

allegato n.

11.1.2

titolo abbreviato:

SP EX SS N 415 - LOTTO 3



PROVINCIA DI CREMONA
SETTORE INFRASTRUTTURE STRADALI

S.P. ex S.S. n. 415 "PAULLESE"
AMMODERNAMENTO TRATTO "CREMA-SPINO D'ADDA"

LOTTO N. 3 - "NUOVO PONTE SUL FIUME ADDA"
LAVORI DI RADDOPPIO DEL PONTE SUL FIUME ADDA
E DEI RELATIVI RACCORDI IN PROVINCIA DI CREMONA E LODI

1	revisione a seguito verifica UTP		FEBBRAIO 2016
0	prima emissione		DICEMBRE 2015
emissione	descrizione	disegnato	data emissione
livello: PROGETTO DEFINITIVO		codice CUP: G41B03000270002	
elaborato: O.A. N.1 - PONTE SUL FIUME ADDA FONDAZIONI E PALI RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE		codice: PS.NP.SF.02	
		allegato n.:	scala:
		11.1.2	
IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL PROGETTISTA GENERALE	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	data 27 MAG. 2016
(Ing. Fabio Scaroni) Ingegnere <i>Fabio Scaroni</i>	(Ing. Davide Pisana) <i>D. Pisana</i>	(Ing. Roberto Vanzini) <i>R. Vanzini</i>	
<small>Percorso file: U:\lavori\05\Projects\SS415\PONTE SPINO\Definitivo_CR\00_COPERTINE.dwg</small>			

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

S.P. CR ex S.S. 415"PAULLESE" : Ammodernamento tratto Crema - Spino d'Adda

LOTTO 3

**RELAZIONE DI CALCOLO FONDAZIONI E PALI DEL NUOVO PONTE SUL FIUME
ADDA**

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

1.	Introduzione	3
1.1	Generalità	3
1.2	Modelli di calcolo	7
2.	Normativa di riferimento	7
2.1	Normativa emessa dallo stato italiano	7
3.	Convenzioni generali	8
4.	Caratteristiche geometriche	8
5.	Caratteristiche dei materiali	8
5.1	Magrone	8
5.2	Calcestruzzo strutturale	8
5.3	Acciaio per cemento armato	9
6.	Durabilità della struttura	10
6.1	Copriferro minimo e copriferro nominale	10
6.2	Durabilità e prescrizioni sui materiali	10
7.	Carichi sollecitanti (valori di combinazione)	11
7.1.1	SPALLA MAGGIORMENTE SOLLECITATA (valevole per entrambe spalle)	12
7.1.1.1	Carichi verticali	12
7.1.1.2	Carichi orizzontali	13
7.1.1.3	Carichi sollecitanti dado di fondazione	13
7.1.2	PILE	15
7.1.2.1	Carichi verticali	15
7.1.2.2	Carichi orizzontali	16
7.1.2.3	Carichi sollecitanti dado di fondazione	16
8.	Verifica strutturale dadi di fondazione	18
8.1	Dadi fondazione spalle (mensola a monte ed a valle)	18
8.2	Dadi di fondazione Pile (mensola a monte ed a valle)	19
9.	Verifiche di portanza	23
9.1	Spalla A (mobile)	24
9.2	Spalla B (fissa)	25
9.3	Pile in alveo	26
10.	Verifiche strutturali dei pali	27
10.1	Pali Spalla A	28
10.2	Pali Spalla B	28
10.3	Pali Pile	33
11.	DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2008 (punto 10)	37

1. Introduzione

Oggetto del presente elaborato sono i calcoli relativi ai dadi di fondazione ed alle fondazioni profonde (pali) delle Spalle e delle Pile del Ponte sul fiume Adda a sezione composta acciaio - calcestruzzo da realizzarsi nell'ambito dei lavori ammodernamento della S.P. CR ex S.S. n. 415 "Paullese" - Ammodernamento tratto "Crema-Spino d'Adda" - Lotto n. 3 "Nuovo ponte sul fiume Adda"

