

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 emergenza

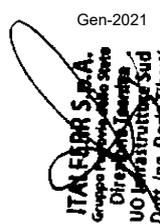
Relazione di calcolo opere di varo

SCALA:

-

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

NN1X
 00
 D
 78
 CL
 FV05B0
 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. Dario Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10378

NN1X.0.0.D.78.CL.FV.05.B.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	6
2.2.	UNITA' DI MISURA E SIMBOLOGIA.....	6
2.3.	MATERIALI.....	7
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 stazione d'emergenza subito prima della nuova stazione dell' "Aeroporto Pontecagnano" 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 oleodinamica.

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 3.20 m x 3.00 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 4.40 m x 4.40 m. La lunghezza del monolite è di circa 13.00 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 infiggere il monolite.

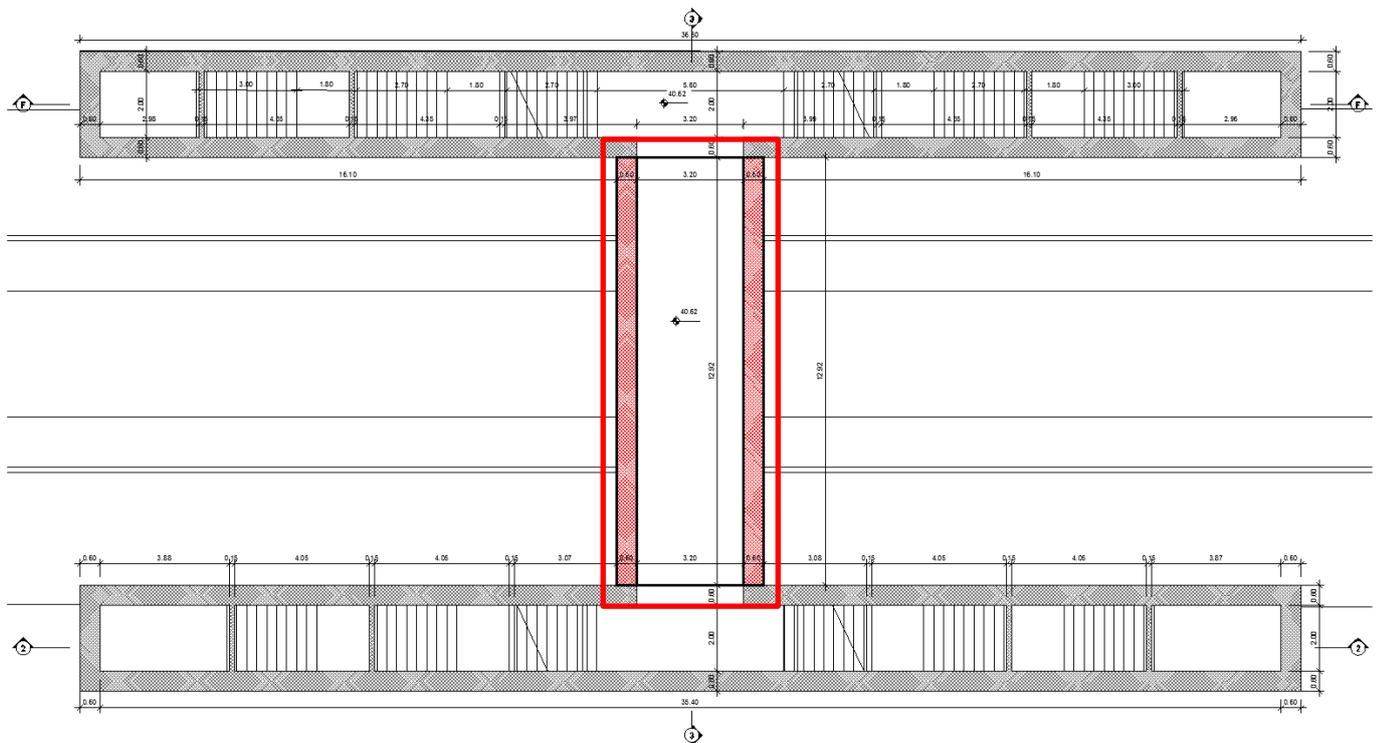


Figura 1 – Pianta stazione con individuazione della porzione di sottopasso da varare a spinta

1.2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La platea in c.a. ha dimensioni in pianta di 19.5 m x 5.05 m con spessore di 0.20 m e collegata al muro reggispinta che ha spessore del paramento di 1.00 m.

