP

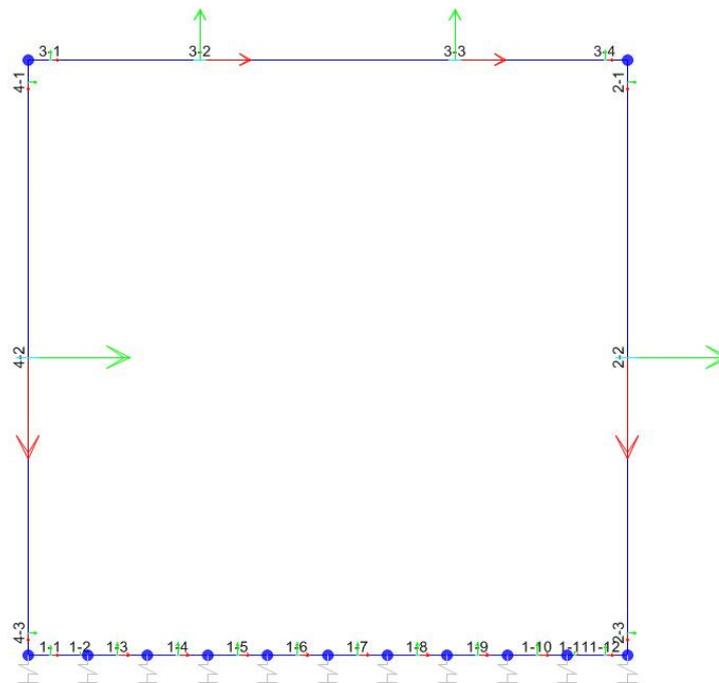


Figura 11: Individuazione elementi modello SAP

### 3.10. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

#### 3.10.1. *Inviluppo SLU-SLV*

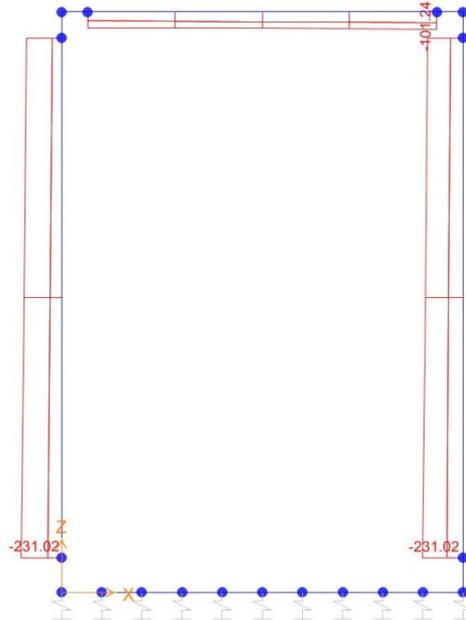
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	163.1	110.4
1	0.25526	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	141.1	99.4
1	0.36053	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	142.5	87.9
1	0.46579	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	115.5	76.2
1	0.57105	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	116.9	64.6
1	0.67632	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	118.3	52.9
1	0.78158	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	107.4	41.6
1	0.88684	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	108.5	30.3
1	0.99211	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	97.4	19.8
1	1.09737	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	98.4	9.5
1	1.20263	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	82.3	7.7
1	1.30789	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	83.4	15.0
1	1.41316	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	62.3	22.7
1	1.51842	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	63.4	31.1
1	1.62368	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	37.0	39.6
1	1.72895	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	38.1	48.8
1	1.83421	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	39.1	58.0
1	1.93947	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-8.8	68.0
1	2.04474	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-7.7	77.9
1	2.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-63.6	89.4
1	0.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	63.5	-20.9
1	0.25526	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	19.7	-33.0
1	0.36053	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	20.8	-40.1
1	0.46579	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-17.9	-47.0
1	0.57105	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-16.9	-48.3
1	0.67632	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-15.8	-49.7
1	0.78158	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-37.9	-48.0
1	0.88684	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-36.9	-45.9
1	0.99211	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-55.6	-42.0
1	1.09737	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-54.5	-44.2
1	1.20263	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-76.0	-46.1
1	1.30789	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-74.6	-46.6
1	1.41316	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-98.8	-46.2
1	1.51842	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-97.4	-48.0
1	1.62368	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-118.3	-49.7
1	1.72895	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-116.9	-48.3
1	1.83421	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-115.5	-47.0
1	1.93947	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-142.5	-44.0
1	2.04474	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-141.1	-42.9

1	2.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-163.1	-37.3
2	0.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-70.8	-57.5	-5.1
2	1.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-82.0	21.5	32.4
2	3.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-93.3	129.5	33.6
2	0.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-200.6	-90.0	-80.4
2	1.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-215.8	-40.7	5.3
2	3.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-231.0	25.1	-86.2
3	0.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-50.4	-33.0	17.1
3	0.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-53.8	4.2	42.2
3	1.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-57.2	41.4	54.5
3	1.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-60.7	92.7	41.0
3	2.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-64.1	163.5	-1.2
3	0.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-92.1	-163.5	-62.0
3	0.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-92.1	-92.7	-13.5
3	1.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-94.4	-21.9	3.4
3	1.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-97.8	13.7	-26.5
3	2.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-101.2	49.4	-75.4
4	0.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-54.9	81.7	75.9
4	1.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-66.1	31.1	-4.3
4	3.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-77.4	-33.6	97.0
4	0.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-200.6	41.7	-19.0
4	1.65 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-215.8	-35.9	-30.5
4	3.15 ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-231.0	-136.2	-10.9

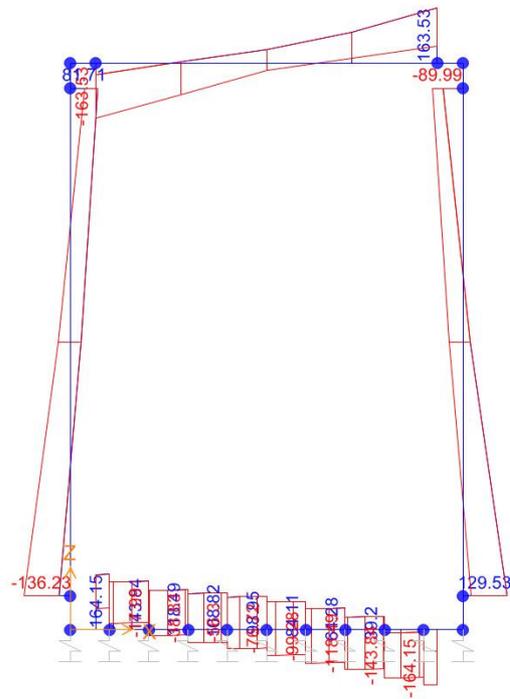


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	163.1	110.4
02	0.0	0.0	49.7
03	-54.9	136.2	80.4
04	0.0	163.5	75.4
05	0.0	0.0	54.5
06	-77.4	136.2	97.0

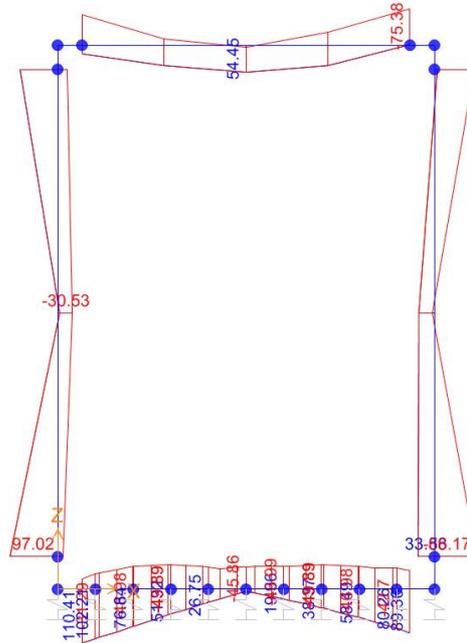
Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU-SLV