1.1 Generalità

Le spalle sono previste a parete piena in calcestruzzo impostate su una fondazione costituita da una zattera in c.a. di elevata rigidità a sua volta fondata su n° 9 pali trivellati in c.a. del diametro pari a 1500 mentre per le pile i pali saranno 8 del diametro pari a 1500 mm

Le lunghezze dei pali sono le seguenti:

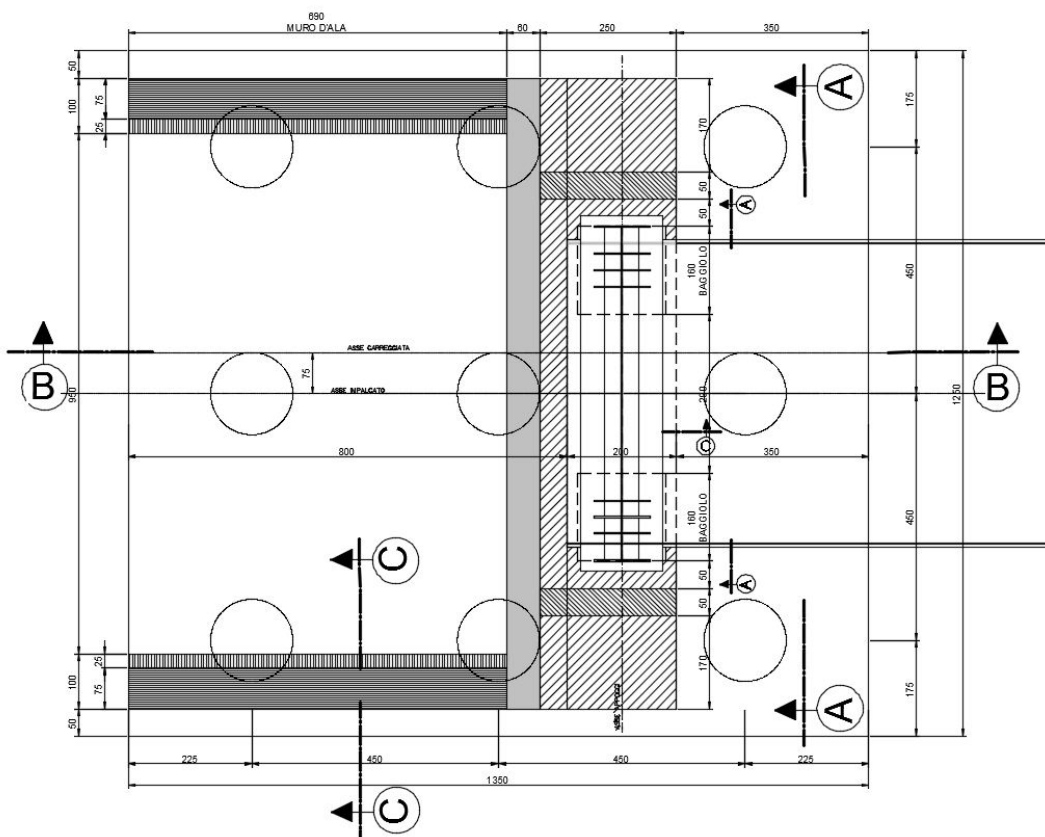
SPALLA A (lato milano) $L = 28.00$ mt

SPALLA B (lato CREMONA) $L = 30.00$ mt

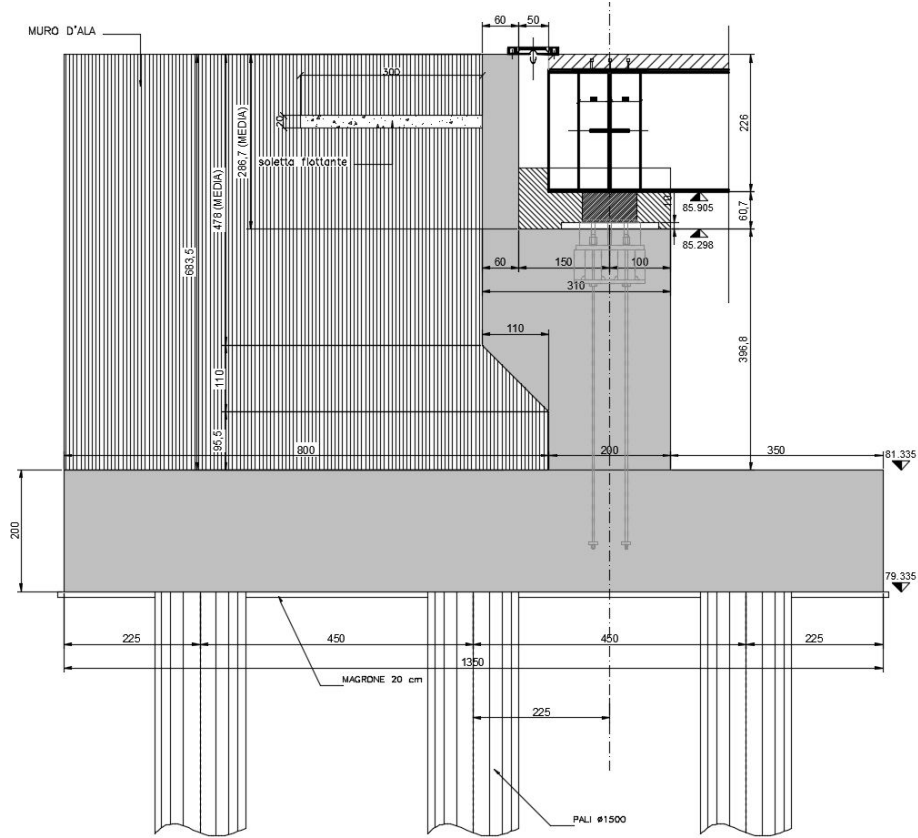
PILE IN ALVEO $L = 40.00$ mt

Entrambe le spalle sono dotate di una zattera a forma di parallelepipedo regolare così come le pile.

