



COMUNE DI VERUNO

PROVINCIA DI NOVARA

REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE DI COLLEGAMENTO VERUNO CAPOLUOGO - FRAZIONE REVISLATE

LOTTI N. 1 e 2

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO



progettisti:

dott. ing. Francesco GRAPPONE

Via Monte San Gabriele, 45 - 28100 - Novara (NO)

C.F. GRP FNC 72A28 F952J

P.Iva 01750470039

t +39 0321.459725

m +39 347.7431875

f.grap@libero.it

francesco.grappone@ingpec.eu

dott. ing. Carlo QUIRICO

Via Molino, 20 - 28010 - Briga Novarese (NO)

C.F. QRC CRL 85S11 B019G

P.Iva 02351370032

t +39 0322.913234

m +39 380.2939145

carloquirico@gmail.com

carlo.quirico@ingpec.eu

codifica:

fase	livello	tipo	numero	quadro
0 1 1 8	P R O	D - E	R C	4.1
				-

revisione

A

scala

oggetto:

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE MANUFATTO IN C.A.

A	aprile 2018	emissione: accorpamento lotti funzionali	f.b. / c.q.	c.q. / f.g
rev.	data	descrizione	redatto	approvato

La riproduzione del presente elaborato è vietata a termini di legge senza la espressa preventiva autorizzazione

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Trattasi di ponte di terza categoria per la risoluzione dell'intersezione della pista ciclabile con il Torrente Meja, avente luce netta di m.6.00, dimensione trasversale pari a m.3,50 ed altezza massima spalle di m.2,00, realizzato interamente in c.a. con impalcato alveolare in C.A.P. altezza cm.28+7.

2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321)

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G. U. 21 marzo 1974 n. 76)

"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"

Indicazioni progettive per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.

D. M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 8 - Suppl. Ord.)

"Norme tecniche per le Costruzioni"

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.)

"Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Per la realizzazione dell'opera in oggetto saranno impiegati i seguenti materiali:

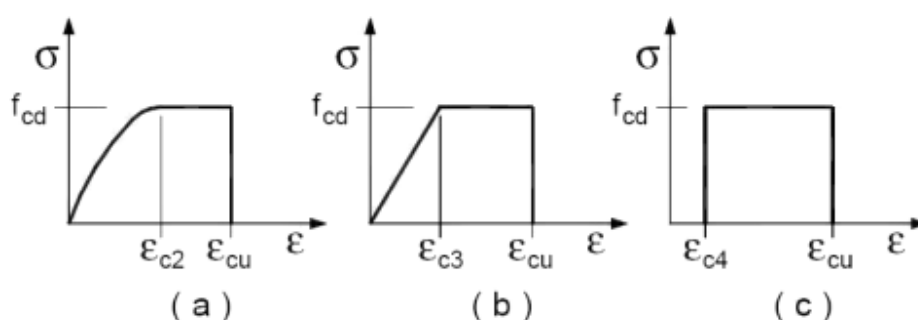
- Calcestruzzo tipo C25/30 (Resistenza caratteristica $R_{ck} = 35.0 \text{ N/mm}^2$) armato con barre di acciaio ad aderenza migliorata tipo Acciaio B450C (Resistenza caratteristica $F_{yk} = 450.0 \text{ N/mm}^2$);

Per il calcestruzzo impiegato sono riportati i valori di:

- *Resistenza di calcolo a trazione (f_{ctd})*
 - *Resistenza a rottura per flessione (f_{ctm})*
 - *Resistenza tangenziale di calcolo (τ_{Rd})*
 - *Modulo elastico normale (E)*
-

- *Modulo elastico tangenziale (G)*
- *Coefficiente di sicurezza allo Stato Limite Ultimo del materiale (γ_c)*
- *Resistenza cubica caratteristica del materiale (R_{ck})*
- *Coefficiente di Omogeneizzazione*
- *Peso Specifico*
- *Coefficiente di dilatazione termica*

I diagrammi costitutivi del calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta e pressoflessione deviata è adottato il modello riportato in fig. (a).



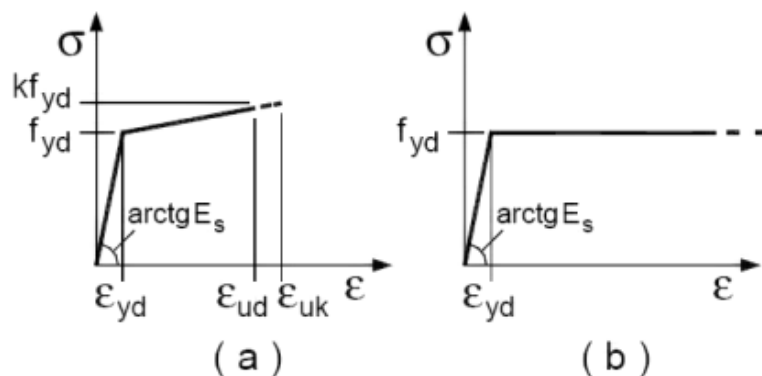
Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo.

La deformazione massima $\varepsilon_{c \max}$ è assunta pari a 0.0035.

Per l'acciaio sono riportati i valori di:

- *Tensione caratteristica di snervamento trazione (f_{yk})*
- *Modulo elastico normale (E)*
- *Modulo elastico tangenziale (G)*
- *Coefficiente di sicurezza allo Stato Limite Ultimo del materiale (γ_f)*
- *Peso Specifico*
- *Coefficiente di dilatazione termica*

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al punto 4.1.2.1.2.3 del D.M. 14 gennaio 2008; in particolare è stato adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in fig. (b).