Sforzo normale



Taglio



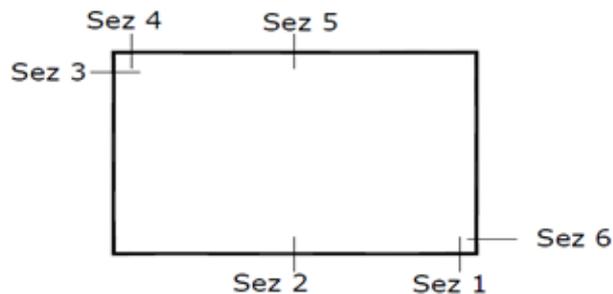
*Momento Flettente*

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

### 3.10.2. Inviluppo SLE (rara)

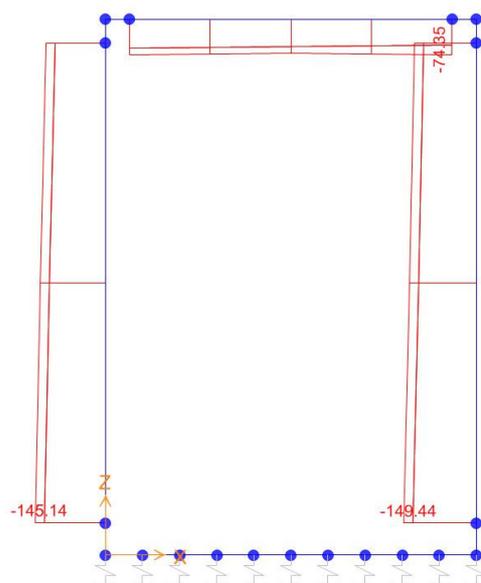
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	102.2	51.9
1	0.25526	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	83.3	41.6
1	0.36053	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	84.4	32.7
1	0.46579	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	63.2	23.9
1	0.57105	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	64.3	17.2
1	0.67632	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	65.3	10.4
1	0.78158	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	50.1	5.0
1	0.88684	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	51.1	-0.4
1	0.99211	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	34.4	-4.5
1	1.09737	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	35.4	-8.2
1	1.20263	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	17.2	-9.6
1	1.30789	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	18.2	-7.4
1	1.41316	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-1.6	-4.8
1	1.51842	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-0.5	-0.9
1	1.62368	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-21.8	3.1
1	1.72895	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-20.7	8.7
1	1.83421	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-19.7	14.1
1	1.93947	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-54.5	22.0
1	2.04474	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-53.4	29.9
1	2.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-90.5	39.6
1	0.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	94.8	14.3
1	0.25526	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	62.2	5.1
1	0.36053	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	63.3	-1.5
1	0.46579	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	31.9	-8.0
1	0.57105	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	32.9	-11.4
1	0.67632	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	34.0	-14.9
1	0.78158	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	14.2	-16.7
1	0.88684	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	15.2	-18.2
1	0.99211	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-3.8	-18.4
1	1.09737	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-2.8	-18.1
1	1.20263	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-21.0	-18.2
1	1.30789	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-20.0	-20.0
1	1.41316	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-37.5	-21.3
1	1.51842	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-36.4	-21.2
1	1.62368	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-53.2	-20.9
1	1.72895	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-52.1	-18.7
1	1.83421	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-51.1	-16.5
1	1.93947	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-75.6	-11.0
1	2.04474	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-74.5	-5.3

1	2.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-97.9	3.3
2	0.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-108.2	-44.3	-15.8
2	1.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-119.4	5.7	17.2
2	3.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-130.7	68.9	-6.5
2	0.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-126.9	-66.5	-49.4
2	1.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-138.2	-16.5	12.2
2	3.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-149.4	46.7	-39.5
3	0.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-60.9	-79.5	-8.8
3	0.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-59.0	-34.0	19.6
3	1.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-57.1	11.5	29.1
3	1.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-55.2	57.1	21.3
3	2.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-53.3	102.6	-9.2
3	0.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-74.3	-98.3	-35.0
3	0.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-72.4	-52.8	2.2
3	1.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-70.6	-7.2	13.8
3	1.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-72.4	38.3	-3.3
3	2.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-74.3	83.8	-43.2
4	0.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-103.9	65.0	41.6
4	1.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-115.1	11.0	-12.8
4	3.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-126.4	-53.7	49.0
4	0.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-122.6	50.7	13.8
4	1.65 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-133.9	-9.0	-20.6
4	3.15 ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	-145.1	-85.1	16.7

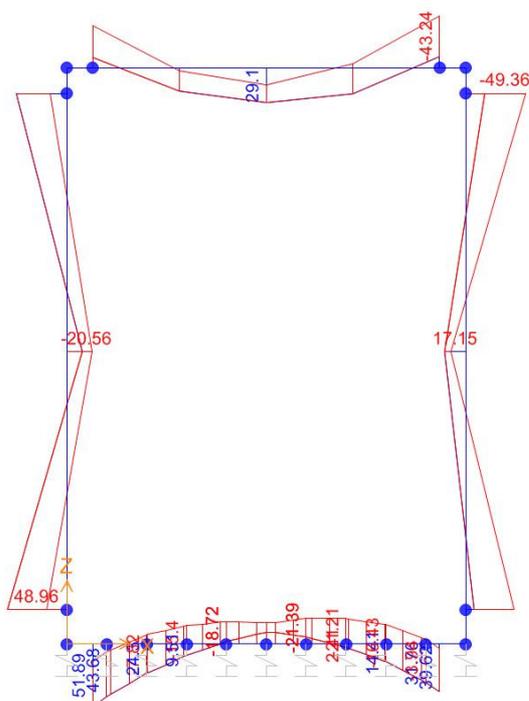


SEZIONE	P	M3
01	0.0	51.9
02	0.0	21.3
03	-103.9	49.4
04	0.0	43.2
05	0.0	29.1
06	-126.4	49.0

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)



Sforzo normale



Momento Flettente

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

### 3.11. VERIFICHE

Il tombino ha:

- Pareti di spessore pari a 30 cm dotate di armatura principale Ø20/20
- Soletta superiore di spessore pari a 30 cm dotata di armatura principale Ø20/20
- Soletta inferiore di spessore pari a 40 cm dotata di armatura principale Ø20/20

La soletta superiore è dotata di **armatura a taglio 1Ø12/15(long)/50(trasv)** (2 braccia per larghezza unitaria).

Tutti gli elementi hanno **ferri di ripartizione** nella direzione secondaria Ø14/20

SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:							
SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ03	SEZ04	SEZ05	SEZ06
SLU	Med/Mrd	56%	25%	57%	56%	40%	68%
SLU	Ved/Vrd	95%	0%	89%	67%	0%	88%
SLE	(sigse/sigr)s	4%	2%	6%	3%	2%	6%
SLE	(sigse/sigr)i	31%	13%	34%	38%	26%	32%
SLE	(sigce/sigcr)s	18%	7%	31%	28%	19%	31%
SLE	wk/wklim	74%	31%	70%	78%	53%	65%
	MAX	95%	31%	89%	78%	53%	88%
	MAX	95%					

**Le verifiche risultano soddisfatte.**

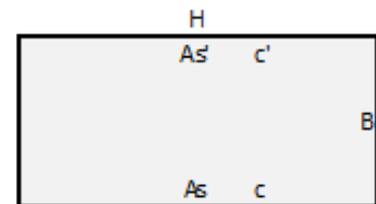
### 3.12. VERIFICHE DELLE SEZIONI

#### Sezione n°. 01

##### Dati di Input

B	Base sezione rettangolare	1000 mm
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm
d	Altezza utile = H-c	330 mm
fck	Resistenza car.att. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa
fyk	Resistenza car.att. Snervamento acciaio	450 MPa
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	110.4 kNm
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	163.1 kN
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm
Fi1	1° diametro armatura tesa	20
Fi2	2° diametro armatura tesa	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq
Fi Staffe	Diametro staffe	mm
s. Staffe	Passo staffe	150 mm
bracci	Numero Bracci staffe	2
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	51.9 kNm
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Rara)	0.20 mm
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk

##### Geometria della Sezione:



##### Dati di Output

##### SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	197 kNm	Coeff.Sfrutt.	56%
Vrd	Taglio ultimo resistente	171 kN	Coeff.Sfrutt.	95%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

##### SLE - Tensioni e ampiezza fessure

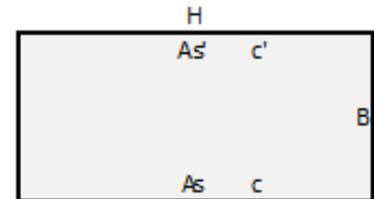
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-14 Mpa	Coeff.Sfrutt.	4%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	113 Mpa	Coeff.Sfrutt.	31%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	18%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	85 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.15 mm	Coeff.Sfrutt.	74%
			Coeff.Sfrutt.Max	95%

Sezione n°. 02

Dati di Input

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	330 mm		
fck	Resistenza car att. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza car att. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	49.7 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0		
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	21.3 kNm		
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output

SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	197 kNm	Coeff.Sfrutt.	25%
Vrd	Taglio ultimo resistente	171 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

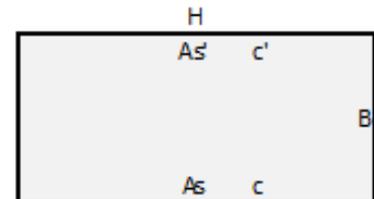
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-6 Mpa	Coeff.Sfrutt.	2%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	46 Mpa	Coeff.Sfrutt.	13%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-1 Mpa	Coeff.Sfrutt.	7%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	85 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.06 mm	Coeff.Sfrutt.	31%
			Coeff.Sfrutt.Max	31%

Sezione n°. 03

Dati di Input

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	230 mm		
fck	Resistenza car att. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza car att. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-54.9 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	80.4 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	136.2 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0		
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mse	Momento di esercizio [(+)]	49.4 kNm		
Nse	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-103.9 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output

SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	140 kNm	Coeff.Sfrutt.	57%
Vrd	Taglio ultimo resistente	152 kN	Coeff.Sfrutt.	89%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

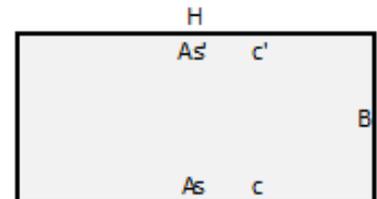
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-21 Mpa	Coeff.Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	123 Mpa	Coeff.Sfrutt.	34%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compr esso]	-6 Mpa	Coeff.Sfrutt.	31%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	54 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.14 mm	Coeff.Sfrutt. Coeff.Sfrutt.Max	70% 89%

