

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

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

FABBRICATI VIAGGIATORI

Fermata Pontecagnano Aeroporto - Sottopasso viaggiatori

Relazione di calcolo opere di varo

SCALA:

-

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

NN1X 00 D 78 CL FV05A0 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	ITA FERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Generale UO Infrastrutture Sud Prof. Ing. Gaetano Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

NN1X.0.0.D.78.CL.FV.05.A.0.002.B

n. Elab.:

## INDICE

1.	OPERE DI VARO .....	2
1.1.	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA E DATI DI INPUT .....	2
1.2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	3
2.	PROGETTO OPERE DI VARO.....	5
2.1.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
2.2.	UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	6
2.3.	MATERIALI.....	6
2.4.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	7
2.5.	DIMENSIONAMENTO DELL'APPARATO DI SPINTA.....	8
	2.5.1. CONDIZIONI DI CALCOLO.....	9
	2.5.2. DETERMINAZIONE DEI PESI E DELLE SPINTE .....	9
2.6.	VERIFICA GEOTECNICA .....	10
	2.6.1. SOLLECITAZIONI - SPINTA DEL MONOLITE .....	11
	2.6.2. SPINTA PASSIVA .....	12
	2.6.3. RESISTENZA ALLO SCORRIMENTO .....	12
	2.6.4. CALCOLO COEFFICIENTE DI SICUREZZA.....	13
2.7.	VERIFICHE STRUTTURALI.....	14
	2.7.1. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA .....	14
	2.7.1.1. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA ARMATURE ORIZZONTALI.....	15
	2.7.1.2. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA ARMATURE VERTICALI .....	16
	2.7.1.3. VERIFICA DEL MURO REGGISPINTA.....	17
	2.7.2. VERIFICA DELLA PLATEA DI VARO.....	19

## 1. OPERE DI VARO

### 1.1. GEOMETRIA DELLA STRUTTURA E DATI DI INPUT

Parte del sottopasso previsto nella nuova stazione dell'Aeroporto di Salerno (rosso in figura 1), nel rispetto dei tempi di chiusura dell'esercizio e nell'ottica di velocizzare i tempi di cantierizzazione, deve essere realizzato lontano dalla sua sede di progetto ed essere poi portato in posizione attraverso un sistema di spinta oleodinamico.

Il monolite viene, quindi, costruito a lato del rilevato ferroviario e poi infisso mediante operazioni di spinta a vuoto. Esso poggia su una platea di varo che è collegata al muro reggispinta, per garantire la necessaria azione di contrasto dei manufatti durante le fasi di spinta.

Il monolite presenta una sezione trasversale di dimensioni interne nette  $L_{int} \times H_{int}$  pari a 5.00 m x 3.80 m, con solette superiore e pareti laterali di spessore pari a 0.60 m e fondazione di 0.80 m. Le dimensioni esterne della sezione trasversale risultano quindi pari a 6.20 m x 5.20 m. La lunghezza del monolite è di 10.30 m.

Scopo del presente documento tecnico è quello di illustrare, i criteri di calcolo e le verifiche della platea di varo e del muro reggispinta da realizzare per poter poi ingaggiare il monolite.

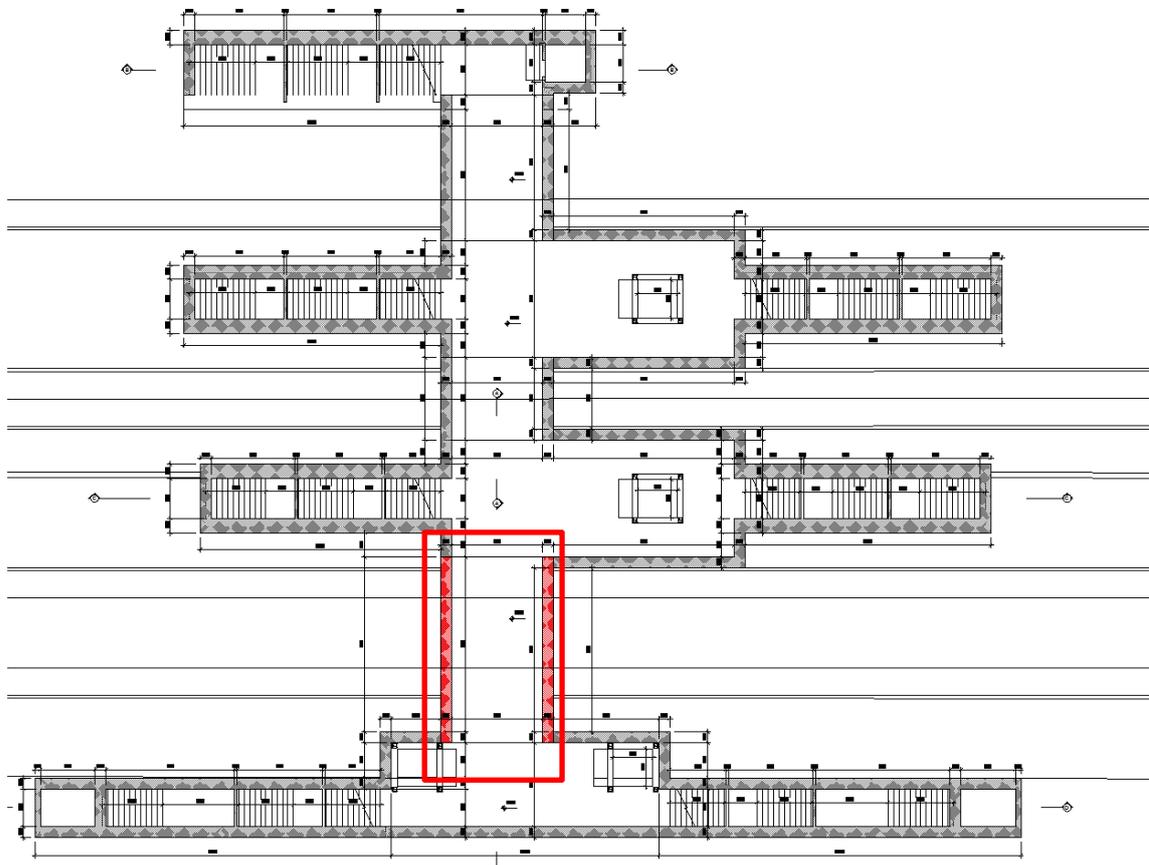


Figura 1 – Pianta stazione con individuazione della porzione di sottopasso da varare a spinta

## 1.2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La platea in c.a. ha dimensioni in pianta di 16.84 m x 6.85 m con spessore di 0.20 m e collegata al muro reggispinta che ha spessore del paramento di 1.00 m.