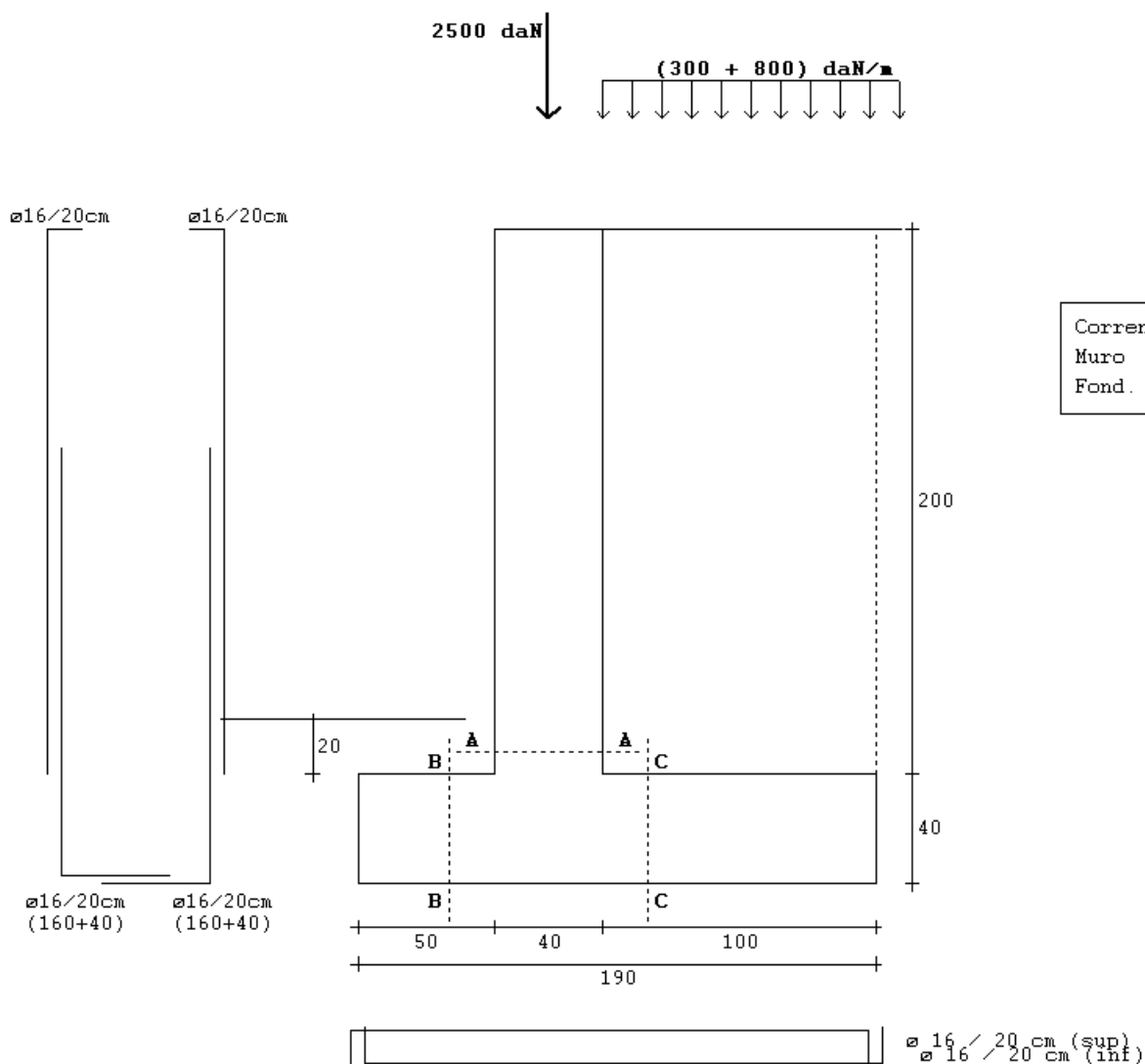
La resistenza di calcolo è data da f_{yk} / γ_f . Il coefficiente di sicurezza γ_f si assume pari a 1.15.

SPALLA MANUFATTO DI ATTRAVERSANETO IN C.A.

acc. : $f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$
cls. : $R_{ck} = 350 \text{ daN/cm}^2$

$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 3913 \text{ daN/cm}^2$
 $f_{cd} = 0,85 \times f_{ck} / 1,50 = 165 \text{ daN/cm}^2$

copriferro muro: 3,00 cm
copriferro fond: 3,00 cm



Correnti orizzontali :
Muro : $\varnothing 12 / 20 \text{ cm}$
Fond. : $\varnothing 12 / 20 \text{ cm}$

SEZ.	cdc	N.d.	M.d.	M.slu	M.slu/M.d	Arm. tesa	Arm. comp.
A-A	M1-A1	4.500	1.480	14.847	10,03		
	M2-A2	4.500	1.456	14.847	10,20	$\varnothing 16 / 20 \text{ cm}$	$\varnothing 16 / 20 \text{ cm}$
	Sisma	4.530	1.077	14.847	13,79		
B-B	M1-A1		927	14.113	15,22		
	M2-A2		731	14.113	19,32	$\varnothing 16 / 20 \text{ cm}$	$\varnothing 16 / 20 \text{ cm}$
	Sisma		633	14.113	22,31		
C-C	M1-A1		1.056	14.113	13,37		
	M2-A2		1.210	14.113	11,66	$\varnothing 16 / 20 \text{ cm}$	$\varnothing 16 / 20 \text{ cm}$
	Sisma		703	14.113	20,08		
SEZ.	cdc	T.d.	T.slu	T.slu/T.d	Bracci	Staffe	A.stf./m ²
A-A	M1-A1	1.847	15.954	8,64			
B-B	M1-A1	3.710	15.954	4,30			
C-C	M2-A2	904	15.954	17,64			

T.slu = Taglio Resistente senza armatura

Verifiche di STABILITA'

<u>RIBALTAMENTO</u>	(EQU-M2)	Sisma (M2)	
		(-kv)	(+kv)
(Ed) : M.R. (daNm)	3.031	1.841	1.863
(Rd) : M.S. (daNm)	9.414	10.391	10.529
(Rd/Ed)	3,11	5,64	5,65

<u>SCORRIMENTO</u>	<u>Approccio 1</u>		<u>Sisma Appr.1 (M2)</u>	
	(A1-M1-R1)	(A2-M2-R2)	(-kv)	(+kv)
	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$
(Ed) : Sd (daN)	2.925	2.839	2.140	2.166
(Rd) : Nd tan(d) / γ_R	6.549	5.239	5.204	5.274
(Rd/Ed)	2,24	1,85	2,43	2,43

<u>CARICO LIMITE</u>	<u>Approccio 1</u>		<u>Sisma Appr.1 (M2)</u>	
	(A1-M1-R1)	(A2-M2-R2)	(-kv)	(+kv)
	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,0$
(Ed) : Nd (daN)	14.824	11.520	10.411	10.549
(Rd) : Nu / γ_R	110.847	29.541	36.104	36.146
(Rd/Ed)	7,48	2,56	3,47	3,43

$\sigma_{t.}$ (daN/cm ²)				
Nd / (B'x100)	0,88	0,72	0,63	0,64

DATI TECNICI TERRENO

angolo attrito interno terreno : $\varphi = 32,00^\circ$
angolo attrito muro-terreno : $\delta = 32,00^\circ$
angolo scorrimento fondazione : $\delta' = 32,00^\circ$ $f = \tan(\delta') = 0,625$
angolo incl.su orizz. del muro : $\alpha = 90,00^\circ$
angolo di inclinazione terreno : $\beta = 0,00^\circ$

peso specifico terreno : $p_s = 1800 \text{ daN/mc}$
peso specifico muro : $p_p = 2500 \text{ daN/mc}$
sovraccarico : $Sov = 1100 \text{ daN/m}^2$ $(300 + 800) \text{ daN/m}$
carico su paramento..... : $F_y = 2500 \text{ daN}$

altezza del terreno a valle... : $h_v = 0,20 \text{ m}$

coeff. di spinta attiva (Ka)

