

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO**

FABBRICATI VIAGGIATORI

Stazione S. Antonio - Sottopasso

Relazione di calcolo scatolare

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 78 CL FV0400 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Ott-2020	G.Romano	Ott-2020	M.D'Avino	Ott-2020	D.Tiberti Gen-2021
B	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Gen-2021	G.Romano	Gen-2021	M.D'Avino	Gen-2021	ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Generale UO Infrastrutture Sud Dott. Ing. Gianni Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10879

NN1X.0.0.D.78.CL.FV.04.0.0.002.B

n. Elab.:

## INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA .....	3
3. PROGETTO NUOVO SOTTOPASSO .....	5
3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3.2. UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA .....	6
3.3. GEOMETRIA .....	6
3.4. MATERIALI.....	7
3.5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	8
3.6. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA .....	9
3.7. MODELLAZIONE ADOTTATA .....	10
3.8. ANALISI DEI CARICHI .....	12
3.9. VERIFICA REQUISITI S.T.I.....	21
3.10. COMBINAZIONI DI CARICO .....	23
3.11. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI .....	29
.2.1.1. INVILUPPO SLU/SLV.....	29
.3.1.2. INVILUPPO SLE (RARA).....	33
3.12. VERIFICHE SLU/SLV/SLE.....	36
3.13. ARMATURE DI RIPARTIZIONE .....	42
3.14. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE .....	45
3.15. VERIFICHE GEOTECNICHE.....	46
.3.16.1. BASE REACTION.....	46
.3.16.2. VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI DRENATE.....	51
.3.16.3. VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI NON DRENATE .....	59
.3.16.4. VERIFICHE SLV IN CONDIZIONI DRENATE .....	65
.3.16.5. VERIFICHE SLV IN CONDIZIONI NON DRENATE.....	73
.3.16.6. TABELLA VERIFICHE GEOTECNICHE GEO.....	78
.3.16.7. SOLLEVAMENTO PER GALLEGGIAMENTO UPL.....	78

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo è sviluppato il progetto, ai sensi delle norme attualmente vigenti NTC18, di un sottopasso lungo la linea metropolitana “Salerno-Pontecagnano aeroporto” nella nuova stazione di S. Antonio alla progressiva 6+120.

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

Si riportano di seguito uno stralcio planimetrico e una sezione trasversale del sottopasso, volte ad individuare l’opera oggetto di tale elaborato:

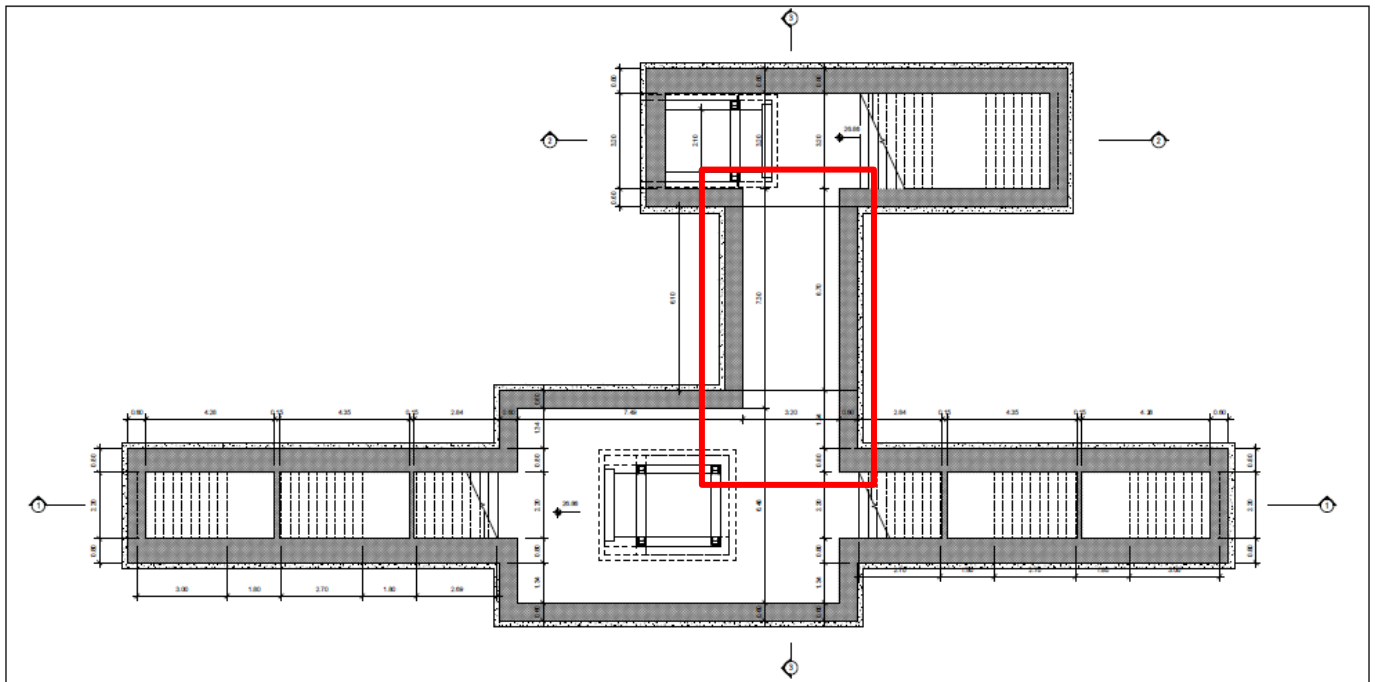


Figura 1a. Planimetria dell’opera con individuazione del sottopasso

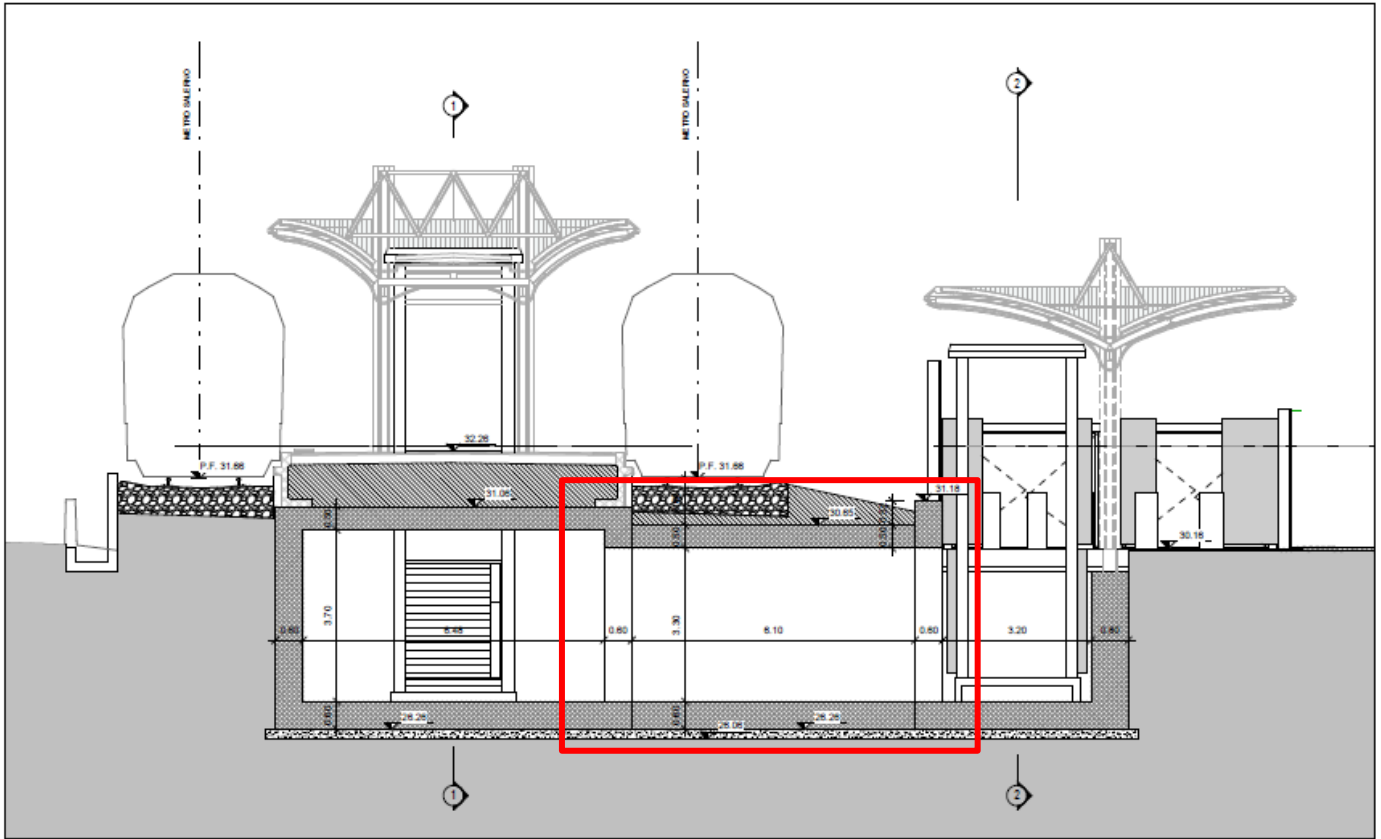


Figura 1b. Sezione trasversale dell'opera con individuazione del sottopasso

## 2. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Il sottopasso si trova all'interno della nuova stazione di S. Antonio, al di sotto della linea metropolitana 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  $L_{int} \times H_{int}$ , con piedritti di spessore  $S_p$ , soletta inferiore di spessore  $S_f$  e soletta superiore di spessore  $S_s$ . Nel seguito verrà esaminata una striscia di scatolare avente lunghezza di 1.00 m. Nella figura [Figura 2] sono riportate schematicamente la geometria dell'opera e la simbologia adottata.

Le caratteristiche geometriche hanno la seguente simbologia:

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 4 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	-------------------

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]

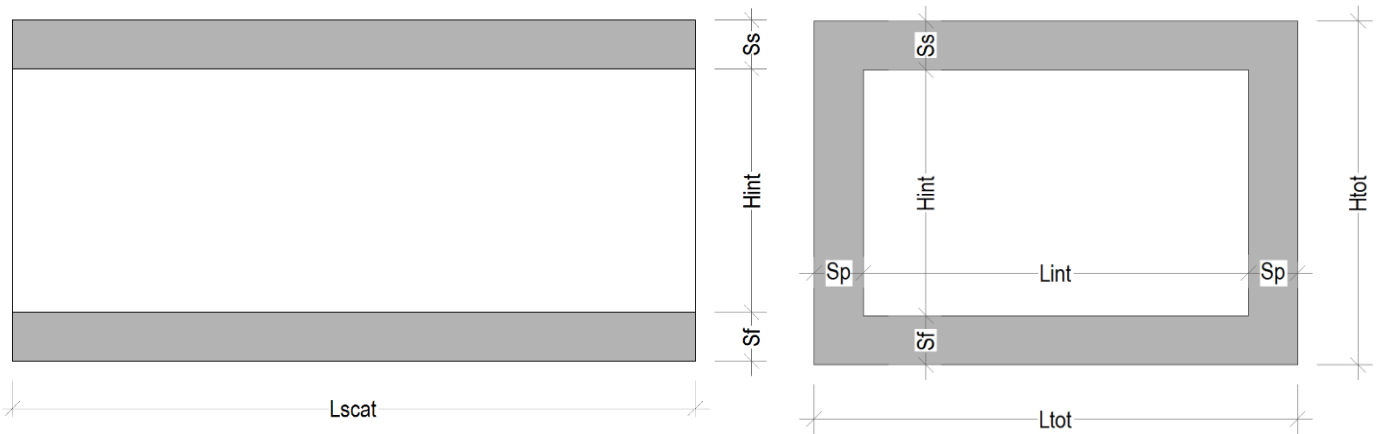


Figura 2. Simbologia adottata

### 3. PROGETTO NUOVO SOTTOPASSO

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione del sottopasso 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:

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

[N.3]. Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20 dicembre 2019 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

### 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<sup>3</sup> 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> )	
$\epsilon$ (epsilon)	deformazione	(m/m)	-
$\phi$ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)	

### 3.3. GEOMETRIA

Larghezza utile	Lint	3.20 m	luce interna scatolare
Altezza libera	Hint	3.30 m	altezza interna scatolare
Spessore piedritti	Sp	0.60 m	(consigliato: Sp = Ss)
Spessore soletta	Ss	0.50 m	(consigliato: Ss = Lint/10+10cm.)
Spessore fondazione	Sf	0.60 m	(consigliato: Sf = Ss + 10cm.)
Altezza ballast	Hb	0.80 m	
Rinterro (superiore)	Hr	0.20 m	
Lunghezza traversa	Ltb	2.40 m	
Altezza traversa	Htb	0.40 m	
Ricoprimento	Hric	1.00 m	Hb+Hr
Larghezza totale	Ltot	4.40 m	Lint+2xSPp
Altezza totale	Htot	4.40 m	Hint+SPs+SPf

### 3.4. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo **C30/37** 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: **w1 = 0.2 mm**

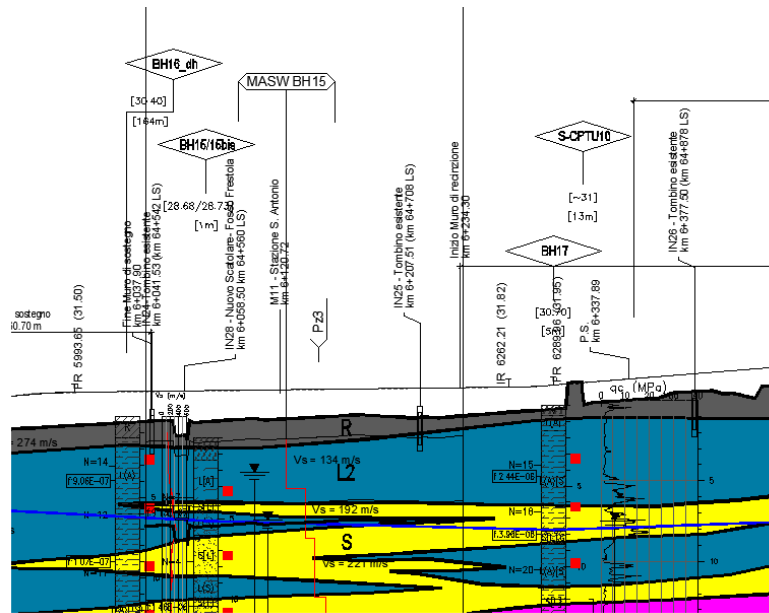
Acciaio da cemento armato normale **B450C** controllato in stabilimento. Le barre sono ad aderenza migliorata. Le caratteristiche meccaniche sono:

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



### 3.5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si riporta di seguito la stratigrafia in corrispondenza 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 rinfianco.