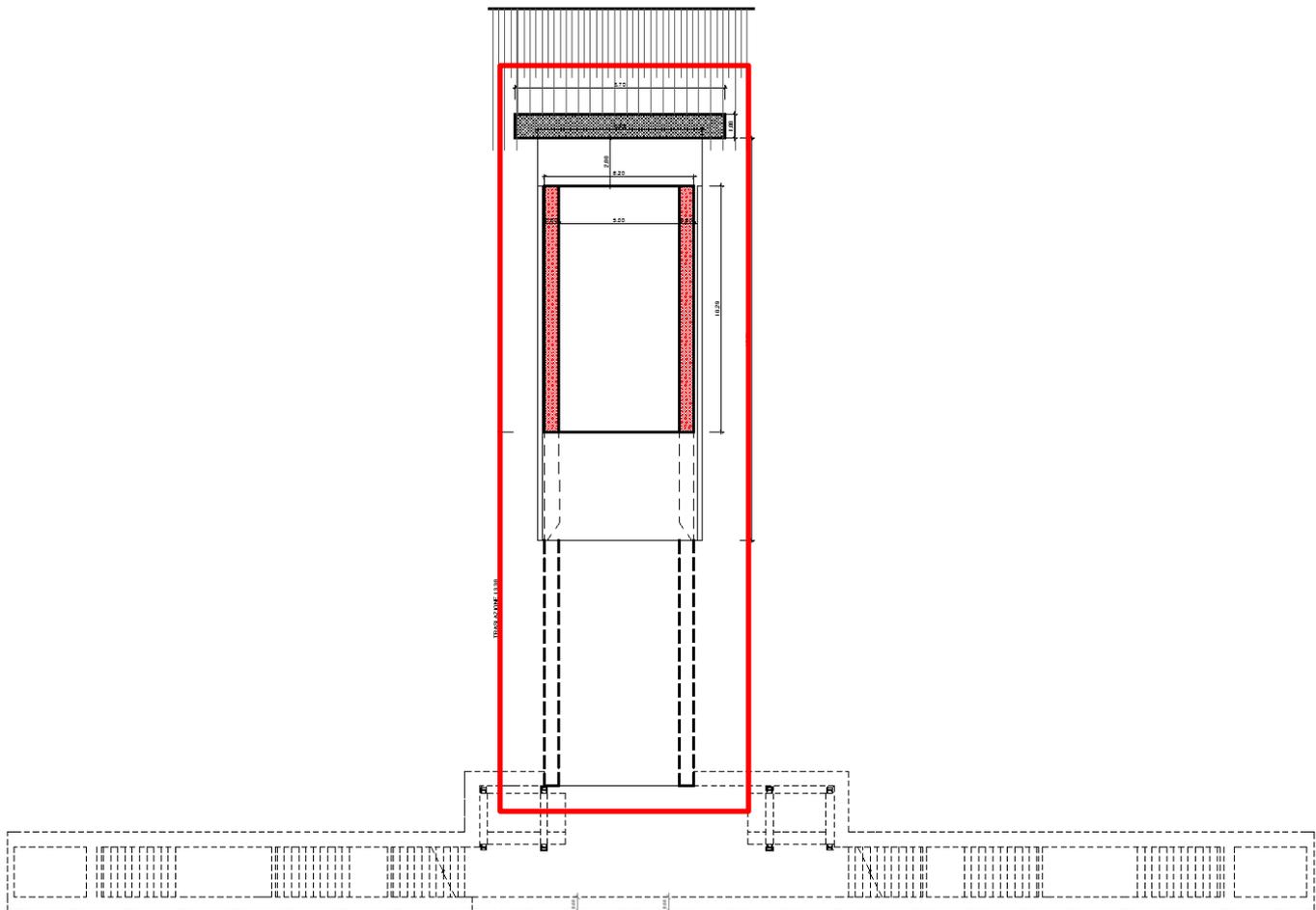


Figura 2 – Pianta monolite in posizione di varo

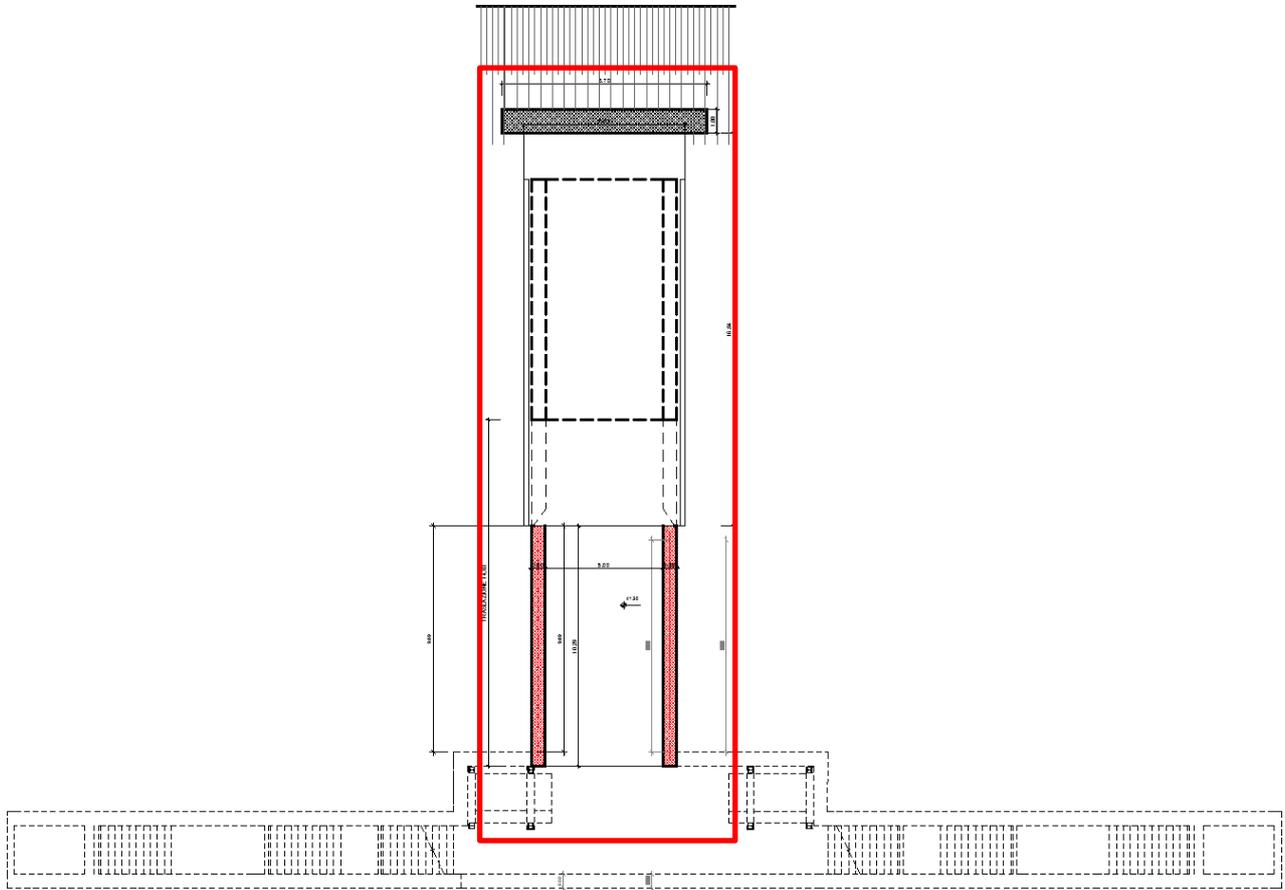


Figura 3 – Pianta monolite a varo ultimato

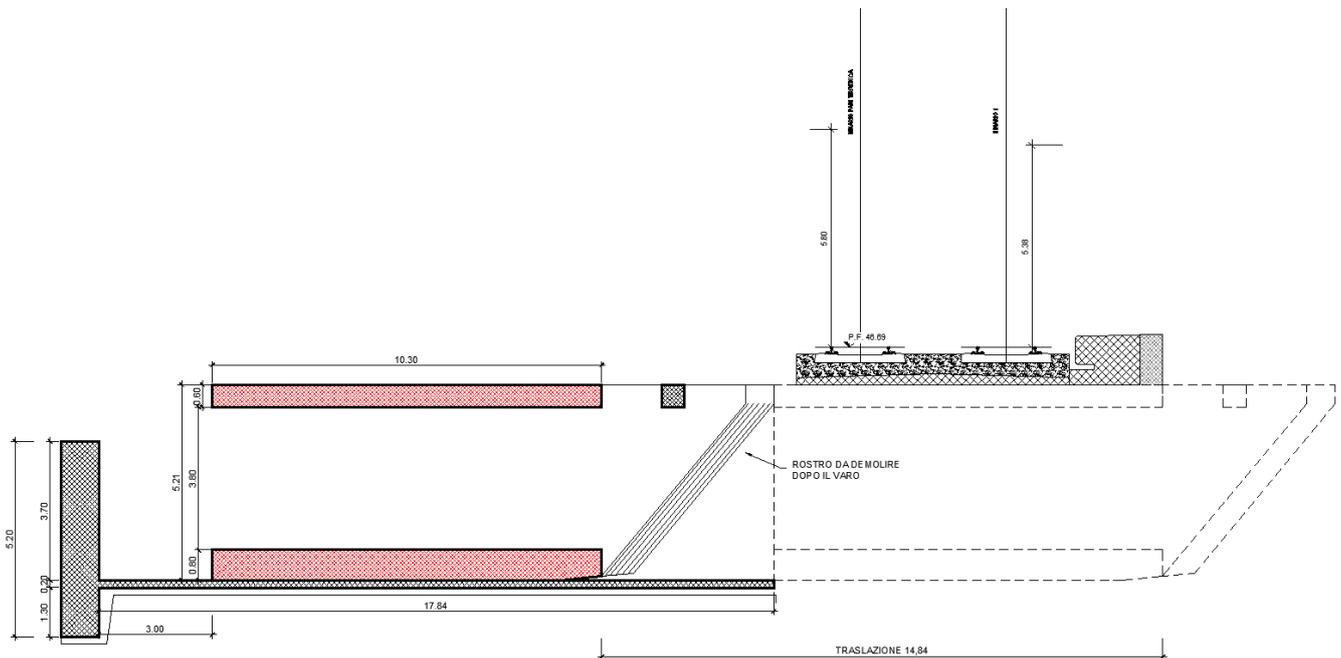


Figura 4 - Sezione longitudinale monolite in posizione di varo