(vedi CESTELLI-GUIDI vol.II - formula di MULLER-BRESLAU)

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2(\alpha) \sin(\alpha - \delta) \times \left(1 + \frac{(\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta))}{(\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta))}\right)^{\frac{1}{2}}} = 0,277$$

coeff. di spinta ridotta (ka')

(Norme Tecniche sulle Costruzioni - tab. 6.2.II)

$$\tan \varphi' = (\tan \varphi) / 1.25$$

angolo attrito interno ridotto : $\varphi' = 26,56^\circ$ -----> $K_a' = 0,338$

SPINTA SISMICA

(NTC 2008 - cap. 3.2 e 7.11)

accelerazione orizz.sito : $a_g = 0,049g$

Categoria suolo : C ----> $S_s = 1,50$

Coeff.amplific.Topografico : $S_T = 1,00$

accelerazione max. attesa :

$a_{max} = (a_g S_s S_T) = 0,049 \times 1,50 \times 1,00 = 0,074g$

coeff. riduzione acc.sismica locale: $\beta_m = 0,18$

Coff. spinta orizzontale : $K_h = \beta_m a_{max} = 0,0132$

Coff. spinta verticale : $K_v = 0.5 K_h = 0,0066$

angolo di inclinazione sismica:

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{K_h}{1 \pm K_v} = 0,013 \rightarrow \theta = 0,763^\circ && \text{comp.verticale sisma verso ALTO } (-K_v) \\ &= 0,013 \rightarrow \theta = 0,753^\circ && \text{comp.verticale sisma verso BASSO } (+K_v) \end{aligned}$$

coeff. di spinta sismica ($\beta \leq \varphi - \theta$)

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi - \theta)}{\cos(\theta) \sin^2(\alpha) \sin(\alpha - \theta - \delta) \times \left(1 + \frac{(\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta - \theta))^{\frac{1}{2}}}{(\sin(\alpha - \theta - \delta) \sin(\alpha + \beta))} \right)^2}$$

appr.2 (M1)

appr.1 (M2)

$(\phi = 32,00^\circ)$

$(\phi' = 26,56^\circ)$

KAE = 0,2857

KAE = 0,3480

comp.verticale sisma verso ALTO (-kv)

KAE = 0,2856

KAE = 0,3478

comp.verticale sisma verso BASSO (+kv)

SPINTE sul MURO di SOSTEGNO

Spinte lungo la superficie verticale del terreno a filo fondazione a monte : $h = 2,40$ m

coeff. spinta (M1): $k_a = 0,277$

coeff. spinta (M2): $k_a' = 0,338$

coeff. carichi = 1

Spinta del Terrapieno	(M1)	(M2)	
$St = 1/2 \times ps \times h^2 \times Ka =$	1436 daN	1752 daN	applicata a (1/3 h) : 0,80 m

Spinta del Sovraccarico

$Ss = SovP \times h \times Ka =$	200 daN	243 daN	applicata a (1/2 h) : 1,20 m
----------------------------------	---------	---------	------------------------------

$Ss = SovA \times h \times Ka =$	532 daN	649 daN	applicata a (1/2 h) : 1,20 m
----------------------------------	---------	---------	------------------------------

SPINTE SISMICHE su Muro di Sostegno

<u>Approccio 1 comb. 2</u>	coeff.Parziali Terreno (M2)		Coeff.Parziali Carichi = 1
----------------------------	-----------------------------	--	----------------------------

	(-kv)	(+kv)
coeff.di spinta sismica attiva : $KAE =$	0,3480	0,3478

Spinta Sismica Terreno :

$Ed = 1/2 \times ps \times (1 \pm Kv) \times KAE \times h^2 =$	1792 daN	1815 daN	applicata a (1/3 h) : 0,80 m
--	----------	----------	------------------------------

Spinta Sismica Sovraccarico :

$q.sis. = 300 + 800 \times 0,00 = 300$ daN/m

$Ed' = q.sis. \times (1 \pm Kv) \times KAE \times h =$	249 daN	252 daN	applicata a (1/2 h) : 1,20 m
--	---------	---------	------------------------------

Spinta Sismica di Massa : Orizzontale

$Fh(M) = P_m K_h = 2000 \times 0,0132 =$	26 daN	muro
$Fh(F) = P_f K_h = 1900 \times 0,0132 =$	25 daN	fondazione
$Fh(T) = P_t K_h = 3600 \times 0,0132 =$	48 daN	terreno

Spinta Sismica di Massa : Verticale :

$Fv(M) = P_m K_v = 2000 \times 0,0066 =$	13 daN	muro
$Fv(F) = P_f K_v = 1900 \times 0,0066 =$	13 daN	fondazione
$Fv(T) = P_t K_v = 3600 \times 0,0066 =$	24 daN	terreno

Verifica di Equilibrio : RIBALTAMENTO (EQU + M2)

coeff. parziali carichi : $\gamma_g \gamma_q = 0,9/1,1 \quad 0,0/1,5$
coeff. parziali terreno : $\gamma_M = 1,25 :$ $\phi = 26,56^\circ$
coeff. sicurezza globale : $\gamma_R = 1,0$

Carichi Verticali

	P (daN)	P (daN)	x (m)	Mr (daNm)
Pf : peso fondazione	1900 x 0,9 =	1710	0,95	1625
Pm : peso paramento verticale :	2000 x 0,9 =	1800	0,70	1260
Ptm: peso terreno a monte.... :	3600 x 0,9 =	3240	1,40	4536
Ptv: peso terreno a valle.... :	180 x 0,9 =	162	0,25	41
Fy : carico conc. permanente :	2500 x 0,9 =	2250	0,70	1575
Psg: sovracc. permanente..... :	300 x 0,9 =	270	1,40	378
totali :		9432		9414

Spinte Orizzontali

	S (daN)	S (daN)	y (m)	Ms (daNm)
Stx: Spinta attiva orizzontale:	1752 x 1,1 =	1927	0,80	1542
Ssx: Spinta Sovr. Permanente :	243 x 1,1 =	267	1,20	321
Ssx: Spinta Sovr. Variabile :	649 x 1,5 =	974	1,20	1168
totali :		3168		3031

