

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01**

**LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA**

**Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**RILEVATI**

**RILEVATO FERROVIARIO DAL KM 1+337.00 AL KM 1+876.19**

**OPERE DI SOSTEGNO**

**Muro di sostegno in destra dal km 1+347.51 al km 1+876.77 - Relazione di calcolo  
pali di fondazione**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Marzo 2021	ing. Luca Zaccaria iscritto all'ordine degli ingegneri di Ravenna n.A1206 Data: Marzo 2021		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	11	E	I2	CL	RI0602	002	A	- - - P - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
		Marzo 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	A. Mingoia	31.03.21	V. Pastore	31.03.21	P. Ascari	31.03.21	<p>Ing. Paolo Ascari Data: 31.03.2021</p>

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1711EI2CLRI0602002A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 2 di 32	

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA.....	5
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
4.1	Calcestruzzo .....	5
4.2	Acciaio per cemento armato .....	6
4.3	Durabilità e prescrizioni sui materiali .....	6
4.4	Copriferro minimo e copriferro nominale .....	7
5	PARAMETRI SISMICI .....	7
6	PARAMETRI GEOTECNICI .....	8
7	VERIFICA MURO TIPO 1 – hmax = 6 m.....	9
7.1	Caratteristiche geometriche .....	9
7.2	Sollecitazioni di verifica.....	10
7.3	Verifiche Geotecniche.....	11
8	VERIFICA MURO TIPO 2 – hmax = 7 m.....	21
8.1	Caratteristiche geometriche .....	21
8.2	Sollecitazioni di verifica.....	22
8.3	Verifiche Geotecniche.....	23

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 3 di 32

## 1 PREMESSA

La presente relazione è relativa al calcolo dei pali di fondazione dei muri di sostegno facenti parte dell'opera denominata "RI06 – Rilevato ferroviario da pk 1+337.00 a pk 1+876.19", prevista nell'ambito dei lavori inerenti la linea AV/AC Torino-Venezia tratta Verona-Vicenza ed ubicati in destra dalla pk 1+347.51 alla pk 1+876.77 della linea AV/AC.

I pali sono del tipo trivellato di grande diametro.

Le analisi strutturali vengono effettuate con riferimento alle seguenti tipologie:

Muro tipo 1 – h max = 6.00m

Muro tipo 2 – h max = 7.00m

con hmax altezza del terrapieno spingente.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di un'opera di sostegno interrata, con applicazione della Normativa D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 4 di 32	

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”;
- UNI EN 11104 luglio 2016 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1: Regole generali e regole per edifici”;
- D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale;
- RFI DTC SI MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 A Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 5 di 32

### 3 CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA

I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite secondo NTC2008.

La verifica dei pali è condotta con riferimento alle sollecitazioni in accordo a quanto riportato nella relazione di calcolo del muro di sostegno di cui al rif. "IN1711EI2CLRI0602001", alla quale si rimanda per i dettagli.

Le verifiche geotecniche sono condotte con riferimento a quanto definito nella relazione geotecnica del rilevato RI06 di cui al rif. "IN1710EI2RBRI0600001", alla quale si rimanda per i dettagli.

Le verifiche strutturali allo SLU sono condotte considerando le resistenze di progetto dei materiali ed una distribuzione plastica degli sforzi.

Le verifiche strutturali allo SLE sono condotte considerando:

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente determinando il momento di prima fessurazione e confrontandolo con quello sollecitante; se risulta  $M_{cr} < M_{Ed}$  la verifica si considera soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate nell'Eurocodice 2-1, come indicato dal D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alla Combinazioni Rara della normativa vigente sui ponti ferroviari. Le massime aperture ammissibili sono:

- condizioni ambientali aggressive e molto aggressive:  $w_k \leq w_3 = 0.20 \text{ mm}$
- condizioni ambientali ordinarie:  $w_k \leq w_3 = 0.30 \text{ mm}$

In ottemperanza a quanto prescritto dal Manuale di progettazione - Parte II/sezione II, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture si applica come limite di apertura delle fessure  $w_k \leq w_3 = 0.20 \text{ mm}$ .

Verifica delle tensioni di esercizio: si verifica che le tensioni di lavoro presenti nel calcestruzzo siano inferiori ai seguenti limiti:

- combinazione QP  $\sigma_c < 0.40 f_{ck}$ ;
- combinazione Rara  $\sigma_c < 0.55 f_{ck}$ ,

e che le tensioni di lavoro presenti nell'acciaio siano  $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$ .

### 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali:

#### 4.1 Calcestruzzo

Per la realizzazione dei pali di fondazione, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C25/30 ( $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$ ) che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)	$\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a compressione	$\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 31475 \text{ N/mm}^2$

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 6 di 32

Resistenza di calcolo a compressione	$\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 14.16 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$\rightarrow f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$\rightarrow f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.19 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\rightarrow \sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 13.75 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\rightarrow \sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 10.00 \text{ N/mm}^2$

## 4.2 Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C saldabile, controllato in stabilimento e che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento $f_y$	$\geq 450 \text{ MPa}$
Limite di rottura $f_t$	$\geq 540 \text{ MPa}$
Allungamento totale al carico massimo $A_{gt}$	$\geq 7.5\%$
Rapporto $f_t/f_y$	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y \text{ misurato}} / f_{y \text{ nom}}$	$\leq 1,25$

Tensione di snervamento caratteristica	$\rightarrow f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$\rightarrow f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)	$\rightarrow \sigma_s = 0.75 * f_{yk} = 337.50 \text{ N/mm}^2$
Fattore di sicurezza acciaio	$\rightarrow \gamma_s = 1.15$
Resistenza a trazione di calcolo	$\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2$

## 4.3 Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

Per le opere della presente relazione si adotta quanto segue:

Pali di fondazione                      CLASSE DI ESPOSIZIONE                      XC2

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 7 di 32	

#### 4.4 Copriferro minimo e copriferro nominale

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale  $c_{nom}$  è somma di due contributi, il copriferro minimo  $c_{min}$  e la tolleranza di posizionamento  $h$ . Vale pertanto:  $c_{nom} = c_{min} + h$ .

Considerate le condizioni ambientali dell'opera e le classi di resistenza del calcestruzzo, si adotta un copriferro nominale pari a  $c_{nom} = 60$  mm.

## 5 PARAMETRI SISMICI

L'opera ricade nel comune di Verona.