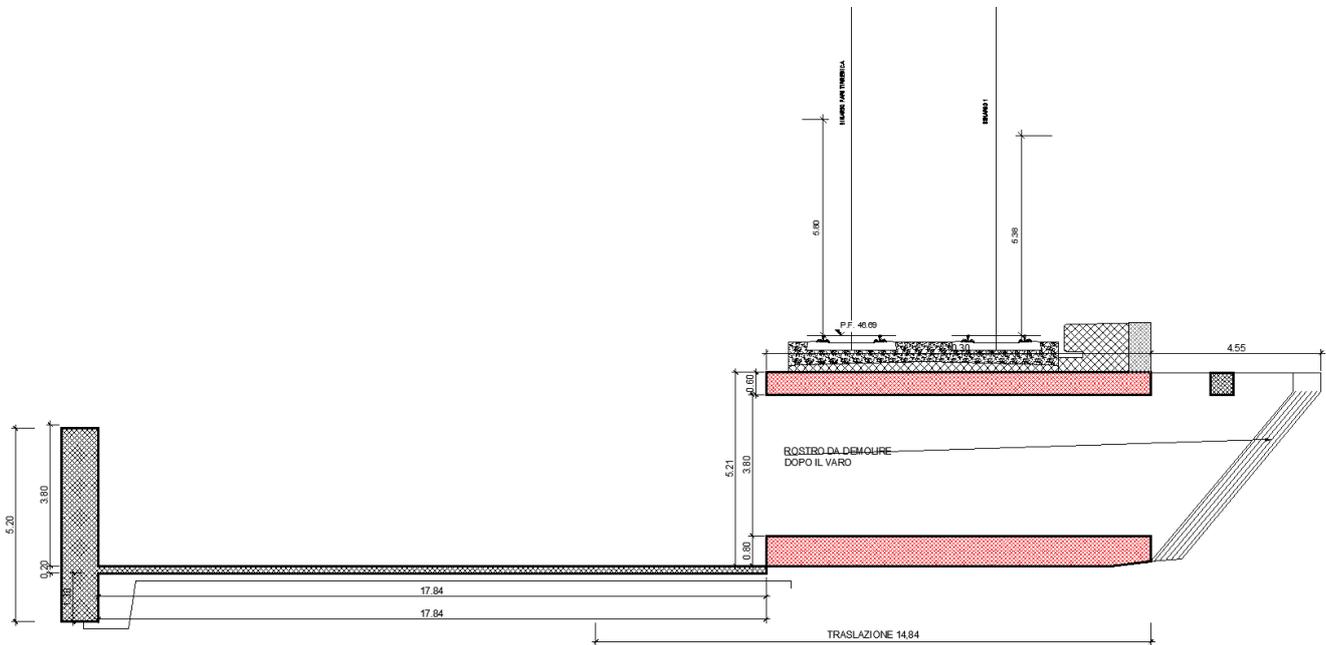


Figura 5 - Sezione longitudinale monolite a varo ultimato

## 2. PROGETTO OPERE DI VARO

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli volti alla progettazione del sottopasso nel rispetto della norma attualmente vigente NTC18.

