

Decreto n.239/EL-146/181/2013 del 12 Marzo 2013

**Elettrodotto 380 kV doppia terna "S.E. Udine Ovest - S.E. Redipuglia"
ed opere connesse**

**Relazione di calcolo Fondazione Trivellata Sostegno ALdt36
Attraversamento Fiume Isonzo**

Studio Ing. Luciano Zuccolo Via S.Andrea 9 31100 Treviso	COMMITTENTE: TERNA RETE ITALIA SpA TITOLO ELABORATO: Relazione di calcolo Fondazione Trivellata Sostegno ALdt36 Attraversamento Fiume Isonzo	
---	---	--

Storia delle revisioni

Rev.	Data	Descrizione	Elaborato	Verificato
00	11/07/2014	Prima emissione	Ing. Zuccolo	Ing. Zuccolo



Luciano Zuccolo

Storia delle revisioni

Rev.	Data	Descrizione
Rev. 00	del 11/07/2014	Prima Emissione.

Elaborato		Verificato		Approvato
L. Zuccolo		S. Bisignano	D. Sperti	G. Paziienza
Studio Ing. Zuccolo		ING-REA-APRI-NE	ING-REA-APRI-NE	ING-REA-APRI-NE

Indice

1.	PREMESSA	3
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3.	NORMATIVA	5
4.	MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO	5
5.	CARICHI.....	5
6.	NATURA DEL TERRENO	6
7.	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
8.	VERIFICA DI STABILITA'.....	8
8.1	<i>Compressione e strappamento</i>	8
8.1.1	Portanza laterale.....	8
8.1.2	Portanza alla base	9
8.1.3	Calcolo della portanza critica e verifica di stabilità	9
8.2	<i>Carichi orizzontali</i>	10
9.	VERIFICHE STRUTTURALI.....	11
9.1	<i>Platea di base</i>	11
9.2	<i>Pilastro di supporto dei sostegni</i>	11
9.3	<i>Trivellati</i>	13

1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo si propone di verificare le opere di fondazione del seguente sostegno di attraversamento del Fiume Isonzo:

Impianto	Picchetti di riferimento dei sostegni
Linea 380 kV Udine Sud-Redipuglia	56

Lungo tutto lo sviluppo dell'impianto, ed in particolare in prossimità dei sostegni interessati, sono state eseguite delle appropriate indagini geognostiche.

Il sostegno, posizionato in alveo del Fiume Isonzo, è stato oggetto insieme ad altri posizionati nello stesso alveo ed in quello del Fiume Torre, di una dedicata Relazione di Compatibilità Idraulica (doc. RECR10001CGL00124) alla quale si rimanda per gli approfondimenti del caso.

A seguito delle analisi sviluppate dei documenti sopra citati e vista la particolare localizzazione dei sostegni, considerato anche il rischio di esondazione, è stato deciso di prevedere delle fondazioni costituite da un pilastro cilindrico in elevazione fino ad un livello di 50 cm superiore alla quota degli argini del fiume, collegato ad una platea di fondazione con la faccia superiore posizionata alla quota di potenziale scalzamento e collegata a sua volta ad una serie di 8 piloti trivellati del diametro di 1 m profondi 13 m.

La cui rappresentazione schematica è riportata nella figura seguente, dove sono indicate le quote di riferimento per ogni singolo sostegno.

Nei calcoli eseguiti è stata presa in considerazione, come raccomandato nella Relazione di Compatibilità Idraulica, una spinta dell'acqua sul pilastro superiore della struttura in condizioni di piena, conseguente ad una velocità assunta prudenzialmente di 5 m/s.