Verifica Ribaltamento

$\Sigma Mr > \Sigma Ms$ -----> 9414 daNm > 3031 daNm

Verifica Scorrimento - approccio 1 comb. 1 (A1 + M1 + R1)

coeff. parziali carichi : $\gamma_g \gamma_q = 1,0/1,3 \quad 0,0/1,5$
coeff. parziali terreno : $\gamma_M = 1,0 :$ $\phi = 32,00^\circ$ $\delta' = 32,00^\circ$
coeff. sicurezza globale : $\gamma_R = 1,0$

Carichi Verticali

	P (daN)	P (daN)
Pf : peso fondazione	1900	1900
Pm : peso paramento verticale :	2000	2000
Ptm: peso terreno a monte.... :	3600	3600
Ptv: peso terreno a valle.... :	180	180
Fy : carico conc. permanente :	2500	2500
Psg: sovracc. permanente..... :	300	300
totali :		10480

Spinte Orizzontali

	S (daN)	S (daN)
Stx: Spinta attiva orizzontale:	1436 x 1,3 =	1867
Ssx: Spinta Sovr. Permanente :	200 x 1,3 =	260
Ssx: Spinta Sovr. Variabile :	532 x 1,5 =	798
totali :		2924

$\Sigma P \cdot \tan(\delta') / \gamma_R > \Sigma S$ -----> $10480 \times 0,625 / 1,0 = 6549 \text{ daN} > 2924 \text{ daN}$

Verifica Scorrimento - approccio 1 comb. 2 (A2 + M2 + R2)

coeff. parziali carichi : $\gamma_g \gamma_q = 1,0/1,0 \quad 0,0/1,3$
coeff. parziali terreno : $\gamma_M = 1,25$: $\phi = 26,56^\circ$ $\delta' = 26,56^\circ$
coeff. sicurezza globale : $\gamma_R = 1,0$

Carichi Verticali

	P (daN)	P (daN)
Pf : peso fondazione	1900	1900
Pm : peso paramento verticale :	2000	2000
Ptm: peso terreno a monte.... :	3600	3600
Ptv: peso terreno a valle.... :	180	180
Fy : carico conc. permanente :	2500	2500
Psg: sovracc. permanente..... :	300	300
totali :		10480

Spinte Orizzontali

	S (daN)	S (daN)
Stx: Spinta attiva orizzontale:	1752	1752
Ssx: Spinta Sovr. Permanente :	243	243
Ssx: Spinta Sovr. Variabile :	649 x 1,3 =	844
totali :		2839

$$\Sigma P \cdot \tan(\delta') / \gamma_R > \Sigma S \quad \text{---->} \quad 10480 \times 0,500 / 1,0 = 5239 \text{ daN} > 2839 \text{ daN}$$

Verifica Carico Limite - approccio 1 comb. 1 (A1 + M1 + R1)

coeff. parziali carichi : $\gamma_g \gamma_q = 1,0/1,3 \quad 0,0/1,5$
coeff. parziali terreno : $\gamma_M = 1,0$: $\phi = 32,00^\circ$
coeff. sicurezza globale : $\gamma_R = 1,0$

Carichi Verticali

	P (daN)	P (daN)	x (m)	Mr (daNm)
Pf : peso fondazione	1900 x 1,3 =	2470	0,95	2347
Pm : peso paramento verticale :	2000 x 1,3 =	2600	0,70	1820
Ptm: peso terreno a monte.... :	3600 x 1,3 =	4680	1,40	6552
Ptv: peso terreno a valle.... :	180 x 1,3 =	234	0,25	59
Fy : carico conc. permanente :	2500 x 1,3 =	3250	0,70	2275
Psg: sovracc. permanente..... :	300 x 1,3 =	390	1,40	546
Psq: sovracc. variabile..... :	800 x 1,5 =	1200	1,40	1680
totali :		14824		15278

Spinte Orizzontali

	S (daN)	S (daN)	y (m)	Ms (daNm)
Stx: Spinta attiva orizzontale:	1436 x 1,3 =	1867	0,80	1494
Ssx: Spinta Sovr. Permanente :	200 x 1,3 =	260	1,20	311
Ssx: Spinta Sovr. Variabile :	532 x 1,5 =	798	1,20	958
totali :		2924		2763

Sezione Ridotta

$$u = \frac{Mr - Ms}{\Sigma P} = \frac{1251500}{14824} = 84 \text{ cm}$$

zona reagente : $B' = 2 \times U = 169 \text{ cm}$

Carico Limite Fondazione : $Q_{lim.} = (2 \times 84 \times 100) \times 6,56 = 110847 \text{ daN}$

Carico di Progetto Fondaz. : $N_d = 14824 \text{ daN}$

$$Q_{lim.}/\gamma_R > N_d \text{ ----> } 110847 / 1,0 = 110847 \text{ daN} > 14824 \text{ daN}$$

Fattori formula capacità portante ($\phi = 35,00^\circ$)

$$\begin{aligned} d_c &= 1 + 0.2(D/B') \quad k_p^{(1/2)} = 1,137 & i_c &= (1 - \alpha/90)^2 = 0,767 & \alpha &= \arctang(S_d/N_d) = 11,16^\circ \\ d_q &= 1 + 0.1(D/B') \quad k_p^{(1/2)} = 1,068 & i_q &= i_c = 0,767 & k_p &= 3,690 \\ d_g &= d_q = 1,068 & i_g &= (1 - \alpha/\phi)^2 = 0,464 \end{aligned}$$

Coefficienti di capacità portante terreno (formula di Vesic)

$$\begin{aligned} N_q &= \tan^2(45 + \phi/2) e^{(\pi \tan(\phi))} = 33,296 & q &= 1080 \text{ daN/m}^2 \\ N_c &= (N_q - 1) / \tan(\phi) = 46,124 & C_u &= 0,00 \text{ daN/cm}^2 \\ N_g &= 2(N_q + 1) \times \tan(\phi) = 48,029 & \gamma &= 1800 \text{ daN/m}^3 \end{aligned}$$

$$q_{ult} = c_u N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B' N_g d_g i_g$$

Capacità portante ultima del Terreno : $q_{ult.} = 0,00 + 2,95 + 3,62 = 6,56 \text{ daN/cm}^2$

Verifica Carico Limite - approccio 1 comb. 2 (A2 + M2 + R2)

$$\begin{aligned} \text{coeff. parziali carichi} &: \gamma_g \gamma_q = 1,0/1,0 \quad 0,0/1,3 \\ \text{coeff. parziali terreno} &: \gamma_M = 1,25 : & \phi &= 26,56^\circ \\ \text{coeff. sicurezza globale} &: \gamma_R = 1,0 \end{aligned}$$