### 2.1. 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

## 2.2. 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  $10^3$  N

- (kiloNewton)

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

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

## 2.3. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo **C25/30** le cui caratteristiche principali sono:

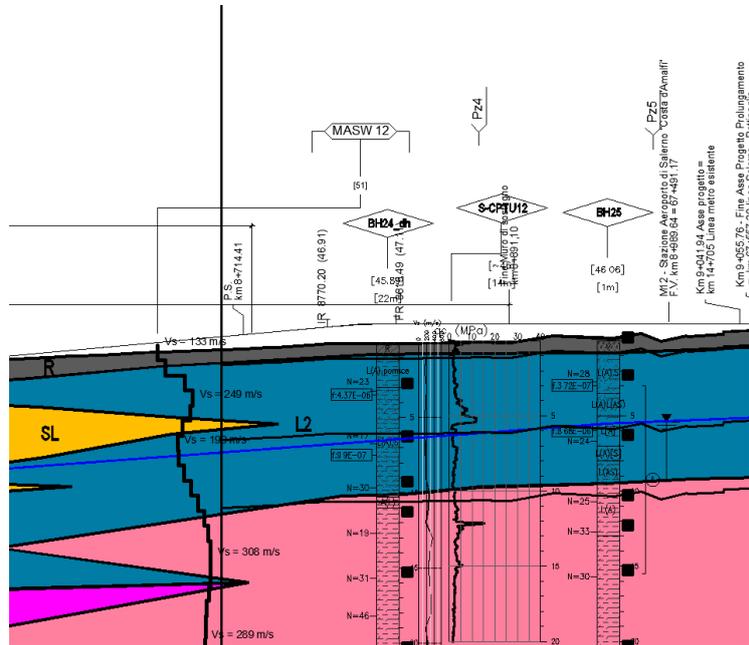
- Resistenza cilindrica caratteristica:  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice:  $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$ , dove:
  - $\alpha_{cc} = 0.85$  e  $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{cd} = 14,6 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice:  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$ , dove:
  - $\gamma_m = 1.5$ ;
  - $f_{ctd} = 1.35 \text{ N/mm}^2$ .
- Modulo elastico:  $E_c = 31475 \text{ N/mm}^2$ .
- 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  **$\geq 40\varphi$**

#### **2.4. 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 rinfilanco.

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 rinfilanco sono i seguenti:

Peso specifico rinterro	<b>FERROVIARIO</b>	$\gamma_t$	20.0 kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito rinterro		$\phi'$	38.0 [°]	0.663 [rad]
coesione rinterro		$c_u$	0.0 kN/m <sup>2</sup>	
Peso specifico terreno di rinfilanco		$\gamma_t$	18.0 kN/m <sup>3</sup>	
angolo di attrito terreno di rinfilanco		$\phi'$	22.0 [°]	0.384 [rad]
coesione terreno di rinfilanco		$c_u$	45.0 kN/m <sup>2</sup>	

#### FALDA

Quota falda dal p.c.	$q_w$	6.50 m
Peso specifico	$\gamma_w$	10.00 kN/m <sup>3</sup>

## 2.5. DIMENSIONAMENTO DELL'APPARATO DI SPINTA

La struttura monolitica da infiggere viene gettata in opera al di sopra di una platea di varo armata.

L'infissione avviene tramite martinetti che contrastano su una parete, detta muro reggispinta, che a sua volta scarica e ripartisce tale azione sul terreno retrostante.

Nella fase iniziale la distanza tra la soletta di fondazione del monolite e la parete reggispinta dovrà essere, ove possibile, di almeno 2.00 m per consentire l'alloggiamento dei martinetti e della trave di ripartizione.

### 2.5.1. CONDIZIONI DI CALCOLO

Le condizioni di spinta considerate sono:

- 1) Al momento della spinta iniziale (distacco del manufatto dalla platea di varo - fase 1);
- 2) Al momento della spinta massima (fine dell'infissione - fase 2).

Sia per le verifiche geotecniche che per le verifiche strutturali si è considerato l'approccio 2 con combinazione: A1+M1+R3.

### 2.5.2. DETERMINAZIONE DEI PESI E DELLE SPINTE

Per le analisi seguenti si fa riferimento alla seguente stratigrafia:

#### DATI GEOTECNICI

##### TERRENO 1 - Riemp. a tergo del muro

Spessore	$h_1$	5.00 m	
Peso specifico	$\gamma_{d1}$	20.00 kN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito	$\Phi_1$	30 °	0.524 [rad]
Tangente angolo d'attrito	$\tan(\Phi_1)$	0.577 [-]	
Coesione drenata	$c_1$	0.00 kN/m <sup>2</sup>	
Coeff. di spinta a riposo	$k_{0,1}$	0.500 [-]	$(1 - \sin\theta)$
Coeff. di spinta passiva	$k_{p,1}$	3.00 [-]	$(1 + \sin\theta) / (1 - \sin\theta)$

##### TERRENO 2 - Terreno di fondazione

Peso specifico	$\gamma_t$	18 kN/m <sup>3</sup>	
Angolo di attrito	$\Phi$	25 °	0.436 [rad]
Tangente angolo di attrito	$\tan(\Phi)$	0.466 [-]	
Coesione dreanta	$c'$	10 kN/m <sup>2</sup>	

#### FALDA

Quota falda dal p.c.	$q_w$	6.50 m	
Peso specifico	$\gamma_w$	10.00 kN/m <sup>3</sup>	

Tra la struttura del monolite ed il piano di scorrimento viene interposto un foglio di polietilene cerato al

fine di evitare fenomeni di adesione. Con tale accorgimento si può valutare prudenzialmente che il valore della spinta per cui il monolite inizia la traslazione sia circa pari al peso della struttura (ciò equivale a fissare un coefficiente di attrito di primo stacco pari all'unità).

L'attrito di scorrimento, dopo la fase di primo stacco, scende a valori inferiori.

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche geometriche e il calcolo analitico dei pesi del monolite, della platea di varo e del muro reggispinta.