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

**3) L2**

Limo media consistenza

Peso specifico terreno	$\gamma_t$	18.0 kN/m <sup>3</sup>
angolo d'attrito terreno	$\phi$	22.0 [°]
coesione efficace terreno	$c'$	10.0 kN/m <sup>2</sup>
coesione non drenata terreno	$c_u$	45.0 kN/m <sup>2</sup>

I parametri geotecnici del rinterro e del terreno di rinfianco 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 [°]
coesione rinterro		$c_u$	0.0 kN/m <sup>2</sup>
			0.663 [rad]
Peso specifico terreno di rinfianco		$\gamma_t$	20.0 kN/m <sup>3</sup>
angolo di attrito terreno di rinfianco		$\phi'$	38.0 [°]
coesione terreno di rinfianco		$c_u$	0.0 kN/m <sup>2</sup>
			0.663 [rad]

#### FALDA

Quota falda dal p.c.	$q_w$	8.00 m
Peso specifico	$\gamma_w$	10.00 kN/m <sup>3</sup>

### 3.6. INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

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:

$$s = B \cdot ct \cdot (q - \sigma_v0) \cdot (1 - \nu^2) / E'_{op}$$

dove:

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

$$ct = 0.853 + 0.534 \ln(L / B) \text{ rettangolare con } L / B \leq 10$$

$$ct = 2 + 0.0089 (L / B) \text{ rettangolare con } L / B > 10$$

- q = pressione media agente sul terreno;
- $\sigma_v0$  = tensione litostatica verticale alla quota di posa della fondazione;
- $\nu$  = coefficiente di Poisson del terreno;
- $E'_{op}$  = modulo elastico operativo del terreno sottostante.

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

$$kw = E'_{op} / [(1 - \nu^2) \cdot B \cdot ct]$$

Di seguito si riportano in forma tabellare i risultati delle valutazioni effettuate per il caso in esame, avendo considerato per  $E'_{op}$  il valore minimo tra quelli indicati per l'Unità Geotecnica in esame ed una dimensione longitudinale della fondazione ritenuta potenzialmente collaborante nella diffusione dei carichi:

Unità stratigrafica	3)L2	
Descrizione unità stratigrafica	Limo media consistenza	
Modulo elastico medio terreno	$E'_{op}$	<b>40000</b> kN/m <sup>2</sup> (il minore tra i valori proposti)
Coefficiente di Poisson medio terreno	$\nu$	0.3
Lato minore della fondazione	B	4.4 m
Lato maggiore della fondazione	L	6.1 m
Rapporto dei lati	L/B	1.4
Coefficiente adimensionale	ct	1.027
Costante di sottofondo	Kw	<b>9723</b> kN/m <sup>3</sup>

### 3.7. MODELLAZIONE ADOTTATA

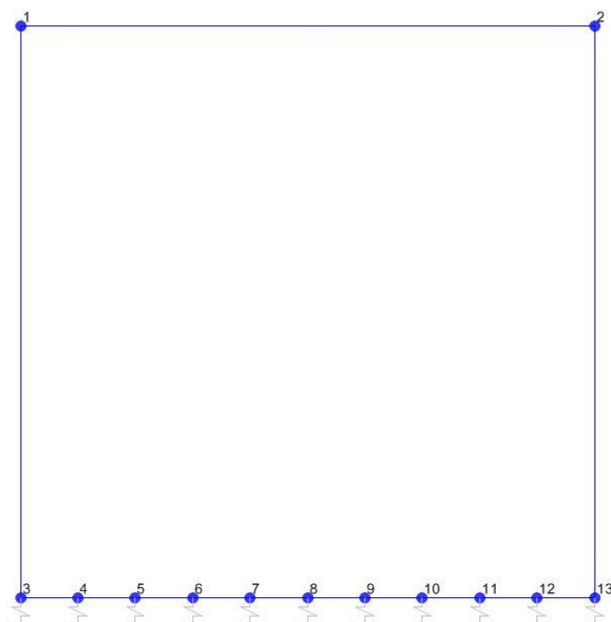
Il modello di calcolo attraverso il quale viene schematizzata la struttura è quello di telaio chiuso su letto di molle alla Winkler. Il programma di calcolo utilizzato è un programma ad elementi finiti, il Sap 2000.

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

<i>asta</i>	<i>base</i>	<i>altezza</i>	<i>descrizione</i>
Asta 1	100 cm	60 cm	(soletta inferiore)
Aste 2, 4	100 cm	60 cm	(Piedritti)
Asta 3	100 cm	50 cm	(soletta superiore)

Le caratteristiche geometriche del modello e le coordinate dei nodi sono le seguenti:

Linterasse	3.80 m
Hinterasse	3.85 m
N.nodi	13
N.nodi sup	2
N.nodi inf	11
N.spazi inf	10



<i>Nodo</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>
1	0.000	3.850
2	3.800	3.850
3	0.000	0.000
4	0.380	0.000
5	0.760	0.000
6	1.140	0.000
7	1.520	0.000
8	1.900	0.000
9	2.280	0.000
10	2.660	0.000
11	3.040	0.000
12	3.420	0.000
13	3.800	0.000

Figura 3. Numerazione nodi modello SAP

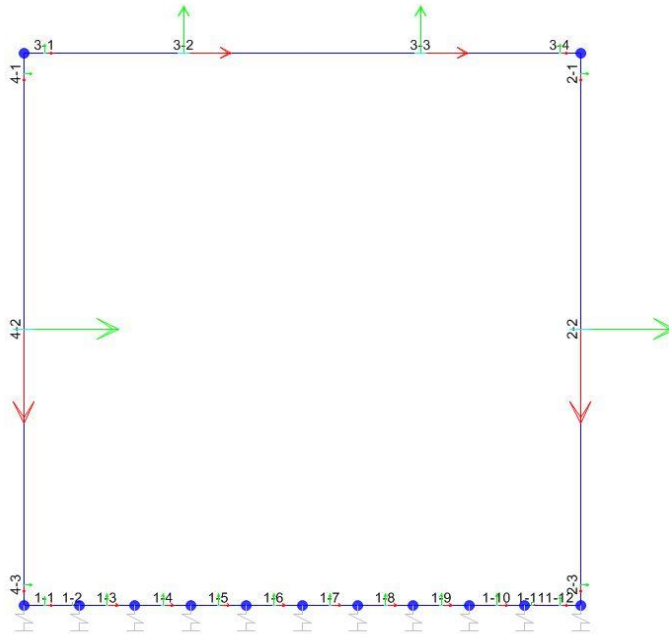


Figura 4: Individuazione elementi modello SAP

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 dai parametri della relazione geotecnica:

#### Rigidità molle nodali SAP

ks		<b>9723</b> kN/m <sup>3</sup>
nodi centrali (6,7,8,9,10)		
Linfl		0.380 m
Kcentrale	ks x Linfl x 1	<b>3695</b> kN/m
nodi intermedi (4,5,11,12)		
Linfl		0.380 m
Kintermedio	1,5 x ks x Linfl x 1	<b>5542</b> kN/m
nodi estremità (3,13)		
Linfl		0.490 m
Kestremità	2,0 x ks x Linfl x 1	<b>9529</b> kN/m

### 3.8. 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	$\gamma_{cls}$	25 kN/m <sup>3</sup>	
peso singolo piedritto	$P_p$	15.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_p$
peso soletta superiore	$P_{ss}$	12.50 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_s$
peso fondazione	$P_{sf}$	15.00 kN/m	$\gamma_{cls} \times S_f$

#### Permanenti portati (condizione PERM)

peso specifico ballast	$\gamma_b$	18 kN/m <sup>3</sup>	
altezza ballast	$H_b$	0.80 m	
peso ballast	$P_b$	14.40 kN/m	$\gamma_b \times H_b$
peso specifico rinterro	$\gamma_r$	20.0 kN/m <sup>3</sup>	
altezza rinterro	$H_r$	0.20 m	
peso rinterro	$P_r$	4.00 kN/m	$\gamma_r \times H_r$
peso specifico massetto di protezione	$\gamma_m$	24 kN/m <sup>3</sup>	
altezza massetto di protezione	$H_m$	0.05 m	
peso massetto di protezione	$P_m$	1.20 kN/m	$\gamma_m \times H_m$
Permanente totale	$G_{2p}$	19.60 kN/m	$P_b + P_r$
Permanente nodi 1 e 2	$G_{2P}$	5.88 kN	$G_{2p} \times S_p / 2$

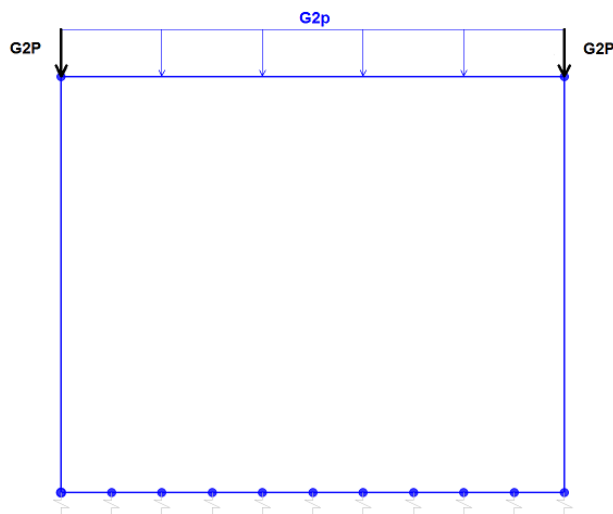


Figura 5. Condizione di carico PERM da SAP2000

**Spinta del terreno (condizioni SPTSX e SPTDX)**

angolo di attrito rinterro	$\varnothing'$	38.0 [°]	0.663 [rad]
coefficiente spinta attiva $k_a$	$k_a$	0.238	$(1 - \text{sen}\varnothing) / (1 + \text{sen}\varnothing)$
coefficiente spinta riposo $k_o$	$k_o$	<b>0.384</b>	$(1 - \text{sen}\varnothing)$
coefficiente spinta passiva $k_p$	$k_p$	4.204	$(1 + \text{sen}\varnothing) / (1 - \text{sen}\varnothing)$
Pressione estradosso soletta superiore	P1	<b>7.53</b> kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times (P_b + P_r + P_m)$
Pressione asse soletta superiore	P2	<b>9.45</b> kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times (P_b + P_r + P_m + \gamma_r \times S_s / 2)$
Pressione asse soletta inferiore	P3	<b>39.05</b> kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times [P_b + P_r + P_m + \gamma_r \times (S_s + H_{int} + S_f / 2)]$
Pressione intradosso soletta inferiore	P4	<b>41.35</b> kN/m <sup>2</sup>	$k_o \times (P_b + P_r + P_m + \gamma_r \times H_{tot})$
Forza concentrata asse soletta superiore	F1	<b>2.12</b> kN/m	$(P1 + P2) / 2 \times S_s / 2$
Forza concentrata asse soletta inferiore	F2	<b>12.06</b> kN/m	$(P3 + P4) / 2 \times S_f / 2$

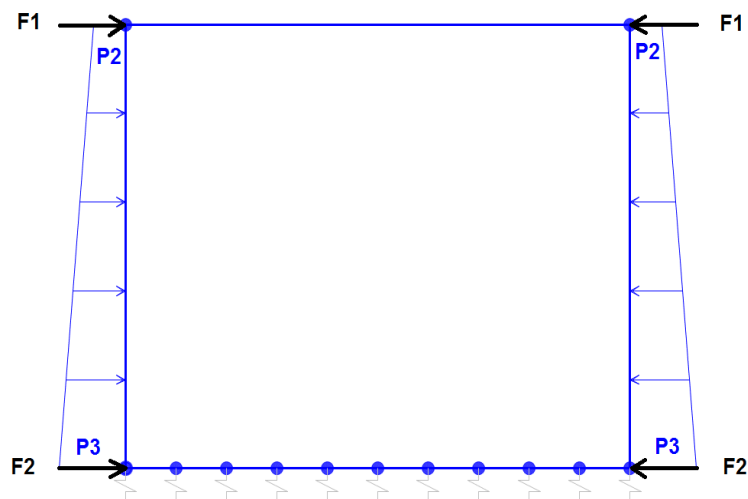


Figura 6. Condizione di carico SPTDX-SPTSX da SAP2000

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.