I corrispondenti valori delle caratteristiche sismiche per lo SLV (TR=1424 anni) sono i seguenti:

$$a_g = 0.233g$$

$$F_0 = 2.434;$$

$$T^*_c = 0.284 \text{ s};$$

Per quanto riguarda il sottosuolo su cui insiste l'opera, si assume che ricada in categoria sismica "C" e categoria topografica "T1". Il coefficiente di amplificazione stratigrafica e topografica risultano quindi:

$$S_S = 1.360$$

$$S_T = 1.0$$

L'accelerazione massima orizzontale viene valutata pari a:

$$a_{max} (SLV) = S a_g = 1.360 \times 1.00 \times 0.233 \text{ g} = 0.317 \text{ g}$$

In base al valore dell'accelerazione ed alla categoria sismica del sottosuolo, il valore del parametro  $\beta_m$  è pari a 0.31, da cui si ottiene:

$$k_h = 2 \times 0.31 \times 0.317 = 0.19654$$

$$k_v = 0.09827 \text{ g}$$

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 8 di 32

## 6 PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri geotecnici caratteristici impiegati per caratterizzare i materiali da rilevato, sono:

$$\phi'_k = 38^\circ$$

$$\gamma_m = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Per quanto riguarda il terreno di fondazione, in base alle caratteristiche geotecniche riportate nella Relazione Geotecnica di RI06, si assumono i seguenti parametri:

### Stratigrafia di progetto

da	a	Descrizione strato
Piano fondazione	2 m	Sabbie con limo
2 m	10 m	Ghiaie
10 m	28 m	Sabbie
28 m	>28 m	Ghiaie

### Parametri geotecnici caratteristici di progetto del terreno di fondazione

Strato	$\gamma_{\text{saturato}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	E [MPa]
Argille	19	30	0	-	10
Ghiaie	19	39	0	-	50-80
Sabbie	19	39	0	-	120
Ghiaie	19	40	0	-	>200

### Livello di falda

Per verifiche in esercizio SLE-SLU: piano fondazione (assunzione conservativa)

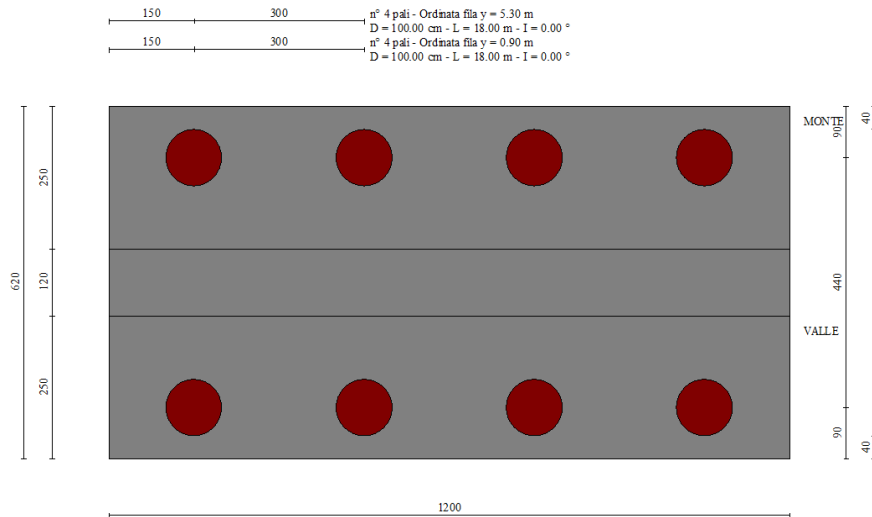
Per verifiche in combinazione sismica SLV: piano fondazione (assunzione conservativa)

Per verifiche in combinazione eccezionale ECC (piena): +49.4 m slmm

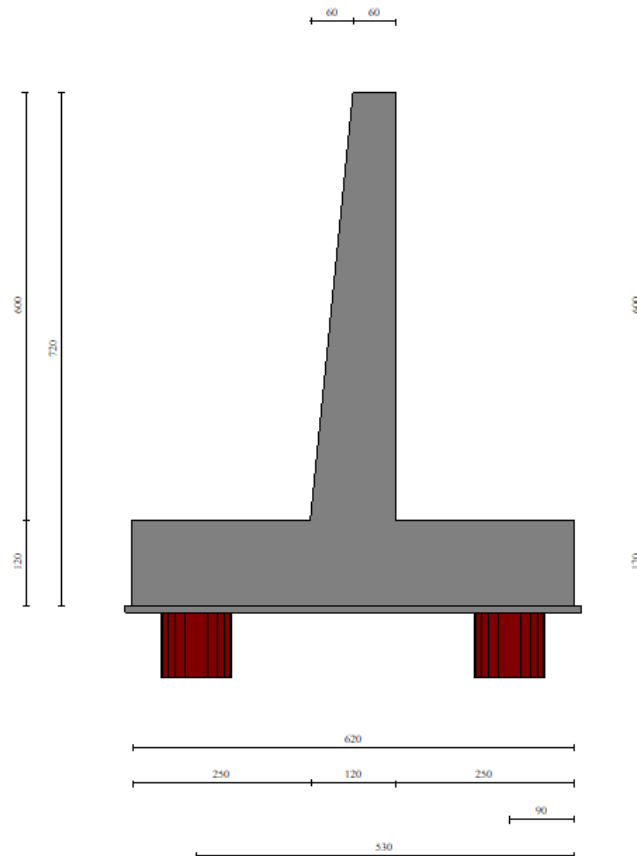


## 7 VERIFICA MURO TIPO 1 – hmax = 6 m

### 7.1 Caratteristiche geometriche



Pianta



Sezione

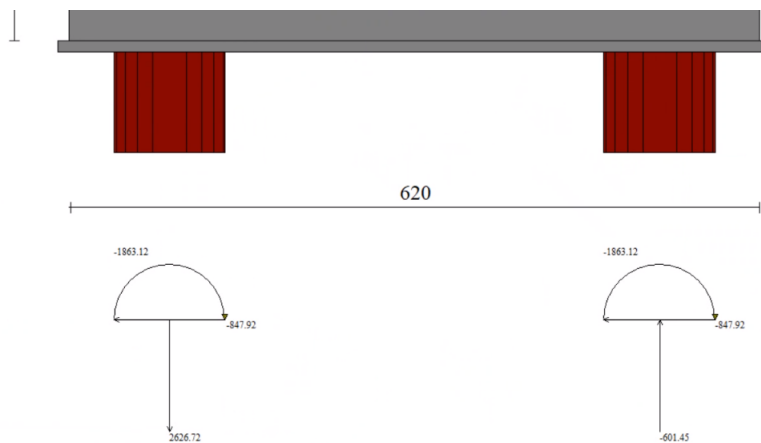
<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 10 di 32

## 7.2 Sollecitazioni di verifica

Di seguito si riportano le sollecitazioni maggiormente gravose ai fini delle diverse verifiche.

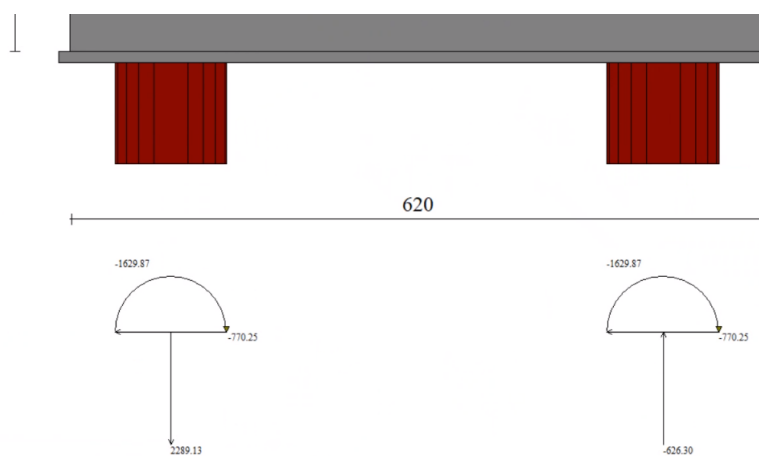
### SLU-SLV-ECC

#### COMB13 – GEO



Scarichi singolo palo

#### COMB14 – GEO



Scarichi singolo palo

Si precisa come le massime sollecitazioni siano a testa palo, come segue:

N compressione = 2627 kN

N trazione = 627 kN

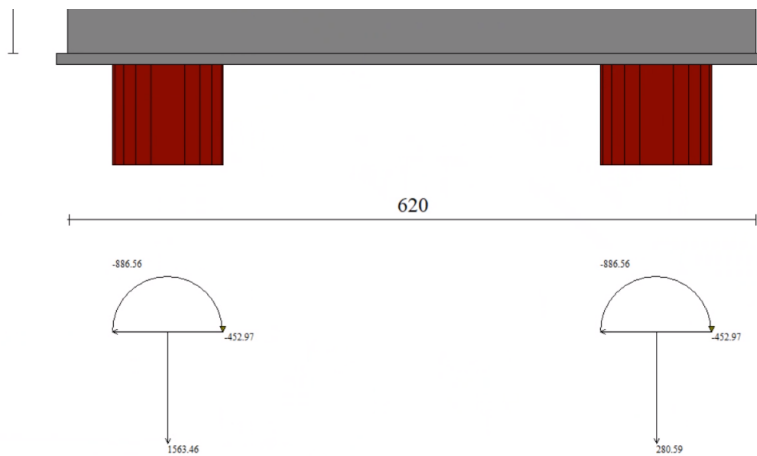
Taglio = 848 kN

Momento = 1864 kNm

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 11 di 32	

## SLE

### COMB19 – SLE RARA



Scarichi singolo palo

N compressione = 280 kN

Momento = 887 kNm

## 7.3 Verifiche Geotecniche

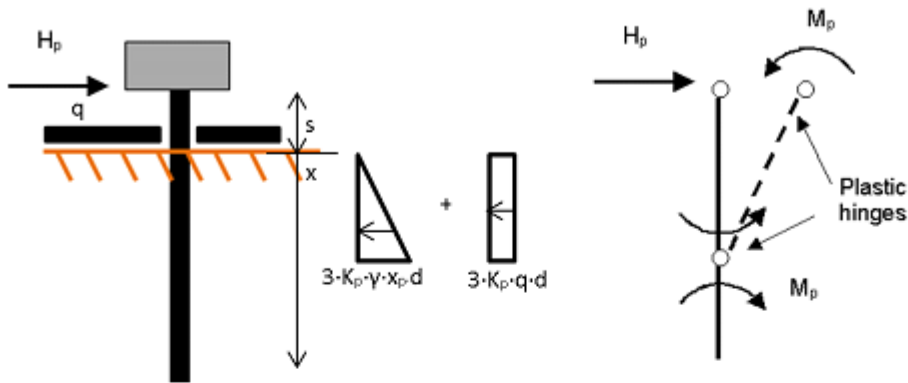
### 7.3.1 Verifica di portanza trasversale

La verifica è condotta con riferimento alla nota teoria di Broms, come di seguito riportato.

Ai fini del calcolo della spinta passiva è assunto un valore dell'angolo di resistenza al taglio intermedio rispetto a quelli relativi ai primi due strati coinvolti nel meccanismo resistente e pari a 34.5°.

**Resistenza laterale palo muri**

Broms (1969)



$$K_p := 3.613 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1\text{m} \quad M_p := 2904\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 30\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.55 \quad \gamma_T := 1.3$$

$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left( s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left( s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 4.279\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 2.384 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.183 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Ed = 848 kN

Rd = 1183 kN

Ed &lt; Rd

verifica soddisfatta

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 13 di 32	

### 7.3.2 Verifica di portanza verticale

La verifica è condotta con riferimento alle curve contenute nella relazione geotecnica di RI06 qui di seguito riportate.