### CARATTERISTICHE DELL'OPERA

#### MONOLITE

Lunghezza totale di spinta del monolite	Lsp	14.84 m	
Lunghezza totale dello scatolare	L	10.30 m	
Larghezza totale dello scatolare	Ltot	6.20 m	
Larghezza utile dello scatolare	Lint	5.00 m	
Altezza totale dello scatolare	Htot	5.20 m	
Altezza libera dello scatolare	Hint	3.80 m	
Spessore soletta superiore	Ss	0.60 m	
Spessore piedritti	Sp	0.60 m	
Numero piedritti	n	2.00 [-]	
Spessore soletta di fondazione	Sf	0.80 m	
Peso specifico calcestruzzo armato	$\gamma_{cls}$	25.00 kN/m <sup>3</sup>	
Peso totale soletta	Ps	957.90 kN	$\gamma_{cls} \times Ss \times Ls \times Ltot$
Peso totale piedritti	Pp	1174.20 kN	$\gamma_{cls} \times Sp \times L \times Hint \times n$
Peso totale fondazione	Pf	1277.20 kN	$\gamma_{cls} \times Sf \times Lsp \times Ltot$
<b>Peso scatolare finale</b>	<b>Pscat</b>	<b>3409 kN</b>	$Ps + Pp + Pf$
Lunghezza max muri avambecco	Lmuri	4.55 m	
Altezza muri avambecco	Hmuri	5.20 m	<i>A fav di sic si considerano alti quanto lo scatolare</i>
Spessore muri avambecco	Smuri	0.60 m	
Numero muri avambecco	n	2.00 [-]	
<b>Peso muri d'ala</b>	<b>Pmuri</b>	<b>355 kN</b>	$\gamma_{cls} \times Smuri \times Lmuri \times Hmuri$
<b>Peso totale monolite</b>	<b>Pmon</b>	<b>3764 kN</b>	$Pscat + Pmon$

#### PLATEA

Lunghezza platea di varo	Lu,pv	15.3 m	
Larghezza platea di varo	La,pv	6.85 m	
Altezza platea di varo	Hpv	0.20 m	
<b>Peso platea di varo</b>	<b>Ppv</b>	<b>524 kN</b>	$\gamma_{cls} \times Lu,pv \times La,pv \times Hpv$
Altezza cordoli	Hcc	0.20 m	
Larghezza cordoli	Lcc	0.20 m	
<b>Peso cordoli</b>	<b>Pcc</b>	<b>15 kN</b>	$\gamma_{cls} \times Lu,pv \times Lcc \times Hcc$
<b>Peso totale platea di varo</b>	<b>Ppv,tot</b>	<b>539 kN</b>	$Ppv + Pcc$

#### MURO REGGISPINTA

Altezza totale muro reggispinta	Hms	5.20 m	
Altezza muro reggispinta sopra la platea	Hms2	3.70 m	
Spessore muro reggispinta	Sms	1.00 m	
Lunghezza muro reggispinta	Lms	8.70 m	

## 2.6. VERIFICA GEOTECNICA

Le verifiche geotecniche sono condotte utilizzando l'approccio 2 combinazione 1: A1+M1+R3.

### 2.6.1. SOLLECITAZIONI - SPINTA DEL MONOLITE

Una volta superata la platea di varo, la resistenza che si oppone allo scorrimento dovuto all'attrito alla base del manufatto vale  $P_{mon} \cdot \tan(\varphi)$ , valore ottenuto considerando come coefficiente d'attrito  $\tan(\varphi)$  la tangente dell'angolo d'attrito del terreno stesso.

Nella tabella che segue si riporta il calcolo analitico del peso del monolite nelle due fasi iniziali e finale.

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI

##### FASE INIZIALE

Peso totale monolite	$P_{mon}$	3764 kN	
Coefficiente di attrito in fase 1	$\tan(\Phi)$	1.00 [-]	
<b>Spinta di primo distacco</b>	<b>Sin</b>	<b>3764 kN</b>	$P_{mon} \times \phi$

##### FASE FINALE

##### Attrito alla base del monolite

Peso totale monolite	$P_{mon}$	3764 kN	
Sovraccarico su soletta inferiore	q	0.00 kN/m <sup>2</sup>	
Peso sovraccarico su soletta inferiore	$P_{ss}$	0.00 kN	$q \times L \times L_{int}$
Coeff. di attrito	$\tan(\Phi)$	0.466 [-]	
<b>Forza di attrito alla base del monolite</b>	<b>Sfin</b>	<b>1755 kN</b>	$(P_{mon} + P_{ss}) \times \tan(\Phi)$

##### Attrito laterale

##### SPINTA A VUOTO

**NO**

Pressione asse soletta superiore	P1	13.51 kN/m <sup>2</sup>	Da condizione di carico SPTDX/SX monolite
Pressione asse soletta inferiore	P2	78.55 kN/m <sup>2</sup>	Da condizione di carico SPTDX/SX monolite
Spinta laterale terreno	SPlat	239 kN/m	$(P1+P2) \times H_{tot} / 2$
Coeff. di attrito laterale	$\tan(\Phi')$	0.466 [-]	
Forza di attrito parete dx	Slat,1	1656 kN	$S_{plat} \times \tan(\Phi') \times L_{sp}$
Forza di attrito parete sx	Slat,2	1656 kN	$S_{plat} \times \tan(\Phi') \times L_{sp}$
<b>Forza di attrito pareti laterali</b>	<b>Fattr</b>	<b>3313 kN</b>	$S_{lat,1} + S_{lat,2}$

##### FASE INIZIALE / FASE FINALE - Spinta totale di infissione

Spinta complessiva in FASE INIZIALE	$S_{T1}$	3764 kN	Sin
Spinta complessiva in FASE FINALE	$S_{T2}$	5068 kN	Sfin+Fattr
Coefficiente moltiplicativo dei carichi	$\gamma_f$	1.30 [-]	
<b>Spinta di progetto</b>	<b><math>S_{T,d}</math></b>	<b>6588 kN</b>	$(S_{T1}+S_{T2}) \times \gamma_f$

### 2.6.2. SPINTA PASSIVA

Il calcolo della spinta passiva opposta dal terreno a tergo del muro reggispinta viene effettuato considerando le caratteristiche di resistenza del terreno di riempimento.

Nella tabella seguente si riporta il calcolo della resistenza passiva del terreno.

#### CALCOLO DELLA RESISTENZA

##### RESISTENZA PASSIVA

Il calcolo della spinta passiva opposta dal terreno a tergo del muro reggispinta viene effettuato considerando le caratteristiche di resistenza del terreno di riempimento.

Nella tabella seguente si riporta il calcolo della resistenza passiva del terreno

Sovraccarico terreno	q	0 kN/mq
Tensione verticale estradosso murc <b>z=0.00</b>	$\sigma'_{v,3}$	0 kN/mq $[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensione verticale intradosso murc <b>z=5.20</b>	$\sigma'_{v,4}$	104 kN/mq $[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Press. dovuta alla spinta pass. in testa al muro	$\sigma'_{p1}$	0 kN/mq $2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'v+q)$
Press. dovuta alla spinta pass. alla base del muro	$\sigma'_{p2}$	312 kN/mq $2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'v+q)$
<b>Spinta passiva resistente</b>	<b><math>R_{p,max}</math></b>	<b>7057 kN</b>

### 2.6.3. RESISTENZA ALLO SCORRIMENTO

Il contributo di resistenza allo scorrimento, offerto dalla platea di varo, si valuta come segue:

#### RESISTENZA ALLO SCORRIMENTO

Il contributo di resistenza allo scorrimento, offerto dalla platea di varo, si valuta come segue:

##### FASE INIZIALE

Peso monolite	$P_{mon}$	3764 kN	
Peso platea di varo	$P_{pv}$	539 kN	
Coefficiente di attrito	$\tan(\Phi)$	0.466 [-]	
<b>Contrib. alla resist. platea varo+monolite</b>	<b><math>R_{mon+pv,in}</math></b>	<b>2007 kN</b>	$(P_{mon} + P_{pv}) \times \tan(\Phi)$

##### FASE FINALE

Peso platea di varo	$P_{pv}$	539 kN	
Coefficiente di attrito	$\tan(\Phi)$	0.466 [-]	
<b>Contrib. alla resist. platea varo</b>	<b><math>R_{pv,fin}</math></b>	<b>251 kN</b>	$(P_{mon} + P_{pv}) \times \tan(\Phi)$

#### 2.6.4. CALCOLO COEFFICIENTE DI SICUREZZA

I valori risultanti dalle forze di reazione su cui si può fare affidamento nelle due fasi per vincere le resistenze per attrito e far muovere il monolite e i corrispondenti coefficienti di sicurezza CS valgono:

##### CALCOLO COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Spinta complessiva FASE INIZIALE	$S_{T1}$	4893 kN	
Spinta complessiva FASE FINALE	$S_{T2}$	6588 kN	
Contrib. platea di varo+monolite FASE INIZIALE	$R_{pv+mon}$	2007 kN	
Contrib. platea di varo FASE FINALE	$R_{pv}$	251 kN	
Resist. pass. FASE INIZIALE+FASE FINALE	$R_{p,max}$	7057 kN	
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_{R1}$	1.1	
<b>VERIFICA FASE INIZIALE</b>	<b>C.S.</b>	<b>1.85 &gt; 1.1</b>	<b>OK</b>
<b>VERIFICA FASE FINALE</b>	<b>C.S.</b>	<b>1.11 &gt; 1.1</b>	<b>OK</b>

La spinta resistente che può essere mobilitata è **MAGGIORE** della spinta necessaria all'infissione del manufatto per entrambe le fasi.

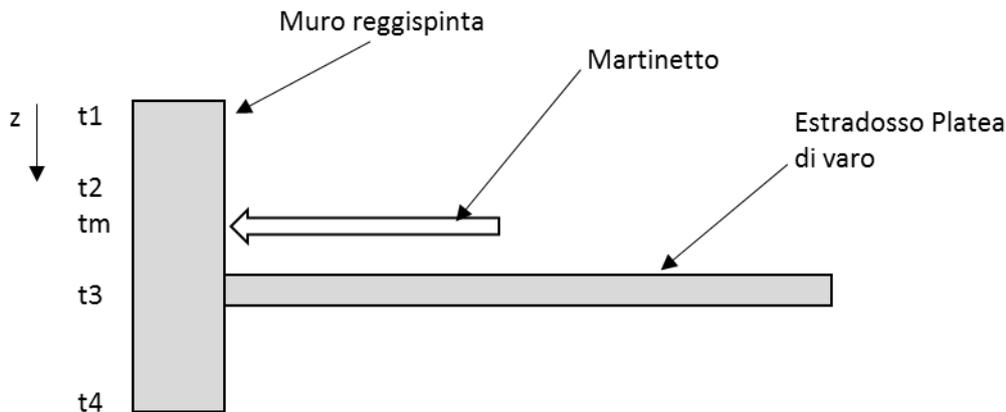
## 2.7. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali nei confronti dello SLU sono condotte utilizzando l'approccio 1 combinazione 1: A1+M1+R1.

### 2.7.1. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA

Il procedimento utilizzato per il calcolo delle spinte è lo stesso già mostrato nei paragrafi precedenti, utilizzando i valori caratteristici dei parametri di resistenza dei terreni M1.

Si riportano i calcoli:



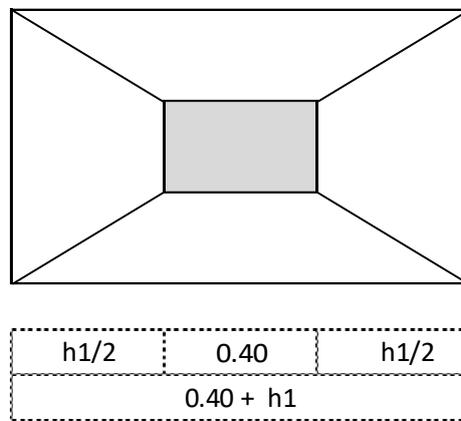
t1= in testa al muro reggispinta  
t2= in corrispondenza del martinetto  
tm=interasse martinetto  
t3= in corrispondenza della platea di v  
t4= alla base del muro reggispinta

	$\sigma'_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma'_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	z [m]
<b>t1</b>	0	0.0	0.00
<b>t2</b>	66	198.0	3.30
<b>tm</b>	70	210.0	3.50
<b>t3</b>	78	234.0	3.90
<b>t4</b>	104	312.0	5.20

### 2.7.1.1. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA ARMATURE ORIZZONTALI

Si considera la spinta passiva agente in corrispondenza del martinetto e si distribuisce su una fascia di carico pari alle dimensioni della piastra del martinetto, di 0.40x0.40 m, più la distribuzione del carico stesso a 45° nello spessore del muro reggispinta, pari a 1.00 m.

#### CALCOLO SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA ARMATURE ORIZZONTALI



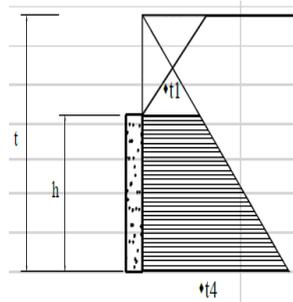
Il calcolo delle armature orizzontali è stato svolto considerando il comportamento del muro reggispinta come una mensola, la cui lunghezza è pari alla distanza tra la fine della fascia di distribuzione del carico sopra descitta e l'estremità laterale del muro stesso.