Carichi Verticali

	P (daN)	P (daN)	x (m)	Mr (daNm)
Pf : peso fondazione	1900	1900	0,95	1805
Pm : peso paramento verticale :	2000	2000	0,70	1400
Ptm: peso terreno a monte.... :	3600	3600	1,40	5040
Ptv: peso terreno a valle.... :	180	180	0,25	45
Fy : carico conc. permanente :	2500	2500	0,70	1750
Psg: sovracc. permanente..... :	300	300	1,40	420
Psq: sovracc. variabile..... :	800 x 1,3 =	1040	1,40	1456
totali :		11520		11916

Spinte Orizzontali

	S (daN)	S (daN)	y (m)	Ms (daNm)
Stx: Spinta attiva orizzontale:	1752	1752	0,80	1402
Ssx: Spinta Sovr. Permanente :	243	243	1,20	292
Ssx: Spinta Sovr. Variabile :	649 x 1,3 =	844	1,20	1012
totali :		2839		2706

Sezione Ridotta

$$u = \frac{M_r - M_s}{\sum P} = \frac{921000}{11520} = 80 \text{ cm}$$

zona reagente : $B' = 2 \times U = 160 \text{ cm}$

Carico Limite Fondazione : $Q_{lim.} = (2 \times 80 \times 100) \times 1,85 = 29541 \text{ daN}$

Carico di Progetto Fondaz. : Nd = 11520 daN

$$Q_{lim}/\gamma_R > Nd \text{ ----> } 29541 / 1,0 = 29541 \text{ daN} > 11520 \text{ daN}$$

Fattori formula capacità portante ($\phi=29,26^\circ$)

$$\begin{aligned} dc &= 1 + 0.2(D/B') \cdot k_p^{(1/2)} = 1,128 & ic &= (1-\alpha/90)^2 = 0,716 & \alpha &= \arctang(Sd/Nd) = 13,84^\circ \\ dq &= 1 + 0.1(D/B') \cdot k_p^{(1/2)} = 1,064 & iq &= ic = 0,716 & & \\ dg &= dq = 1,064 & ig &= (1-\alpha/\phi)^2 = 0,277 & k_p &= 2,912 \end{aligned}$$

Coefficienti di capacità portante terreno (formula di Vesic)

$$\begin{aligned} Nq &= \tan^2(45+\phi/2) \cdot e^{(\pi \tan(\phi))} = 16,921 & q &= 1080 \text{ daN/m}^2 & \gamma q &= 1,40 \\ Nc &= (Nq-1)/\tan(\phi) = 28,422 & Cu &= 0,00 \text{ daN/cm}^2 & \gamma c &= 1,40 \\ Ng &= 2(Nq+1) \cdot \tan(\phi) = 20,077 & \gamma &= 1800 \text{ daN/m}^3 \end{aligned}$$

$$q_{ult} = cu/\gamma_c Nc dc ic + q/\gamma_q Nq dq iq + 0.5 \gamma B' Ng dg ig$$

Capacità portante ultima del Terreno : $q_{ult.} = 0,00 + 0,99 + 0,85 = 1,85 \text{ daN/cm}^2$

Verifica SISMICA di Equilibrio : RIBALTAMENTO (M2)

$$\begin{aligned} \text{coeff. parziali carichi : } \gamma_g \gamma_q &= 1,00 \\ \text{coeff. parziali terreno : } \gamma_M &= 1,25 : & \phi &= 26,56^\circ \\ \text{coeff. sicurezza globale : } \gamma_R &= 1,0 \end{aligned}$$

Carichi Verticali

	P (daN)	P (daN)	x (m)	Mr (daNm)
Pf : peso fondazione	1900	1900	0,95	1805
Pm : peso paramento verticale :	2000	2000	0,70	1400
Ptm: peso terreno a monte.... :	3600	3600	1,40	5040
Ptv: peso terreno a valle.... :	180	180	0,25	45
Fy : carico conc. permanente :	2500	2500	0,70	1750
Psg: sovracc. permanente..... :	300	300	1,40	420
totali :		10480		10460

Spinte Statiche e Dinamiche KAE = 0,3480 (-kv)

	Sd (daN)	Sd (daN)	y (m)	Ms (daNm)
Ed : Spinta sismica terreno.. :	1792	1792	0,80	1434
Ed': Spinta sismica sovracc.. :	249	249	1,20	299
Sw1: Spinta massa muro..... :	26	26	1,40	37
Sw2: Spinta massa fondazione :	25	25	0,20	5
Sw4: Spinta massa terreno :	48	48	1,40	67
totali :		2140		1842

Verifica Ribaltamento (-kv)

$$Mr \times (1-kv) > Ms$$

$$10460 \times (1-0,0066) = 10391 > 1842 \text{ daNm}$$

Spinte Statiche e Dinamiche KAE = 0,3478 (+kv)

	Sd (daN)	Sd (daN)	y (m)	Ms (daNm)
Ed : Spinta sismica terreno.. :	1815	1815	0,80	1452
Ed' : Spinta sismica sovracc.. :	252	252	1,20	303
Sw1: Spinta massa muro..... :	26	26	1,40	37
Sw2: Spinta massa fondazione :	25	25	0,20	5
Sw4: Spinta massa terreno :	48	48	1,40	67
totali :		2166		1864

Verifica Ribaltamento (+kv)

$$M_r \times (1+kv) > M_s$$

$$10460 \times (1+0,0066) = 10529 > 1864 \text{ daNm}$$

Verifica SISMICA : SCORRIMENTO - approccio 1 (M2 + R2)

coeff. parziali carichi : $\gamma_g \gamma_q = 1,0$

coeff. parziali terreno : $\gamma_M = 1,25$:

$$\phi = 26,56^\circ$$

$$\delta' = 26,56^\circ$$

coeff. sicurezza globale : $\gamma_R = 1,0$

Spinte Statiche e Dinamiche KAE = 0,3480 (-kv)

	Sd (daN)	Sd (daN)		
Ed : Spinta sismica terreno.. :	1792	1792	0,80	1434
Ed' : Spinta sismica sovracc.. :	249	249	1,20	299
Sw1: Spinta massa muro..... :	26	26	1,40	37
Sw2: Spinta massa fondazione :	25	25	0,20	5
Sw4: Spinta massa terreno :	48	48	1,40	67
totali :		2140		1842

Verifica Scorrimento (-kv)

$$N_d \times (1-kv) \tan(\delta') / \gamma_R > S_d$$

$$10480 \times (1-0,0066) \times \tan(26,56) / 1,0 = 5204 > 2140 \text{ daN}$$

Spinte Statiche e Dinamiche KAE = 0,3478 (+kv)

	Sd (daN)	Sd (daN)		
Ed : Spinta sismica terreno.. :	1815	1815	0,80	1452
Ed' : Spinta sismica sovracc.. :	252	252	1,20	303
Sw1: Spinta massa muro..... :	26	26	1,40	37
Sw2: Spinta massa fondazione :	25	25	0,20	5
Sw4: Spinta massa terreno :	48	48	1,40	67
totali :		2166		1864