Verifica a compressione

$E_d = 2627 \text{ kN}$

$R_d = 2677 \text{ kN}$

$E_d < R_d$

verifica soddisfatta

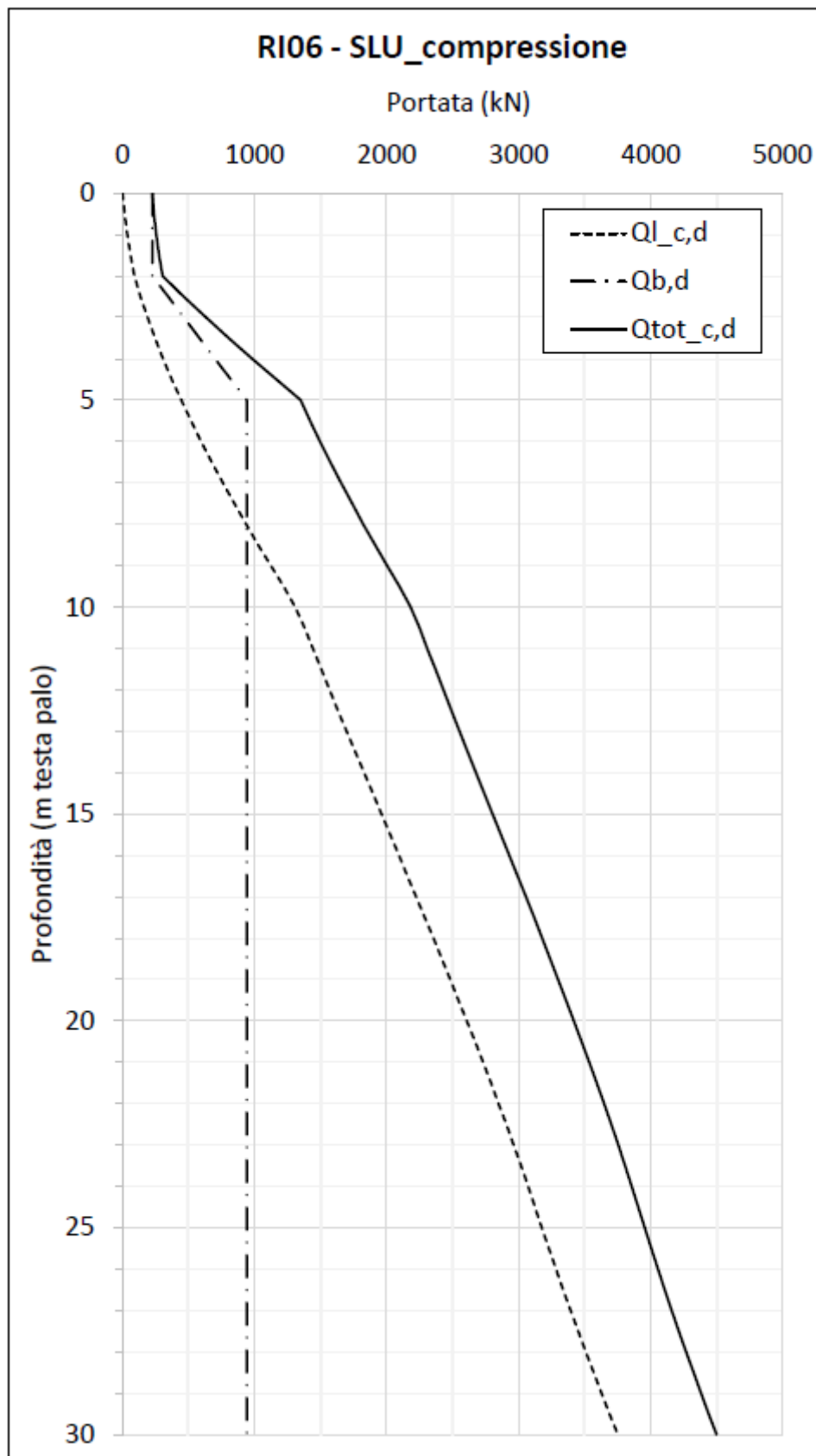
Verifica a trazione

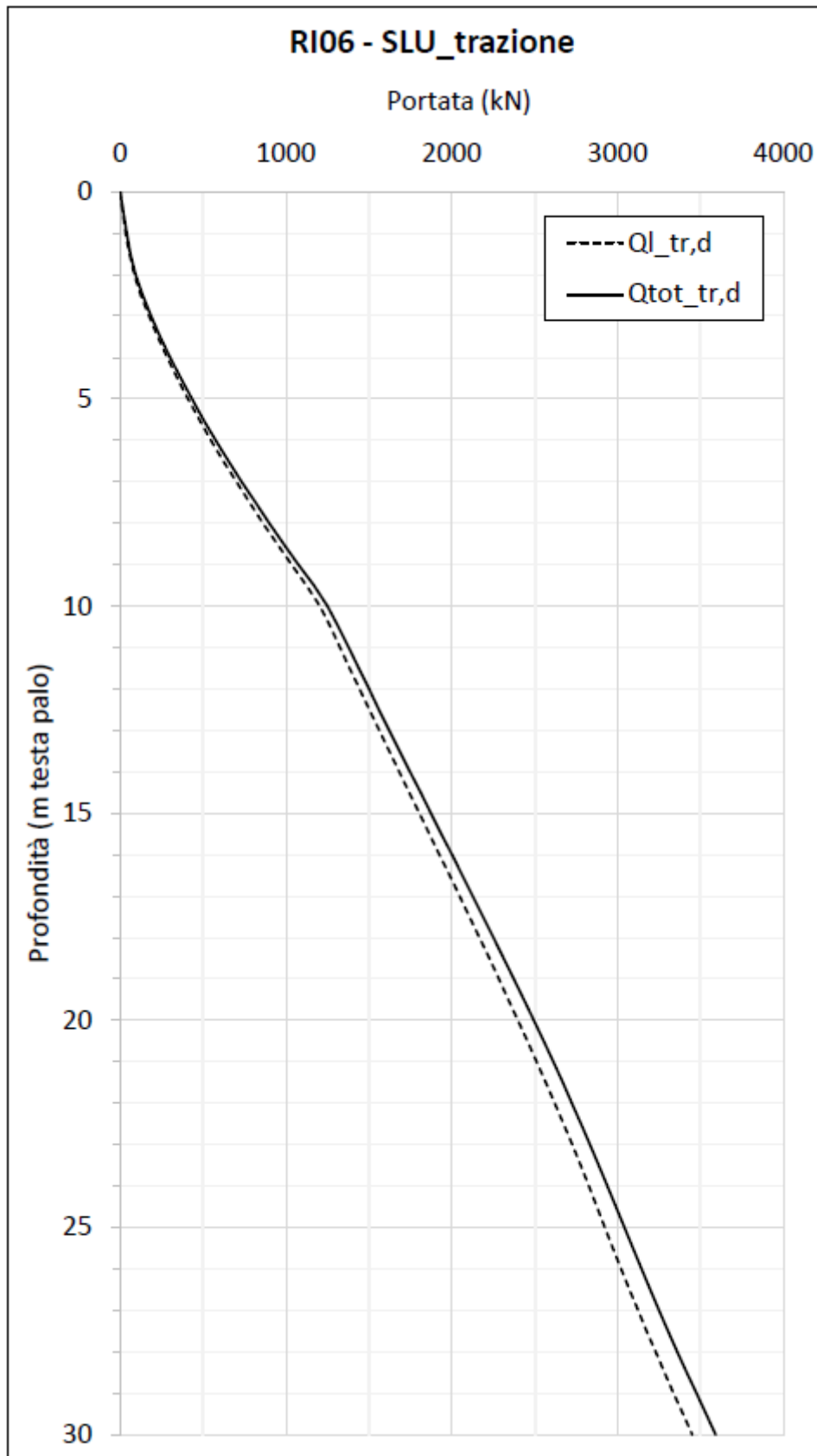
$E_d = 627 \text{ kN}$

$R_d = 1748 \text{ kN}$

$E_d < R_d$

verifica soddisfatta





Pali trivellati  $\Phi$  1000  
 Numero verticali indagate 2  
 $\xi_4$  1.55

Lpalo m	CURVE SLE			CURVE SLU				
	$Q_i$ kN	$Q_b$ kN	$Q_{TOT}$ kN	$Q_{L,c,d}$ kN	$Q_{L,tr,d}$ kN	$Q_{b,d}$ kN	$Q_{tot,c,d}$ kN	$Q_{tot,tr,d}$ kN
0.00	0	471	471	0	0	225	225	0
0.50	29	471	498	16	15	225	239	17
1.00	65	471	532	36	34	225	255	39
1.50	107	471	572	60	55	225	276	62
2.00	163	471	625	91	84	225	304	93
2.50	241	720	949	135	124	344	463	136
3.00	335	969	1290	188	173	463	632	187
3.50	437	1217	1638	245	226	582	805	242
4.00	548	1466	1995	307	283	701	982	302
4.50	666	1715	2360	374	344	820	1165	365
5.00	791	1963	2731	444	408	938	1349	432
5.50	924	1963	2861	518	477	938	1421	503
6.00	1062	1963	2997	596	548	938	1496	576
6.50	1206	1963	3139	677	622	938	1573	653
7.00	1356	1963	3286	761	700	938	1654	733
7.50	1511	1963	3439	848	780	938	1739	815
8.00	1670	1963	3596	937	862	938	1824	900
8.50	1834	1963	3758	1029	947	938	1913	987
9.00	2002	1963	3923	1123	1033	938	2005	1075
9.50	2173	1963	4092	1219	1122	938	2096	1167
10.00	2331	1963	4247	1308	1203	938	2182	1250
10.50	2457	1963	4371	1378	1268	938	2250	1317
11.00	2568	1963	4480	1441	1325	938	2309	1377
11.50	2681	1963	4590	1504	1384	938	2369	1438
12.00	2795	1963	4702	1568	1443	938	2429	1500
12.50	2910	1963	4815	1633	1502	938	2491	1561
13.00	3026	1963	4928	1698	1562	938	2553	1623
13.50	3142	1963	5042	1763	1622	938	2614	1686
14.00	3259	1963	5157	1828	1682	938	2677	1748
14.50	3377	1963	5272	1895	1743	938	2741	1811
15.00	3495	1963	5387	1961	1804	938	2803	1875
15.50	3612	1963	5503	2026	1864	938	2866	1937
16.00	3730	1963	5618	2093	1925	938	2929	2000
16.50	3847	1963	5733	2158	1986	938	2991	2064
17.00	3964	1963	5848	2224	2046	938	3054	2126
17.50	4081	1963	5962	2289	2106	938	3117	2188
18.00	4196	1963	6075	2354	2166	938	3177	2251
18.50	4311	1963	6187	2419	2225	938	3239	2312
19.00	4425	1963	6299	2482	2284	938	3299	2374
19.50	4538	1963	6409	2546	2342	938	3360	2434
20.00	4649	1963	6518	2608	2399	938	3419	2493
20.50	4759	1963	6626	2670	2456	938	3477	2553
21.00	4867	1963	6732	2730	2512	938	3535	2611
21.50	4974	1963	6836	2790	2567	938	3592	2668
22.00	5078	1963	6938	2849	2621	938	3647	2725
22.50	5181	1963	7039	2907	2674	938	3702	2780
23.00	5282	1963	7137	2963	2726	938	3756	2834
23.50	5380	1963	7233	3018	2777	938	3806	2888
24.00	5476	1963	7326	3072	2826	938	3858	2939
24.50	5569	1963	7417	3124	2874	938	3907	2989
25.00	5662	1963	7508	3176	2922	938	3955	3040
25.50	5757	1963	7600	3230	2971	938	4006	3091
26.00	5853	1963	7694	3284	3021	938	4056	3144
26.50	5951	1963	7790	3339	3071	938	4108	3196
27.00	6051	1963	7887	3395	3123	938	4161	3250
27.50	6153	1963	7987	3452	3176	938	4215	3306
28.00	6256	1963	8088	3510	3229	938	4270	3361
28.50	6361	1963	8190	3569	3283	938	4326	3417
29.00	6468	1963	8295	3629	3338	938	4382	3475
29.50	6577	1963	8401	3690	3395	938	4440	3534
30.00	6687	1963	8509	3751	3451	938	4499	3592