Sezione n°. 04

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	230 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	75.4 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	163.5 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa			
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12 mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	1508 mmq/m	15.08 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	43.2 kNm		
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

**Geometria della Sezione:**



**Dati di Output:**

**SLU - Momento e Taglio resistenti**

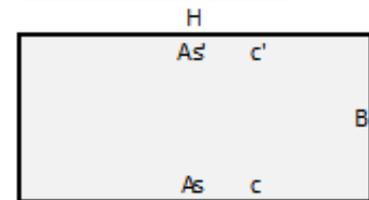
Mrd	Momento ultimo resistente	135 kNm	Coeff.Sfrutt.	56%
Vrd	Taglio ultimo resistente	244 kN	Coeff.Sfrutt.	67%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	2 kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>				
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-10 Mpa	Coeff.Sfrutt.	3%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	138 Mpa	Coeff.Sfrutt.	38%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-5 Mpa	Coeff.Sfrutt.	28%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	49 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.16 mm	Coeff.Sfrutt.	78%
			Coeff.Sfrutt.Max	78%

Sezione n°. 05

Dati di Input

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	230 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	54.5 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0		
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12 mm		
s Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	1508 mmq/m	15.08 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mse	Momento di esercizio [(+)]	29.1 kNm		
Nse	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output

SLU - Momento e Taglio resistenti

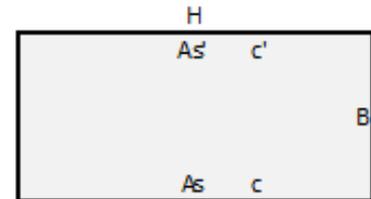
Mrd	Momento ultimo resistente	135 kNm	Coeff.Sfrutt.	40%
Vrd	Taglio ultimo resistente	244 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	2 kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>				
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-7 Mpa	Coeff.Sfrutt.	2%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	93 Mpa	Coeff.Sfrutt.	26%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	19%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	49 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.11 mm	Coeff.Sfrutt.	53%
			Coeff.Sfrutt.Max	53%

Sezione n°. 06

Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	230 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-77.4 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	97.0 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	136.2 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5		
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0		
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez. orizz.)/(proiez. vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara, frequente, qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	49.0 kNm		
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-126.4 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

Geometria della Sezione:



Dati di Output:

SLU - Momento e Taglio resistenti

Mrd	Momento ultimo resistente	142 kNm	Coeff.Sfrutt.	68%
Vrd	Taglio ultimo resistente	155 kN	Coeff.Sfrutt.	88%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-23 Mpa	Coeff.Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	114 Mpa	Coeff.Sfrutt.	32%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-6 Mpa	Coeff.Sfrutt.	31%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	55 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.13 mm	Coeff.Sfrutt.	65%
			Coeff.Sfrutt.Max	88%

### 3.13. VERIFICHE GEOTECNICHE

#### 3.13.1. Base Reaction

Le “base reaction” sono la risultante delle reazioni delle molle per ogni singola combinazione di carico:

<b>TABLE: Base Reactions</b>			
<b>OutputCase</b>	<b>GlobalFZ</b>	<b>GlobalFX</b>	<b>GlobalMY</b>
Text	KN	KN	KN-m
SLU01	453.30	35.10	31.15
SLU01	453.30	35.10	31.15
SLU02	453.30	-15.81	-52.96
SLU02	453.30	-15.81	-52.96
SLU03	453.30	-15.81	-52.96
SLU03	453.30	-15.81	-52.96
SLU04	453.30	84.36	101.89
SLU04	453.30	84.36	101.89
SLU05	453.30	35.10	31.15
SLU05	453.30	35.10	31.15
SLU06	370.96	50.91	84.11
SLU06	370.96	50.91	84.11
SLU07	453.30	84.36	101.89
SLU07	453.30	84.36	101.89
SLU08	256.35	100.16	154.85
SLU08	256.35	100.16	154.85
SLU09	453.30	100.16	154.85
SLU09	453.30	100.16	154.85
SLU10	453.30	-100.16	-154.85
SLU10	453.30	-100.16	-154.85
SLU11	436.83	-8.52	-3.45
SLU11	436.83	-8.52	-3.45
SLU12	436.83	-8.52	-3.45
SLU12	436.83	-8.52	-3.45
SLU13	428.60	-29.42	-64.82
SLU13	428.60	-29.42	-64.82
SH1	269.53	-99.60	-189.00
SH1	269.53	-99.60	-189.00
SH2	265.90	-99.60	-189.00
SH2	265.90	-99.60	-189.00
SH3	269.53	68.61	88.93
SH3	269.53	68.61	88.93
SH4	265.90	68.61	88.93
SH4	265.90	68.61	88.93

SV1	261.66	-26.49	-53.69
SV1	261.66	-26.49	-53.69
SV2	273.76	-26.49	-53.69
SV2	273.76	-26.49	-53.69
SV3	261.66	23.97	29.69
SV3	261.66	23.97	29.69
SV4	273.76	23.97	29.69
SV4	273.76	23.97	29.69

Le terne di sollecitazioni N-H-M utilizzate nelle verifiche sono le seguenti, involuppate per combinazioni SLU e per combinazioni SLV:

SLU	
<b>Nmax</b>	<b>453.30</b> kN/m
<b>Nmin</b>	<b>256.35</b> kN/m
<b>Hmax</b>	<b>100.16</b> kN/m
<b>Mmax</b>	<b>154.85</b> kNm/m
SLV	
<b>Nmax</b>	<b>273.76</b> kN/m
<b>Nmin</b>	<b>261.66</b> kN/m
<b>Hmax</b>	<b>99.60</b> kN/m
<b>Mmax</b>	<b>189.00</b> kNm/m

Le terne di sollecitazioni sopra elencate sono utilizzate a seguire per le verifiche geotecniche GEO a carico limite e a scorrimento secondo l'approccio 2 (A1-M1-R3) di cui al punto 6.4.2.1 delle NTC2018.

Le caratteristiche geometriche e i coefficienti utilizzati nelle verifiche geotecniche vengono di seguito riportati:

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

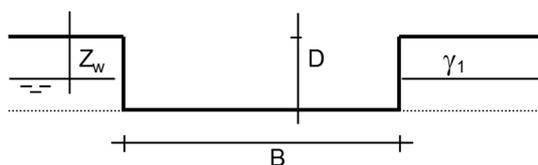
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2 \cdot e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2 \cdot e_L$ )

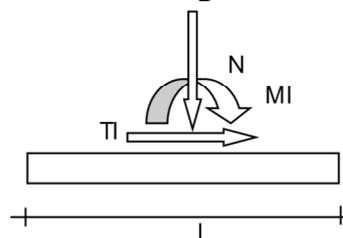
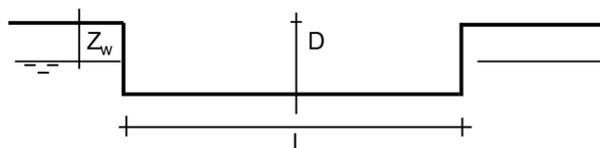
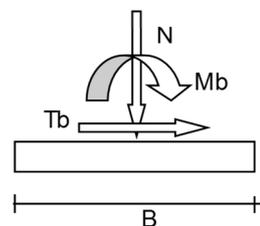
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze		
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	$q_{lim}$	scorr	
Stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30
Tensioni Ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00
Definiti dal Progettista	●	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10



$\gamma, c', \varphi'$



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 2.60 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 6.30 (m)



$\beta_f = 0.00$  (°)



$\beta_p = 0.00$  (°)

Per il calcolo del carico limite si è utilizzata la formula trinomia, in termini di tensioni efficaci per le condizioni drenate e in termini di tensioni totali per le condizioni non drenate:

CONDIZIONI DRENATE (TENSIONI EFFICACI):

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

CONDIZIONI NON DRENATE (TENSIONI TOTALI):

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q$$

Le seguenti verifiche geotecniche sono distinguibili per:

Verifiche per combinazioni in fase statica e verifiche per combinazione in fase sismica:

Verifiche in condizioni drenate e verifiche in condizioni non drenate (in presenza di falda);

Verifiche per sforzo normale minimo e verifiche per sforzo normale massimo.