Verifica Scorrimento (+kv)

$$N_d \times (1+kv) \tan(\delta') / \gamma_R > S_d$$

$$10480 \times (1+0,0066) \times \tan(26,56) / 1,0 = 5274 > 2166 \text{ daN}$$

Verifica SISMICA : CARICO LIMITE - approccio 1 (M2 + R2)

coeff. parziali carichi : $\gamma_g \gamma_q = 1,0$
coeff. parziali terreno : $\gamma_M = 1,25$: $\phi = 26,56^\circ$
coeff. sicurezza globale : $\gamma_R = 1,0$

Verifica Carico Limite (-kv)

$N_d = 10480 \times (1-0,0066) = 10411 \text{ daN}$ Carico Sismico
 $S_d = 2140 \text{ daN}$ Spinta Sismica
 $e = B/2 - (M_r - M_s)/N_d = 190/2 - (10391-1841)/10411 = 13 \text{ cm}$ eccentricità
 $B' = (B - 2 e) = (190 - 2 \times 13) = 164 \text{ cm}$ Sezione ridotta

Fattori formula capacità portante ($\phi = 29,26^\circ$)

$d_c = 1 + 0.2 (D/B') \cdot k_p^{(1/2)} = 1,125$ $i_c = (1 - \alpha/90)^2 = 0,759$ $\alpha = \arctang(S_d/N_d) = 11,62^\circ$
 $d_q = 1 + 0.1 (D/B') \cdot k_p^{(1/2)} = 1,062$ $i_q = i_c = 0,759$
 $d_g = d_q = 1,062$ $i_g = (1 - \alpha/\phi)^2 = 0,364$ $k_p = 2,912$

$q_{ult} = c_u/\gamma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q/\gamma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \gamma \cdot B' \cdot N_g \cdot d_g \cdot i_g = 2,20 \text{ daN/cm}^2$

$Q_{lim.} = (164 \times 100) \times 2,20 = 36104 \text{ daN}$ Carico Limite Fondazione

$Q_{lim}/\gamma_R > N_d$ ----> $36104 / 1,0 = 36104 \text{ daN} > 10411 \text{ daN}$

Verifica Carico Limite (+kv)

$N_d = 10480 \times (1+0,0066) = 10549 \text{ daN}$ Carico Sismico
 $S_d = 2166 \text{ daN}$ Spinta Sismica
 $e = B/2 - (M_r - M_s)/N_d = 190/2 - (10529-1863)/10549 = 13 \text{ cm}$ eccentricità
 $B' = (B - 2 e) = (190 - 2 \times 13) = 164 \text{ cm}$ Sezione ridotta

Fattori formula capacità portante ($\phi = 29,26^\circ$)

$d_c = 1 + 0.2 (D/B') \cdot k_p^{(1/2)} = 1,125$ $i_c = (1 - \alpha/90)^2 = 0,759$ $\alpha = \arctang(S_d/N_d) = 11,60^\circ$
 $d_q = 1 + 0.1 (D/B') \cdot k_p^{(1/2)} = 1,062$ $i_q = i_c = 0,759$
 $d_g = d_q = 1,062$ $i_g = (1 - \alpha/\phi)^2 = 0,364$ $k_p = 2,912$

$q_{ult} = c_u/\gamma_c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q/\gamma_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \gamma \cdot B' \cdot N_g \cdot d_g \cdot i_g = 2,20 \text{ daN/cm}^2$

$Q_{lim.} = (164 \times 100) \times 2,20 = 36146 \text{ daN}$ Carico Limite Fondazione

$Q_{lim}/\gamma_R > N_d$ ----> $36146 / 1,0 = 36146 \text{ daN} > 10549 \text{ daN}$

Coefficienti di capacità portante terreno (formula di Vesic)

$\phi = 26,56^\circ$
 $N_q = \tan^2(45 + \phi) \cdot e^{(\pi \tan(\phi))} = 16,921$ $q = 1080 \text{ daN/m}^2$ $\gamma_q = 1,40$
 $N_c = (N_q - 1) / \tan(\phi) = 28,422$ $C_u = 0,00 \text{ daN/cm}^2$ $\gamma_c = 1,40$
 $N_g = 2(N_q + 1) \times \tan(\phi) = 20,077$ $\gamma = 1800 \text{ daN/m}^3$

SPINTE sul PARAMENTO VERTICALE

Spinte su paramento interno muro

coeff. spinta (M1): $k_a = 0,277$

coeff. spinta (M2): $k_a' = 0,338$

coeff. carichi = 1

h.muro : h = 2,00 m

Spinta del Terrapieno

(M1)

(M2)

$Sp = 1/2 \times 1800 \times h^2 \times K_a =$ 998 daN 1217 daN applicata a (1/3 h) : 0,67 m

componenti orizz. e vert. della spinta attiva :

$Sp_x = Sp \times \cos(32^\circ) =$ 846 daN 1032 daN

quota = 0,67

$Sp_y = Sp \times \sin(32^\circ) =$ 529 daN 645 daN

Spinta del Sovraccarico

$SsP = 300 \times h \times k_a =$ 166 daN 203 daN applicata a (1/2 h) : 1,00 m

$SsA = 800 \times h \times k_a =$ 443 daN 541 daN applicata a (1/2 h) : 1,00 m

componenti orizz. e vert. della spinta sovraccarico :

$SsPx = SsP \times \cos(32^\circ) =$ 141 daN 172 daN

quota = 1,00

$SsAx = SsA \times \cos(32^\circ) =$ 376 daN 459 daN

quota = 1,00

$SsPy = SsP \times \sin(32^\circ) =$ 88 daN 107 daN

$SsAy = SsA \times \sin(32^\circ) =$ 235 daN 287 daN

SPINTE SISMICHE su Muro di Sostegno

Approccio 1 comb. 2

coeff.Parziali Terreno (M2)

Coeff.Parziali Carichi = 1

(-kv)

(+kv)

coeff.di spinta sismica attiva : $K_{AE} =$ 0,3480 0,3478

Spinta Sismica Terreno :

$E_d = 1/2 \times p_s \times (1 \pm K_v) \times K_{AE} \times h^2 =$ 1244 daN 1260 daN applicata a (1/3 h) : 0,67 m

Spinta Sismica Sovraccarico :

$q.sis. = 300 + 800 \times 0,00 = 300$ daN/m

$E_d' = q.sis. \times (1 \pm K_v) \times K_{AE} \times h =$ 207 daN 210 daN applicata a (1/2 h) : 1,00 m

SOLLECITAZIONE alla BASE MURO

c.d.c. (M1 + A1)