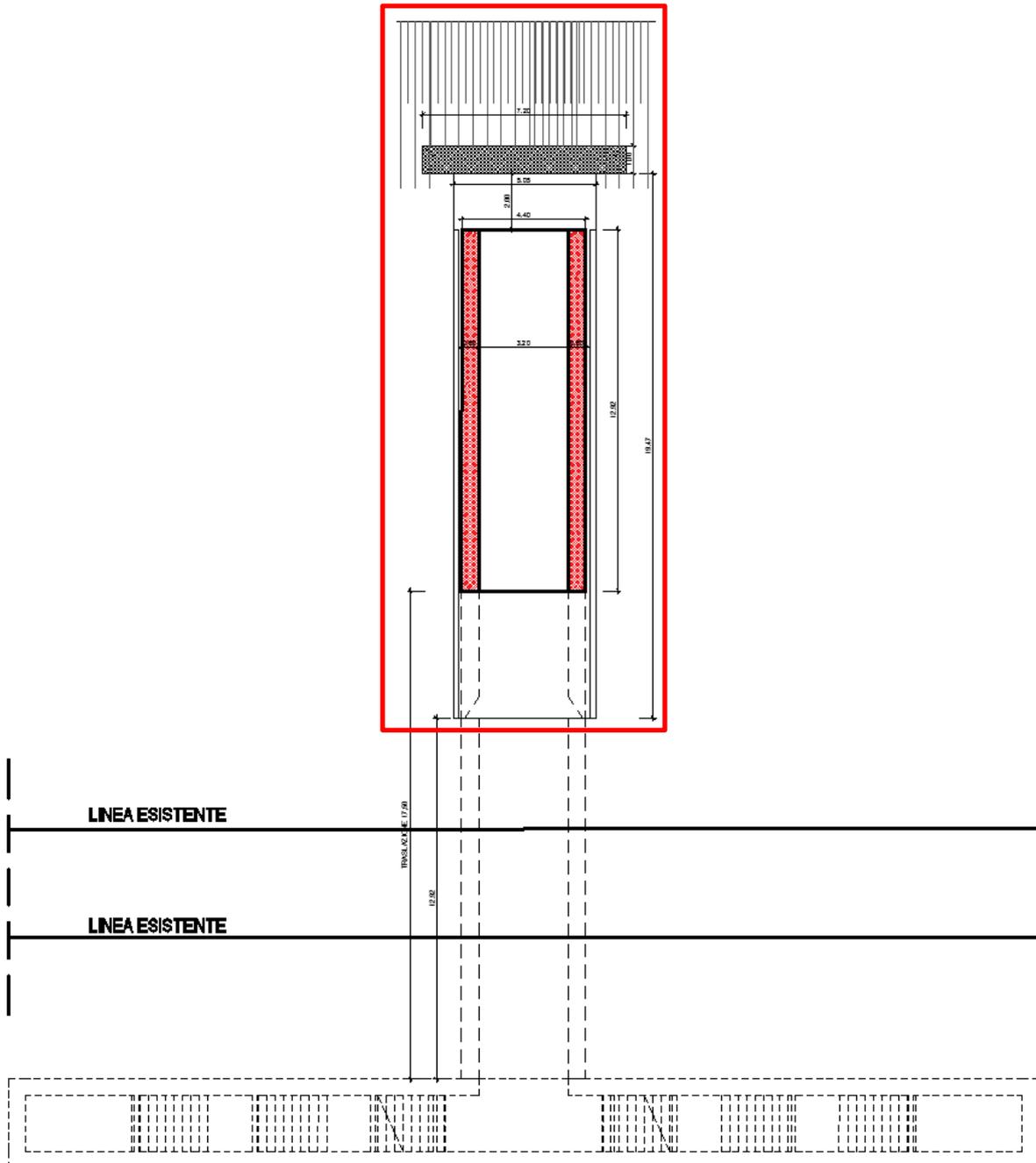


Figura 2 – Pianta monolite in posizione di varo

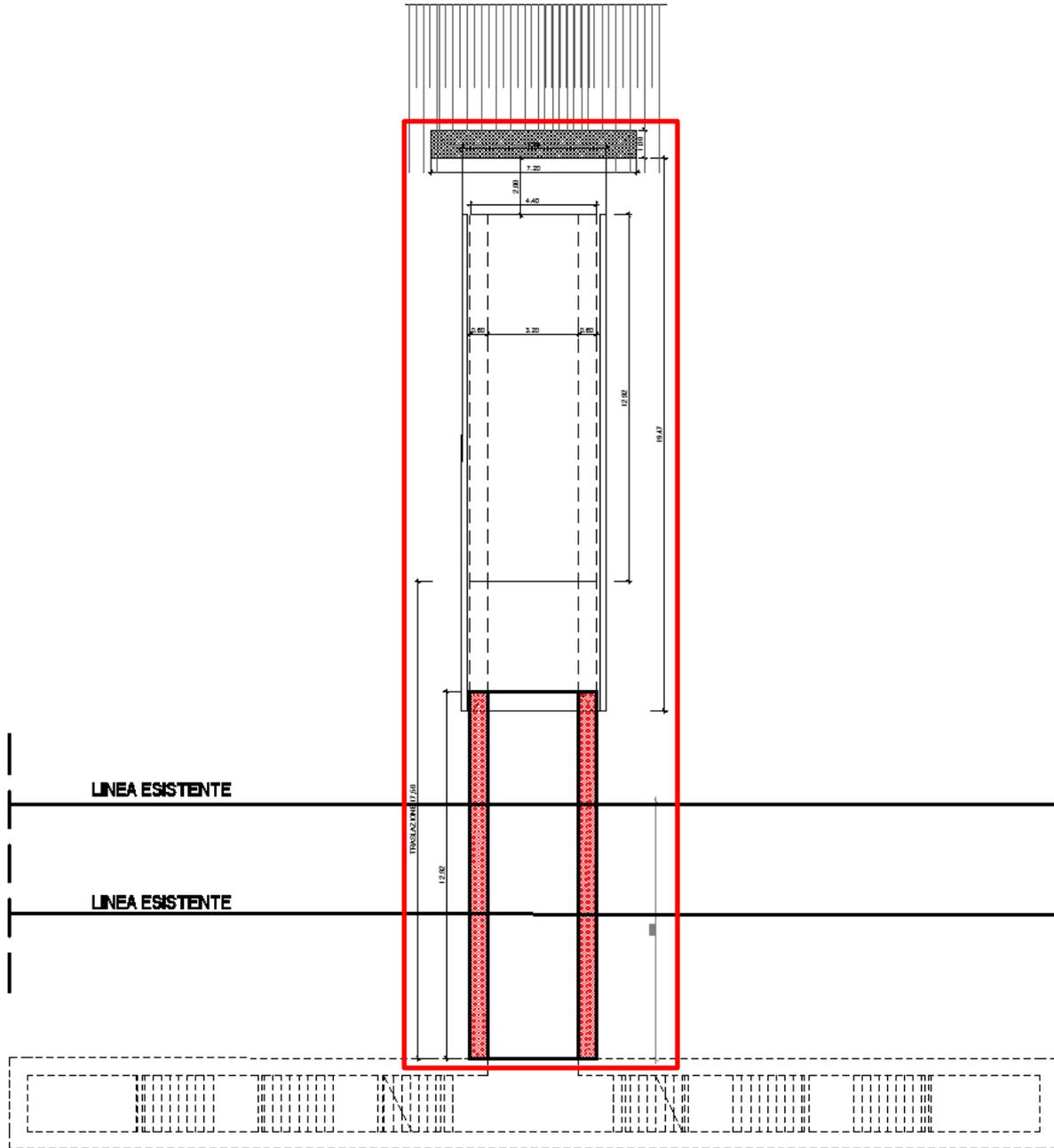


Figura 3 – Pianta monolite a varo ultimato

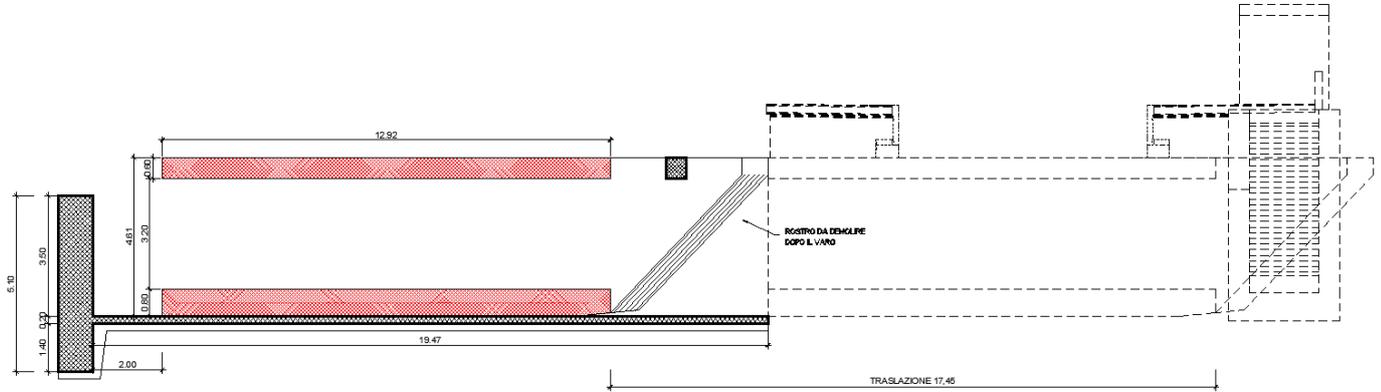


Figura 4 - Sezione longitudinale monolite in posizione di varo

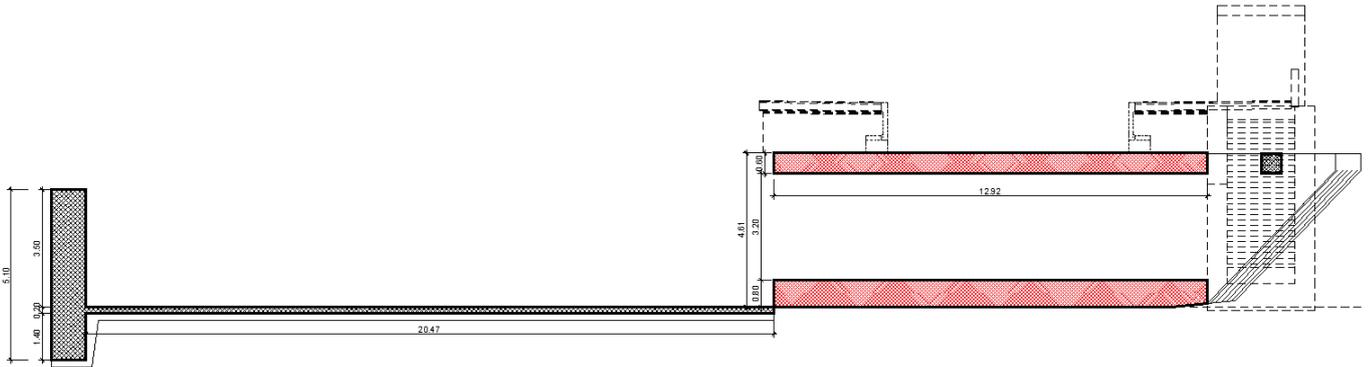


Figura 5 - Sezione longitudinale monolite a varo ultimato

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

- (kiloNewton) 10^3 N

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

γ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m ³)
σ (sigma)	tensione normale	(N/mm ²)
τ (tau)	tensione tangenziale	(N / mm ²)
ϵ (epsilon)	deformazione	(m/m) -

ϕ (fi) angolo di resistenza ($^{\circ}$ sessagesimali)

2.3. MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

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

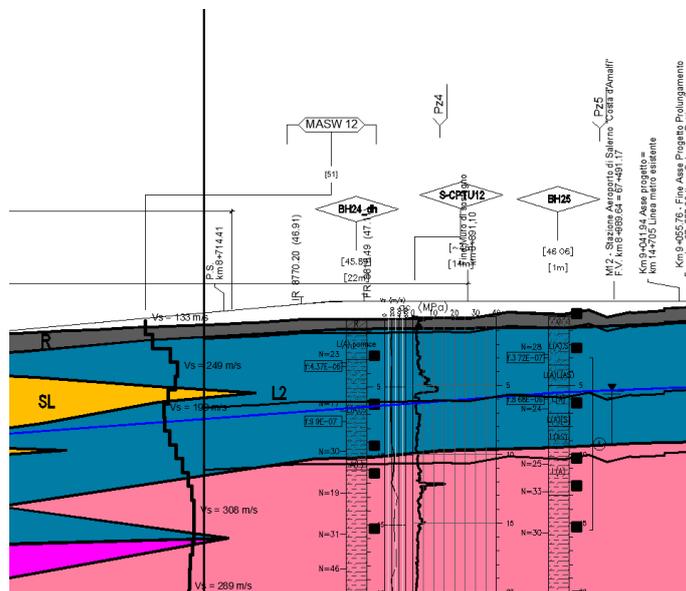