Si riportano i calcoli effettuati:

Larghezza piastra martinetto	Lm	0.40 m	
Altezza piastra martinetto	Hm	0.40 m	
Interasse martinetti	im	4.50 m	
Fascia di diffusione martinetto	fa	1.40 m	
Sbalzo di calcolo	l	1.40 m	$(L_{ms}/2) - (fa/2)$
Carico distribuito dovuto alla spinta	qp	757 kN/m	$S_{T,d} / L_{ms}$
Coefficiente moltiplicativo dei carichi	$\gamma_{SLU}$	1.3 [-]	
<b>Momento ultimo agente sul muro reggispinta</b>	<b>Mslu</b>	<b>742 kNm</b>	$\gamma_{SLU} \times \sigma'p \times fa \times l^2 / 2$
<b>Taglio ultimo agente sul muro reggispinta</b>	<b>Vslu</b>	<b>1060 kN</b>	$\gamma_{SLU} \times \sigma'p \times fa \times l$
<b>Momento in esercizio sul muro reggispinta</b>	<b>Msle</b>	<b>571 kNm</b>	$\sigma'p \times fa \times l^2 / 2$

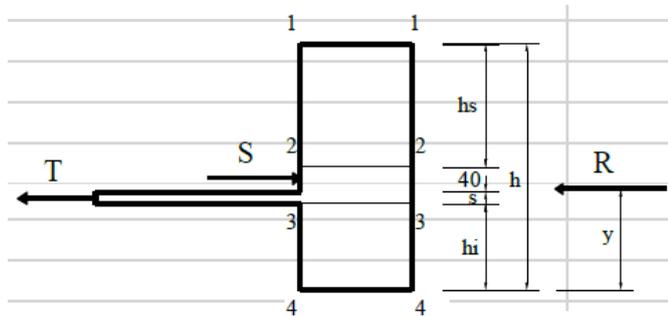
### 2.7.1.2. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA ARMATURE VERTICALI

Per il calcolo dell'armatura verticale si assume la configurazione seguente:



Al fine di valutare le sollecitazioni nelle sezioni critiche della parete di spinta si fa riferimento al seguente schema di calcolo. Di seguito si valutano il valor medio della reazione del terreno, le pressioni in testa e al piede del muro e il momento di verifica nella sezione 2 e 3. Le verifiche saranno condotte considerando, quindi, le sollecitazioni al metro lineare di muro. Si riportano le formule utilizzate nella verifica:

$$R_y + T (h_i + s/2) - S (h_i + s + 0.40) = 0$$



$$R \cdot y = \left[ \frac{1}{2} \cdot \sigma_{t1} \cdot h^2 + \frac{1}{6} \cdot (\sigma_{t4} - \sigma_{t1}) \cdot h^2 \right] \cdot b$$

Spessore soletta	Hp <sub>v</sub>	0.20 m	
Altezza muro reggispinta	H <sub>m<sub>s</sub></sub>	5.20 m	
Distanza testa muro-filo piastra martinetto	h <sub>s</sub>	3.30 m	$H_{m2} - s_2$
Distanza base muro-intradosso platea di varo	h <sub>i</sub>	1.30 m	$H - h_i - s - s_2$

**VALORI TENSIONALI**

Tensioni verticali in testa al muro	<b>z=0.0</b>	$\sigma'_{v,t1}$	0	$[\gamma d1 \times h1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni in testa al muro		$\sigma_{p,t1}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Tensioni verticali alla base del mur	<b>z=5.2</b>	$\sigma'_{v,t4}$	104	$[\gamma d1 \times h1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni alla base del muro		$\sigma_{p,t4}$	312.0 kN/m <sup>2</sup>	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Tensioni verticali sez.2	<b>z=3.3</b>	$\sigma'_{v,t2}$	66	$[\gamma d1 \times h1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni sez.2		$\sigma_{p,t2}$	198.0 kN/m <sup>2</sup>	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Tensioni verticali sez.3	<b>z=3.9</b>	$\sigma'_{v,t3}$	78	$[\gamma d1 \times h1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni sez.3		$\sigma_{p,t3}$	234.0 kN/m <sup>2</sup>	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Coefficiente moltiplicativo dei carichi		$\gamma_q$	1.3 [-]	

**SEZIONE 2**

Momento ultimo di calcolo agente	$M_{slu2}$	<b>467.18</b> kNm/m	$1/2 \times \sigma_{t1} \times h_s^2 + 1/6 \times (\sigma_{t2} - \sigma_{t1}) \times h_s^2 \times \gamma q$
Taglio ultimo di calcolo agente	$V_{slu2}$	<b>424.71</b> kN/m	$\sigma_{t1} \times h_s + 1/2 \times (\sigma_{t2} - \sigma_{t1}) \times h_s$
Momento di esercizio agente	$M_{sle2}$	<b>359.37</b> kNm/m	$1/2 \times \sigma_{t1} \times h_s^2 + 1/6 \times (\sigma_{t2} - \sigma_{t1}) \times h_s^2$

**SEZIONE 3**

Momento ultimo di calcolo agente	$M_{slu3}$	<b>642.94</b> kNm/m	$1/2 \times \sigma_{t3} \times h_i^2 + 1/3 \times (\sigma_{t4} - \sigma_{t3}) \times h_i^2 \times \gamma q$
Taglio ultimo di calcolo agente	$V_{slu3}$	<b>629.85</b> kN/m	$\sigma_{t3} \times h_i + 1/2 \times (\sigma_{t4} - \sigma_{t3}) \times h_i$
Momento di esercizio agente	$M_{sle3}$	<b>494.57</b> kNm/m	$1/2 \times \sigma_{t3} \times h_i^2 + 1/6 \times (\sigma_{t4} - \sigma_{t3}) \times h_i^2$

**2.7.1.3. VERIFICA DEL MURO REGGISPINTA**

Si riportano una tabella riassuntiva delle caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, le armature e le verifiche allo SLU e allo SLE:

**VERIFICHE STRUTTURALI DEL MURO REGGISPINTA**
**ARMATURA VERTICALE**

Armatura principale esterna	<b>F22 /100</b>	3801 mm <sup>2</sup>
Armatura principale interna	<b>F22 /100</b>	3801 mm <sup>2</sup>
Armatura a taglio	<b>F12 /150</b>	<b>2.5 braccia</b>
Copriferro armatura sup. compressa	c'	61 mm
Copriferro armatura inf. Tesa	c	61 mm

**Sollecitazioni di calcolo**

Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] - SLU	Ned	<b>0</b> kN
Momento flettente di calcolo [(+)] - SLU	Med	<b>643</b> kNm
Taglio di calcolo [(+)] - SLU	Ved	<b>630</b> kN
Momento flettente di calcolo [(+)] - SLE RARA	Med	<b>495</b> kNm

Opere di varo sottopasso Scatolare Stazione Aeroporto  
 5.00 x 3.80 (pk 9+000): Relazione di calcolo

COMMESSA NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.05.A.0.002	REV. B	FOGLIO 18 di 20
------------------	------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

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

Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	<S-N>	S	Coeff.Sfrutt.
Momento ultimo resistente	Mrd	1332 kNm	48%
Taglio ultimo resistente senza staffe	Vrd	290 kN	217%
Taglio ultimo resistente	Vrd	1247 kN	51%
Momento torcente ultimo resistente	Trd	15 kNm	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Tensione barre superiori [(-)Compresso]	Sigs-sup	-39 Mpa	11%
Tensione barre inferiori [(+)Teso]	Sigs-inf	151 Mpa	42%
Tensione cls superiore [(-)Compresso]	Sigc-sup	-3 Mpa	23%
Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	Sigc-inf	0 Mpa	
Momento di prima fessurazione	Mcr	482 kNm	
Ampiezza di fessura	wk	0.17 mm	87%