	N [daN]		T [daN]	y [m]	M [daNm]
Sax: Spinta attiva orizz.:		846 x 1,3 =	1100	0,67	733
Ssx: Spinta orizz.Sov.Per.:		141 x 1,3 =	183	1,00	183
Ssx: Spinta orizz.Sov.Acc.:		376 x 1,5 =	564	1,00	564
Pm : Peso muro..... :	2000			0,00	
Fy : Carico su muro..... :	2500			0,00	
totali.....:	4500		1847		1480

c.d.c. (M2 + A2)

	N [daN]		T [daN]	y [m]	M [daNm]
Sax: Spinta attiva orizz.:			1032	0,67	688
Ssx: Spinta orizz.Sov.Per.:			172	1,00	172
Ssx: Spinta orizz.Sov.Acc.:		459 x 1,3 =	597	1,00	596
Pm : Peso muro..... :	2000			0,00	
Fy : Carico su muro..... :	2500			0,00	
totali.....:	4500		1800		1456

c.d.c. SISMICA (M2) (-kv)

	N [daN]		T [daN]	y [m]	M [daNm]
Ed : Spinta sismica terreno.. :			1244	0,67	830
Ed': Spinta sismica sovracc.. :			207	1,00	207
Swl: Spinta massa muro..... :			26	1,40	26
dPm: Eccentricità muro..... :	1987			0,00	
Fy : Carico su muro..... :	2483			0,00	
totali.....:	4470		1478		1063

c.d.c. SISMICA (M2) (+kv)

	N [daN]		T [daN]	y [m]	M [daNm]
Ed : Spinta sismica terreno.. :			1260	0,67	840
Ed': Spinta sismica sovracc.. :			210	1,00	210
Swl: Spinta massa muro..... :			26	1,40	26
dPm: Eccentricità muro..... :	2013			0,00	
Fy : Carico su muro..... :	2517			0,00	
totali.....:	4530		1497		1077

Pressione di calcolo sul terreno

$\sigma.d(1) =$	$14824 / (169 \times 100)$	$= 0,88 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$	cdc.(M1-A1)
$\sigma.d(2) =$	$11520 / (160 \times 100)$	$= 0,72 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$	cdc.(M2-A2)
$\sigma.d(3) =$	$10411 / (164 \times 100)$	$= 0,63 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$	cdc.Sisma (M2) (-kv)
$\sigma.d(4) =$	$10549 / (164 \times 100)$	$= 0,64 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$	cdc.Sisma (M2) (+kv)

Sezione a valle (B - B)

$$Md(1) = (0,88 \times 100 \times 50) \times 0,25 - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50^2/2 = 927 \text{ daNm}$$

$$Td(1) = (0,88 \times 100 \times 50) - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50 = 3710 \text{ daN}$$

$$Md(2) = (0,72 \times 100 \times 50) \times 0,25 - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50^2/2 = 731 \text{ daNm}$$

$$Td(2) = (0,72 \times 100 \times 50) - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50 = 2922 \text{ daN}$$

$$Md(3) = (0,63 \times 100 \times 50) \times 0,25 - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50^2/2 = 622 \text{ daNm}$$

$$Td(3) = (0,63 \times 100 \times 50) - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50 = 2489 \text{ daN}$$

$$Md(4) = (0,64 \times 100 \times 50) \times 0,25 - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50^2/2 = 633 \text{ daNm}$$

$$Td(4) = (0,64 \times 100 \times 50) - (2500 \times 0,40 + 0,20 \times 1800) \times 0,50 = 2531 \text{ daN}$$

Sezione a monte (C - C)

$$M.c(1) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,3 \times 1,00^2/2 + 1590 \times 1,00^2/2 - (0,88 \times 100 \times 79)^2/2 = 1056 \text{ daNm}$$

$$T.c(1) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,3 \times 1,00 + 1590 \times 1,00 - (0,88 \times 100 \times 79) = 647 \text{ daN}$$

$$M.c(2) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,00^2/2 + 1340 \times 1,00^2/2 - (0,72 \times 100 \times 70)^2/2 = 1210 \text{ daNm}$$

$$T.c(2) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,00 + 1340 \times 1,00 - (0,72 \times 100 \times 70) = 904 \text{ daN}$$

$$M.c(3) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,00^2/2 + 300 \times 1,00^2/2 - (0,63 \times 100 \times 74)^2/2 = 703 \text{ daNm}$$

$$T.c(3) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,00 + 300 \times 1,00 - (0,63 \times 100 \times 74) = 194 \text{ daN}$$

$$M.c(4) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,00^2/2 + 300 \times 1,00^2/2 - (0,64 \times 100 \times 74)^2/2 = 678 \text{ daNm}$$

$$T.c(4) = (2500 \times 0,40 + 2,00 \times 1800) \times 1,00 + 300 \times 1,00 - (0,64 \times 100 \times 74) = 130 \text{ daN}$$

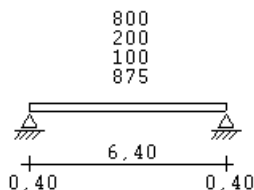
IMPALCATO MANUFATTO DI ATTRAVERSANETO IN C.A.

PONTE DI TERZA CATEGORIA

acc. : $f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$	$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 3913 \text{ daN/cm}^2$	copriferro muro: 3,00 cm
cls. : $R_{ck} = 350 \text{ daN/cm}^2$	$f_{cd} = 0,85 \times f_{ck} / 1,50 = 165 \text{ daN/cm}^2$	copriferro fond: 3,00 cm
Coeff.Car.Perm. Strutturali= 1,30	$E_c = 314470 \text{ daN/cm}^2$	Coeff.Car.Variabili= 1,50
Coeff.Car.Perm. Non Strutt.= 1,50		Coeff.Car.Sismici = 0,00

CARICHI (daN/m)

Q
G2
G1
P.P.



f.(l/2)(cm)	-0,384
f.max.(cm)	-0,384
pos.(m)	3,20
f/l	1/1667

DATI GEOMETRICI SEZIONE

asta	luce(m)	B.sup	H.sez.	B.inf	s.anima	s.ala sup.	s.ala inf.	J(cm4)
1	6,40	100	35					357292 (Rett)

REAZIONI VERTICALI APPOGGI

nodo	N.max.[daN]	N.perm.[daN]
1	8856	3120
2	8856	3120

MOMENTI MAX. (+) IN CAMPATA

asta	pos.[m]	MEd[daNm]	MRd[daNm]	X[cm]	X/d	arm.inf.[cm²]	arm.sup.[cm²]
1	3,20	14170	< 14372	4,12	0,13	4 Ø 20 (12,57)	4 Ø 20 (12,57)