- Resistenza cilindrica caratteristica: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione semplice: $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_m$, dove:
 - $\alpha_{cc} = 0.85$ e $\gamma_m = 1.5$;
 - $f_{cd} = 14,6 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice: $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_m$, 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: $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo dell'acciaio: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ dove:
 - $\gamma_s = 1.15$
 - $f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
- Allungamento **D1 > 12%**
- Modulo di elasticità: **$E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$**
- Sovrapposizioni barre **$\geq 40\phi$**

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 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	γ_t	18.0 kN/m ³	
angolo d'attrito terreno	ϕ	22.0 [°]	
coesione efficace terreno	c'	10.0 kN/m ²	
coesione non drenata terreno	c_u	45.0 kN/m ²	

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

Peso specifico rinterro	FERROVIARIO	γ_t	20.0 kN/m ³	
angolo di attrito rinterro		ϕ'	38.0 [°]	0.663 [rad]
coesione rinterro		c_u	0.0 kN/m ²	
Peso specifico terreno di rinfianco		γ_t	18.0 kN/m ³	
angolo di attrito terreno di rinfianco		ϕ'	22.0 [°]	0.384 [rad]
coesione terreno di rinfianco		c_u	45.0 kN/m ²	

FALDA

Quota falda dal p.c.	q_w	7.85 m
Peso specifico	γ_w	10.00 kN/m ³

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 3.00 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 - Riempi. a tergo del muro

Spessore	h_1	5.00 m	
Peso specifico	γ_{d1}	20.00 kN/m ³	
Angolo di attrito	Φ_1	30 °	0.524 [rad]
Tangente angolo d'attrito	$\tan(\Phi_1)$	0.577 [-]	
Coesione drenata	c_1	0.00 kN/m ²	
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	γ_t	18 kN/m ³	
Angolo di attrito	Φ	22 °	0.384 [rad]
Tangente angolo di attrito	$\tan(\Phi)$	0.404 [-]	
Coesione dreanta	c'	10 kN/m ²	