Le due condizioni di carico SPTDX e SPTSX vengono applicate al modello con il loro valore al 100% (come visibile in figura 6 sopra). Lo sbilanciamento di tali condizioni (100% SPTSX e 60% SPTDX) viene tenuto in conto tramite opportuni coefficienti di combinazione, come è visibile in seguito al paragrafo § 5 - "Combinazioni di Carico" - del presente elaborato.

**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.

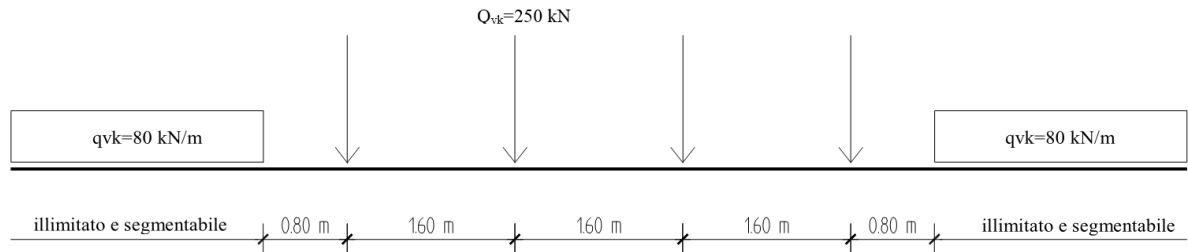


Figura 7. Treno LM71

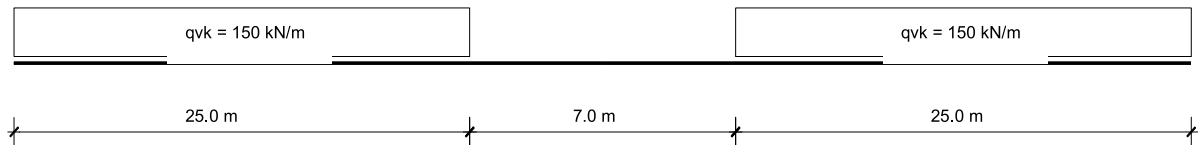


Figura 8. Treno SW/2

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

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

dove  $h$ , in metri, è l’altezza della copertura dall’estradosso della struttura alla faccia superiore delle traverse [Hric].

Per le strutture dotate di una copertura maggiore di 2,50 m può assumersi un coefficiente di incremento dinamico unitario.

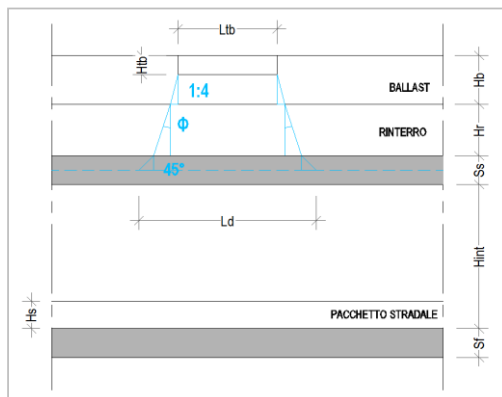


Figura 9. Schema modalità di diffusione dei carichi ferroviari

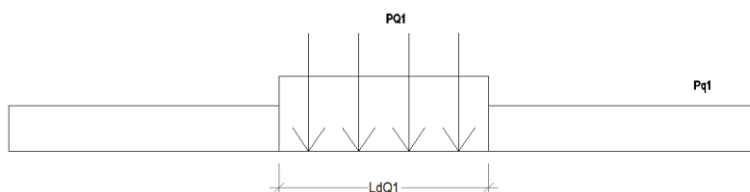


Figura 10. Carichi Treno LM71 su Ld

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  $LdQ1$  del treno di carico.

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

Standard manutentivo

#### NORMALE

Incremento dinamico	$\Phi 3^*$	1.35	* valido per $H_{int} < 5m$ , $L_{int} < 8m$
Lunghezza media caratteristica	$L_m$	3.83 m	tab. 5.2.II - NTC2018
Numero di luci	$n_L$	3.00	
Lunghezza caratteristica	$L_\Phi$	4.98 m	tab. 5.2.II - NTC2018
Incremento dinamico con ricoprimento	$\Phi 3$	1.35	$\Phi 3 = 1$ per $H_{ric} > 2,5m$
Incremento dinamico ridotto	$\Phi_{rid}$	1.35	
Lunghezza caratteristica	$L_\Phi$	3.20 m	tab. 5.2.II - NTC2018
Coefficiente di adattamento	$\alpha$	1.10	
Larghezza di diffusione nel ballast	$L_{db}$	0.20 m	Diffusione 1:4 nel ballast
Larghezza di diffusione nel rinterro	$L_{dr}$	0.31 m	Diffusione secondo angolo attrito
Larghezza di diffusione nel cls	$L_{dc}$	0.50 m	Diffusione 45° nel cls
Larghezza trasv. di diffusione del carico	$L_d$	3.41 m	$L_{db} + L_{dr} + L_{dc}$
Carico distribuito per treno LM71	$q_1$	80.00 kN/m	
Carico concentrato per treno LM71	$Q_1$	250.00 kN	
N°. carichi concentrati per treno LM71	$N_{Q1}$	4	
Larghezza applicazione carichi conc. $Q_1$	$L_{aQ1}$	6.40 m	
Larghezza distribuzione carichi conc. $Q_1$	$L_{dQ1}$	6.40 m	
Carico ripartito verticale per LM71 ( $q_1$ )	$P_{q1}$	34.81 kN/m <sup>2</sup>	$q_1 \times \Phi 3 \times \alpha / L_d$
Carico ripartito verticale per LM71 ( $Q_1$ )	$P_{Q1}$	67.99 kN/m <sup>2</sup>	$Q_1 \times N_{Q1} \times \Phi 3 \times \alpha / (L_d \times L_{dQ1})$



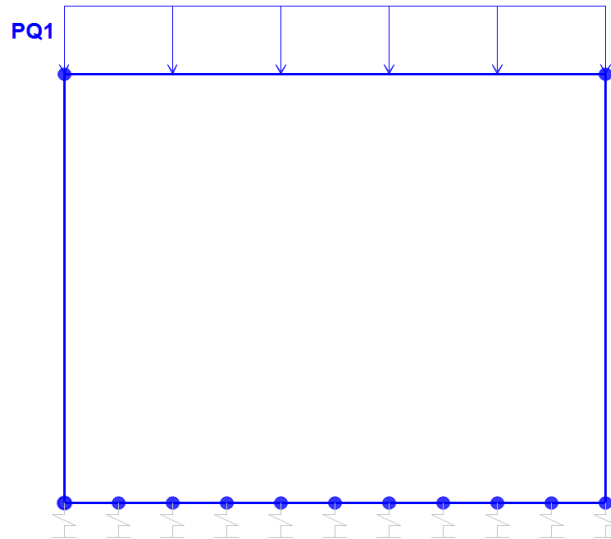


Figura 11. Condizione di carico ACCM da SAP2000

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

Carico distribuito per treno LM71	Sq1	<b>9.91</b> kN/m <sup>2</sup>	$(q1 \times \alpha / Ld) \times Ko$
Carico concentrato per treno LM71	SQ1	<b>19.36</b> kN/m <sup>2</sup>	$Q1 \times NQ1 \times \alpha / (Ld \times LdQ1) \times Ko$
Spinta semispessore soletta superiore	Fq1sup	<b>4.84</b> kN/m	$SPQ1 \times SPs / 2$
spinta semispessore soletta inferiore	Fq1inf	<b>5.81</b> kN/m	$SPQ1 \times SPi / 2$

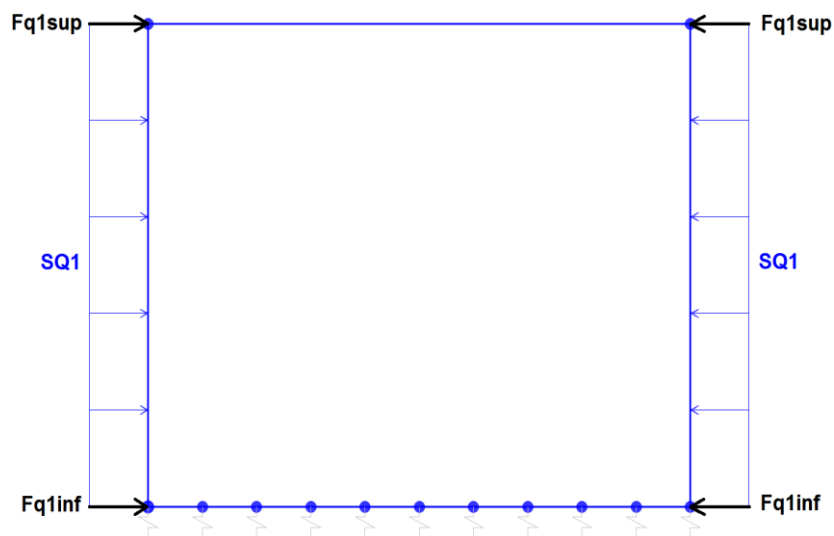


Figura 12. Condizione di carico SPACCSX e SPACCDX da SAP2000

### Frenatura e avviamento (condizione AVV)

Avviamento e frenatura LM71

$A_v$  33.00 kN/m

Avviamento e frenatura LM71 distribuiti

$q_{AV}$  -9.67 kN/m  $A_v / L_d$

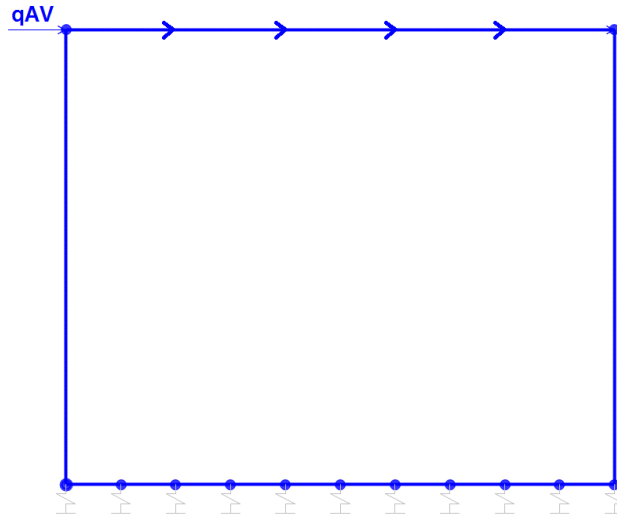


Figura 13. Condizione di carico AVV da SAP2000

### 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  $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$ .

Variazione termica uniforme

$\Delta T_{unif}$  +15.00 [°] *Sulla soletta superiore*

Variazione termica differenziale

$\Delta T_{diff}$  +5.00 [°] *Sulla soletta superiore*

Gradiente +10.00 [°/m]  $\Delta T_{diff} / S_s$

### Ritiro igrometrico (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

$\Delta T_{ritiro}$  -[11.80°] *Sulla soletta superiore*

## CONDIZIONI DI CARICO 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  $V_N$  ed una classe d'uso  $C_u$ ; segue un periodo di riferimento  $V_R = V_N * C_U$ .