### 3.13.2. Verifiche SLU in condizioni drenate

- SLU-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	256.35		256.35
Mb [kNm]	154.85		154.85
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	100.16		100.16
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	100.16	0.00	100.16

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 11.10$  (m)

$e_B = 0.60$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 1.39$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 126.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 10.66$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 20.72$

$N_y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_y = 10.88$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

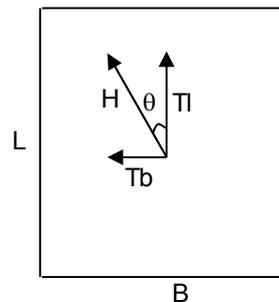
$$i_q = 0.43$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.37$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.28$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.44$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1020.70 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B * L^*$$

$$q = 184.17 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 443.78 \geq q = 184.17 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 140.42 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 127.65 \geq H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

• ***SLU-Nmax:***

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	453.30		453.30
Mb [kNm]	154.85		154.85
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	100.16		100.16
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	100.16	0.00	100.16

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 11.10$  (m)

$e_B = 0.34$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 1.92$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 126.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 10.66$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 20.72$

$N_y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_y = 10.88$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

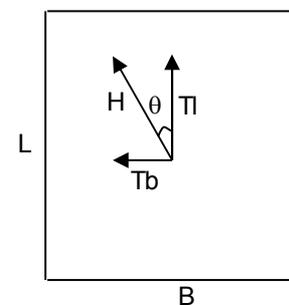
$$i_q = 0.63$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.59$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.50$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.44$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \qquad \beta_f + \beta_p = \qquad 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = \qquad 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = \qquad 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = \qquad 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = \qquad 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = \qquad 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = \qquad 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = \qquad 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = \qquad 1540.11 \qquad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B * L^*$$

$$q = \qquad 236.49 \qquad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 669.61 \geq q = 236.49 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 240.13 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 218.3 \geq H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

### 3.13.3. Verifiche SLU in condizioni non drenate

- SLU-N<sub>min</sub>:

	AZIONI		
	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	256.35		256.35
Mb [kNm]	154.85		154.85
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	100.16		100.16
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	100.16	0.00	100.16

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.60 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 1.39 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 126.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**N<sub>c</sub> : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

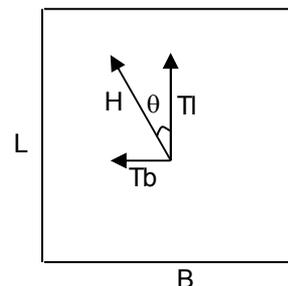
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 0.72$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.57$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 705.30 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 184.17 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 306.65 \geq q = 184.17 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 139.19 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 126.54 \geq H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

- *SLU-Nmax:*

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	453.30		453.30
Mb [kNm]	154.85		154.85
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	100.16		100.16
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	100.16	0.00	100.16

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$c_u = 50.00$  (kN/mq)

$e_B = 0.34$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

*Valore di progetto*

$c_u = 50.00$  (kN/mq)

$B^* = 1.92$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 126.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$Nc = 2 + \pi$

$Nc = 5.14$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$

$s_c = 1.00$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

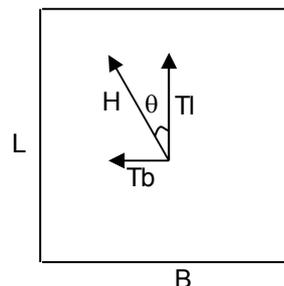
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 0.80$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.57$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 766.99 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 236.49 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 333.48 \geq q = 236.49 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 191.68 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 174.25 \geq H_d = 100.16 \text{ (kN)}$$

### 3.13.4. Verifiche SLV in condizioni drenate

- SLV-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	261.66		261.66
Mb [kNm]	189.00		189.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	99.60		99.60
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	99.60	0.00	99.60

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$c' = 10.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Valori di progetto*

$$c' = 10.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 11.10 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0.72 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 1.16 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 126.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**$N_c, N_q, N_\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi' \cdot q)}$$

$$N_q = 10.66$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$$

$$N_c = 20.72$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_\gamma = 10.88$$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cotg \varphi'))^m$$

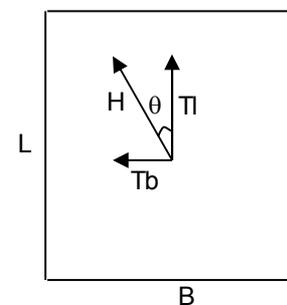
$$i_q = 0.44$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.38$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.29$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.44$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan(\varphi'))^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan(\beta_p))^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1047.99 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B * L^*$$

$$q = 226.47 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 455.65 \geq q = 226.47 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 139.35 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 126.68 \geq H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

• *SLV-Nmax:*

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	273.76		273.76
Mb [kNm]	189.00		189.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	99.60		99.60
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	99.60	0.00	99.60

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 11.10$  (m)

$e_B = 0.69$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 1.22$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 126.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

**$N_c, N_q, N_\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) * e^{(\pi * \tan \varphi')}$

$N_q = 10.66$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 20.72$

$N_\gamma = 2 * (N_q + 1) * \tan \varphi'$

$N_\gamma = 10.88$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

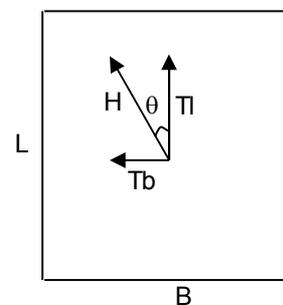
$$i_q = 0.45$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.40$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.31$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.44$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan(\varphi'))^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan(\beta_p))^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 1093.48 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B * L^*$$

$$q = 224.54 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 475.42 \geq q = 224.54 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 145.94 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 132.67 \geq H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

### 3.13.5. Verifiche SLV in condizioni non drenate

- SLV-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	261.66		261.66
Mb [kNm]	189.00		189.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	99.60		99.60
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	99.60	0.00	99.60

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.72 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 1.16 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 126.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

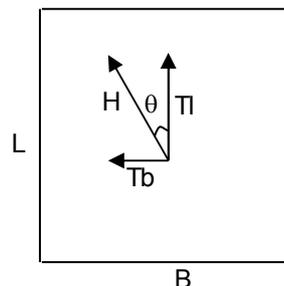
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 0.66$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.57$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 660.70 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 226.47 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 287.26 \geq q = 226.47 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 115.54 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 105.03 \geq H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

- *SLV-Nmax:*

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	273.76		273.76
Mb [kNm]	189.00		189.00
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	99.60		99.60
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	99.60	0.00	99.60

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.69 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 1.22 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 126.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$Nc = 2 + \pi$$

$$Nc = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

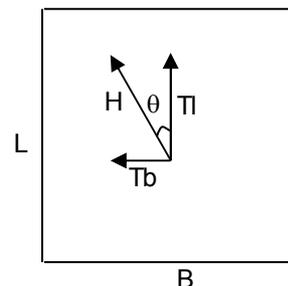
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 0.68$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.57$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 674.83 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 224.54 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 293.4 \geq q = 224.54 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 121.92 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 110.84 \geq H_d = 99.60 \text{ (kN)}$$

### 3.13.6. Tabella verifiche geotecniche GEO

I coefficienti di sfruttamento che si ottengono per le verifiche geotecniche GEO sono i seguenti:

<u>Coefficienti di sfruttamento</u>			
	Q <sub>lim</sub>	Scorr	Esito
SLU-CD_Nmin	42%	78%	OK
SLU-CD_Nmax	35%	46%	OK
SLV-CD_Nmin	50%	79%	OK
SLV-CD_Nmax	47%	75%	OK
SLU-CND_Nmin	60%	79%	OK
SLU-CND_Nmax	71%	57%	OK
SLV-CND_Nmin	79%	95%	OK
SLV-CND_Nmax	77%	90%	OK

### 3.14. OPERE DI IMBOCCO E SBOCCO

#### 3.14.1. GEOMETRIA

Larghezza utile	Lint	2.00 m	<i>luce interna scatolare</i>
Altezza libera	Hint	3.30 m	<i>altezza interna scatolare</i>
Spessore piedritti	Sp	0.30 m	<i>(consigliato: Sp = Ss)</i>
Spessore fondazione	Sf	0.40 m	<i>(consigliato: Sf = Ss + 10cm.)</i>
Larghezza totale	Ltot	2.60 m	<i>Lint+2xSPp</i>
Altezza totale	Htot	3.70 m	<i>Hint+SPf</i>

#### 3.14.2. ANALISI DEI CARICHI

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

##### **Peso proprio della struttura (condizione DEAD)**

Il *peso proprio* delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il calcestruzzo  $\gamma=25\text{kN/m}^3$ .

Peso specifico calcestruzzo armato	$\gamma_{ds}$	25 kN/m <sup>3</sup>	
peso singolo piedritto	Pp	7.50 kN/m	$\gamma_{cls} \times Sp$
peso fondazione	Psf	10.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times Sf$

##### **Spinta del terreno (condizioni SPTSX eSPTDX)**

Le caratteristiche del rinterro, sono le medesime considerate per lo scatolare:

$\varnothing=38^\circ$	Angolo di attrito
$\gamma_r=19\text{ kN/m}^3$	Peso specifico rinterro
$C_u=0$	Coesione non drenata

angolo di attrito rinterro	$\varnothing'$	38 [°]	0.663 [rad]
coefficiente spinta attiva $k_a$	$k_a$	0.238	$(1 - \sin\varnothing) / (1 + \sin\varnothing)$
coefficiente spinta riposo $k_o$	$k_o$	0.384	$(1 - \sin\varnothing)$
coefficiente spinta passiva $k_p$	$k_p$	4.204	$(1 + \sin\varnothing) / (1 - \sin\varnothing)$
Pressione cima piedritti	P2	0.00 kN/m <sup>2</sup>	Z=0
Pressione asse soletta inferiore	P3	24.21 kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times \gamma t \times (H_{int} + S_f / 2)$
Pressione intradosso soletta inferiore	P4	25.60 kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times \gamma t \times H_{tot}$
Forza concentrata asse soletta inferiore	F2	4.98 kN/m	$(P3 + P4) / 2 \times S_f / 2$

Il carico concentrato nel nodo 3 (per la SPTSX) oppure 13 (per la SPTDX) rappresenta la parte di spinta del terreno esercitata su 1/2 spessore della soletta inferiore.