FALDA

Quota falda dal p.c.	q_w	7.85 m	
Peso specifico	γ_w	10.00 kN/m ³	

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	17.45 m	
Lunghezza totale dello scatolare	L	13.00 m	
Larghezza totale dello scatolare	Ltot	4.40 m	
Larghezza utile dello scatolare	Lint	3.20 m	
Altezza totale dello scatolare	Htot	4.40 m	
Altezza libera dello scatolare	Hint	3.00 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	γ_{cls}	25.00 kN/m ³	
Peso totale soletta	Ps	858.00 kN	$\gamma_{cls} \times Ss \times Ls \times Ltot$
Peso totale piedritti	Pp	1170.00 kN	$\gamma_{cls} \times Sp \times L \times Hint \times n$
Peso totale fondazione	Pf	1144.00 kN	$\gamma_{cls} \times Sf \times Lsp \times Ltot$
Peso scatolare finale	Pscat	3172 kN	$Ps + Pp + Pf$
Lunghezza max muri avambecco	Lmuri	4.55 m	
Altezza muri avambecco	Hmuri	4.40 m	A fav di sic si considerano alti quanto lo scatolare
Spessore muri avambecco	Smuri	0.60 m	
Numero muri avambecco	n	2.00 [-]	
Peso muri d'ala	Pmuri	300 kN	$\gamma_{cls} \times Smuri \times Lmuri \times Hmuri$
Peso totale monolite	Pmon	3472 kN	$Pscat + Pmon$

PLATEA

Lunghezza platea di varo	Lu,pv	20.5 m	
Larghezza platea di varo	La,pv	5.05 m	
Altezza platea di varo	Hpv	0.20 m	
Peso platea di varo	Ppv	518 kN	$\gamma_{cls} \times Lu,pv \times La,pv \times Hpv$
Altezza cordoli	Hcc	0.20 m	
Larghezza cordoli	Lcc	0.20 m	
Peso cordoli	Pcc	21 kN	$\gamma_{cls} \times Lu,pv \times Lcc \times Hcc$
Peso totale platea di varo	Ppv,tot	538 kN	$Ppv + Pcc$

MURO REGGISPINTA

Altezza totale muro reggispinta	Hms	5.10 m	
Altezza muro reggispinta sopra la platea	Hms2	3.50 m	
Spessore muro reggispinta	Sms	1.00 m	
Lunghezza muro reggispinta	Lms	7.20 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}	3472 kN	
Coefficiente di attrito in fase 1	$\tan(\Phi)$	1.00 [-]	
Spinta di primo distacco	Sin	3472 kN	$P_{mon} \times \phi$

FASE FINALE

Attrito alla base del monolite

Peso totale monolite	P_{mon}	3472 kN	
Sovraccarico su soletta inferiore	q	0.00 kN/m ²	
Peso sovraccarico su soletta inferiore	P_{ss}	0.00 kN	$q \times L \times L_{int}$
Coeff. di attrito	$\tan(\Phi)$	0.404 [-]	
Forza di attrito alla base del monolite	Sfin	1403 kN	$(P_{mon} + P_{ss}) \times \tan(\Phi)$

Attrito laterale

SPINTA A VUOTO

NO

Pressione asse soletta superiore	P_1	13.51 kN/m ²	Da condizione di carico SPTDX/SX monolite
Pressione asse soletta inferiore	P_2	68.54 kN/m ²	Da condizione di carico SPTDX/SX monolite
Spinta laterale terreno	S_{plat}	181 kN/m	$(P_1 + P_2) \times H_{tot} / 2$
Coeff. di attrito laterale	$\tan(\Phi')$	0.404 [-]	
Forza di attrito parete dx	$S_{lat,1}$	1273 kN	$S_{plat} \times \tan(\Phi') \times L_{sp}$
Forza di attrito parete sx	$S_{lat,2}$	1273 kN	$S_{plat} \times \tan(\Phi') \times L_{sp}$
Forza di attrito pareti laterali	Fattr	2545 kN	$S_{lat,1} + S_{lat,2}$

FASE INIZIALE / FASE FINALE - Spinta totale di infissione

Spinta complessiva in FASE INIZIALE	S_{T1}	3472 kN	Sin
Spinta complessiva in FASE FINALE	S_{T2}	3948 kN	Sfin+Fattr
Coefficiente moltiplicativo dei carichi	γ_f	1.30 [-]	
Spinta di progetto	S_{T,d}	5133 kN	$(S_{T1} + S_{T2}) \times \gamma_f$