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 per la determinazione delle forze di inerzia può essere valutata con la relazione:

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

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  $k_h$  e  $k_v$  ove:  $k_h = \beta M x S x a_g / g$  e  $k_v = k_h / 2$ . 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

40.63343

Longitudine

14.89422

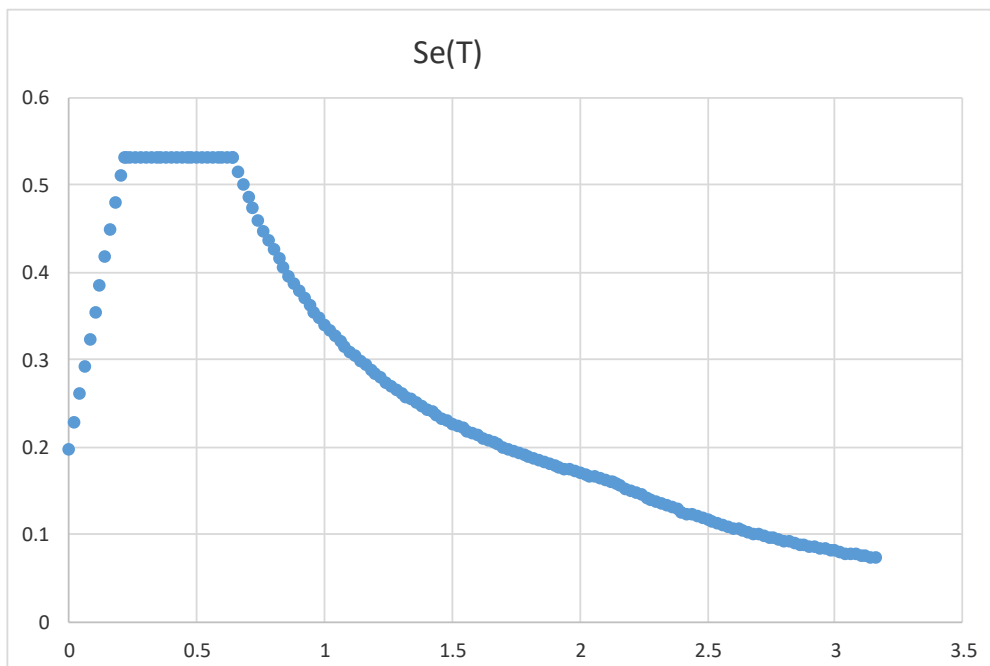
Parametri sismici di progetto

accelerazione massima orizzontale al bedrock	ago	0.133 g
fattore amplificazione massima spettro accelerazione	F <sub>0</sub>	2.697 sec
periodo inizio tratto a velocità costante spettro acc. orizz.	T*c	0.477
categoria sottosuolo		C
categoria topografica		T1
amplificazione topografica	S <sub>T</sub>	1.000
smorzamento viscoso convenzionale	ξ	5%
fattore di correzione per ξ <> 5%	η	1.000

Tab.3.2.V	S <sub>S</sub>	C <sub>C</sub>	S <sub>S</sub>	C <sub>C</sub>
A	1.00	1.00	1.48	1.34
B	1.20	1.28		
C	1.48	1.34		
D	1.80	1.81		
E	1.60	1.55		

coefficiente amplificazione stratigrafica	S <sub>S</sub>	1.485
coefficiente di amplificazione	S	1.485
coefficiente categoria sottosuolo	C <sub>C</sub>	1.341
periodo inizio tratto a accelerazione costante = T <sub>c</sub> / 3	T <sub>B</sub>	0.213 sec
periodo inizio tratto a velocità costante = C <sub>c</sub> * T*c	T <sub>C</sub>	0.639 sec
periodo inizio tratto a spostamento costante = 4 * ag/g + 1,6	T <sub>D</sub>	2.132 sec
accelerazione massima orizzontale al suolo = S <sub>s</sub> x S <sub>t</sub> x ag/g	ago,max	0.197 g

**SPETTRO ORIZZONTALE ELASTICO SLV**



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

Coefficiente di riduzione dell'acc max attesa al sito  $\beta$

$\beta$  **1.000**

$a_o = k_h = a_{g0,max} = S \times a_g/g$

valore  $PGA \times$  scatolare

$a_o = k_h$  **0.1975 g**

$a_v = k_v = k_h / 2$

valore  $PGA \times$  scatolare

$a_v = k_v$  **0.0987 g**

### Forze di inerzia (condizione SismaH)

Forza di inerzia treno di carico - (%)

% **20%**

Forza orizzontale sulla soletta di copertura

$F''^h$  **8.79 kN/m**  $(P_{ss}+P_b+P_r+\%PQ1) \times kb$

Forza orizzontale su singolo piedritto

$F''^h$  **2.96 kN/m<sup>2</sup>**  $P_p \times kb$

### Forze di inerzia (condizione SismaV)

Forza di inerzia treno di carico - (%)

% **20%**

Forza verticale sulla soletta di copertura

$F''^v$  **4.39 kN/m<sup>2</sup>**  $(P_{ss}+P_b+P_r+\%PQ1) \times kv$

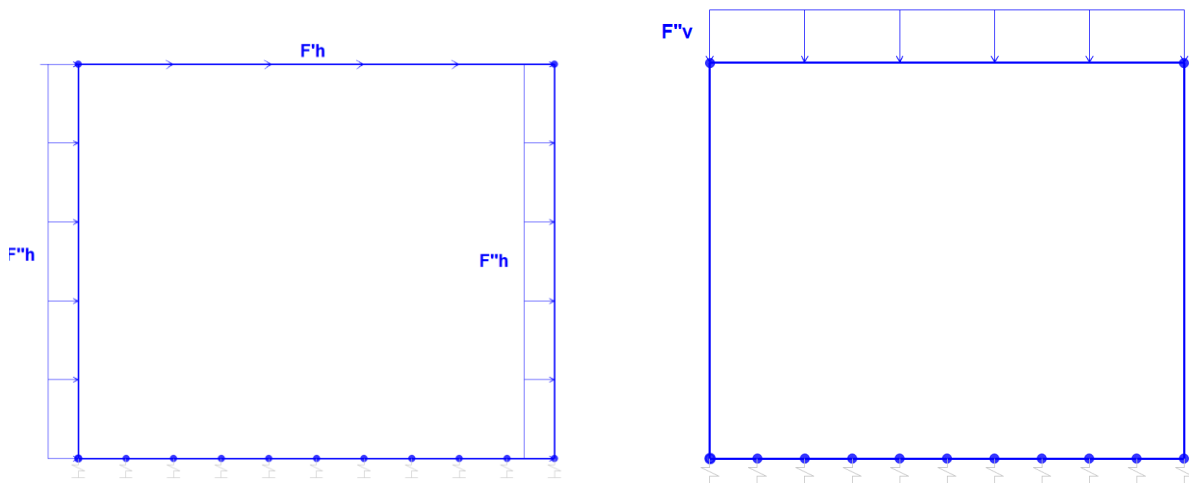


Figura 14. Condizione di carico SismaH e SismaV da SAP2000

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

Forza distribuita su uno solo dei piedritti

$qW$  **23.14 kN/m<sup>2</sup>**  $(\%PQ1+G2p+\gamma r \times H_{tot}) \times (a_{g0,max})$

Forza concentrata nodo superiore piedritto

$QW_{sup}$  **5.79 kN**  $qW \times S_s / 2$

Forza concentrata nodo inferiore piedritto

$QW_{inf}$  **6.94 kN**  $qW \times S_f / 2$

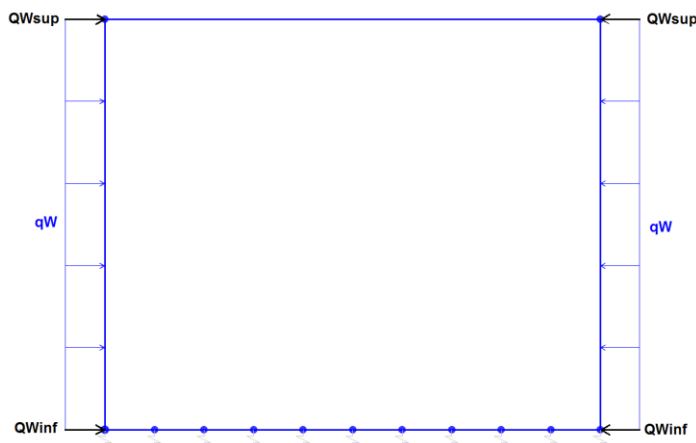
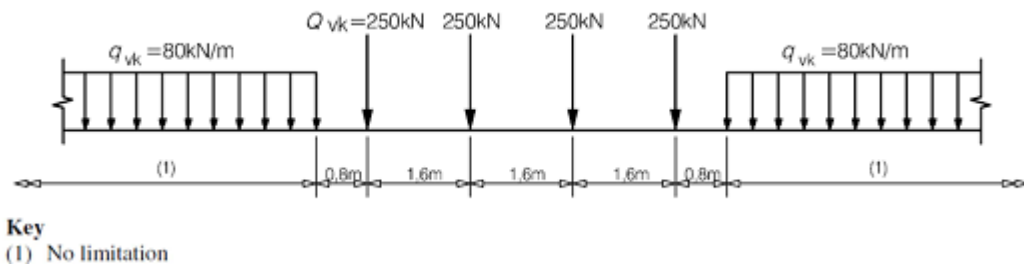


Figura 15. Condizione di carico SPSSDX e SPSSX da SAP2000

### 3.9. 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.

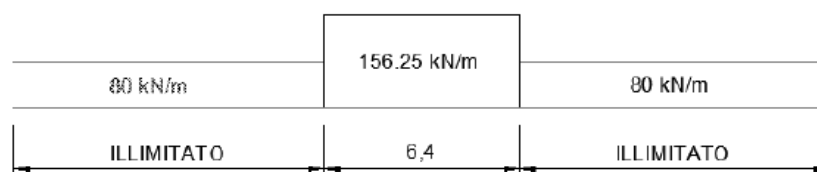
Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.



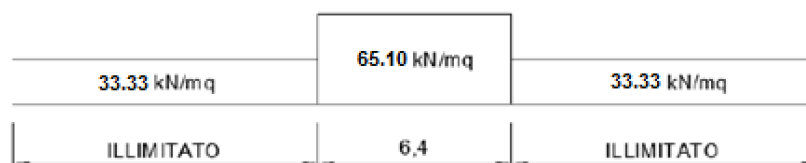
Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

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:

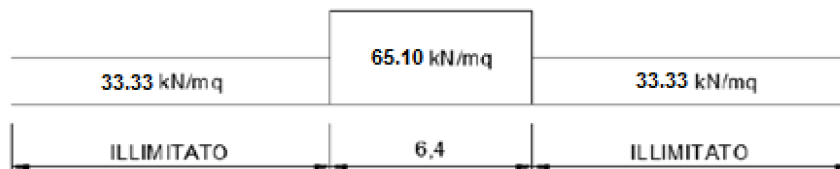


A tali carichi si deve applicare il coefficiente  $\alpha$  relativo alle categorie S.T.I. come indicato nella tabella 11 di seguito riportata:

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:

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

anziché:

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

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:

- $q_1 = 4 * 250 / 6.4 / 2.60 = 60.10 \text{ kN/m}^2$

- $q_2 = 80 / 2.60 = 30.77 \text{ kN/m}^2$

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

### 3.10. 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
2	Primo	1,0 (LM 71"+SW/0)	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71"+SW/0)	-	1,0 (LM 71"+SW/0)
≥3	Primo	1,0 (LM 71"+SW/0)	0,75 (LM 71"+SW/0)	1,0 SW/2
	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.



Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
 3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 24 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

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  $g$  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  $g_r$  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
	$g_{r1}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$g_{r2}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$g_{r3}$	0,80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_{r4}$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	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_TERM
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 termiche:

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

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

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:

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

Nelle tabelle seguenti sono riportate le combinazioni di carico SLU, SLV e SLE utilizzate. Nelle combinazioni si tiene conto sia della spinta delle terre SPTSX al 100% e SPTDX al 100% che del loro sbilanciamento con SPTSX al 100% e SPTDX al 60%, sbilanciamento concorde con il verso di AVV e SISMAH per massimizzare le caratteristiche di sollecitazione. Lo sbilanciamento è tenuto in conto nelle combinazioni tramite i coefficienti evidenziati in rosso, corrispondenti ai coefficienti della spinta SPTDX moltiplicati per il coefficiente di combinazione 0,60.

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
PERM	1.35	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	1.35	1.35	1.35	1	1	1	1
ACCM	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.45	0	1.45	1.45	1.16	1.16	1.015
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.45	0	0	0
SPACCDX	1.35	0	0	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.16	1.16	1.015
AVV	1.35	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.45	0	0	0	0	0	1.45
ENV_TERM	0	0	0	0	0	0	-0.9	0	0.9	-0.9	-1.5	1.5	0.9
RITIRO	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Combinazioni di carico SLU (non sismiche)													
	14slu	15slu	16slu	17slu	18slu	19slu	20slu	21slu	22slu	23slu	24slu	25slu	26slu
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
PERM	1.35	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	0.6	0.6	0.6	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.6	0.6	0.6	0.6
ACCM	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.45	0	1.45	1.45	1.16	1.16	1.015
SPACCSX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.45	0	0	0
SPACCDX	1.35	0	0	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.16	1.16	1.015
AVV	1.35	1.45	1.45	1.45	1.45	0	1.45	0	0	0	0	0	1.45
ENV_TERM	0	0	0	0	0	0	-0.9	0	0.9	-0.9	-1.5	1.5	0.9
RITIRO	0	0	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 SLV								
	sh1	sh2	sh3	sh4	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

Combinazioni di Carico Sismiche SLV								
	sh5	sh6	sh7	sh8	sv5	sv6	sv7	sv8
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	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
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	4sle	5sle	6sle
DEAD	1	1	1	1	1	1
PERM	1	1	1	1	1	1
SPTSX	1	1	1	1	1	1
SPTDX	0.8	0.8	0.8	0.48	0.48	0.48
ACCM	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SPACCSX	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0
SPACCDX	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
AVV	-0.8	0.8	-0.8	-0.8	0.8	-0.8
ENV_TERM	-0.6	0.6	-0.6	-0.6	0.6	-0.6
RITIRO	0	0	1	0	0	1

Oltre alle verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale, sono prese in considerazione anche le verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3) di cui alle NTC2018, relative a condizioni di collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno.