### Azioni sismiche

Anche per l'azione sismica sono stati usati i medesimi parametri di progetto utilizzati per il calcolo dello scatolare.

#### Forze di inerzia (condizione SismaH)

Forza orizzontale su singolo piedritto  $F''_h$  1.23 kN/m<sup>2</sup>  $P_p \times k_b$

#### Spinta sismica terreno - Teoria di WOOD (condizioni SPSDX e SPSSX)

Forza distribuita su uno solo dei piedritti  $q_W$  10.89 kN/m<sup>2</sup>  $(\gamma t \times H_{tot}) \times (a_{go,max})$

Forza concentrata nodo inferiore piedritto  $Q_{Winf}$  2.18 kN  $q_W \times S_f / 2$

### 3.14.3. COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte:

Peso proprio	DEAD
Spinta del terreno sulla parete sinistra	SPTSX
Spinta del terreno sulla parete destra	SPTDX
Azione sismica orizzontale	Sisma H

Incremento sismico della spinta sul terreno	SPSDX/SX
---	----------

Si riportano di seguito le combinazioni allo SLU di carico ritenute più significative in base all'esperienza. Combinazione fondamentale

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

Combinazioni di carico SLU (non sismiche)													
	1slu	2slu	3slu	4slu	5slu	6slu	7slu	8slu	9slu	10slu	11slu	12slu	13slu
DEAD	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTSX	1	1	1	1	1.35	1.35	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1.35
SPTDX	1	1	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1

Combinazione sismica, 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:

$$E = \pm 1.00 \times E_Y \pm 0.30 \times E_Z \quad \text{oppure} \quad E = \pm 0.30 \times E_Y \pm 1.00 \times E_Z$$

Combinazioni di Carico Sismiche								
	SH1	SH2	SH3	SH4	SV1	SV2	SV3	SV4
DEAD	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1	1	1	1
SPTDX	1	1	1	1	1	1	1	1
Sisma H	1	1	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3
SPSDX	0	0	1	1	0	0	0.3	0.3
SPSSX	1	1	0	0	0.3	0.3	0	0

Le combinazioni sismiche vanno eseguite in entrambe le direzioni pertanto le combinazioni SH vanno ripetute per Sisma H = -1 e le combinazioni SV per Sisma V=-0.3.

Si riportano infine, le combinazioni di carico agli stati limite di esercizio SLE ritenute più significative. Combinazione rara

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

Combinazioni di caricoSLE			
	1sle	2sle	3sle
DEAD	1	1	1
SPTSX	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8

### 3.14.4. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

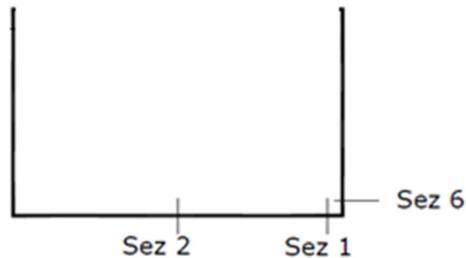
#### 3.14.4.1. Inviluppo SLU-SLV

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	36.32	114.14
1	0.26	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	40.34	110.19
1	0.36	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	41.39	105.89
1	0.47	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	42.81	101.47
1	0.57	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	43.87	96.91
1	0.68	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	44.92	92.24
1	0.78	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	44.50	87.59
1	0.89	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	45.55	82.85
1	0.99	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	43.42	78.23
1	1.10	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	44.47	73.60
1	1.20	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	40.64	72.75
1	1.31	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	41.69	75.67
1	1.41	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	36.17	78.60
1	1.52	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	37.22	81.70
1	1.62	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	30.01	84.72
1	1.73	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	31.06	87.89
1	1.83	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	32.12	90.95
1	1.94	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	18.24	94.15
1	2.04	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	19.29	97.25
1	2.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.00	2.90	100.32
1	0.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	4.59	45.39
1	0.26	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-7.92	43.20
1	0.36	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-6.86	41.64
1	0.47	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-17.82	39.99
1	0.57	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-16.77	39.16
1	0.68	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-15.72	38.19
1	0.78	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-21.63	37.66
1	0.89	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-20.58	37.08
1	0.99	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-25.46	36.82
1	1.10	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-24.40	36.62
1	1.20	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-28.24	36.62
1	1.31	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-27.18	36.82
1	1.41	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-29.96	37.08
1	1.52	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-28.91	37.66
1	1.62	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-30.62	38.19
1	1.73	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-29.57	39.16
1	1.83	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-28.52	39.99
1	1.94	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-30.01	41.64
1	2.04	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-28.96	42.38
1	2.15	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.00	-28.84	41.69

IN15 - Tombino Scatolare 2x3 (pk 7+482): Relazione di calcolo scatolare

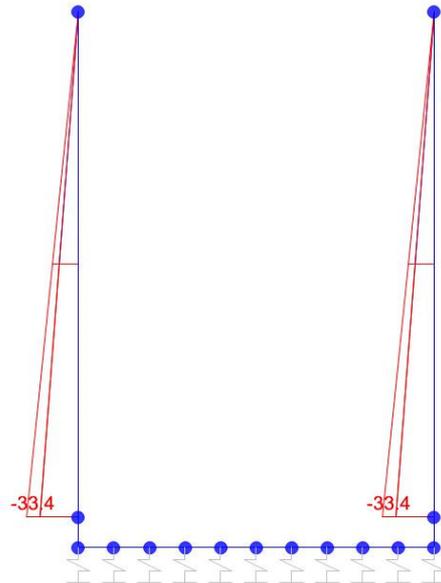
COMMESSA RS3T	LOTTO 3 0 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.15.0.0.001	REV. B	FOGLIO 80 di 122
------------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	---------------------

2	0.00	ENVELOPE SLU SLV	Combination Max	0.00	0.00	0.00
2	1.65	ENVELOPE SLU SLV	Combination Max	-12.37	24.33	-3.43
2	3.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination Max	-24.74	67.17	-34.10
2	0.00	ENVELOPE SLU SLV	Combination Min	0.00	0.00	0.00
2	1.65	ENVELOPE SLU SLV	Combination Min	-16.70	7.25	-17.52
2	3.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination Min	-33.40	33.02	-90.46
4	0.00	ENVELOPE SLU SLV	Combination Max	0.00	0.00	0.00
4	1.65	ENVELOPE SLU SLV	Combination Max	-12.37	-9.26	20.84
4	3.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination Max	-24.74	-37.04	103.74
4	0.00	ENVELOPE SLU SLV	Combination Min	0.00	0.00	0.00
4	1.65	ENVELOPE SLU SLV	Combination Min	-16.70	-28.35	5.09
4	3.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination Min	-33.40	-75.22	40.75

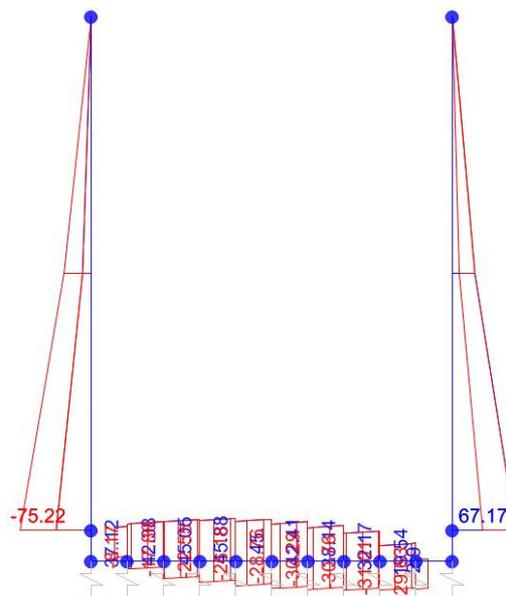


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	45.6	114.1
02	0.0	0.0	36.6
06	-24.7	75.2	90.5

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU-SLV

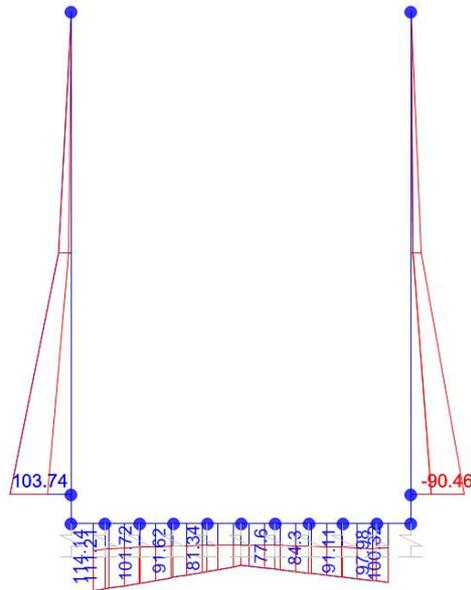


Sforzo normale



IN15 - Tombino Scatolare 2x3 (pk 7+482): Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA RS3T	LOTTO 3 0 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.15.0.0.001	REV. B	FOGLIO 82 di 122
------------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	---------------------



*Momento Flettente*

I valori V e M dei diagrammi corrispondono a quelli riportati nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