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	z=0.00	$\sigma'_{v,3}$	0 kN/mq	$[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensione verticale intradosso murc	z=5.10	$\sigma'_{v,4}$	102 kN/mq	$[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Press. dovuta alla spinta pass. in testa al muro		σ'_{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		σ'_{p2}	306 kN/mq	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'v+q)$
Spinta passiva resistente		R_{p,max}	5618 kN	

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}	3472 kN	
Peso platea di varo	P _{pv}	538 kN	
Coefficiente di attrito	tan(Φ)	0.404 [-]	
Contrib. alla resist. platea varo+monolite	R_{mon+pv,in}	1620 kN	$(P_{mon} + P_{pv}) \times \tan(\Phi)$

FASE FINALE

Peso platea di varo	P _{pv}	538 kN	
Coefficiente di attrito	tan(Φ)	0.404 [-]	
Contrib. alla resist. platea varo	R_{pv,fin}	217 kN	$(P_{mon} + P_{pv}) \times \tan(\Phi)$

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}	4514 kN	
Spinta complessiva FASE FINALE	S_{T2}	5133 kN	
Contrib. platea di varo+monolite FASE INIZIALE	R_{pv+mon}	1620 kN	
Contrib. platea di varo FASE FINALE	R_{pv}	217 kN	
Resist. pass. FASE INIZIALE+FASE FINALE	$R_{p,max}$	5618 kN	
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_{R1}	1.1	
VERIFICA FASE INIZIALE	C.S.	1.60 > 1.1	OK
VERIFICA FASE FINALE	C.S.	1.14 > 1.1	OK

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

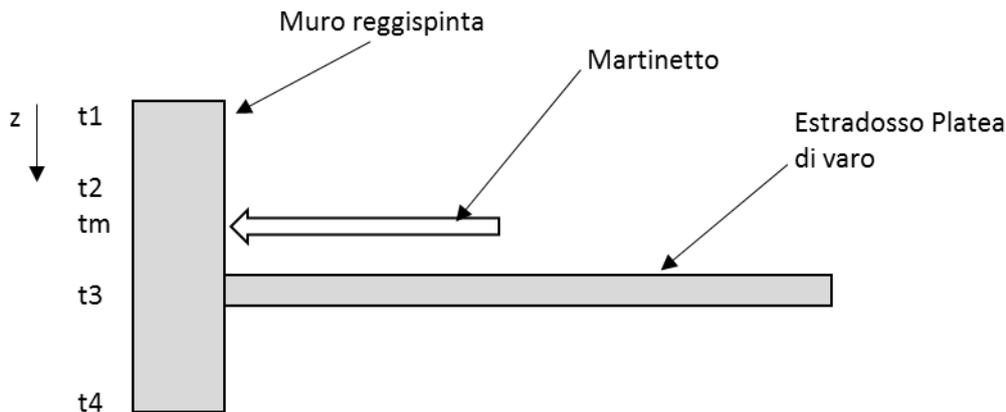
2.7. VERIFICHE STRUTTURALI

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:



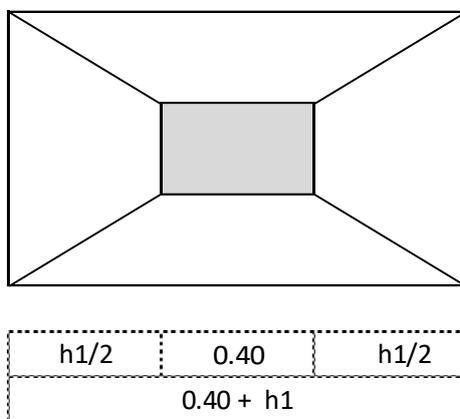
t1= in testa al muro reggispinta
 t2= in corrispondenza del martinetto
 tm=interasse martinetto
 t3= in corrispondenza della platea di v
 t4= alla base del muro reggispinta

	σ'_v [kN/m ²]	σ'_p [kN/m ²]	z [m]
t1	0	0.0	0.00
t2	62	186.0	3.10
tm	66	198.0	3.30
t3	74	222.0	3.70
t4	102	306.0	5.10

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



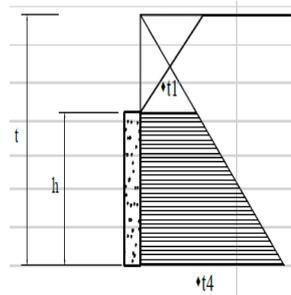
Il calcolo delle armature orizzontali è stato svolto considerando il comportamento del muro reggispinta come una mensola, la cui lunghezza è pari alla distanza tra la fine della fascia di distribuzione del carico sopra descitta e l'estremità laterale del muro stesso.