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	<table border="1"> <tr> <td>Progetto IN17</td> <td>Lotto 11</td> <td>Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002</td> <td>Rev. A</td> <td>Foglio 17 di 32</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 17 di 32
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 17 di 32		

### 7.3.3 Verifiche strutturali

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME SEZIONE: RI06 - H = 6m

Descrizione Sezione:	RI06
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$ :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

#### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre				
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate				
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate				
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate				
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza				
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata				

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	41.7	24	26
2	0.0	0.0	36.5	24	26

#### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	10 mm
Passo staffe:	10.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17    Lotto 11    Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002    Rev. A    Foglio 18 di 32

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-627.00	1864.00	0.00	848.00	0.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	280.00	887.00	0.00

### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	280.00	887.00 (419.39)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	2.6 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0 cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$								
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	-627.00	1864.00	0.00	-627.19	2904.44	0.00	1.56	254.8(23.6)

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Progetto IN17</td> <td style="text-align: center;">Lotto 11</td> <td style="text-align: center;">Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002</td> <td style="text-align: center;">Rev. A</td> <td style="text-align: center;">Foglio 19 di 32</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 19 di 32
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 19 di 32		

Xs min      Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min      Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max      Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max      Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max      Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	50.0	0.00262	0.0	41.7	-0.00619	0.0	-41.7

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d          Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45  
 C.Rid.        Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000105710	-0.001785519	----	----

#### VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:      10 mm  
 Passo staffe:      10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver            S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Ved          Taglio di progetto [kN] = proiezi. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
 Vcd          Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]  
 Vwd          Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
 d | z        Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
               Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
               I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw          Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
               E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg          Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw          Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast          Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff        Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
               Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
               L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lungh.legat.proietta-  
               ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	848.00	1471.81	1938.71	77.6 67.3	89.6	2.500	1.000	12.9	29.5(0.0)

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max        Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min        Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff.        Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff.        Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	7.79	0.0	-50.0	-147.4	0.0	-41.7	1116	53.1

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	7.79	0.0	-50.0	-147.4	0.0	-41.7	1116	53.1

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.            La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
 e1              Esito della verifica  
               Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 20 di 32	

e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

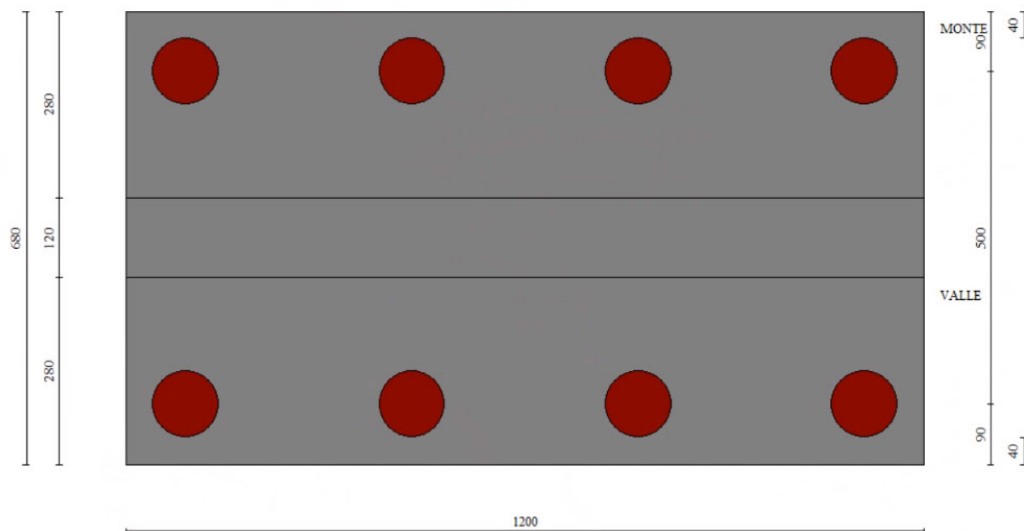
Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00086	0	0.500	26.0	70	0.00053 (0.00044)	331	0.17	419.39	0.00

Verifiche soddisfatte

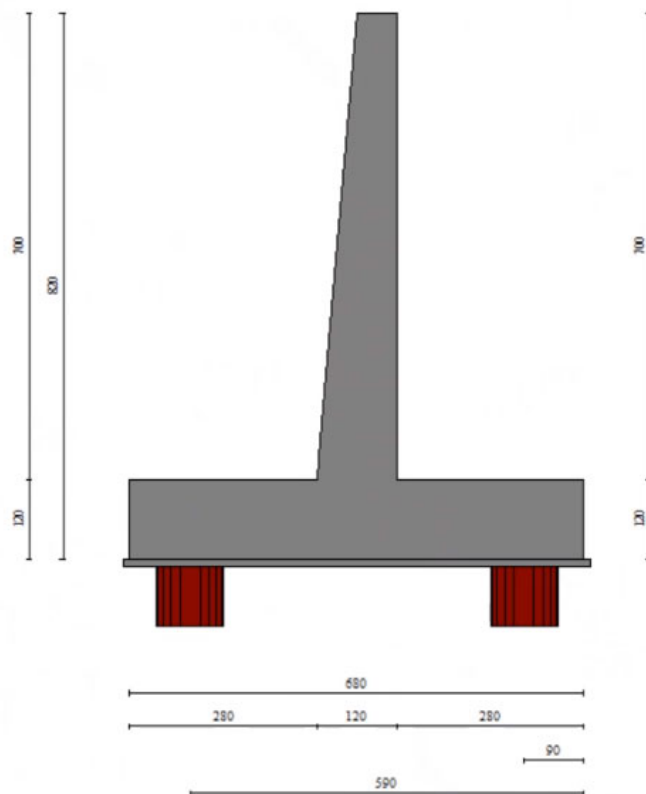
## 8 VERIFICA MURO TIPO 2 – hmax = 7 m

### 8.1 Caratteristiche geometriche


 n° 4 pali - Ordinata fila y = 5.90 m  
 D = 100.00 cm - L = 18.00 m - I = 0.00 °  
 n° 4 pali - Ordinata fila y = 0.90 m  
 D = 100.00 cm - L = 18.00 m - I = 0.00 °