### 3.11. CARATTERISTICHE DELLE SOLLECITAZIONI

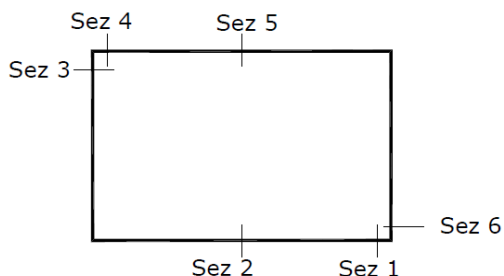
#### .2.1.1. Involuppo SLU/SLV

USCITA SAP - INVILUPPO SLU SLV							
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN-m
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	M3
1	0.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	263.2	169.6
1	0.38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	264.8	148.5
1	0.38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	215.9	148.5
1	0.76	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	223.6	90.1
1	0.76	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	168.4	90.1
1	1.14	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	176.1	48.7
1	1.14	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	135.3	48.7
1	1.52	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	143.0	10.2
1	1.52	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	98.0	10.2
1	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	105.7	-14.6
1	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	71.0	-14.6
1	2.28	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	76.7	13.2
1	2.28	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	50.7	13.2
1	2.66	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	56.4	44.8
1	2.66	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	25.8	44.8
1	3.04	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	31.5	79.9
1	3.04	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-21.2	79.9
1	3.42	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-15.5	168.4
1	3.42	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-75.3	168.4
1	3.50	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	0.0	-74.1	189.8
1	0.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	60.9	-121.2
1	0.38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	62.1	-138.2
1	0.38	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	12.5	-138.2
1	0.76	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	18.2	-178.8
1	0.76	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-26.0	-178.8
1	1.14	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-20.3	-183.9
1	1.14	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-46.2	-183.9
1	1.52	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-40.5	-168.8
1	1.52	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-91.0	-168.8
1	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-83.3	-140.6
1	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-132.2	-140.6
1	2.28	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-124.5	-146.0
1	2.28	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-167.7	-146.0
1	2.66	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-160.0	-151.7
1	2.66	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-197.3	-151.7
1	3.04	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-189.6	-138.5
1	3.04	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-236.8	-138.5
1	3.42	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-229.1	-93.9
1	3.42	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-267.4	-93.9
1	3.50	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	0.0	-265.8	-87.6

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

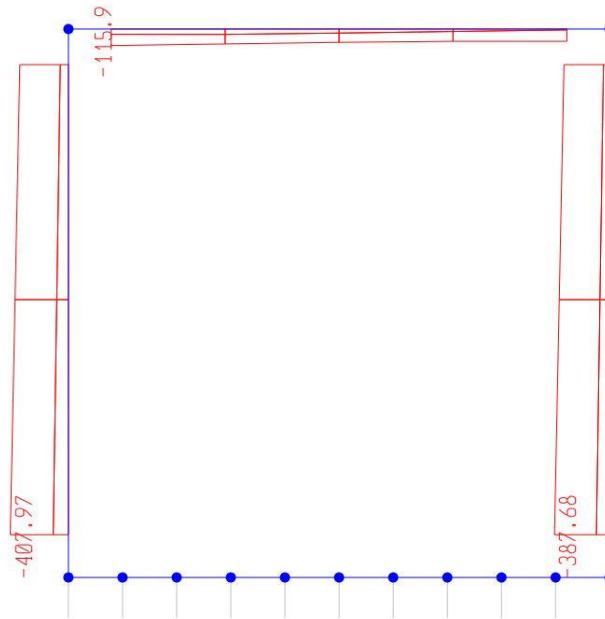
COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 30 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0.25	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-43.9	1.0	21.0
2	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-68.7	53.6	40.6
2	3.55	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-93.4	167.6	60.5
2	0.25	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-320.9	-81.3	-180.9
2	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-354.3	-58.2	-84.6
2	3.55	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-387.7	-28.1	-214.8
3	0.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-37.0	-34.3	37.6
3	1.10	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-37.5	1.2	123.9
3	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-28.4	36.7	152.8
3	2.70	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-17.2	147.7	126.0
3	3.50	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-6.0	263.5	28.6
3	0.30	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-115.9	-283.8	-161.0
3	1.10	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-104.7	-167.9	-17.8
3	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-93.5	-52.1	13.8
3	2.70	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-86.0	-1.0	-20.7
3	3.50	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-86.0	24.7	-114.5
4	0.25	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-57.2	115.4	223.5
4	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-82.0	86.2	72.4
4	3.55	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Max	-106.7	36.0	197.4
4	0.25	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-341.2	25.5	-32.8
4	1.90	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-374.6	-46.8	-22.7
4	3.55	ENVELOPE SLU SLV	Combination	Min	-408.0	-155.8	-49.3

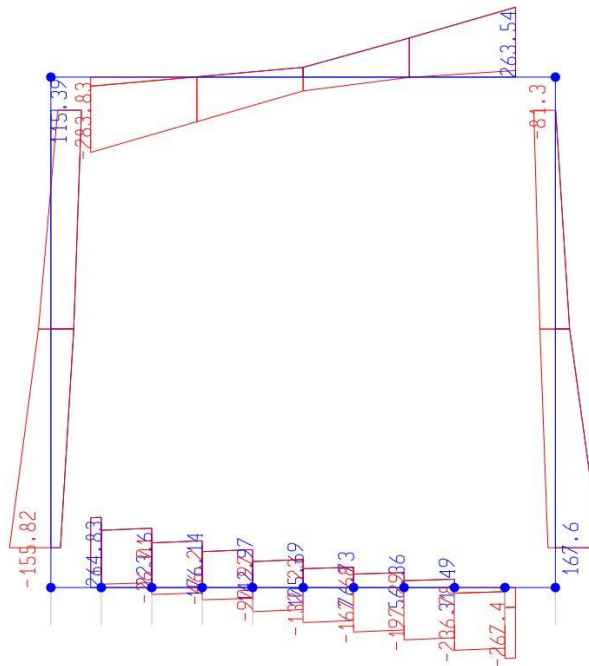


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	267.4	189.8
02	0.0	0.0	183.9
03	-43.9	167.6	223.5
04	0.0	283.8	161.0
05	0.0	0.0	152.8
06	-93.4	167.6	214.8

*Diagrammi di involucro delle sollecitazioni: ENVELOPE SLU/SLV*

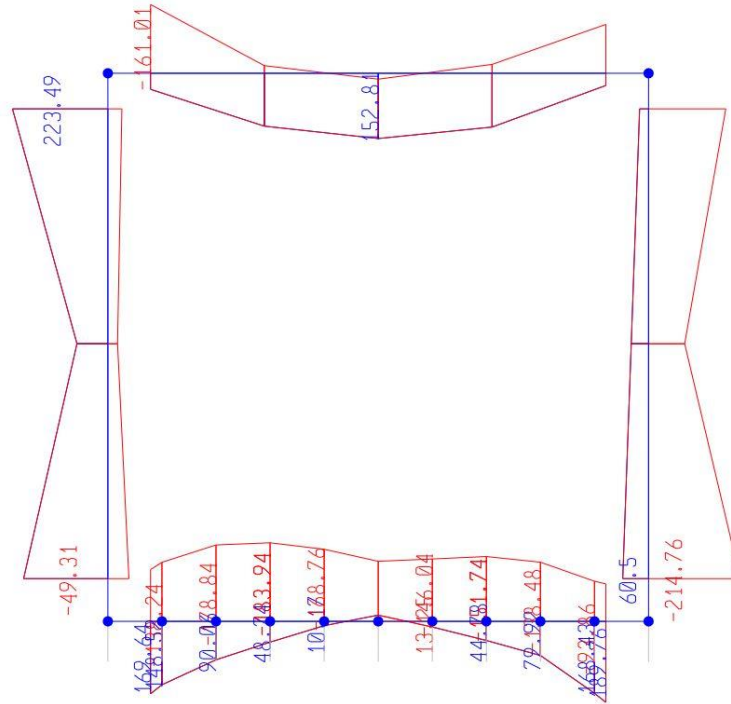


*Sforzo normale*



*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.

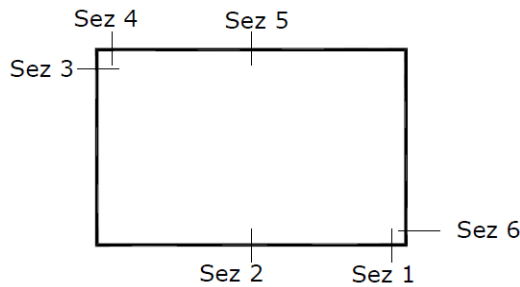
*3.1.2. Inviluppo SLE (rara)*

USCITA SAP - INVILUPPO SLE RARA							
Text Frame	m Station	Text OutputCase	Text CaseType	Text StepType	KN P	KN V2	KN-m M3
1	0.3	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	160.0	91.4
1	0.38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	161.2	78.6
1	0.38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	127.5	78.6
1	0.76	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	133.2	29.0
1	0.76	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	96.2	29.0
1	1.14	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	101.9	-8.6
1	1.14	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	75.0	-8.6
1	1.52	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	80.7	-38.2
1	1.52	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	51.5	-38.2
1	1.9	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	57.2	-48.0
1	1.9	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	25.8	-48.0
1	2.28	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	31.5	-43.1
1	2.28	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-2.1	-43.1
1	2.66	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	3.6	-25.0
1	2.66	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-32.6	-25.0
1	3.04	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-26.9	4.2
1	3.04	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-84.8	4.2
1	3.42	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-79.2	47.6
1	3.42	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-141.0	47.6
1	3.5	ENVELOPE SLERARA	Combination	Max	0.0	-139.8	59.8
1	0.3	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	147.8	0.5
1	0.38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	149.0	-11.4
1	0.38	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	95.4	-11.4
1	0.76	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	101.1	-48.7
1	0.76	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	49.1	-48.7
1	1.14	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	54.8	-68.5
1	1.14	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	21.3	-68.5
1	1.52	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	27.0	-77.6
1	1.52	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-5.4	-77.6
1	1.9	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	0.3	-79.6
1	1.9	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-31.1	-79.6
1	2.28	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-25.5	-90.5
1	2.28	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-55.9	-90.5
1	2.66	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-50.2	-90.7
1	2.66	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-79.8	-90.7
1	3.04	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-74.1	-79.4
1	3.04	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-117.1	-79.4
1	3.42	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-111.4	-48.3
1	3.42	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-153.5	-48.3
1	3.5	ENVELOPE SLERARA	Combination	Min	0.0	-152.3	-37.0

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
 3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

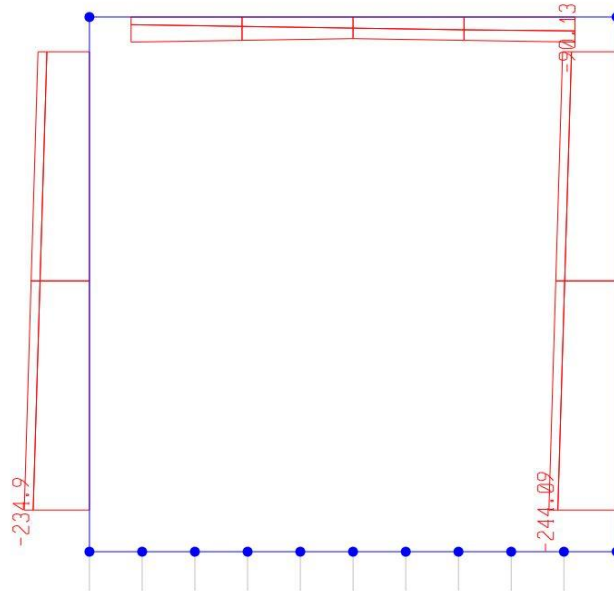
COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 34 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

2	0.25	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-162.5	-37.6	-49.0
2	1.9	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-187.2	6.9	-12.4
2	3.55	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-212.0	72.6	1.1
2	0.25	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-194.6	-80.9	-115.2
2	1.9	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-219.4	-36.9	-28.8
2	3.55	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-244.1	12.7	-80.9
3	0.3	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-27.5	-117.7	-2.0
3	1.1	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-33.7	-48.5	68.2
3	1.9	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-39.9	20.7	89.2
3	2.7	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-46.1	89.8	56.4
3	3.5	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-50.0	159.0	-18.3
3	0.3	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-90.1	-149.8	-70.3
3	1.1	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-83.9	-80.6	21.9
3	1.9	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-77.8	-11.5	58.7
3	2.7	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-83.9	57.7	16.2
3	3.5	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-90.1	126.9	-83.4
4	0.25	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-153.3	80.0	98.3
4	1.9	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-178.0	25.2	33.0
4	3.55	ENVELOPE SLERARA Combination	Max	-202.8	-43.5	107.8
4	0.25	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-185.4	20.5	31.6
4	1.9	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-210.2	-19.6	8.7
4	3.55	ENVELOPE SLERARA Combination	Min	-234.9	-95.3	26.7

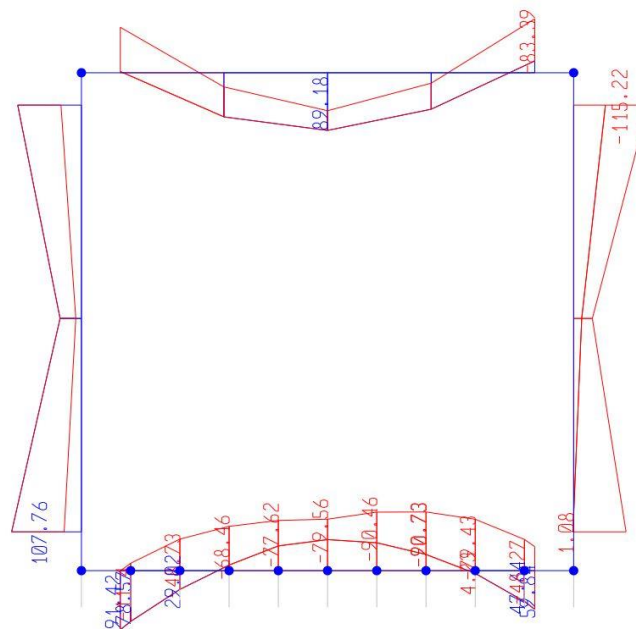


SEZIONE	P	V2	M3
01	0.0	161.2	91.4
02	0.0	0.0	90.7
03	-153.3	95.3	115.2
04	0.0	159.0	83.4
05	0.0	0.0	89.2
06	-202.8	95.3	107.8

*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.