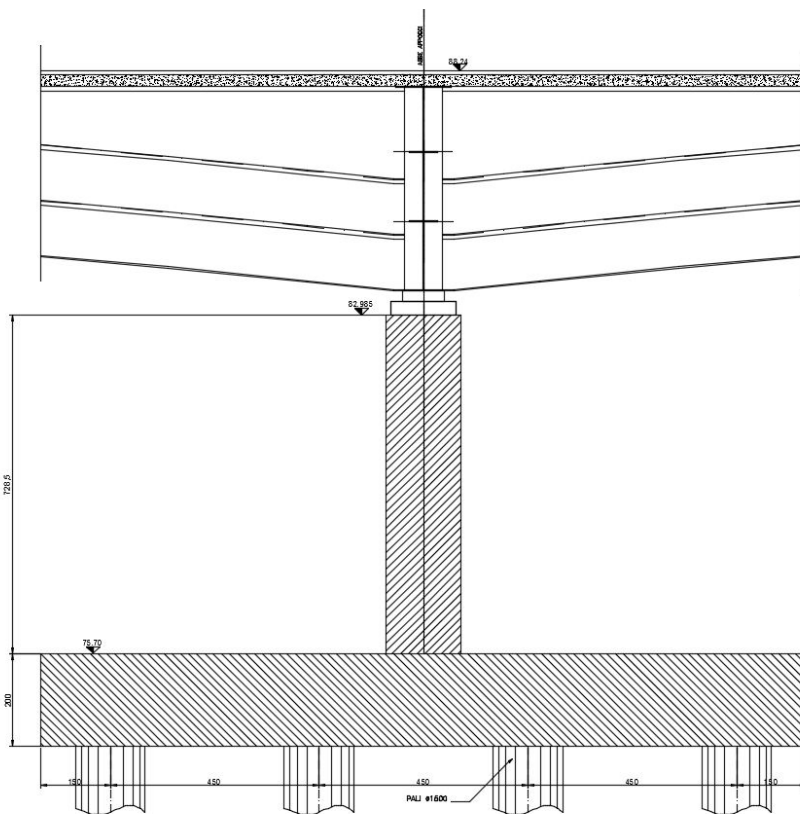
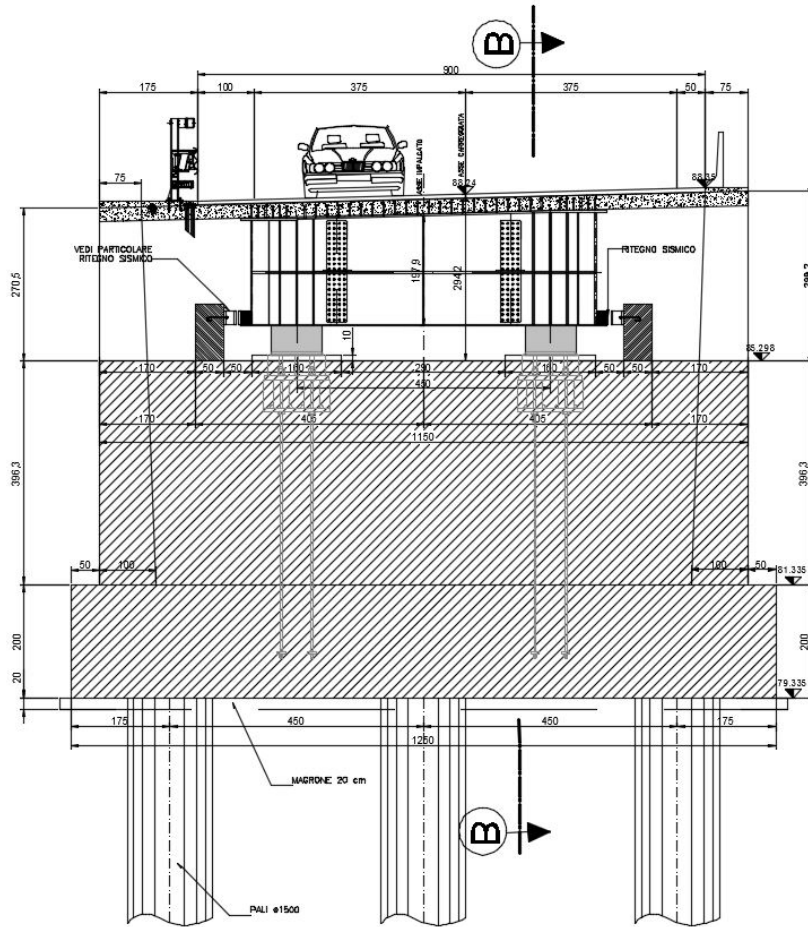
Le geometrie della struttura sono dettagliate negli appositi elaborati grafici. Qui di seguito, nelle illustrazioni via via riportate, si riportano le informazioni salienti.