Pianta



Sezione

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 22 di 32

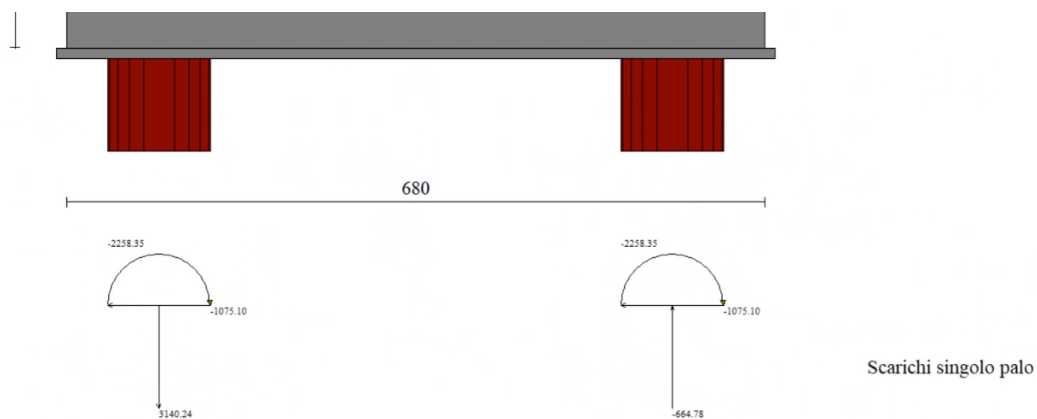
## 8.2 Sollecitazioni di verifica

Di seguito si riportano le sollecitazioni maggiormente gravose ai fini delle diverse verifiche.

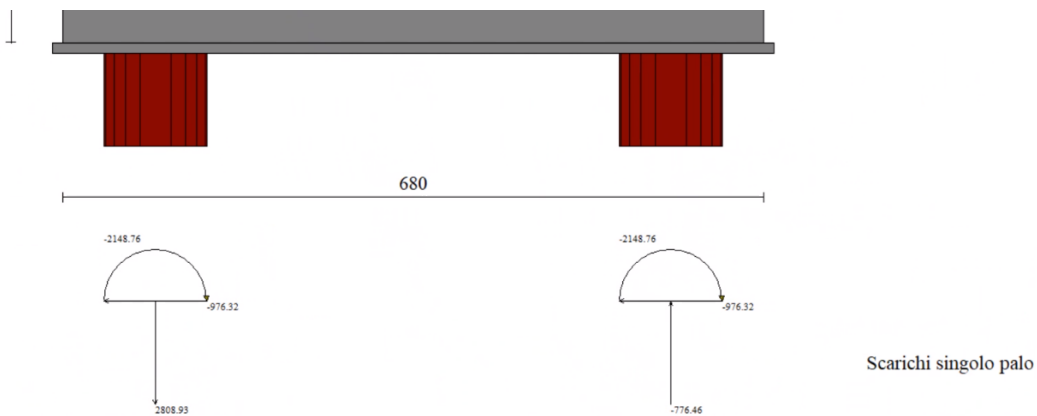
### SLU-SLV-ECC

Si considera conservativamente l'involuppo delle sollecitazioni secondo le combinazioni "GEO" e "STRU".

#### COMB13 – GEO



#### COMB14 – GEO



Si precisa come le massime sollecitazioni siano a testa palo, come segue:

N compressione = 3141 kN

N trazione = 777 kN

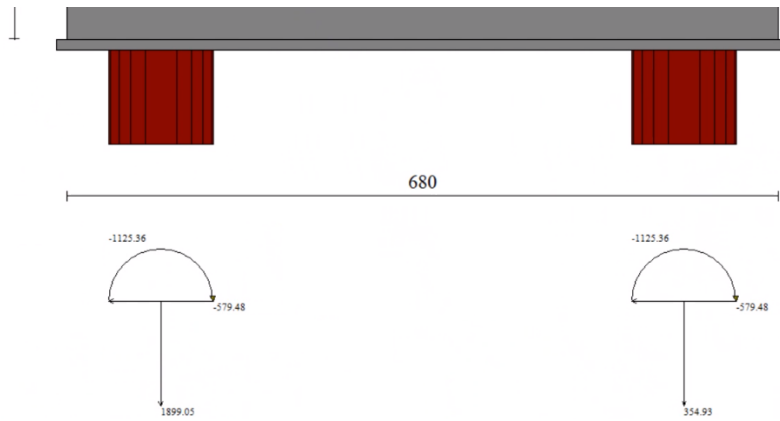
Taglio = 1076 kN

Momento = 2259 kNm

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 23 di 32

## SLE

### COMB19 – SLE RARA



Scarichi singolo palo

N compressione = 354 kN

Momento = 1126 kNm

## 8.3 Verifiche Geotecniche

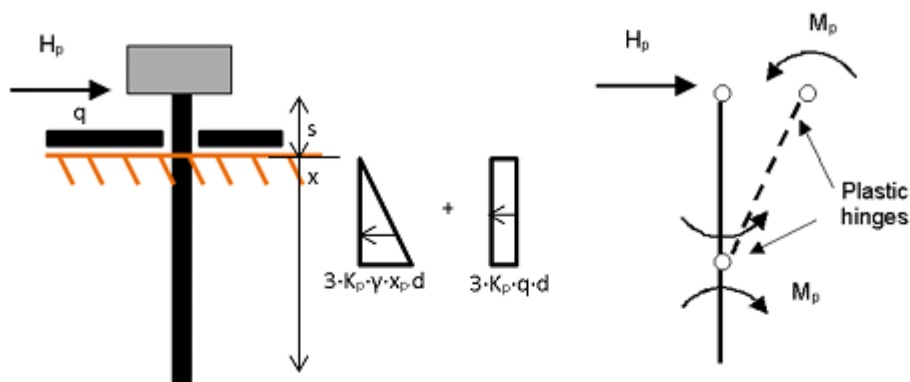
### 8.3.1 Verifica di portanza trasversale

La verifica è condotta con riferimento alla nota teoria di Broms, come di seguito riportato.

Ai fini del calcolo della spinta passiva è assunto un valore dell'angolo di resistenza al taglio intermedio rispetto a quelli relativi ai primi due strati coinvolti nel meccanismo resistente e pari a 34.5°.

**Resistenza laterale palo muri**

Broms (1969)



$$K_p := 3.613 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1\text{m} \quad M_p := 3280\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 30\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.55 \quad \gamma_T := 1.3$$

$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left( s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left( s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 4.493\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 2.555 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.268 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$E_d = 1076 \text{ kN}$$

$$R_d = 1268 \text{ kN}$$

$$E_d < R_d$$

verifica soddisfatta



GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 25 di 32	

### 8.3.2 Verifica di portanza verticale

La verifica è condotta con riferimento alle curve contenute nella relazione geotecnica di RI06 qui di seguito riportate.