Coeff.Sfrutt.Max 87%

OK

**ARMATURA ORIZZONTALE**

Armatura principale esterna	<b>F20 /100</b>	4398 mm <sup>2</sup>
Armatura principale interna	<b>F20 /100</b>	4398 mm <sup>2</sup>
Armatura a taglio	<b>F12 /150</b>	<b>3 braccia</b>
Copriferro armatura sup. compressa		40 mm
Copriferro armatura inf. Tesa		40 mm

**Sollecitazioni di calcolo**

Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] - SLU	Ned	0 kN
Momento flettente di calcolo [(+) - SLU	Med	742 kNm
Taglio di calcolo [(+) - SLU	Ved	1060 kN
Momento flettente di calcolo [(+) - SLE RARA	Med	571 kNm

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

Momento Ultimo resistente dissipativo <S/N>	<S-N>	S	Coeff.Sfrutt.
Momento ultimo resistente	Mrd	1549 kNm	48%
Taglio ultimo resistente senza staffe	Vrd	407 kN	261%
Taglio ultimo resistente	Vrd	1248 kN	85%
Momento torcente ultimo resistente	Trd	22 kNm	

**SLE - Tensioni e ampiezza fessure**

Tensione barre superiori [(-)Compresso]	Sigs-sup	-35 Mpa	10%
Tensione barre inferiori [(+)Teso]	Sigs-inf	150 Mpa	42%
Tensione cls superiore [(-)Compresso]	Sigc-sup	-3 Mpa	21%
Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	Sigc-inf	0 Mpa	
Momento di prima fessurazione	Mcr	662 kNm	
Ampiezza di fessura	wk	0.16 mm	82%

85%

OK

### Riepilogo armature muro reggispinta:

Elemento strutturale	Armatura Verticale	Armatura Orizzontale	Armatura a taglio
Sezione Sp.=100cm	$\Phi$ 22/10 sup. e inf.	$\Phi$ 20/10 sup. e inf.	$\Phi$ 12/150/400

### **2.7.2. VERIFICA DELLA PLATEA DI VARO**

Il calcolo della platea di varo è effettuato nell'ipotesi che l'armatura longitudinale nella stessa sia in grado di assorbire l'azione di attrito trasmessa dal monolite in fase di spinta.

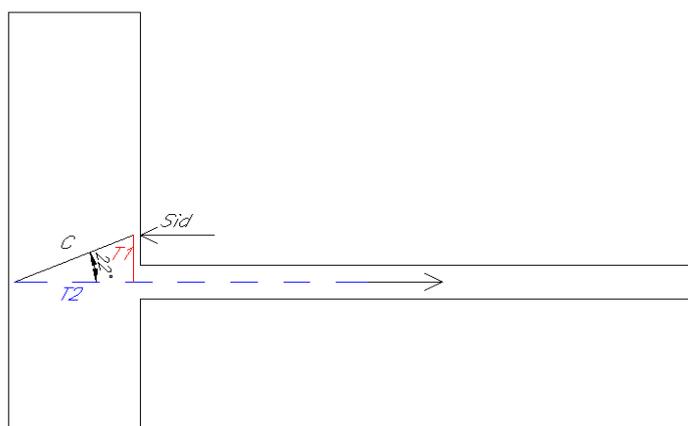
In direzione trasversale si dispone in soletta armatura di ripartizione sia all'estradosso che all'intradosso della soletta pari a circa il 25% dell'armatura longitudinale principale.

Lo sforzo di trazione agente sulla platea di varo varia linearmente dal valore massimo calcolato nella sezione di attacco al muro reggispinta sino al valore nullo all'estremità opposta.

La platea di varo è soggetta ad azioni taglianti trascurabili, pertanto la relativa verifica a taglio viene omessa.

L'azione di spinta applicata dai martinetti  $S_{ED,T2}$  e la corrispettiva azione di tiro impressa dalla soletta di varo  $N_{EK,T2}$  vengono riportati nella tabella nella pagina successiva.

Il muro reggispinta è quindi sottoposto ad un regime di sforzi le cui risultanti di trazione e compressione si esplicano come in figura a seguire:



Il corrente teso inferiore (T2) sottopone a trazione le barre di armatura della soletta di varo.

Si riporta la verifica delle armature longitudinali e trasversali della platea di varo:

### ***CALCOLO DELLA FORZA DI TRAZIONE***

Sforzo di trazione agente sulla platea al metro	$S_{Ek,T2}$	549.5 kN/m
Forza di trazione agente nella soletta di varo	$N_{Ek,T2}$	3764.2 kN
Coefficiente moltiplicativo dei carichi	$\gamma_{SLU}$	1.5 [-]
Sforzo assiale di progetto	$S_{Ed,T2}$	<b>824.3</b> kN/m

### ***ARMATURA LONGITUDINALE***

Resistenza caratteristica dell'acciaio d'armatura	$f_{yk}$	450 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_s$	1.15 [-]
Resistenza di progetto dell'acciaio d'armatura	$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>
Diametro armatura longitudinale	$\phi_{long}$	20 [-]
Passo barre armatura longitudinale	$p_1$	200 mm
Numero strati armature	$n$	2 [-]
Numero barre in direzione longitudinale	$n_1$	10 [-]
Area minima di armatura resistente necessaria	$A_{s,min}$	2106.5 mm <sup>2</sup> /m
Area totale di armatura longitudinale	$A_{s,eff}$	3141.6 mm <sup>2</sup> /m
<b>Coefficiente di sicurezza</b>	<b>C.S.</b>	<b>1.49</b> [-] <b>OK</b>

### ***ARMATURA TRASVERSALE***

Resistenza caratteristica dell'acciaio d'armatura	$f_{yk}$	450 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_s$	1.15 [-]
Resistenza di progetto dell'acciaio d'armatura	$f_{yd}$	391.3 N/mm <sup>2</sup>
Diametro armatura longitudinale	$\phi_{long}$	12 [-]
Passo barre armatura longitudinale	$p_2$	200 mm
Numero strati armature	$n$	2 [-]
Numero barre in direzione longitudinale	$n_2$	10 [-]
Area minima di armatura resistente necessaria	$A_{s,min}$	785.4 mm <sup>2</sup> /m
Area totale di armatura trasversale	$A_{s,eff}$	1131.0 mm <sup>2</sup> /m
<b>Coefficiente di sicurezza</b>	<b>C.S.</b>	<b>1.4</b> [-] <b>OK</b>

### **Riepilogo armature platea di varo:**

<b>Elemento strutturale</b>	<b>Armatura Longitudinale</b>	<b>Armatura Trasversale</b>	<b>Armatura a taglio</b>
Sezione Sp.=20cm	$\Phi 20/20$ sup. e inf.	$\Phi 12/20$ sup. e inf.	-