Si riportano i calcoli effettuati:

Larghezza piastra martinetto	Lm	0.40 m	
Altezza piastra martinetto	Hm	0.40 m	
Interasse martinetti	im	3.00 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	713 kN/m	$S_{T,d} / L_{ms}$
Coefficiente moltiplicativo dei carichi	γ_{SLU}	1.3 [-]	
Momento ultimo agente sul muro reggispinta	Mslu	699 kNm	$\gamma_{SLU} \times \sigma'p \times fa \times l^2 / 2$
Taglio ultimo agente sul muro reggispinta	Vslu	998 kN	$\gamma_{SLU} \times \sigma'p \times fa \times l$
Momento in esercizio sul muro reggispinta	Msle	537 kNm	$\sigma'p \times fa \times l^2 / 2$

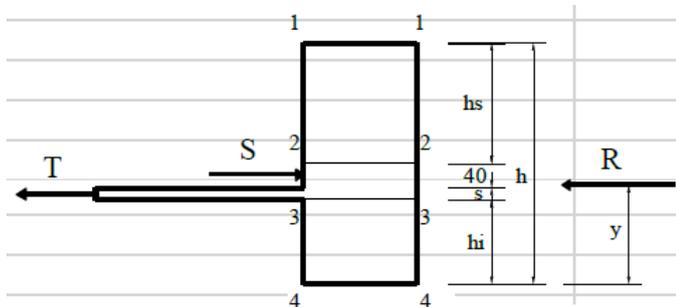
2.7.1.2. SOLLECITAZIONI MURO REGGISPINTA ARMATURE VERTICALI

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:

$$Ry + T (hi + s/2) - S (hi + s + 0.40) = 0$$



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

Spessore soletta	Hpv	0.20 m	
Altezza muro reggispinta	Hms	5.10 m	
Distanza testa muro-filo piastra martinetto	hs	3.10 m	$H_{m/2} - s_2$
Distanza base muro-intradosso platea di varo	hi	1.40 m	$H - h_i - s - s_2$

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

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.05.B.0.002	REV. B	FOGLIO 17 di 20
-----------------	-------------------	----------------	----------------------------	-----------	--------------------

VALORI TENSIONALI

Tensioni verticali in testa al muro	z=0.0	$\sigma'_{v,t1}$	0	$[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni in testa al muro		$\sigma_{p,t1}$	0.0 kN/m ²	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Tensioni verticali alla base del mur	z=5.1	$\sigma'_{v,t4}$	102	$[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni alla base del muro		$\sigma_{p,t4}$	306.0 kN/m ²	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Tensioni verticali sez.2	z=3.1	$\sigma'_{v,t2}$	62	$[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni sez.2		$\sigma_{p,t2}$	186.0 kN/m ²	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Tensioni verticali sez.3	z=3.7	$\sigma'_{v,t3}$	74	$[\gamma d1 \times b1 - \gamma w (z-qw)] * Kp$
Tensioni sez.3		$\sigma_{p,t3}$	222.0 kN/m ²	$2 \times c' \times (kp)^{0.5} + Kp \times (\sigma'_{v+q})$
Coefficiente moltiplicativo dei carichi		γ_q	1.3 [-]	

SEZIONE 2

Momento ultimo di calcolo agente	M_{slu2}	387.28 kNm/m	$1/2 \times \sigma_{H1} \times b_s^2 + 1/6 \times (\sigma_{D2} - \sigma_{H1}) \times b_s^2 \times \gamma q$
Taglio ultimo di calcolo agente	V_{slu2}	374.79 kN/m	$\sigma_{H1} \times b_s + 1/2 \times (\sigma_{D2} - \sigma_{H1}) \times b_s$
Momento di esercizio agente	M_{sle2}	297.91 kNm/m	$1/2 \times \sigma_{H1} \times b_s^2 + 1/6 \times (\sigma_{D2} - \sigma_{H1}) \times b_s^2$

SEZIONE 3

Momento ultimo di calcolo agente	M_{slu3}	691.60 kNm/m	$1/2 \times \sigma_{B3} \times b_i^2 + 1/3 \times (\sigma_{H4} - \sigma_{B3}) \times b_i^2 \times \gamma q$
Taglio ultimo di calcolo agente	V_{slu3}	639.60 kN/m	$\sigma_{B3} \times b_i + 1/2 \times (\sigma_{B3} - \sigma_{B3}) \times b_i$
Momento di esercizio agente	M_{sle3}	532.00 kNm/m	$1/2 \times \sigma_{B3} \times b_i^2 + 1/6 \times (\sigma_{H4} - \sigma_{B3}) \times b_i^2$

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

Sollecitazioni di calcolo

Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] - SLU	Ned	0 kN
Momento flettente di calcolo [(+)] - SLU	Med	692 kNm
Taglio di calcolo [(+)] - SLU	Ved	640 kN
Momento flettente di calcolo [(+)] - SLE RARA	Med	532 kNm