Verifica a compressione

$E_d = 3141 \text{ kN}$

$R_d = 3177 \text{ kN}$

$E_d < R_d$

verifica soddisfatta

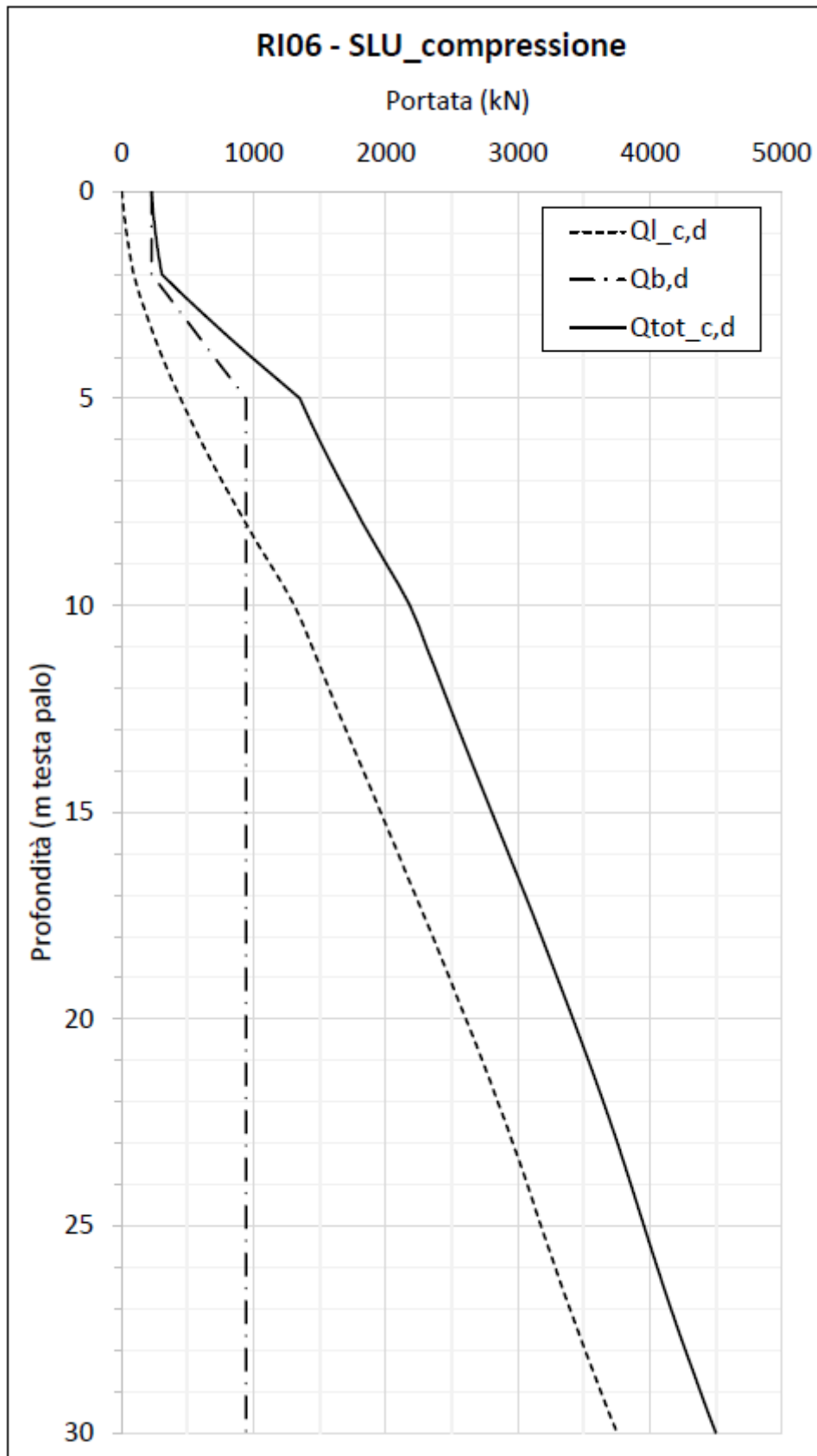
Verifica a trazione

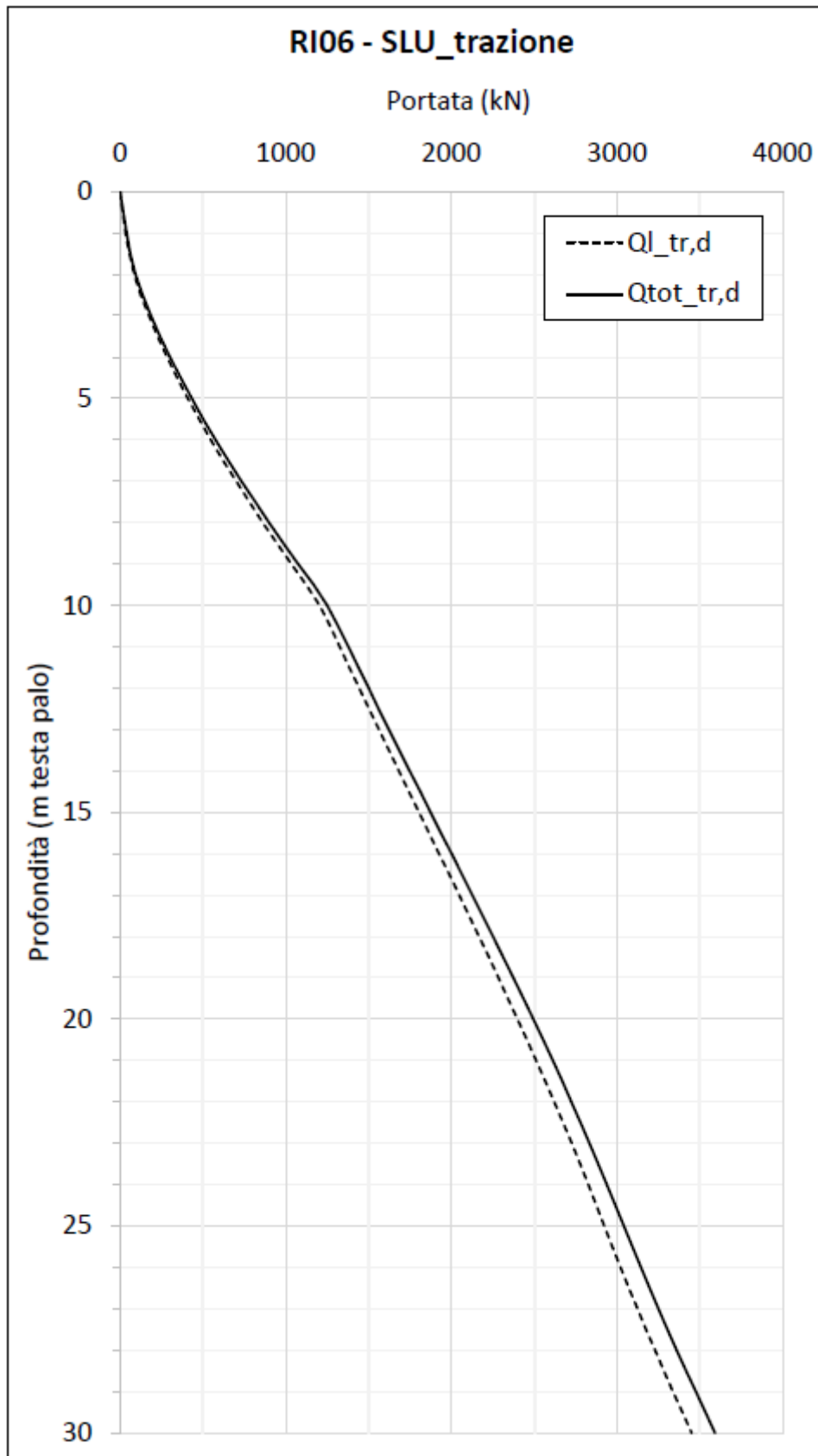
$E_d = 777 \text{ kN}$

$R_d = 2251 \text{ kN}$

$E_d < R_d$

verifica soddisfatta





Pali trivellati  $\Phi$  1000  
 Numero verticali indagate 2  
 $\xi_4$  1.55

Lpalo m	CURVE SLE			CURVE SLU				
	$Q_i$ kN	$Q_b$ kN	$Q_{TOT}$ kN	$Q_{L,c,d}$ kN	$Q_{L,tr,d}$ kN	$Q_{b,d}$ kN	$Q_{tot,c,d}$ kN	$Q_{tot,tr,d}$ kN
0.00	0	471	471	0	0	225	225	0
0.50	29	471	498	16	15	225	239	17
1.00	65	471	532	36	34	225	255	39
1.50	107	471	572	60	55	225	276	62
2.00	163	471	625	91	84	225	304	93
2.50	241	720	949	135	124	344	463	136
3.00	335	969	1290	188	173	463	632	187
3.50	437	1217	1638	245	226	582	805	242
4.00	548	1466	1995	307	283	701	982	302
4.50	666	1715	2360	374	344	820	1165	365
5.00	791	1963	2731	444	408	938	1349	432
5.50	924	1963	2861	518	477	938	1421	503
6.00	1062	1963	2997	596	548	938	1496	576
6.50	1206	1963	3139	677	622	938	1573	653
7.00	1356	1963	3286	761	700	938	1654	733
7.50	1511	1963	3439	848	780	938	1739	815
8.00	1670	1963	3596	937	862	938	1824	900
8.50	1834	1963	3758	1029	947	938	1913	987
9.00	2002	1963	3923	1123	1033	938	2005	1075
9.50	2173	1963	4092	1219	1122	938	2096	1167
10.00	2331	1963	4247	1308	1203	938	2182	1250
10.50	2457	1963	4371	1378	1268	938	2250	1317
11.00	2568	1963	4480	1441	1325	938	2309	1377
11.50	2681	1963	4590	1504	1384	938	2369	1438
12.00	2795	1963	4702	1568	1443	938	2429	1500
12.50	2910	1963	4815	1633	1502	938	2491	1561
13.00	3026	1963	4928	1698	1562	938	2553	1623
13.50	3142	1963	5042	1763	1622	938	2614	1686
14.00	3259	1963	5157	1828	1682	938	2677	1748
14.50	3377	1963	5272	1895	1743	938	2741	1811
15.00	3495	1963	5387	1961	1804	938	2803	1875
15.50	3612	1963	5503	2026	1864	938	2866	1937
16.00	3730	1963	5618	2093	1925	938	2929	2000
16.50	3847	1963	5733	2158	1986	938	2991	2064
17.00	3964	1963	5848	2224	2046	938	3054	2126
17.50	4081	1963	5962	2289	2106	938	3117	2188
18.00	4196	1963	6075	2354	2166	938	3177	2251
18.50	4311	1963	6187	2419	2225	938	3239	2312
19.00	4425	1963	6299	2482	2284	938	3299	2374
19.50	4538	1963	6409	2546	2342	938	3360	2434
20.00	4649	1963	6518	2608	2399	938	3419	2493
20.50	4759	1963	6626	2670	2456	938	3477	2553
21.00	4867	1963	6732	2730	2512	938	3535	2611
21.50	4974	1963	6836	2790	2567	938	3592	2668
22.00	5078	1963	6938	2849	2621	938	3647	2725
22.50	5181	1963	7039	2907	2674	938	3702	2780
23.00	5282	1963	7137	2963	2726	938	3756	2834
23.50	5380	1963	7233	3018	2777	938	3806	2888
24.00	5476	1963	7326	3072	2826	938	3858	2939
24.50	5569	1963	7417	3124	2874	938	3907	2989
25.00	5662	1963	7508	3176	2922	938	3955	3040
25.50	5757	1963	7600	3230	2971	938	4006	3091
26.00	5853	1963	7694	3284	3021	938	4056	3144
26.50	5951	1963	7790	3339	3071	938	4108	3196
27.00	6051	1963	7887	3395	3123	938	4161	3250
27.50	6153	1963	7987	3452	3176	938	4215	3306
28.00	6256	1963	8088	3510	3229	938	4270	3361
28.50	6361	1963	8190	3569	3283	938	4326	3417
29.00	6468	1963	8295	3629	3338	938	4382	3475
29.50	6577	1963	8401	3690	3395	938	4440	3534
30.00	6687	1963	8509	3751	3451	938	4499	3592

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17    Lotto 11    Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002    Rev. A    Foglio 29 di 32

### 8.3.3 Verifiche strutturali

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A. NOME SEZIONE: RI06 – SEZIONE H = 7 m

Descrizione Sezione:	RI06
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$ :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

#### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre				
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate				
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate				
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate				
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza				
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata				

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	41.7	32	26
2	0.0	0.0	36.5	16	26
3	0.0	0.0	31.3	8	26

#### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	10 mm
Passo staffe:	10.0 cm
Staffe:	Una sola staffa chiusa perimetrale