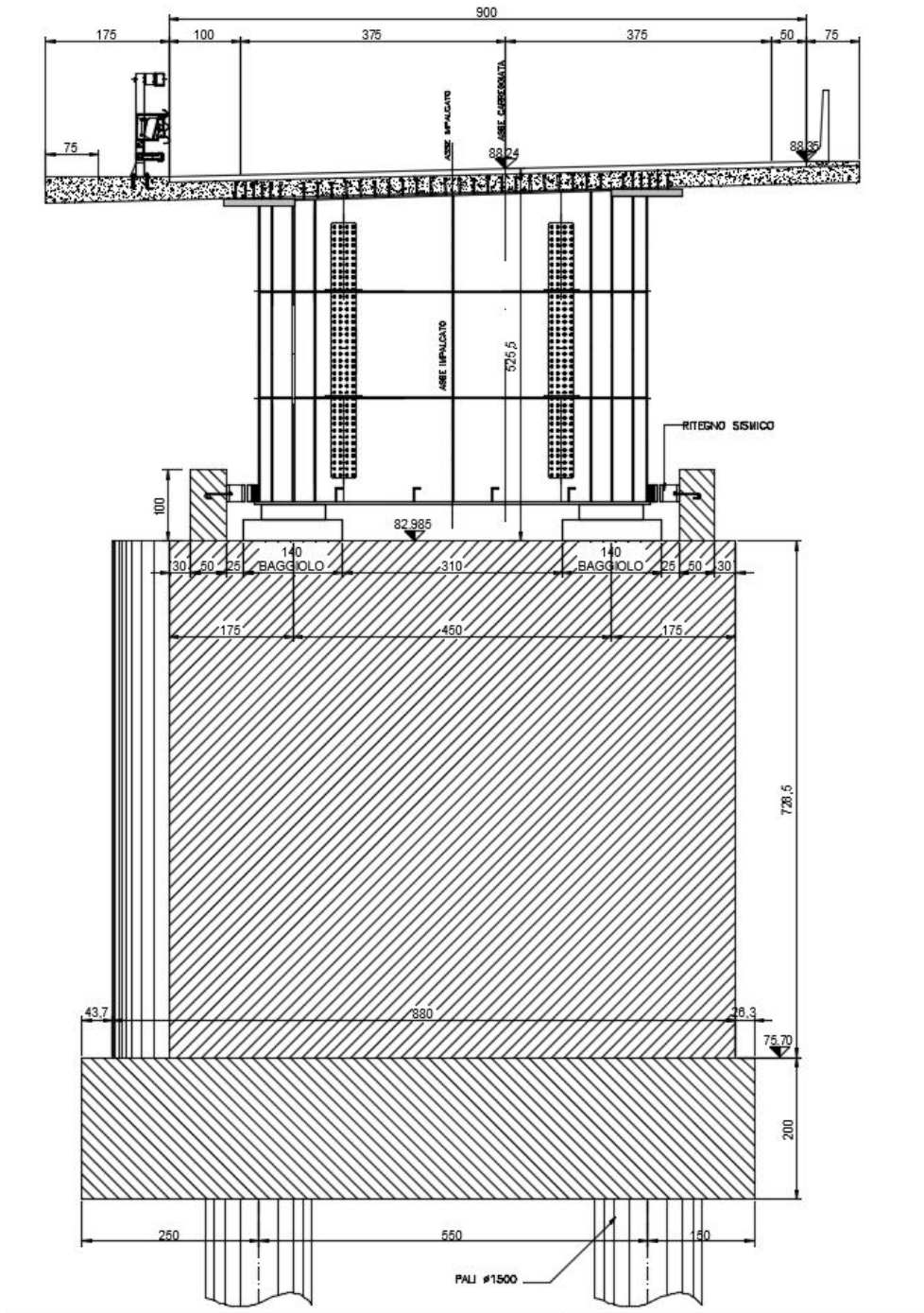
Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA



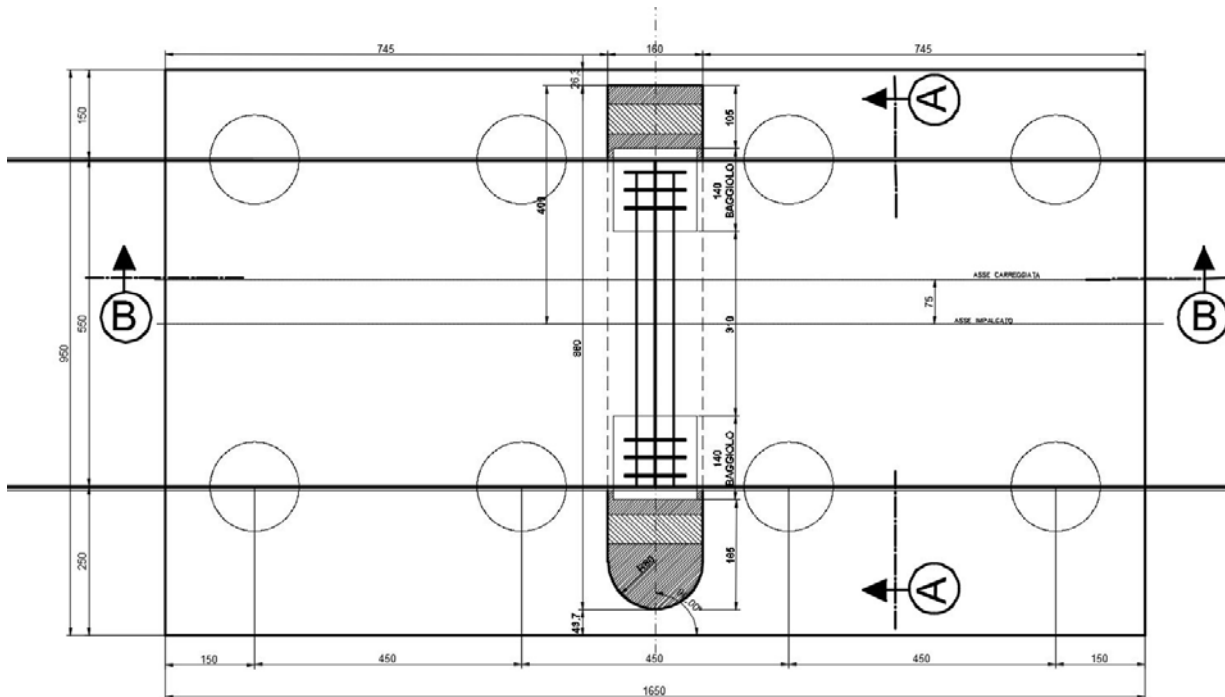
Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA



Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA



Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA



1.2 Modelli di calcolo

Per i modelli di calcolo delle spalle e delle pile si farà riferimento a quello di mensola semplicemente incastrata al piede; per il calcolo della fondazione si farà riferimento sempre ad un modello bidimensionale a mensola; per il calcolo della distribuzione del carico nei pali si assimila la fondazione ad un corpo rigido.

I pali verranno verificati soggetti sia a forze verticali che a forze orizzontali mediante un modello alla Winkler, Il calcolo geotecnico (portanza) dei pali di fondazione è riportato sulla relazione geotecnica alla quale si rimanda.

2. Normativa di riferimento

I calcoli sviluppati nel seguito sono stati svolti nello spirito del metodo "agli Stati Limite" e nel rispetto della normativa vigente; in particolare si sono osservate le prescrizioni contenute nelle seguenti:

2.1 Normativa emessa dallo stato italiano

Legge 05.11.1971 n. 1086 : "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";

Ministero delle infrastrutture e dei trasporti – D.M. 14/01/2008 : " Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"

Circolare 617 del 02/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

3. Convenzioni generali

Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

lunghezze: m

forze - coppie: kN - KNm

tensioni: MPa

Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le compressioni.

Convenzioni specifiche verranno riportate nel prosieguo della presente relazione.

Si farà riferimento, salvo se indicato diversamente, a sistemi di tipo cartesiano ortogonale in cui, in generale, si ha piano x-y-z, con x posto parallelo all'asse del ponte ed asse y verticale e z ortogonale.

Per quanto riguarda le azioni interne nell'impalcato, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

$V = F_z$ azione assiale

$L = F_y$ azione tagliante agente longitudinalmente all'asse del ponte

$T = F_x$ azione tagliante agente trasversalmente all'asse del ponte

$M_f = M_x$ momento flettente agente nel piano orizzontale

$M_{zz} = M_y$ momento flettente ortogonale a M_f

4. Caratteristiche geometriche

Si rimanda agli elaborati grafici facenti parte integrante del presente progetto.

5. Caratteristiche dei materiali

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

5.1 Magrone

Per il magrone di sottofondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo di classe C12/15.