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

COMMESSA NN1	LOTTO 0 0 D 78	CODIFICA CL	DOCUMENTO FV.05.B.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	52%
Taglio ultimo resistente senza staffe	Vrd	290 kN	220%
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	-42 Mpa	12%
Tensione barre inferiori [(+)Teso]	Sigs-inf	162 Mpa	45%
Tensione cls superiore [(-)Compresso]	Sigc-sup	-4 Mpa	25%
Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	Sigc-inf	0 Mpa	
Momento di prima fessurazione	Mcr	482 kNm	
Ampiezza di fessura	wk	0.19 mm	97%

Coeff.Sfrutt.Max 97%

OK

ARMATURA ORIZZONTALE

Armatura principale esterna	F20 /100	4398 mm ²
Armatura principale interna	F20 /100	4398 mm ²
Armatura a taglio	F12 /150	2.5 braccia
Copriferro armatura sup. compressa		40 mm
Copriferro armatura inf. Teso		40 mm

Sollecitazioni di calcolo

Sforzo normale di calcolo [(+)Trazione] - SLU	Ned	0 kN
Momento flettente di calcolo [(+)] - SLU	Med	699 kNm
Taglio di calcolo [(+)] - SLU	Ved	998 kN
Momento flettente di calcolo [(+)] - SLE RARA	Med	537 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	45%
Taglio ultimo resistente senza staffe	Vrd	407 kN	245%
Taglio ultimo resistente	Vrd	1248 kN	80%
Momento torcente ultimo resistente	Trd	22 kNm	

SLE - Tensioni e ampiezza fessure

Tensione barre superiori [(-)Compresso]	Sigs-sup	-33 Mpa	9%
Tensione barre inferiori [(+)Teso]	Sigs-inf	141 Mpa	39%
Tensione cls superiore [(-)Compresso]	Sigc-sup	-3 Mpa	20%
Tensione cls inferiore [non reag.Trazione]	Sigc-inf	0 Mpa	
Momento di prima fessurazione	Mcr	662 kNm	
Ampiezza di fessura	wk	0.15 mm	74%

80%

OK

Riepilogo armature muro reggispinta:

Elemento strutturale	Armatura Verticale	Armatura Orizzontale	Armatura a taglio
Sezione Sp.=100cm	Φ 22/10 sup. e inf.	Φ 20/10 sup. e inf.	Φ 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.

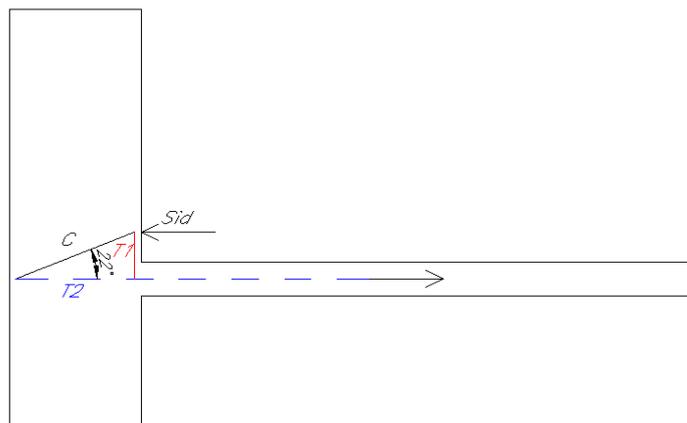
In direzione trasversale si dispone in soletta armatura di ripartizione sia all'estradosso che all'intradosso della soletta pari a circa il 25% dell'armatura longitudinale principale.

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	$S_{Ek,T2}$	687.6 kN/m
Forza di trazione agente nella soletta di varo	$N_{Ek,T2}$	3472.3 kN
Coefficiente moltiplicativo dei carichi	γ_{SLU}	1.5 [-]
Sforzo assiale di progetto	$S_{Ed,T2}$	1031.4 kN/m

ARMATURA LONGITUDINALE

Resistenza caratteristica dell'acciaio d'armatura	f_{yk}	450 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza	γ_s	1.15 [-]
Resistenza di progetto dell'acciaio d'armatura	f_{yd}	391.3 N/mm ²
Diametro armatura longitudinale	ϕ_{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	$A_{s,min}$	2635.7 mm ² /m
Area totale di armatura longitudinale	$A_{s,eff}$	3141.6 mm ² /m
Coefficiente di sicurezza	C.S.	1.19 [-] OK

ARMATURA TRASVERSALE

Resistenza caratteristica dell'acciaio d'armatura	f_{yk}	450 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza	γ_s	1.15 [-]
Resistenza di progetto dell'acciaio d'armatura	f_{yd}	391.3 N/mm ²
Diametro armatura longitudinale	ϕ_{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 ² /m
Area totale di armatura trasversale	$A_{s,eff}$	1131.0 mm ² /m
Coefficiente di sicurezza	C.S.	1.4 [-] OK

Riepilogo armature platea di varo:

Elemento strutturale	Armatura Longitudinale	Armatura Trasversale	Armatura a taglio
Sezione Sp.=20cm	Φ20/20 sup. e inf.	Φ 12/20 sup. e inf.	-