MOMENTI MAX. (-) SU APPOGGI

asta	nodo	MEd[daNm]	MRd[daNm]	X[cm]	X/d	arm.sup.[cm²]	arm.inf.[cm²]
1	sx.						4 Ø 20 (7,86)
	dx.						4 Ø 20 (7,86)

TAGLIO SLU cdc non Sismica

asta	nodo	VEd[daN]	VRd[daN]	VRd'	VRcd	VRsd	staffe
1	sx.	8856	< 42872	14012	98417	42872	Ø10/ 8 cm 4 bracci
	dx.	8856	< 42872	14012	98417	42872	Ø10/ 8 cm 4 bracci

VEd
VRd = min (VRcd, VRsd)

Taglio di Calcolo
Taglio Resistente

$VRd' = (0,18 \cdot k \cdot (100 \text{ ro } f_{ck})^{(1/3)}) / 1,50 \cdot b \cdot d$
 $VR_{min} = (0,035 \cdot k^{(3/2)} \cdot f_{ck}^{(1/2)}) \cdot b \cdot d$

Taglio Res.senza staffe $k = 1 + (20/d)^{(1/2)} \leq 2$
Taglio Res.Min. $VRd' \geq VR_{min}$

$VRcd = 0,9 \cdot d \cdot b \cdot f'_{cd} \cdot ctg\theta / (1 + ctg^2\theta)$
 $VRsd = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$

Taglio Res.cls compresso $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd} = 71 \text{ daN/cm}^2$
Taglio Res.con staffe

$ctg \theta = 1,00$

inclinazione biella cls

STATO LIMITE DI TENSIONI DI ESERCIZIO

Grado di aggressività ambientale : ordinarie (a)

Asta	Q.acc.	M[daNm]	$\sigma.f.$ [daN/cm ²]	$\sigma.c.t$ [daN/cm ²]	$\sigma.c.c$ [daN/cm ²]
1	RARA	6016	1710		41,82 < 149,40 = 0,60 fck
	FREQUENTE (0,0)	6016	1710		41,82 < 112,05 = 0,45 fck
	QUASI PERM. (0,0)	6016	1710		41,82 < 112,05 = 0,45 fck
Tensione di Trazione CLS : 1.2 fctm				21,32	(sez.non fessurata)
Tensione di Trazione ACC : 0.8 fyk			3600		(sez. fessurata)

Nodo	Q.acc.	M[daNm]	$\sigma.f.$ [daN/cm ²]	$\sigma.c.t$ [daN/cm ²]	$\sigma.c.c$ [daN/cm ²]
1	RARA	0			
	FREQUENTE (0,0)	0			
	QUASI PERM. (0,0)	0			
2	RARA	0			
	FREQUENTE (0,0)	0			
	QUASI PERM. (0,0)	0			
Tensione di Trazione CLS : 1.2 fctm				21,32	(sez.non fessurata)
Tensione di Trazione ACC : 0.8 fyk			3600		(sez. fessurata)

STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

Grado di aggressività ambientale : Cond.amb. ordinarie

Comb.Carichi : FREQUENTE

Comb.Carichi : QUASI PERMANENTE

Asta	$E\chi_{sm} \times S_{rm}$	=	$W_m \times 1,70$	=	W_k	(mm)	$E\chi_{sm} \times S_{rm}$	=	$W_m \times 1,70$	=	W_k	(mm)
1	0,00081 x 259,20 =		0,21		0,36 < 0,40		0,00081 x 259,20 =		0,2110		0,359 > 0,30	

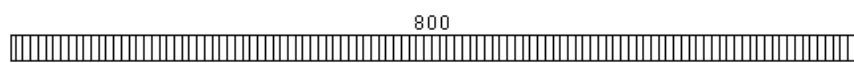
Comb.Carichi : FREQUENTE

Comb.Carichi : QUASI PERMANENTE

Nodo	$E\chi_{sm} \times S_{rm}$	=	$W_m \times 1,70$	=	W_k	(mm)	$E\chi_{sm} \times S_{rm}$	=	$W_m \times 1,70$	=	W_k	(mm)
1												
2												

E_{sm} = deformazione media
 S_{rm} = distanza media tra le fessure (mm)
 W_m = $E_{sm} \times S_{rm}$: valore medio dell'apertura
 W_k = $1,7 \times W_m$: valore caratteristico apertura

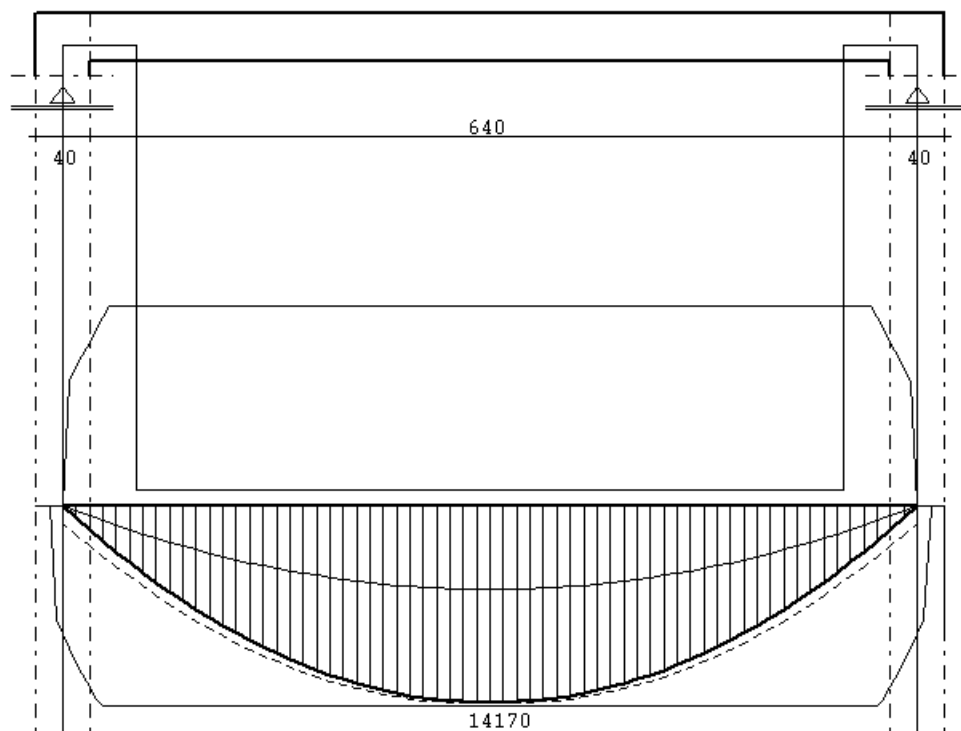
$Q(\text{daN/m})$



$G1+G2$



$M(\text{daNm})$



$V(\text{daN})$