### 3.12. VERIFICHE SLU/SLV/SLE

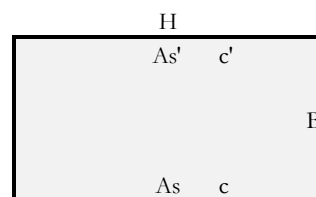
**Oggetto:**

Scatolare sottopasso - Stazione di S. Antonio

Sezione n°. 01

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm		
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm		
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm		
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm		
d	Altezza utile = H-c	530 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 [(+)]	189.8 kNm		
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	267.4 kN		
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm		
Fi1	1° diametro armatura tesa	16		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante	2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa		Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011 mmq		
As	Armatura inferiore tesa	2011 mmq		
Fi Staffe	Diametro staffe	12 mm		
s. Staffe	Passo staffe	200 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	1131 mmq/m	11.31 cmq/m	
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	91.4 kNm		
Nsle	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	Coeff.Sfrutt.Max	63%
Mrd	Momento ultimo resistente	400 kNm	Coeff.Sfrutt.	47%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	231 kN	Coeff.Sfrutt.	116%
Vrd	Taglio ultimo resistente	422 kN		63%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	4 kNm	Coeff.Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-17 Mpa	Coeff.Sfrutt.	5%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	95 Mpa	Coeff.Sfrutt.	26%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-2 Mpa	Coeff.Sfrutt.	13%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	191 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.12 mm	Coeff.Sfrutt.	61%

**Oggetto:**

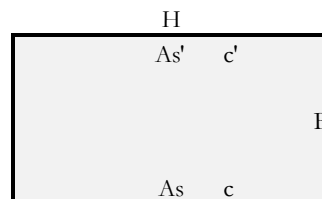
Scatolare sottopasso - Stazione di S. Antonio

Sezione n° 02

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	530 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 [(+)]	183.9 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	16	
Fi2	2° diametro armatura tesa		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante 2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0	Armatura di raffittim. 0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	2011 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	12 mm	
s. Staffe	Passo staffe	200 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	1131 mmq/m	11.31 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R	
Msle	Momento di esercizio [(+)]	90.7 kNm	
Nsle	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	Coeff.Sfrutt.Max	61%
Mrd	Momento ultimo resistente	400 kNm	Coeff.Sfrutt.	46%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	231 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Vrd	Taglio ultimo resistente	422 kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	4 kNm	Coeff.Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-17 Mpa	Coeff.Sfrutt.	5%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	94 Mpa	Coeff.Sfrutt.	26%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-2 Mpa	Coeff.Sfrutt.	12%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	191 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.12 mm	Coeff.Sfrutt.	61%

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
 3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 38 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

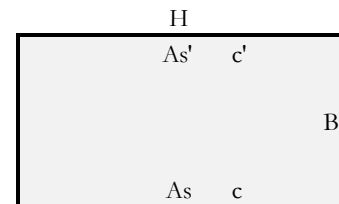
**Oggetto:**

Scatolare sottopasso - Stazione di S. Antonio

Sezione n°. 03

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	530 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-43.9 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	223.5 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	167.6 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	16	
Fi2	2° diametro armatura tesa		
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante 2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0	Armatura di raffittim. 0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	2011 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe		
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 [(+)]	115.2 kNm	
Nsle	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-153.3 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	Coeff.Sfrutt.Max	71%
Mrd	Momento ultimo resistente	411 kNm	Coeff.Sfrutt.	54%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	237 kN	Coeff.Sfrutt.	71%
Vrd	Taglio ultimo resistente	237 kN	Coeff.Sfrutt.	71%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-27 Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	84 Mpa	Coeff.Sfrutt.	23%
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	207 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.11 mm	Coeff.Sfrutt.	54%

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
 3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 39 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

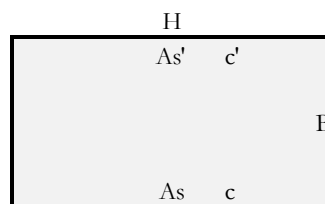
**Oggetto:**

Scatolare sottopasso - Stazione di S. Antonio

Sezione n°. 04

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000	mm	
H	Altezza sezione rettangolare	500	mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70	mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70	mm	
d	Altezza utile = H-c	430	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 [(+)]	161.0	kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	283.8	kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0	kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	16		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante	2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa		Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011	mmq	
As	Armatura inferiore tesa	2011	mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	12	mm	
s. Staffe	Passo staffe	200	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	1131	mmq/m	11.31 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Mslc	Momento di esercizio [(+)]	83.4	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	Coeff.Sfrutt.Max	83%
Mrd	Momento ultimo resistente	322	Coeff.Sfrutt.	50%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	209	Coeff.Sfrutt.	136%
Vrd	Taglio ultimo resistente	343	Coeff.Sfrutt.	83%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	3	Coeff.Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-19	Mpa	Coeff.Sfrutt.	5%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	108	Mpa	Coeff.Sfrutt.	30%
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	134	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.13	mm	Coeff.Sfrutt.	64%



Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
 3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 40 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

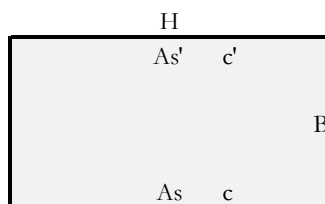
**Oggetto:**

Scatolare sottopasso - Stazione di S. Antonio

Sezione n°. 05

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000	mm	
H	Altezza sezione rettangolare	500	mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70	mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70	mm	
d	Altezza utile = H-c	430	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 [(+)]	152.8	kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	0.0	kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0	kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	16		
Fi2	2° diametro armatura tesa			
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10	Armatura tesa filante	2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0	Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011	mmq	
As	Armatura inferiore tesa	2011	mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	12	mm	
s. Staffe	Passo staffe	200	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	1131	mmq/m	11.31 cmq/m
<R-F-P>	Combinaz. SLE (rara,frequente,qperm)	R		
Msle	Momento di esercizio [(+)]	89.2	kNm	
Nsle	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		Coeff.Sfrutt.Max	68%
Mrd	Momento ultimo resistente	322	kNm	Coeff.Sfrutt.	48%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	209	kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Vrd	Taglio ultimo resistente	343	kN	Coeff.Sfrutt.	0%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	3	kNm	Coeff.Sfrutt.	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-20	Mpa	Coeff.Sfrutt.	6%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	116	Mpa	Coeff.Sfrutt.	32%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3	Mpa	Coeff.Sfrutt.	17%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0	Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	134	kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.14	mm	Coeff.Sfrutt.	68%

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
 3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 41 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

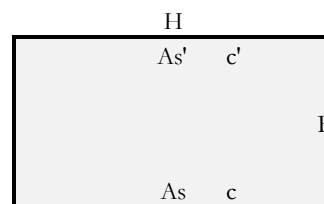
**Oggetto:**

Scatolare sottopasso - Stazione di S. Antonio

Sezione n°. 06

**Dati di Input:**

B	Base sezione rettangolare	1000 mm	
H	Altezza sezione rettangolare	600 mm	
c'	Copriferro armatura sup. compressa	70 mm	
c	Copriferro armatura inf. Tesa	70 mm	
d	Altezza utile = H-c	530 mm	
fck	Resistenza caratt. Cilindrica calcestruzzo	30 MPa	
fyk	Resistenza caratt. Snervamento acciaio	450 MPa	
Ned	Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione]	-93.4 kN	
Med	Momento flettente di calcolo [(+)]	214.8 kNm	
Ved	Taglio di calcolo [(+)]	167.6 kN	
Ted	Torsione di calcolo [(+)]	0 kNm	
Fi1	1° diametro armatura tesa	16	
Fi2	2° diametro armatura tesa	0	
n1	N°. Barre 1° armatura tesa	10 Armatura tesa filante	2011 mmq
n2	N°. Barre 2° armatura tesa	0 Armatura di raffittim.	0 mmq
As'	Armatura superiore compressa	2011 mmq	
As	Armatura inferiore tesa	2011 mmq	
Fi Staffe	Diametro staffe	0 mm	
s. Staffe	Passo staffe	150 mm	
bracci	Numero Bracci staffe	0	
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	
Msl	Momento di esercizio [(+)]	107.8 kNm	
Nsl	Sforzo normale di esercizio [(+)Trazione]	-202.8 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	Coeff.Sfrutt.Max	69%
Mrd	Momento ultimo resistente	422 kNm	Coeff.Sfrutt.	51%
Vrd	Taglio ultimo resistente senza staffe	243 kN	Coeff.Sfrutt.	69%
Vrd	Taglio ultimo resistente	243 kN	Coeff.Sfrutt.	69%
Trd	Momento torcente ultimo resistente	0 kNm	Coeff.Sfrutt.	
<b>SLE - Tensioni e ampiezza fessure</b>				
Sigs-sup	Tensione barre superiori [(-)Compresso]	-27 Mpa	Coeff.Sfrutt.	8%
Sigs-inf	Tensione barre inferiori [(+)Teso]	66 Mpa	Coeff.Sfrutt.	18%
Sigc-sup	Tensione cls superiore [(-)Compresso]	-3 Mpa	Coeff.Sfrutt.	15%
Sigc-inf	Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	0 Mpa		
Mcr	Momento di prima fessurazione	212 kNm		
wk	Ampiezza di fessura	0.08 mm	Coeff.Sfrutt.	42%

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	SEZ03	SEZ04	SEZ05	SEZ06
SLU	Med/Mrd	47%	46%	54%	50%	48%	51%
SLU	Ved/Vrd	63%	0%	71%	83%	0%	69%
SLE	(sigse/sigsr)s	5%	5%	8%	5%	6%	8%
SLE	(sigse/sigsr)i	26%	26%	23%	30%	32%	18%
SLE	(sigce/sigcr)s	13%	12%	16%	16%	17%	15%
SLE	wk/wklim	61%	61%	54%	64%	68%	42%
	MAX	63%	61%	71%	83%	68%	69%
	MAX	83%					

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

### 3.13. ARMATURE DI RIPARTIZIONE

Le armature di ripartizione delle pareti e della soletta vengono dimensionate per sostenere gli effetti del ritiro igrometrico i quali generano una trazione pura per deformazioni impedita a causa della soletta inferiore gettata precedentemente e che può aver dissipato tali effetti.

La  $\epsilon$ ritiro induce nel calcestruzzo una tensione di trazione superiore alla sua resistenza a trazione, ne deriva la fessurazione e il trasferimento di tutta la trazione sull'acciaio teso. Per ottenere delle fessure uniformemente distribuite e non concentrate in alcuni punti con ampiezze macroscopiche, si applica un principio di non plasticizzazione delle armature. Per limitare l'ampiezza delle fessure, pur distribuite, che si ottengono applicando tale principio, si applica quanto previsto al § 7.3.2 dell'Eurocodice 2 - UNI EN 1992 1-1: "Aree minime di armatura", in particolare la formula (7.1):

$$A_{s,min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}$$

dove:

$A_{s,min}$  è l'area minima di armatura nella zona tesa;

$A_{ct}$  è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito dopo la formazione della prima fessura; è pari a tutta l'area della sezione per trazione pura, alla metà per flessione;

$\sigma_s$  è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento  $f_{yk}$  dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro o la massima spaziatura tra le barre (vedere punto 7.3.3).