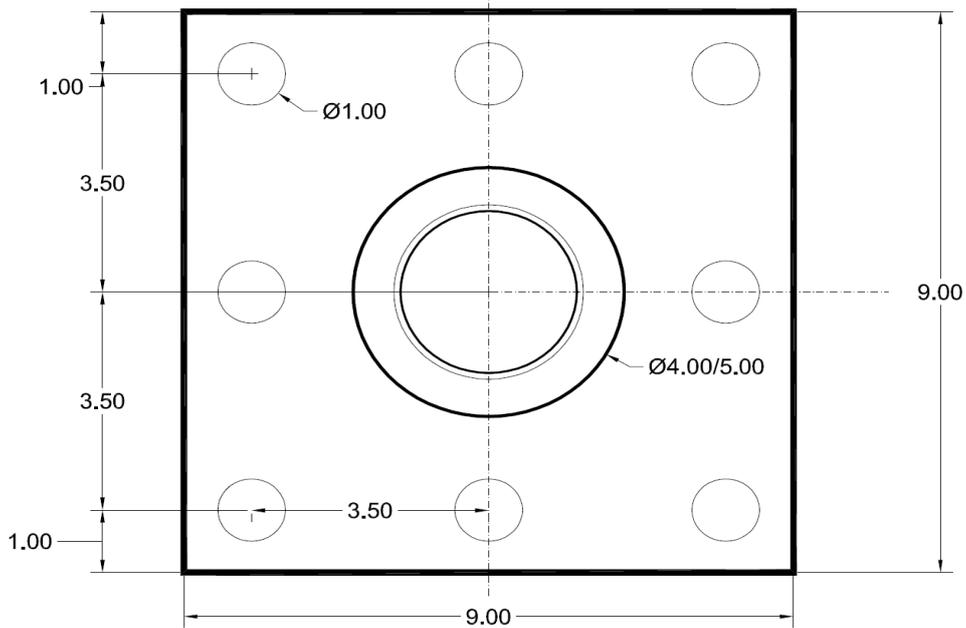
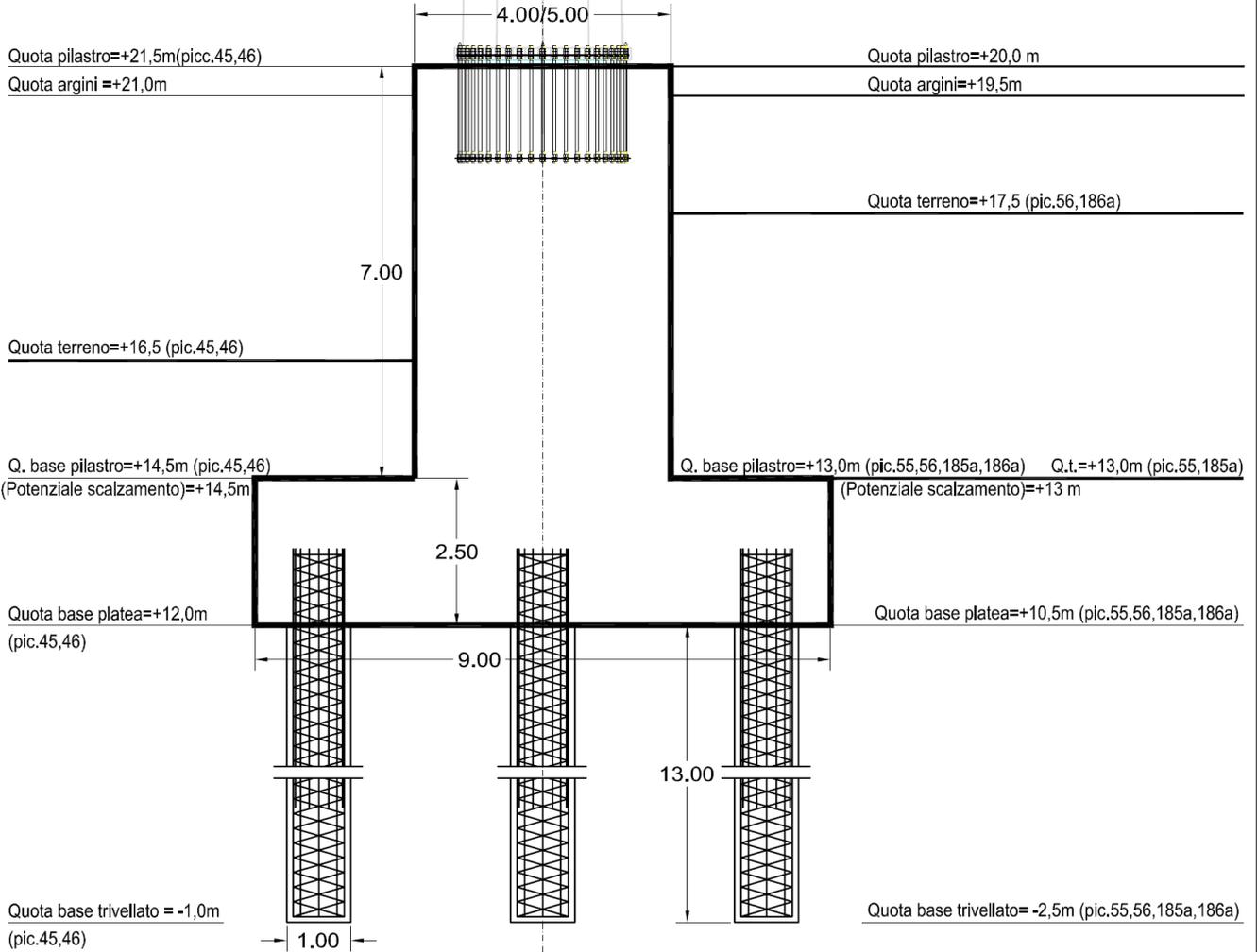
La forza agente è stata valutata con la seguente espressione:

$$F = \frac{1}{2} c \rho A v^2 \text{ (N)}$$

dove:	F:	forza =	26406 daN
	c:	coefficiente di forma =	0,65
	ρ :	densità del fluido =	1000 kg/m ³
	A:	superficie investita =	32,5 m ²
	v:	velocità =	5 m/s.

Quote di riferimento per i sostegni in alveo fiume TORRE

Quote di riferimento per i sostegni in alveo fiume ISONZO



2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- RELAZIONE GEOLOGICA: RECR10001CGL00098;
- PROVE PENETROMETRICHE: RECR10001CGL00105;
- SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO: RECR10001CGL00106;
- INDAGINI SISMICHE: RECR10001CGL00107;
- TABELLE DI ELABORAZIONE DEI RILIEVI GEOLOGICI: RECR10001CGL00108;
- RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA: RECR10001CGL00124;
- INTERPRETAZIONE GEOTECNICA DELLE INDAGINI ESEGUITE: RECR10001CGL00244;
- DISEGNO FONDAZIONE: RECR10001CGL00279;
- INSIEME PALO ALdt36: P045AL2167_02;
- CALCOLO PALO ALdt36: P045AL2187_01.

3. NORMATIVA

D.M. LL. PP. del 27 Marzo 1988, "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne";

D.M. LL. PP. del 5 Agosto 1998, "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne";

Legge 5/11/1971 N. 1086, "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato e precompresso ed a struttura metallica";

D.M. LL. PP. del 9 Gennaio 1996, " Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche";

4. MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO

Materiali

Calcestruzzo per opere di fondazione: C25/30;

Calcestruzzo per getti di sottofondazione: C12/15;

Barre d'armatura per cemento armato: B450C.

Resistenze di calcolo

Calcestruzzo C25/30:

flessione e pressoflessione: $\sigma_{cam} = 97,5 \text{ daN/cm}^2$;

taglio: $T_{cam} = 6,0 \text{ daN/cm}^2$;

Acciaio B450C: $\sigma_a = 2550 \text{ daN/cm}^2$.

5. CARICHI

I carichi trasmessi alle fondazioni sono stati ricavati dai calcoli del sostegno, che è del tipo ALdt di altezza utile 36 m.