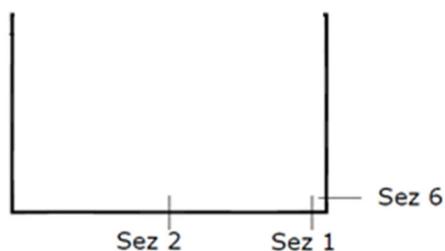
### 3.14.4.2. Inviluppo SLE (rara)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	19.09	45.86
1	0.26	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	14.16	43.95
1	0.36	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	15.21	42.40
1	0.47	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	9.95	40.78
1	0.57	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	11.00	39.68
1	0.68	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	12.05	38.47
1	0.78	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	8.67	37.55
1	0.89	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	9.73	36.58
1	0.99	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	6.13	35.84
1	1.10	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	7.18	35.14
1	1.20	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	3.38	34.58
1	1.31	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	4.43	34.17
1	1.41	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	0.42	33.81
1	1.52	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	1.47	33.72
1	1.62	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	-2.75	33.58
1	1.73	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	-1.70	33.81
1	1.83	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	-0.65	33.93
1	1.94	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	-7.81	34.76
1	2.04	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	-6.76	35.53
1	2.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	-14.22	36.87
1	0.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	19.09	45.86
1	0.26	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	14.16	43.95
1	0.36	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	15.21	42.40
1	0.47	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	9.95	40.78
1	0.57	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	11.00	39.68
1	0.68	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	12.05	38.47
1	0.78	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	8.67	37.55
1	0.89	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	9.73	36.58
1	0.99	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	6.13	35.84
1	1.10	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	7.18	35.14
1	1.20	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	3.38	34.58
1	1.31	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	4.43	34.17
1	1.41	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	0.42	33.81
1	1.52	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	1.47	33.72
1	1.62	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	-2.75	33.58
1	1.73	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	-1.70	33.81
1	1.83	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	-0.65	33.93
1	1.94	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	-7.81	34.76
1	2.04	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	-6.76	35.53
1	2.15	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.00	-14.22	36.87
2	0.00	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.00	0.00	0.00
2	1.65	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-12.37	7.41	-4.07
2	3.30	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	-24.74	29.63	-32.60

IN15 - Tombino Scatolare 2x3 (pk 7+482): Relazione di calcolo scatolare

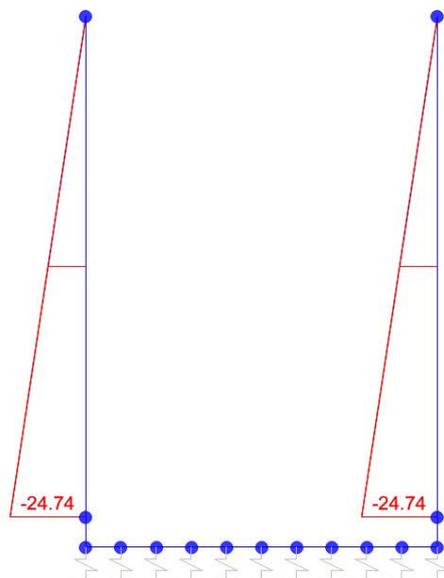
COMMESSA RS3T	LOTTO 3 0 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN.15.0.0.001	REV. B	FOGLIO 84 di 122
------------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	---------------------

2	0.00	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	0.00	0.00	0.00
2	1.65	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-12.37	7.41	-4.07
2	3.30	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-24.74	29.63	-32.60
4	0.00	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	0.00	0.00	0.00
4	1.65	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-12.37	-9.26	5.09
4	3.30	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-24.74	-37.04	40.75
4	0.00	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	0.00	0.00	0.00
4	1.65	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-12.37	-9.26	5.09
4	3.30	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-24.74	-37.04	40.75

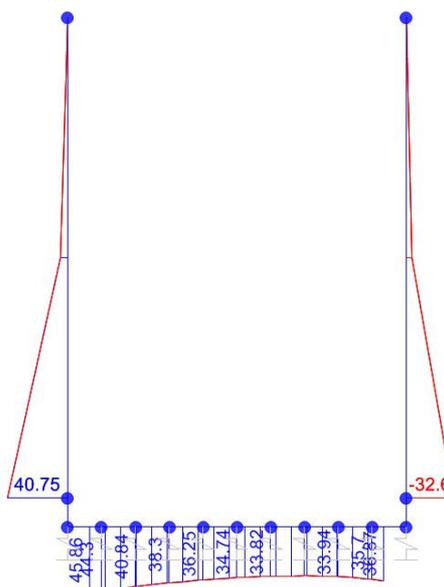


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	19.1	45.9
02	0.0	0.0	33.6
06	-24.7	37.0	32.6

Diagrammi di involuppo delle sollecitazioni: ENVELOPE SLE (rara)



Sforzo normale



Momento flettente

Il valore M dei diagrammi corrisponde a quello riportato nella tabella, mentre il valore dello sforzo normale P nei diagrammi (valore massimo) differisce da quello di verifica della tabella, pari a quello di compressione minimo.

### 3.14.5. VERIFICHE

Si riportano i coefficienti di sfruttamento nelle sezioni notevoli per le verifiche SLU/SLV/SLE:

<b>SINTESI VERIFICHE SEZIONI NOTEVOLI:</b>				
SL	VERIF	SEZ01	SEZ02	SEZ06
SLU	Med/Mrd	<b>58%</b>	<b>19%</b>	<b>67%</b>
SLU	Ved/Vrd	<b>27%</b>	<b>0%</b>	<b>46%</b>
SLE	(sigse/sigst)s	<b>3%</b>	<b>2%</b>	<b>0%</b>
SLE	(sigse/sigst)i	<b>28%</b>	<b>20%</b>	<b>0%</b>
SLE	(sigce/sigct)s	<b>16%</b>	<b>11%</b>	<b>0%</b>
SLE	wk/wklim	<b>66%</b>	<b>48%</b>	<b>0%</b>
	MAX	<b>66%</b>	<b>48%</b>	<b>67%</b>
	MAX	<b>67%</b>		

I coefficienti di sfruttamento sono tutti inferiori all'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

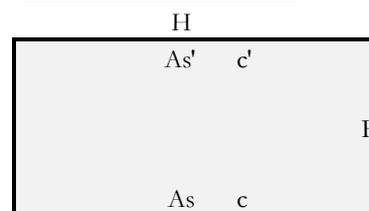
### 3.14.5.1. VERIFICHE DELLE SEZIONI

#### Sezione n° 01

##### Dati di Input:

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	330 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	114.1 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	45.6 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5 Armatura tesa filante	1571 mmq	
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0 Armatura di raffittim.	0 mmq	
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.0 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	45.9 kNm		
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigcR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

##### Geometria della Sezione:



##### Dati di Output:

##### SLU - Momento e Taglio resistenti

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S		
Mrd	Momento ultimo resistente	197 kNm	Coeff.Sfrutt.	58%
Vrd	Taglio ultimo resistente	171 kN	Coeff.Sfrutt.	27%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

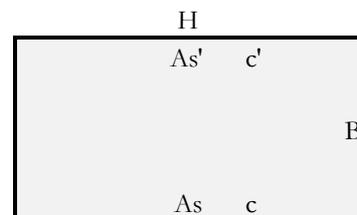
##### SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-12 Mpa	Coeff.Sfrutt.	3%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	100 Mpa	Coeff.Sfrutt.	28%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	16%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	85 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.13 mm	Coeff.Sfrutt.	66%
			Coeff.Sfrutt.Max	66%

## Sezione n°. 02

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	400 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	330 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	36.6 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5	Armatura tesa filante	1571 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0	Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m	0.00 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	33.6 kNm		
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

**Geometria della Sezione:**

**Dati di Output:**
**SLU - Momento e Taglio resistenti**

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S		
Mrd	Momento ultimo resistente	197 kNm	Coeff.Sfrutt.	19%
Vrd	Taglio ultimo resistente	171 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

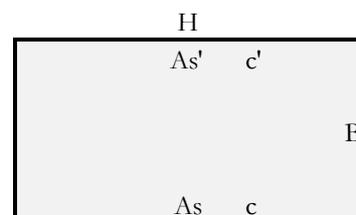
**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-9 Mpa	Coeff.Sfrutt.	2%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	73 Mpa	Coeff.Sfrutt.	20%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-2 Mpa	Coeff.Sfrutt.	11%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	85 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.10 mm	Coeff.Sfrutt.	48%
			Coeff.Sfrutt.Max	48%

## Sezione n°. 06

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	300 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	230 mm		
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa		
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa		
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	0.0 kN		
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	90.5 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	67.2 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	20		
Fi2	2° diametro armatura tesa	0		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	5	Armatura tesa filante	1571 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0	Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	1571 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	1571 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	mm		
s. Staffe	Passo staffe	150 mm		
bracci	Numero Bracci staffe	2		
cotθ	(proiez.orizz.)/(proiez.vert.) puntone cls	2.5 [range: 1,0-2,5]		
alpha	angolo staffe/piegati rispetto all'orizzontale	90.0°		
Asw	Area a taglio per unità di lunghezza	0 mmq/m		0.00 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	32.6 kNm		
Nslc	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	0.0 kN		
wk-lim	Stato limite apertura fessure (Freq.Perm)	0.20 mm		
sigcR-lim	Tensione limite cls comb. Rara	0.60 fck		
sigcP-lim	Tensione limite cls comb. Quasi Perm.	0.45 fck		
sigsR-lim	Tensione limite acc. Comb. Rara	0.80 fyk		