$f_{ct,eff}$  è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure;

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  se la formazione delle fessure è prevista prima di 28d;

$k$  è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi,  $k=1$

$k_c$  è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva;  $k_c=1$  per trazione,  $k_c=0,4$  per flessione,  $k_c = 0,4 \cdot (1 - \text{funz}(\sigma_c))$  nel caso flessione combinata con sforzo normale.

base della sezione		1000 mm
altezza della sezione		500 mm
area sezione calcestruzzo	$A_{ct}$	500000 mm <sup>2</sup>
tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}$	450 Mpa
resist. Caratt. Cilindrica cls a compressione	$f_{ck}$	30 Mpa
tensione resistente cls a trazione	$f_{ct,eff}=0,3(f_{ck})^{2/3}$	2.90 Mpa
coefficiente $k_c$	$k_c$	1.00
coefficiente $k$	$k$	1.00
area minima acciaio teso nella sezione	$A_{s,min}$	3218 mm <sup>2</sup>

P.to 7.3.3 EC2 1992:1-1): Dove è disposta l'armatura minima indicata al punto 7.3.2, le ampiezze delle fessure non dovrebbero essere eccessive se: per fessurazione causata principalmente da deformazioni impedito, il diametro delle barre non eccede quello dato nel prospetto 7.2N, dove la tensione nell'acciaio è quella che si ha subito dopo la fessurazione [cioè il termine  $\sigma_s$  nell'espressione (7.1)];

prospetto 7.2N

**Diametri massimi delle barre  $\phi^*_s$  per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>**

Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup> [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm]		
	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

1) I valori nel prospetto sono basati sulle seguenti assunzioni:  
 $c = 25$  mm;  $f_{ct,eff} = 2,9$  MPa;  $h_{cr} = 0,5$ ;  $(h - d) = 0,1 h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$  e  $k' = 1,0$ .

2) Sotto la combinazione di carico pertinente.

Il diametro massimo delle barre si raccomanda sia modificato come segue:

Trazione (la sezione è tutta tesa):

$$\phi_s = \phi^*_s (f_{ct,eff} / 2,9) h_{cr} / (8(h-d)) \quad (7.7N)$$

dove:

 $\phi_s$  è il diametro massimo "modificato" delle barre;

 $\phi^*_s$  è il diametro massimo dato nel prospetto 7.2N;

 $h$  è l'altezza totale della sezione;

 $h_{cr}$  è l'altezza della zona tesa subito prima della fessurazione, considerando i valori caratteristici della forza di precompressione e delle forze assiali sotto la combinazione di azioni quasi-permanente;

 $d$  è l'altezza utile valutata rispetto al baricentro dello strato più esterno di armatura ordinaria.

 Se tutta la sezione è tesa  $h-d$  è la minima distanza tra il baricentro dello strato di armatura e il lembo esterno della sezione (considerare ciascun lembo se la barra non è disposta simmetricamente).

Verifica armatura trasversale:

diametro barre trasversali	$\Phi_{trav}$	16 mm	< $F_s$	Verifica soddisfatta
passo barre trasversali	passo	100 mm		
N.strati barre trasvers. (sup.+inf.+intermedi)	n.strati	2		
Area barre trasversali	$A_s$	4021 mm <sup>2</sup>		
stato tensionale barre dopo fessurazione	$\sigma_s$	360 mm <sup>2</sup>	< $f_{yk}$	Verifica soddisfatta
$\phi$ barre da tabella 7.2N x $\sigma_s$ e $w_k=0,2$ mm	$\phi^*_s$	6 mm		
altezza zona tesa prima della fessurazione	$h_{cr}$	500 mm		
altezza totale sezione	$h$	500 mm		
copriferro (asse barre)	$c$	54 mm		
altezza utile sezione	$d$	446 mm		
diametro massimo modificato utilizzabile	$\phi_s$	28 mm	(= $F_s$ )	

### 3.14. RIEPILOGO E INCIDENZA ARMATURE

*A seguire il riepilogo delle armature del tombino:*

Pareti di spessore	60 cm		
con armatura principale esterna	<b>F16 /100</b>		2011 mm <sup>2</sup>
con armatura principale interna	<b>F16 /100</b>		2011 mm <sup>2</sup>
Soletta superiore di spessore	50 cm		
con armatura principale superiore	<b>F16 /100</b>		2011 mm <sup>2</sup>
con armatura principale inferiore	<b>F16 /100</b>		2011 mm <sup>2</sup>
Soletta inferiore di spessore	60 cm		
con armatura principale superiore	<b>F16 /100</b>		2011 mm <sup>2</sup>
con armatura principale inferiore	<b>F16 /100</b>		2011 mm <sup>2</sup>

Le pareti non necessitano di armatura a taglio.

La soletta superiore necessita di armatura a taglio **F12 /200** dir.princ. /500 dir.trasv.

La soletta inferiore necessita di armatura a taglio **F12 /200** dir.princ. /500 dir.trasv.

*(Le armature a taglio sono state disposte ove non risultano soddisfatte le verifiche con Vrd senza armatura a taglio)*

Le armature di ripartizione sono:

	Armature di ripartizione:	Area:	% Arm. principale:			
Pareti	<b>F16 /100 2 strati</b>	4021.2 mm <sup>2</sup>	100%	di		4021 mm <sup>2</sup>
Soletta superiore	<b>F16 /100 2 strati</b>	4021.2 mm <sup>2</sup>	100%	di		4021 mm <sup>2</sup>
Soletta inferiore	<b>F16 /100 2 strati</b>	4021.2 mm <sup>2</sup>	100%	di		4021 mm <sup>2</sup>

#### **Incidenza armature:**

Larghezza utile	Lint	3.20 m	Spessore piedritti	Sp	0.60 m
Altezza libera	Hint	3.30 m	Spessore soletta	Ss	0.50 m
incidenza sovrapp.		20%	Spessore fondazione	Sf	0.60 m
			copriferro	c	0.07 m

Elem.	Ø1 sup/int [mm]	pass1 [mm]	Ø2 sup/int [mm]	pass2 [mm]	Ø3 inf/ext [mm]	pass3 [mm]	Ø4 inf/ext [mm]	pass4 [mm]	Øleg [mm]	Øleg pass1 [mm]	Øleg pass2 [mm]
piedritto	16	100	0	1000	16	100	0	1000	0	1000	1000
soletta	16	100	0	1000	16	100	0	1000	12	200	500
fondaz.	16	100	0	1000	16	100	0	1000	12	200	500
ripartiz.	16	100	x	<b>2 strati</b>							
Elem.	LØ [m]	Lleg [mm]	Vol [m <sup>3</sup> ]	Peso [kg]	incd [kg/m <sup>3</sup> ]	Inc%					
piedritto	5.18	0.66	2.0	196	<b>99</b>	<b>28%</b>					
soletta	4.98	0.56	2.2	215	<b>98</b>	<b>15%</b>					
fondaz.	5.18	0.66	2.6	227	<b>86</b>	<b>16%</b>					
ripartiz.			8.8	583	<b>66</b>	<b>41%</b>					
<b>TOTALE</b>			<b>8.8</b>	<b>1418</b>	<b>161</b>	<b>100%</b>					

### 3.15. VERIFICHE GEOTECNICHE

#### .3.16.1. 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	800.90	51.37	115.30
SLU01	800.90	51.37	115.30
SLU02	800.90	8.76	33.73
SLU02	800.90	8.76	33.73
SLU03	800.90	8.76	33.73
SLU03	800.90	8.76	33.73
SLU04	800.90	89.01	168.26
SLU04	800.90	89.01	168.26
SLU05	800.90	51.37	115.30
SLU05	800.90	51.37	115.30
SLU06	426.27	42.61	81.57
SLU06	426.27	42.61	81.57
SLU07	800.90	89.01	168.26
SLU07	800.90	89.01	168.26
SLU08	306.18	80.25	134.53
SLU08	306.18	80.25	134.53
SLU09	800.90	80.25	134.53
SLU09	800.90	80.25	134.53
SLU10	800.90	-80.25	-134.53
SLU10	800.90	-80.25	-134.53
SLU11	725.97	-3.56	12.29
SLU11	725.97	-3.56	12.29
SLU12	725.97	-3.56	12.29
SLU12	725.97	-3.56	12.29
SLU13	688.51	0.95	37.86
SLU13	688.51	0.95	37.86
SH1	362.92	-151.88	-352.90
SH1	362.92	-151.88	-352.90
SH2	352.77	-151.88	-352.90
SH2	352.77	-151.88	-352.90
SH3	362.92	52.90	36.83
SH3	362.92	52.90	36.83
SH4	352.77	52.90	36.83
SH4	352.77	52.90	36.83
SV1	340.94	-40.60	-94.74
SV1	340.94	-40.60	-94.74
SV2	374.76	-40.60	-94.74
SV2	374.76	-40.60	-94.74

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 47 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

SV3	340.94	20.83	22.18
SV3	340.94	20.83	22.18
SV4	374.76	20.83	22.18
SV4	374.76	20.83	22.18
SLU14	800.90	8.35	54.77
SLU14	800.90	8.35	54.77
SLU15	800.90	-34.26	-26.80
SLU15	800.90	-34.26	-26.80
SLU16	800.90	-34.26	-26.80
SLU16	800.90	-34.26	-26.80
SLU17	800.90	30.93	86.55
SLU17	800.90	30.93	86.55
SLU18	800.90	-6.71	33.58
SLU18	800.90	-6.71	33.58
SLU19	426.27	-15.47	-0.15
SLU19	426.27	-15.47	-0.15
SLU20	800.90	30.93	86.55
SLU20	800.90	30.93	86.55
SLU21	306.18	22.17	52.82
SLU21	306.18	22.17	52.82
SLU22	800.90	22.17	52.82
SLU22	800.90	22.17	52.82
SLU23	800.90	-123.26	-195.06
SLU23	800.90	-123.26	-195.06
SLU24	725.97	-46.57	-48.24
SLU24	725.97	-46.57	-48.24
SLU25	725.97	-46.57	-48.24
SLU25	725.97	-46.57	-48.24
SLU26	688.51	-42.07	-22.66
SLU26	688.51	-42.07	-22.66
SH5	362.92	-194.90	-413.43
SH5	362.92	-194.90	-413.43
SH6	352.77	-194.90	-413.43
SH6	352.77	-194.90	-413.43
SH7	362.92	9.88	-23.69
SH7	362.92	9.88	-23.69
SH8	352.77	9.88	-23.69
SH8	352.77	9.88	-23.69
SV5	340.94	-83.62	-155.27
SV5	340.94	-83.62	-155.27
SV6	374.76	-83.62	-155.27
SV6	374.76	-83.62	-155.27
SV7	340.94	-22.19	-38.35
SV7	340.94	-22.19	-38.35
SV8	374.76	-22.19	-38.35
SV8	374.76	-22.19	-38.35



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

<b>SLU</b>	
<b>Nmax</b>	<b>800.90</b> kN/m
<b>Nmin</b>	<b>306.18</b> kN/m
<b>Hmax</b>	<b>123.26</b> kN/m
<b>Mmax</b>	<b>195.06</b> kNm/m

<b>SLV</b>	
<b>Nmax</b>	<b>374.76</b> kN/m
<b>Nmin</b>	<b>340.94</b> kN/m
<b>Hmax</b>	<b>194.90</b> kN/m
<b>Mmax</b>	<b>413.43</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 ( $e_B = Mb/N$ )

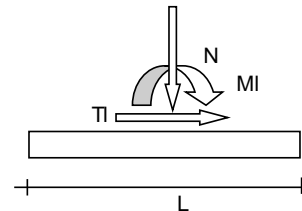
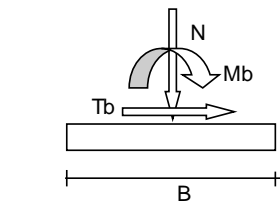
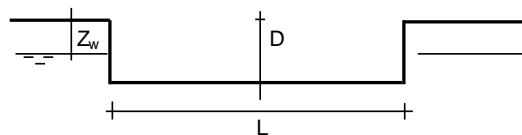
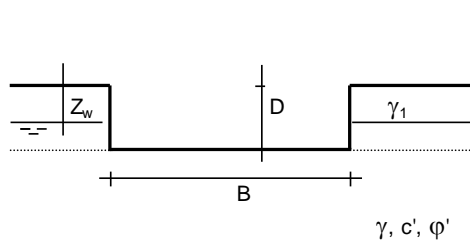
$e_L$  = Eccentricità in direzione L ( $e_L = MI/N$ ) (per fondazione nastriforme  $e_L = 0$ ;  $L^* = L$ )

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

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

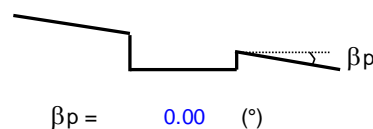
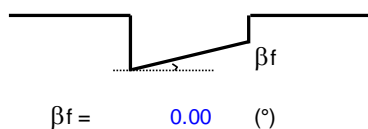
(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

Metodo di calcolo		coefficienti parziali						
		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	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



(Per fondazione nastriforme  $L = 100$  m)

$B = 4.40$  (m)  
 $L = 100.00$  (m)  
 $D = 5.40$  (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.