Di seguito sono riportati i carichi nelle condizioni più significative, che producono le sollecitazioni totali massime (Mx+My) nei pali trivellati, i quali garantiscono la stabilità della fondazione nel suo complesso.

Sostegno tipo	Condizione (1)	Forza			Momento			
		Verticale N daN	Trasv. Tx daN	Long. Ty daN	Trasv. My daNm	Long. Mx daNm	Totale My+Mx daNm	Torcente Mz daNm
ALdt36	16N	104021	56037	19870	2346834	973630	3320464	85500
	5E	103333	60736	14740	2567852	720337	3288189	54606
	18E	124726	42877	8650	1920811	416118	2336929	0
	21S	124083	44883	9310	1769413	441307	2210721	0

(1) N= Normale con conduttori integri, E= Eccezionale con rottura conduttori, S= Sismica.

La condizione più gravosa risulta la 16N ed i carichi risultanti sono di lavoro, pertanto le verifiche verranno eseguite in accordo al metodo delle tensioni ammissibili.

6. NATURA DEL TERRENO

Si riportano di seguito le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati che verranno utilizzate nelle verifiche, ricavate dalle indagini eseguite e riportate anche nella Interpretazione Geotecnica (doc. RECR10001CGL00244).

Num.	Tipo	Allung.	Livello m	Peso kg/m ³	Angolo ϕ' °	Coesione Cu daN/cm ²	Livello falda m
56	ALdt	36	1,40-3,40	2050	37	-	4.80
			3,40-3,80	1920	28	-	
			3,80-20,00	2170	45	-	

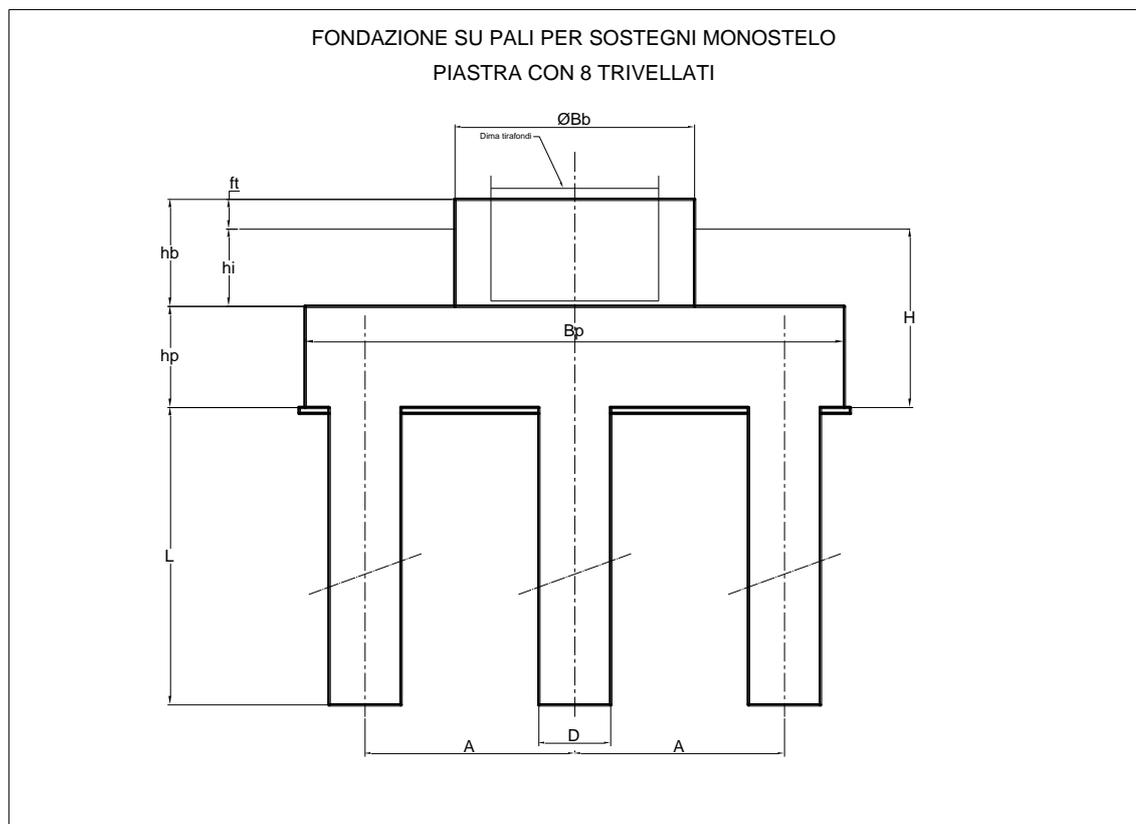
Viste le caratteristiche delle aree interessate ed in considerazione del rischio di esondazione considerato nei calcoli, è stato previsto che la falda possa raggiungere e superare il livello del piano di campagna.

7. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Lo schema generale della fondazione è riportato in figura, le dimensioni significative nella tabella seguente.

Dimensioni, volumi e pesi											
	Platea				Pali				Volumi mc	Pesi su base platea	
	Orizz.		Verticale		Numero N	Interasse A m	bracci carichi			Strapp. Vs daN	Compr. Vc daN
	m		m				Jx/y=Jy/x m	Jp/d m			
Scavo	Bp	9.00	H	2.50					202.50		
Blocco superiore	Bb	5.00	hb	7.00					137.44		
Platea	Bp	9.00	hp	2.50					202.50		
Fondazione									339.94	509917	849862
Terreno gravante									0.00	0	0
Pali	D	1.00	L	13.00	8	3.50	21.00	29.70	81.68		

Peso specifico dei materiali gravanti sulla base della platea (daN/mc)		
	Strapp.	Compr.
Terreno γ_t	600	1600
Fondazione γ_c	1500	2500



8. VERIFICA DI STABILITA'

Carichi applicati ai trivellati		Blocco superiore	Base platea		Pali			
			Strapp.	Compr.	Strappamento		Compressione	
					verticali	orizzont.	verticali	orizzont.
Azioni verticali	Fz daN	104021	613938	953883	76742		119235	
Azioni trasversali	Fx daN	56037	56037	56037		7005		7005
Azioni longitudinali	Fy daN	19870	19870	19870		2484		2484
Momento trasversale	My daNm	2346834	2879186	2879186	-137104		137104	
Momento longitudinale	Mx daNm	973630	1023306	1023306	-48729		48729	
Momento torcente	Mz daNm	85500	85500	85500				
Taglio da Momento torcente	Ft daN					2879		2879
Spinta dell'acqua:	Forza	F daN	26406			3301		3301
	Braccio	b m	5.75					
	Momento	M daNm		151836	151836	-7230		7230
Compressione	C daN						312299	
Strappamento	S daN				-116321			
Taglio risultante	R daN					13612		13612

8.1 Compressione e strappamento

La capacità portante dei trivellati rispetto ai carichi di compressione è costituita dalla somma di due componenti: la portanza di punta e quella laterale: $Q_c = Q_p + Q_l$, per quanto riguarda invece i carichi di strappamento la sola componente considerata è quella laterale $Q_s = Q_l$.

Per entrambe le verifiche verrà utilizzato un fattore di sicurezza $F_s = 2,5$.

8.1.1 Portanza laterale

La portanza laterale di un palo è data dalla somma della coesione del terreno e della resistenza per attrito del terreno e/o tra palo e terreno.

Portanza limite laterale dovuta alla coesione

$$Q_{lc} = \pi D H \alpha C_u$$

dove D è il diametro del palo, H la lunghezza del tratto interessato, C_u la coesione non drenata ed α un coefficiente che tiene conto del rimaneggiamento del terreno dovuto alle attività di infissione o di trivellazione.