**Geometria della Sezione:**

**Dati di Output:**
**SLU - Momento e Taglio resistenti**

<S-N>	Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	S		
Mrd	Momento ultimo resistente	135 kNm	Coeff.Sfrutt.	67%
Vrd	Taglio ultimo resistente	146 kN	Coeff.Sfrutt.	46%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	0 Mpa	Coeff.Sfrutt.	0%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	0 Mpa	Coeff.Sfrutt.	0%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	0 Mpa	Coeff.Sfrutt.	0%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	49 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.00 mm	Coeff.Sfrutt.	0%
			Coeff.Sfrutt.Max	67%

### 3.14.5.2. VERIFICHE GEOTECNICHE

#### 3.14.5.2.1. Base Reaction

Le “base reaction” sono la risultante delle reazioni delle molle per ogni singola combinazione di carico:

TABLE: Base Reactions			
OutputCase	GlobalFZ	GlobalFX	GlobalMY
Text	KN	KN	KN-m
SLU01	101.90	0.00	0.00
SLU01	101.90	0.00	0.00
SLU02	101.90	0.00	0.00
SLU02	101.90	0.00	0.00
SLU03	101.90	0.00	0.00
SLU03	101.90	0.00	0.00
SLU04	101.90	16.25	17.01
SLU04	101.90	16.25	17.01
SLU05	101.90	0.00	0.00
SLU05	101.90	0.00	0.00
SLU06	101.90	0.00	0.00
SLU06	101.90	0.00	0.00
SLU07	101.90	16.25	17.01
SLU07	101.90	16.25	17.01
SLU08	75.48	16.25	17.01
SLU08	75.48	16.25	17.01
SLU09	101.90	16.25	17.01
SLU09	101.90	16.25	17.01
SLU10	101.90	-16.25	-17.01
SLU10	101.90	-16.25	-17.01
SLU11	101.90	-16.25	-17.01
SLU11	101.90	-16.25	-17.01
SLU12	101.90	-16.25	-17.01
SLU12	101.90	-16.25	-17.01
SLU13	101.90	-16.25	-17.01
SLU13	101.90	-16.25	-17.01
SH1	75.48	-46.84	-78.34
SH1	75.48	-46.84	-78.34
SH2	75.48	-46.84	-78.34
SH2	75.48	-46.84	-78.34
SH3	75.48	29.76	48.45
SH3	75.48	29.76	48.45
SH4	75.48	29.76	48.45
SH4	75.48	29.76	48.45

SV1	75.48	-14.05	-23.50
SV1	75.48	-14.05	-23.50
SV2	75.48	-14.05	-23.50
SV2	75.48	-14.05	-23.50
SV3	75.48	8.93	14.53
SV3	75.48	8.93	14.53
SV4	75.48	8.93	14.53
SV4	75.48	8.93	14.53

Le terne di sollecitazioni N-H-M utilizzate nelle verifiche sono le seguenti, involuppate per combinazioni SLU e per combinazioni SLV:

SLU	
<b>Nmax</b>	<b>101.90</b> kN/m
<b>Nmin</b>	<b>75.48</b> kN/m
<b>Hmax</b>	<b>16.25</b> kN/m
<b>Mmax</b>	<b>17.01</b> kNm/m
SLV	
<b>Nmax</b>	<b>75.48</b> kN/m
<b>Nmin</b>	<b>75.48</b> kN/m
<b>Hmax</b>	<b>46.84</b> kN/m
<b>Mmax</b>	<b>78.34</b> kNm/m

Le terne di sollecitazioni sopra elencate sono utilizzate a seguire per le verifiche geotecniche GEO a carico limite e a scorrimento secondo l'approccio 2 (A1-M1-R3) di cui al punto 6.4.2.1 delle NTC2018.

Le seguenti verifiche geotecniche sono distinguibili per:

Verifiche per combinazioni in fase statica e verifiche per combinazione in fase sismica:

Verifiche in condizioni drenate e verifiche in condizioni non drenate (in presenza di falda);

Verifiche per sforzo normale minimo e verifiche per sforzo normale massimo.

Le caratteristiche geometriche e i coefficienti utilizzati nelle verifiche geotecniche vengono di seguito riportati:

D = Profondità del piano di appoggio

$e_B$  = Eccentricità in direzione B ( $e_B = Mb/N$ )

$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

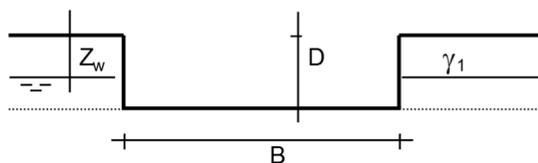
$B^*$  = Larghezza fittizia della fondazione ( $B^* = B - 2^*e_B$ )

$L^*$  = Lunghezza fittizia della fondazione ( $L^* = L - 2^*e_L$ )

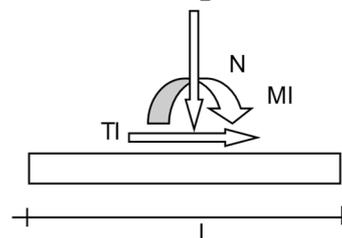
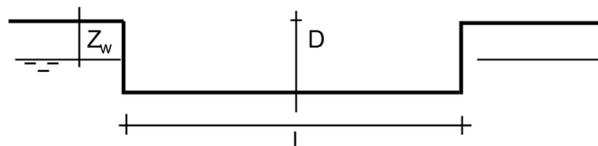
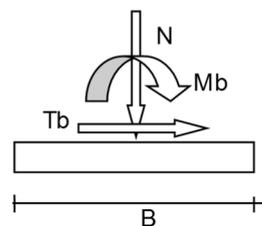
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

**coefficienti parziali**

Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno		resistenze			
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	$c'$	qlim	scorr		
stato Limite Ultimo	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00	
	A2+M2+R2	○	1.00	1.30	1.25	1.25	1.80	1.00
	SISMA	○	1.00	1.00	1.25	1.25	1.80	1.00
	A1+M1+R3	○	1.30	1.50	1.00	1.00	2.30	1.10
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10
Tensioni Ammissibili	○	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	
Definiti dal Progettista	●	1.00	1.00	1.00	1.00	2.30	1.10	

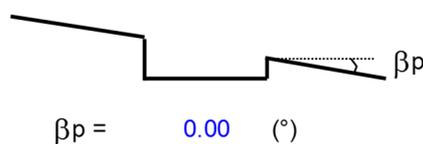
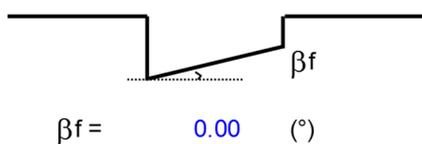


$\gamma, c', \varphi'$



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

B = 2.60 (m)  
L = 100.00 (m)  
D = 3.70 (m)



Per il calcolo del carico limite si è utilizzata la formula trinomia, in termini di tensioni efficaci per le condizioni drenate e in termini di tensioni totali per le condizioni non drenate:

CONDIZIONI DRENATE (Tensioni EFFICACI):

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

CONDIZIONI NON DRENATE (Tensioni TOTALI):

$$q_{lim} = c_u \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q$$

Le seguenti verifiche geotecniche sono distinguibili per:

Verifiche per combinazioni in fase statica e verifiche per combinazione in fase sismica:

Verifiche in condizioni drenate e verifiche in condizioni non drenate (in presenza di falda);

Verifiche per sforzo normale minimo e verifiche per sforzo normale massimo.

### 3.14.6. Verifiche SLU in condizioni drenate

- **SLU-Nmin:**

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	75.48		75.48
Mb [kNm]	17.01		17.01
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	16.25		16.25
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	16.25	0.00	16.25

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$c' = 10.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Valori di progetto*

$$c' = 10.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 7.70 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 0.23 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 2.15 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 74.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**$N_c, N_q, N_\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$$

$$N_q = 10.66$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$$

$$N_c = 20.72$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_\gamma = 10.88$$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

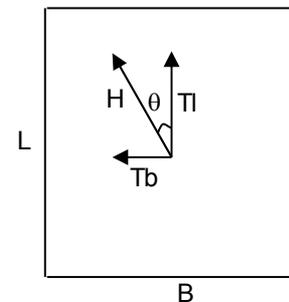
$$i_q = 0.73$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.71$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.62$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.38$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.40$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 2086.98 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B \cdot L^*$$

$$q = 35.12 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 907.38 \geq q = 35.12 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 86.56 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 78.69 \geq H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

• ***SLU-Nmax:***

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	101.90		101.90
Mb [kNm]	17.01		17.01
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	16.25		16.25
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	16.25	0.00	16.25

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 7.70$  (m)

$e_B = 0.17$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 2.27$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 74.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$Nq = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$Nq = 10.66$