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17    Lotto 11    Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002    Rev. A    Foglio 30 di 32

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-777.00	2259.00	0.00	1076.00	0.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	354.00	1126.00	0.00

### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	354.00	1126.00 (442.95)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	2.6 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.0 cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	-777.00	2259.00	0.00	-776.74	3280.78	0.00	1.45	297.3(23.6)

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Progetto IN17</td> <td style="text-align: center;">Lotto 11</td> <td style="text-align: center;">Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002</td> <td style="text-align: center;">Rev. A</td> <td style="text-align: center;">Foglio 31 di 32</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 31 di 32
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 31 di 32		

Xs min      Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min      Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max      Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max      Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max      Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	50.0	0.00266	0.0	41.7	-0.00581	0.0	-41.7

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d          Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45  
 C.Rid.      Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000101531	-0.001576552	----	----

#### VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:      10 mm  
 Passo staffe:      10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver            S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Ved          Taglio di progetto [kN] = proiezi. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
 Vcd          Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]  
 Vwd          Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
 d | z          Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]  
                 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
                 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw          Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
                 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg          Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw          Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast          Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff        Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
                 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
                 L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lungh.legat.proietta-  
                 ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	1076.00	1470.47	2680.33	77.2 66.4	90.7	2.500	1.000	16.6	41.2(0.0)

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver            S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max      Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max      Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min      Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min      Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff.      Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff.      Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	9.11	0.0	-50.0	-164.8	0.0	-41.7	1079	58.4

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	9.11	0.0	0.0	-164.8	0.0	-41.7	1079	58.4

#### COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.            La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
 e1              Esito della verifica  
                 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  			
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE</b>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 CL RI 06 0 2 002	Rev. A	Foglio 32 di 32

e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00096	0	0.500	26.0	70	0.00063 (0.00049)	320	0.20	442.95	0.00

Verifiche soddisfatte