Per pali trivellati il coefficiente α può essere valutato in funzione della coesione C_u mediante l'uso dei seguenti valori raccomandati dalla Associazione Geotecnica Italiana AGI (1984):

C_u (kg/cm ²)	α
< 0.25	0.9
0.25 – 0.75	0.8 – 0.4
> 0.75	0.4

Portanza limite laterale dovuta all'attrito

$$Q_{la} = \pi D H \beta \sigma'_{v0}$$

Dove D ed H hanno i medesimi significati della precedente espressione, mentre σ'_{v0} è la pressione efficace geostatica in corrispondenza del baricentro dello strato interessato e β è un coefficiente che tiene conto dei vari fattori che influenzano la resistenza laterale.

Verifica a compressione								
Carico applicato C daN	Peso palo Wc daN	Risultante C+Wc daN	Capacità			Coeff. di Sicurezza		
			laterale Ql daN	base Qp daN	totale Ql+Qp daN	η effettivo	richiesto	
312299	25525	337824	351021	553769	904790	2.68	2.50	Ok

8.2 Carichi orizzontali

Lo schema statico adottato per la determinazioni delle azioni applicate ai trivellati è quello di palo con testa impedita di ruotare.

Determinazione del momento massimo e verifica della pressione laterale sul suolo.

Momento massimo: $M = R T A_m + M_t B_m$

Pressione sul suolo: $p = (R T A_p / T + M_t B_p / T^2) / D$

dove: $T = (E J) / (n h)^{0,2}$: Fattore di rigidità;

D: diametro del trivellato;

A_m, B_m, A_p, B_p : Coefficienti in funzione del coeff. di profondità $Z = x/T$.

Picchetto N. 56

Modulo elastico E daN/cm ²	Momento inerzia J cm ⁴	Angolo ϕ' °	Peso specifico γ daN/m ³	Coeff. reazione kp	Rigidezza relativa nh daN/cm ³	Fattore rigidità T cm	Carichi applicati	
							Forza or. R daN	Momento Mt daNcm
200000	4908739	37	1050	4.02	0.50	287	13612	1451638

Momento massimo			
Coeff.	Coeff.	Profondità	Momento massimo
A_m	B_m	X_m cm	M daNcm
0.77	0.78	345	4126346

Pressione sul suolo							
Coeff. A_p	Coeff. B_p	Profondità X_p cm	Pressione		Coeff. di Sicurezza		
			effettiva p daN/cm ²	limite pl daN/cm ²	η effettivo	richiesto	
-0.97	-0.43	230	0.54	2.91	5.43	2.50	Ok

9. VERIFICHE STRUTTURALI

9.1 Platea di base

Il calcolo è stato eseguito considerando il momento flettente dovuto al carico massimo agente sul palo più sollecitato, moltiplicato per il numero di pali affiancati lungo un lato.

Il braccio di azione della mensola così concepita è stato assunto pari alla distanza tra gli assi dei trivellati ed una sezione posta cautelativamente all'interno del pilastro superiore di supporto del sostegno, ad una distanza dal centro della fondazione pari al 70% del raggio del pilastro.

Verifica platea					
Trivellato più Sollecitato		Numero trivellati per lato	Braccio m	Momento flettente	
Strapp. daN	Compr. daN			totale daNm	per m daNcm/m
-116321	312299	3	1.75	1639568	18217420

n/m	Armatura				Sezione			Asse neutro x cm	Distanza fra centri com/traz z cm	momento d'inerzia J cm ⁴	tensioni			
	diam.		sezione		coprif. di calcolo c cm	alt. totale hc cm	alt. utile d cm				largh. b cm	cls	acciaio	
	traz Ø1 mm	cmp Ø2 mm	A1 cm ²	A2 cm ²									teso σ _a daN/cm ²	compr. σ _{ac} daN/cm ²
6	28	28	36.95	36.95	9.5	250	240.5	100	42.71	226.26	24888069	31	2172	-365

Le tensioni nel calcestruzzo e nel ferro risultano entro i valori ammissibili.

9.2 Pilastro di supporto dei sostegni

Le verifiche sono state previste in corrispondenza sia dell'estradosso, che dell'intradosso dove momenti e carichi verticali si differenziano in modo significativo.