.3.16.2. Verifiche SLU in condizioni drenate

• SLU-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	306.18		306.18
Mb [kNm]	195.06		195.06
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	123.26		123.26
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	123.26	0.00	123.26

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)  
 $\varphi' = 22.00$  (°)

Valori di progetto

$c' = 10.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 22.00$  (°)

Profondità della falda

$Z_w = 8.50$  (m)

$e_B = 0.64$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 3.13$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 108.00$  (kN/mq)

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

$\gamma = 15.05$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 7.82$

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

$N_c = 16.88$

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

$N_\gamma = 7.13$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : 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)

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

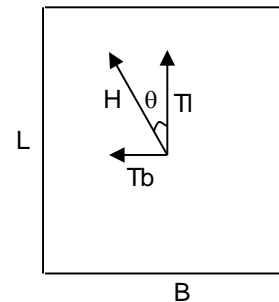
$$i_q = 0.42$$

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

$$i_c = 0.36$$

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

$$i_\gamma = 0.27$$


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

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

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

$$d_q = 1.43$$

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

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : 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**

$$q_{lim} = 931.05 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 97.95 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 404.8 \geq q = 97.95 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 205.29 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 186.63 \geq H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

- SLU-Nmax:

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	800.90		800.90
Mb [kNm]	195.06		195.06
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	123.26		123.26
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	123.26	0.00	123.26

*Peso unità di volume del terreno*

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 20.00 \quad (\text{kN/mc}) \\ \gamma &= 18.00 \quad (\text{kN/mc}) \end{aligned}$$

*Valori caratteristici di resistenza del terreno*

$$\begin{aligned} c' &= 10.00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 22.00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

*Valori di progetto*

$$\begin{aligned} c' &= 10.00 \quad (\text{kN/mq}) \\ \varphi' &= 22.00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$

*Profondità della falda*

$$Z_w = 8.50 \quad (\text{m})$$

$$\begin{aligned} e_B &= 0.24 \quad (\text{m}) \\ e_L &= 0.00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B^* &= 3.91 \quad (\text{m}) \\ L^* &= 1.00 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 108.00 \quad (\text{kN/mq})$$

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

$$\gamma = 15.05 \quad (\text{kN/mc})$$

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

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

$$N_q = 7.82$$

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

$$N_c = 16.88$$

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

$$N_y = 7.13$$



**$s_c, s_q, s_\gamma$  : 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 nastroforme e  
 $m=(m_b \sin^2 \theta + m_l \cos^2 \theta)$  in tutti gli altri casi)

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

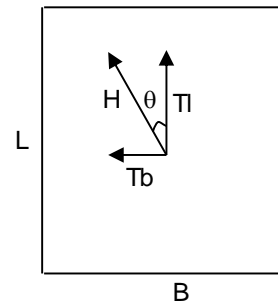
$$i_q = 0.73$$

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

$$i_c = 0.70$$

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

$$i_\gamma = 0.62$$


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

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

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

$$d_q = 1.43$$

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

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

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

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

$$b_q = \quad 1.00$$

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

$$b_c = \quad 1.00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = \quad 1.00$$

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

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

$$g_q = \quad 1.00$$

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

$$g_c = \quad 1.00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = \quad 1.00$$

**Carico limite unitario**

$$q_{lim} = \quad 1681.76 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = \quad 204.68 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 731.2 \geq q = 204.68 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 451.72 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 410.65 \geq H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

*3.16.3. Verifiche SLU in condizioni non drenate*

- SLU-Nmin:

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	306.18		306.18
Mb [kNm]	195.06		195.06
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	123.26		123.26
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	123.26	0.00	123.26

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

$$c_u = 45.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.64 \quad (\text{m})$$

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

Valore di progetto

$$c_u = 45.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 3.13 \quad (\text{m})$$

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

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 108.00 \quad (\text{kN/mq})$$

**$\gamma$  : 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**

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

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

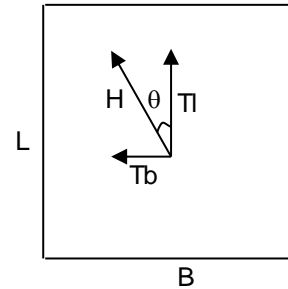
$$\theta = \arctg(T_b / T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

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

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

$$i_c = 0.87$$


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

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

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

$$d_c = 1.56$$

 **$b_c$ : 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***

$$q_{lim} = 944.53 \quad (\text{kN/m}^2)$$

***Pressione massima agente***

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

$$q = 97.95 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 410.66 \geq q = 97.95 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 375.10 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 341 \geq H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

- **SLU-Nmax:**

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	800.90		800.90
Mb [kNm]	195.06		195.06
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	123.26		123.26
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	123.26	0.00	123.26

*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*

$$c_u = 45.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 0.24 \quad (\text{m})$$

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

*Valore di progetto*

$$c_u = 45.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 3.91 \quad (\text{m})$$

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

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 108.00 \quad (\text{kN/mq})$$

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

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

**Nc : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**sc : fattori di forma**

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

$$s_c = 1.00$$

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

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

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

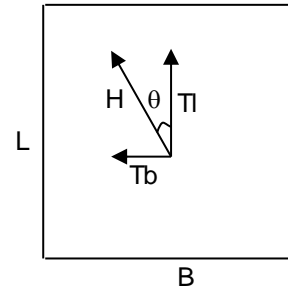
$$\theta = \arctg(T_b/\Pi) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

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

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

$$i_c = 0.90$$



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

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

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

$$d_c = 1.56$$

**$b_c$ : 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**

$$q_{lim} = 969.20 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 204.68 \quad (\text{kN/m}^2)$$



**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 421.39 \geq q = 204.68 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 469.55 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 426.86 \geq H_d = 123.26 \text{ (kN)}$$

3.16.4. Verifiche SLV in condizioni drenate

• SLV-Nmin:

	AZIONI		Valori di calcolo
	valori di input		
	permanenti	temporanee	
N [kN]	340.94		340.94
Mb [kNm]	413.43		413.43
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	194.90		194.90
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	194.90	0.00	194.90

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)

$\varphi' = 22.00$  (°)

Valori di progetto

$c' = 10.00$  (kN/mq)

$\varphi' = 22.00$  (°)

Profondità della falda

$Z_w = 8.50$  (m)

$e_B = 1.21$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 1.97$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 108.00$  (kN/mq)

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

$\gamma = 15.05$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 7.82$

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

$N_c = 16.88$

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

$N_\gamma = 7.13$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : 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 nastroforme e  
m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

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

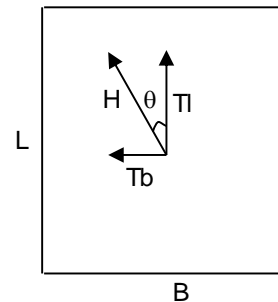
$$i_q = 0.27$$

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

$$i_c = 0.19$$

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

$$i_\gamma = 0.14$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : 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  $D/B^* > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1.43$$

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

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : 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**

$$q_{lim} = 633.48 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 172.65 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.04.0.0.002	REV. B	FOGLIO 68 di 78
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 275.43 \geq q = 172.65 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 218.22 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 198.38 \geq H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

• SLV-Nmax:

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	374.76		374.76
Mb [kNm]	413.43		413.43
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	194.90		194.90
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	194.90	0.00	194.90

*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)  
 $\varphi' = 22.00$  (°)

*Valori di progetto*

$c' = 10.00$  (kN/mq)  
 $\varphi' = 22.00$  (°)

*Profondità della falda*

$Z_w = 8.50$  (m)  
 $e_B = 1.10$  (m)  
 $e_L = 0.00$  (m)

$B^* = 2.19$  (m)  
 $L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 108.00$  (kN/mq)

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

$\gamma = 15.05$  (kN/mc)

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

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

$N_q = 7.82$

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

$N_c = 16.88$

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

$N_\gamma = 7.13$

**$s_c, s_q, s_\gamma$  : 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 nastroiforme e m=(m<sub>b</sub>sin<sup>2</sup>θ+m<sub>l</sub>cos<sup>2</sup>θ) in tutti gli altri casi)

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

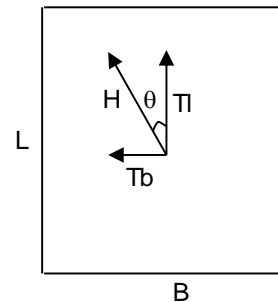
$$i_q = 0.31$$

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

$$i_c = 0.24$$

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

$$i_\gamma = 0.17$$



**$d_c, d_q, d_\gamma$  : 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  $D/B^* > 1$ ;  $d_q = 1 + (2 \tan \varphi' (1 - \sin \varphi')^2) \cdot \arctan (D / B^*)$

$$d_q = 1.43$$

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

$$d_c = 1.48$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1.00$$

**$b_c, b_q, b_\gamma$  : 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**

$$q_{lim} = \qquad 742.08 \qquad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = \qquad 170.84 \qquad (\text{kN/m}^2)$$



Sottopasso Scatolare Stazione di S. Antonio  
3.20 x 3.30 (pk 6+120): Relazione di calcolo

COMMESSA  
NN1

LOTTO  
0 0 D 78

CODIFICA  
CL

DOCUMENTO  
FV.04.0.0.002

REV.  
B

FOGLIO  
72 di 78

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 322.64 \geq q = 170.84 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 240.56 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 218.69 \geq H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

*.3.16.5. Verifiche SLV in condizioni non drenate*

• SLV-N<sub>min</sub> :

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	340.94		340.94
M <sub>b</sub> [kNm]	413.43		413.43
M <sub>l</sub> [kNm]	0.00		0.00
T <sub>b</sub> [kN]	194.90		194.90
T <sub>l</sub> [kN]	0.00		0.00
H [kN]	194.90	0.00	194.90

*Peso unità di volume del terreno*

$\gamma_1 = 20.00$  (kN/mc)

$\gamma = 18.00$  (kN/mc)

*Valore caratteristico di resistenza del terreno*

$c_u = 45.00$  (kN/mq)

*Valore di progetto*

$c_u = 45.00$  (kN/mq)

$e_B = 1.21$  (m)

$B^* = 1.97$  (m)

$e_L = 0.00$  (m)

$L^* = 1.00$  (m)

**q : sovraccarico alla profondità D**

$q = 108.00$  (kN/mq)

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

$\gamma = 18.00$  (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**

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

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

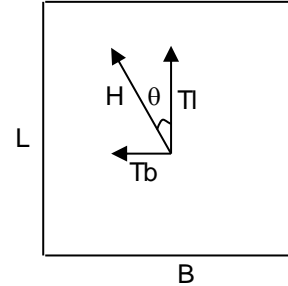
$$\theta = \arctg(T_b / T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

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

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

$$i_c = 0.68$$



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

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

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

$$d_c = 1.56$$

**$b_c$ : 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**

$$q_{lim} = 760.22 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 172.65 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 330.53 \geq q = 172.65 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 236.97 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 215.43 \geq H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

- SLV-Nmax:

**AZIONI**

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	374.76		374.76
Mb [kNm]	413.43		413.43
MI [kNm]	0.00		0.00
Tb [kN]	194.90		194.90
TI [kN]	0.00		0.00
H [kN]	194.90	0.00	194.90

*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*

$$c_u = 45.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$e_B = 1.10 \quad (\text{m})$$

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

*Valore di progetto*

$$c_u = 45.00 \quad (\text{kN/mq})$$

$$B^* = 2.19 \quad (\text{m})$$

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

**q : sovraccarico alla profondità D**

$$q = 108.00 \quad (\text{kN/mq})$$

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

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

**$N_c$  : coefficiente di capacità portante**

$$N_c = 2 + \pi$$

$$N_c = 5.14$$

**$s_c$  : fattori di forma**

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

$$s_c = 1.00$$

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

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

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

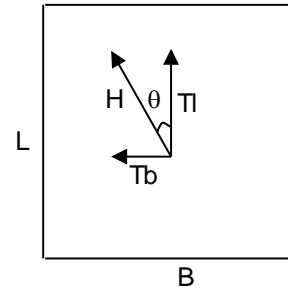
$$\theta = \arctg(T_b / T_l) = 0.00 \quad (^\circ)$$

$$m = 2.00$$

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

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

$$i_c = 0.71$$



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

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

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

$$d_c = 1.56$$

**$b_c$ : 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**

$$q_{lim} = 790.84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Pressione massima agente**

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

$$q = 170.84 \quad (\text{kN/m}^2)$$

**Verifica di sicurezza capacità portante**

$$q_{lim} / \gamma_R = 343.84 \geq q = 170.84 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

**VERIFICA A SCORRIMENTO**

**Carico agente**

$$H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

**Azione Resistente**

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

$$S_d = 263.23 \text{ (kN)}$$

**Verifica di sicurezza allo scorrimento**

$$S_d / \gamma_R = 239.3 \geq H_d = 194.90 \text{ (kN)}$$

*3.16.6. Tabella verifiche geotecniche GEO*

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

<b><u>VERIFICHE GEO</u></b>			
	<b>Q<sub>lim</sub></b>	<b>Scorr</b>	<b>Esito</b>
SLU-CD_Nmin	20%	57%	OK
SLU-CD_Nmax	25%	28%	OK
SLV-CD_Nmin	63%	98%	OK
SLV-CD_Nmax	53%	89%	OK
SLU-CND_Nmin	24%	36%	OK
SLU-CND_Nmax	49%	29%	OK
SLV-CND_Nmin	52%	90%	OK
SLV-CND_Nmax	50%	81%	OK

*3.16.7. Sollevamento per galleggiamento UPL*

La quota della falda è al disotto del piano di imposta del sottopasso per cui non necessitano le verifiche di sollevamento per galleggiamento (UPL) di cui al punto 6.2.4.2 delle NTC 2018.