$Nc = (Nq - 1) / \tan \varphi'$

$Nc = 20.72$

$Ny = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \varphi'$

$Ny = 10.88$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

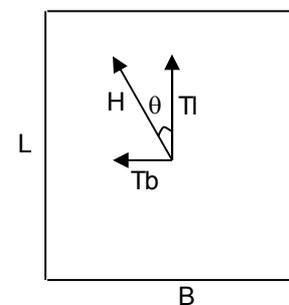
$$i_q = 0.78$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.76$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.68$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.37$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.39$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 2067.09 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B \cdot L^*$$

$$q = 44.97 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 898.73 \geq q = 44.97 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 104.15 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 94.68 \geq H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

### 3.14.7. Verifiche SLU in condizioni non drenate

- SLU-N<sub>min</sub>:

	AZIONI		
	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	75.48		75.48
M <sub>b</sub> [kNm]	17.01		17.01
M <sub>I</sub> [kNm]	0.00		0.00
T <sub>b</sub> [kN]	16.25		16.25
T <sub>I</sub> [kN]	0.00		0.00
H [kN]	16.25	0.00	16.25

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.23 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 2.15 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 74.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**N<sub>c</sub> : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

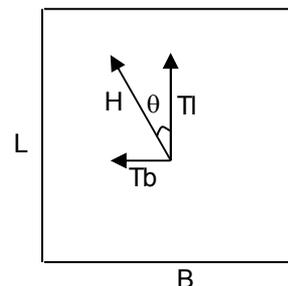
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 0.97$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.52$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 911.92 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 35.12 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 396.49 \geq q = 35.12 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 236.41 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 214.92 \geq H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

- *SLU-Nmax:*

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	101.90		101.90
Mb [kNm]	17.01		17.01
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	16.25		16.25
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	16.25	0.00	16.25

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.17 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 2.27 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 74.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

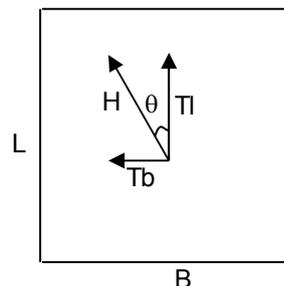
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u N_c))$$

$$i_c = 0.97$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.52$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 913.11 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 44.97 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 397 \geq q = 44.97 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 249.26 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 226.6 \geq H_d = 16.25 \text{ (kN)}$$

### 3.14.8. Verifiche SLV in condizioni drenate

- SLV-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	75.48		75.48
Mb [kNm]	78.34		78.34
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	46.84		46.84
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	46.84	0.00	46.84

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$c' = 10.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Valori di progetto*

$$c' = 10.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$\varphi' = 25.00 \quad (^\circ)$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 7.70 \quad (\text{m})$$

$$e_B = 1.04 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

$$B^* = 0.52 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 74.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante**

$$N_q = \tan^2(45 + \varphi/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$$

$$N_q = 10.66$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_c = 20.72$$

$$N_y = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

$$N_y = 10.88$$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

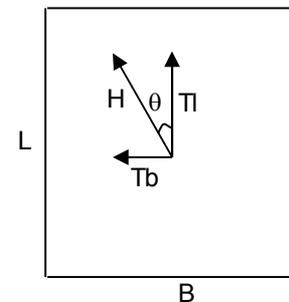
$$i_q = 0.25$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.21$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cot \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.12$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.41$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.44$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan(\varphi'))^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan(\beta_p))^2 \qquad \beta_f + \beta_p = 0.00 \qquad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 672.81 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B \cdot L^*$$

$$q = 143.99 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 292.53 \geq q = 143.99 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 54.06 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 49.15 \geq H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

• **SLV-Nmax:**

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	75.48		75.48
Mb [kNm]	78.34		78.34
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	46.84		46.84
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	46.84	0.00	46.84

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 25.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 7.70$  (m)

$e_B = 1.04$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 0.52$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 74.00$  (kN/mq)

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

**$N_c, N_q, N_\gamma$  : coefficienti di capacità portante**

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 10.66$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 20.72$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_\gamma = 10.88$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : fattori di forma**

$$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L \cdot N_c)$$

$$s_c = 1.00$$

$$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L$$

$$s_q = 1.00$$

$$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B / L$$

$$s_\gamma = 1.00$$

**$i_c, i_q, i_\gamma$  : fattori di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B / L) / (1 + B / L) = 0.00 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L / B) / (1 + L / B) = 0.00 \quad m = 2.00 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^m$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

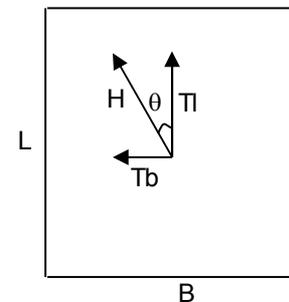
$$i_q = 0.25$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$$

$$i_c = 0.21$$

$$i_\gamma = (1 - H / (N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cotg \varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0.12$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : fattori di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B \leq 1$ ;  $d_q = 1 + 2 D \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2 / B$

per  $D/B > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B)$

$$d_q = 1.41$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$d_c = 1.44$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : fattori di inclinazione base della fondazione**

$$b_q = (1 - \beta_f \tan(\varphi'))^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1.00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$b_c = 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1.00$$

**$g_c, g_q, g_\gamma$  : fattori di inclinazione piano di campagna**

$$g_q = (1 - \tan(\beta_p))^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1.00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan(\varphi'))$$

$$g_c = 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 672.81 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B * L^*$$

$$q = 143.99 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 292.53 \geq q = 143.99 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = N \tan(\varphi') + c' B^* L^*$$

$$S_d = 54.06 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 49.15 \geq H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

### 3.14.9. Verifiche SLV in condizioni non drenate

• SLV-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	75.48		75.48
Mb [kNm]	78.34		78.34
Ml [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	46.84		46.84
Tl [kN]	0.00		0.00
H [kN]	46.84	0.00	46.84

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 1.04 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 0.52 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 74.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

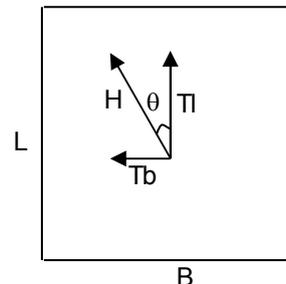
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 0.68$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.57$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 681.91 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 143.99 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 296.48 \geq q = 143.99 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 57.66 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 52.42 \geq H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

• *SLV-Nmax:*

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	75.48		75.48
Mb [kNm]	78.34		78.34
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	46.84		46.84
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	46.84	0.00	46.84

*Peso unità di volume del terreno*

$$\gamma_1 = 20.00 \quad (\text{kN/mc})$$

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 1.04 \quad (\text{m})$$

$$e_L = 0.00 \quad (\text{m})$$

*Valore di progetto*

$$c_u = 50.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 0.52 \quad (\text{m})$$

$$L^* = 1.00 \quad (\text{m})$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 74.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : peso di volume del terreno di fondazione**

$$\gamma = 18.00 \quad (\text{kN/mc})$$

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$Nc = 2 + \pi$$

$$Nc = 5.14$$

**s<sub>c</sub> : fattori di forma**

$$s_c = 1 + 0,2 B^* / L^*$$

$$s_c = 1.00$$

**$i_c$ : fattore di inclinazione del carico**

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 0.00$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 0.00$$

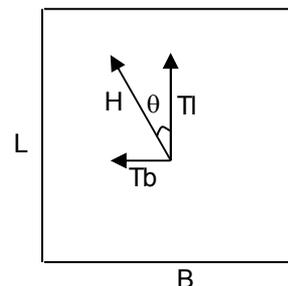
$$\theta = \arctg(T_b/T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

( $m=2$  nel caso di fondazione nastriforme e  $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

$$i_c = (1 - m H / (B^* L^* c_u^* N_c))$$

$$i_c = 0.68$$



**$d_c$ : fattore di profondità del piano di appoggio**

per  $D/B^* \leq 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 D / B^*$

per  $D/B^* > 1$ ;  $d_c = 1 + 0,4 \arctan (D / B^*)$

$$d_c = 1.57$$

**$b_c$ : fattore di inclinazione base della fondazione**

$$b_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_c = 1.00$$

**$g_c$ : fattore di inclinazione piano di campagna**

$$g_c = (1 - 2 \beta_f / (\pi + 2)) \quad \beta_f + \beta_p = 0.00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_c = 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = 681.91 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

$$q = N / B^* L^*$$

$$q = 143.99 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 296.48 \geq q = 143.99 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

$$S_d = c_u B^* L^*$$

$$S_d = 57.66 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 52.42 \geq H_d = 46.84 \text{ (kN)}$$

3.14.10. Tabella verifiche geotecniche GEO

I coefficienti di sfruttamento che si ottengono per le verifiche geotecniche GEO sono i seguenti:

<u>Coefficienti di sfruttamento</u>			
	Q <sub>lim</sub>	Scorr	Esito
SLU-CD_Nmin	4%	21%	OK
SLU-CD_Nmax	9%	25%	OK
SLV-CD_Nmin	49%	95%	OK
SLV-CD_Nmax	49%	95%	OK
SLU-CND_Nmin	9%	8%	OK
SLU-CND_Nmax	11%	7%	OK
SLV-CND_Nmin	49%	89%	OK
SLV-CND_Nmax	49%	89%	OK