Le verifiche delle sezioni in c.a. sono state eseguite con il programma VcaSlu ver. 7.7 del 30/08/2011, sviluppato dal Prof. Piero Gelfi del Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Brescia.

Carichi applicati al pilastro								
Azioni	Estradosso				Intradosso			
	verticali daN	orizzontali daN	bracci m	momenti daNm	verticali daN	orizzontali daN	bracci m	momenti daNm
Sostegno	104021	59456			104021	59456	7.00	416190
				2540784				2540784
Pilastro					206167			
Acqua						26406.25	3.25	85820
Totali	104021	59456		2540784	310188	85862		3042795

Estradosso

Verifica C.A. S.L.U. - File: ALdt36_Estradosso_pilastro_P56

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. ?

Titolo: ALdt36, Estradosso pilastro, P.56, Fiume Isonzo

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 250 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 106
Diametro barre: 3 [cm]
Copriferro (baric.): 7.5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Sd}: -2185 1040.21 kN
M_{xSd}: 3768 25407.84 kNm
M_{ySd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

FeB44k C25/30

ϵ_{su} : 10 ‰ ϵ_{cu} : 3.5
 f_{yd} : 373.9 N/mm² f_{cd} : 15.63
 E_s : 200.000 N/mm² α : 0.85
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.870 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

σ_c : -4.469 N/mm²
 σ_s : 209.4 N/mm²

Vertici: 50
Verifica
N° iterazioni: 4

d: 492.4 cm
x: 119.6 x/d: 0.2428
 δ : 0.7435

Intradosso

Verifica C.A. S.L.U. - File: ALdt36_Intradosso_pilastro_P56

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. ?

Titolo: ALdt36, Intradosso pilastro, P.56, Fiume Isonzo

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 250 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 106
Diametro barre: 3 [cm]
Copriferro (baric.): 7.5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Sd}: -2185 3101.88 kN
M_{xSd}: 3768 30427.95 kNm
M_{ySd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

FeB44k C25/30

ϵ_{su} : 10 ‰ ϵ_{cu} : 3.5
 f_{yd} : 373.9 N/mm² f_{cd} : 15.63
 E_s : 200.000 N/mm² α : 0.85
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.870 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

σ_c : -5.281 N/mm²
 σ_s : 222.8 N/mm²

Vertici: 50
Verifica
N° iterazioni: 4

d: 492.4 cm
x: 129.3 x/d: 0.2626
 δ : 0.7683

Le tensioni nel calcestruzzo e nel ferro risultano entro i valori ammissibili.

Pressoflessione

Verifica C.A. S.L.U. - File: ALdt36_pressoinflesso_P56

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. ?

TITOLO : ALdt36. Trivellato pressoinflesso P.56, Fiume Isonzo

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 50 [cm]
Raggio interno: 0 [cm]
N° barre uguali: 22
Diametro barre: 2.8 [cm]
Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Sd}: -2185 3122.99 kN
 M_{xSd}: 3768 412.63 kNm
 M_{ySd}: 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

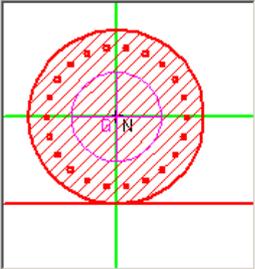
Materiali
 FeB44k C25/30
 ϵ_{su} : 10 ‰ ϵ_{cu} : 3.5
 f_{yd} : 373.9 N/mm² f_{cd} : 15.63
 E_s : 200,000 N/mm² α : 0.85
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.870 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

σ_c : -6.336 N/mm²
 σ_s : -9.833 N/mm²

Vertici: 50
Verifica

N° iterazioni: 4

d: 89.59 cm
 x: 99.93 x/d: 1.115
 δ : 1.000



Le tensioni nel calcestruzzo e nel ferro risultano entro i valori ammissibili.