5.2 Calcestruzzo strutturale

1) Per la realizzazione delle **fondazioni**, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe C28/35 che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cubica)	→	R_{ck}	= 35 MPa
Resistenza a compressione (cilindrica)	→	f_{ck}	= 28 MPa
Resistenza di calcolo a compressione	→	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 =$	15.9 MPa
Resistenza a trazione media	→	$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	= 2.77 MPa
Resistenza a trazione	→	$f_{ctk} = 0.7 * f_{ctm}$	= 1.94 MPa

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Resistenza a trazione di calcolo	→	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.29 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara)	→	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck}$	=16.80 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)		$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	=12.6 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara – Ferrovie)→		$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	=12.6 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi perm. – Ferrovie)		$\sigma_c = 0.4 * f_{ck}$	=11.2 MPa

2) Per la realizzazione dei **pali**, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe C25/30 che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cubica)	→	R_{ck}	= 30 MPa
Resistenza a compressione (cilindrica)	→	f_{ck}	= 25 MPa
Resistenza di calcolo a compressione	→	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$	
Resistenza a trazione media	→	$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	= 2.56 MPa
Resistenza a trazione	→	$f_{ctk} = 0.7 * f_{ctm}$	= 1.79 MPa
Resistenza a trazione di calcolo	→	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.20 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara)	→	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck}$	=15 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)		$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	=11.25 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara – Ferrovie)→		$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	=11.25 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi perm. – Ferrovie)		$\sigma_c = 0.4 * f_{ck}$	=10 MPa

5.3 Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento 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	→	f_{yk}	\geq	450	MPa
Tensione caratteristica a rottura	→	f_{tk}	\geq	540	MPa

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Fattore di sicurezza acciaio	→	$\gamma_s =$	1.15
Resistenza a trazione di calcolo	→	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	= 391.30 MPa
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)→		$\sigma_c =$	0.80* f_{yk} =360 MPa
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara – Ferrovie)→		$\sigma_c =$	0.65* f_{yk} =292.5 MPa

6. Durabilità della struttura**6.1 Copriferro minimo e copriferro nominale**

Ai fini 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: $c_{nom} = c_{min} + h$.

La tolleranza di posizionamento delle armature h , per le strutture gettate in opera, può essere assunta pari ad almeno 5 mm. Considerata la Classe di esposizione ambientale dell'opera, si adotta un copriferro minimo pari a:

50 mm per tutte le parti costituenti la struttura.

6.2 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:

<u>Fondazione</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XF3
<u>Pali</u>	CLASSE DI ESPOSIZIONE	XC2

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2,

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

	XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 4.1.III: Descrizione delle condizioni ambientali

Le fondazioni dei muri si trovano in condizioni ambientali *Ordinarie*, le elevazioni in condizioni *Aggressive*.

Nella tabella 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle condizioni ambientale e al tipo di armatura.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Tabella 4.1.IV: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

7. Carichi sollecitanti (valori di combinazione)

I carichi sono di 3 tipologie:

- scarichi agli appoggi (da relazione di calcolo impalcato a cui si rimanda) + pesi propri spalla e terreno su platea
- spinte delle terre.
- spinte idrauliche

I carichi al piede nelle combinazioni si ricavano dall'analisi globale del ponte (vedi relazione di calcolo spalle e pile) e sono di seguito qui riportati (valori di combinazione)

7.1.1 SPALLA MAGGIORMENTE SOLLECITATA (valevole per entrambe spalle)

GEOMETRIA PALIFICATA

Palo N°	x(m)	y(m)	diametro(m)
1	0,00	0,00	1,50
2	-4,50	0,00	1,50
3	4,50	0,00	1,50
4	0,00	4,50	1,50
5	-4,50	4,50	1,50
6	4,50	4,50	1,50
7	0,00	-4,50	1,50
8	-4,50	-4,50	1,50
9	4,50	-4,50	1,50

7.1.1.1 Carichi verticali

AZIONI VERTICALI (in kN) SUI SINGOLI PALI NELLE DIVERSE COMBINAZIONI

Palo N°	STR	STR	STR	STR	STR	GEO	SISMA	SISMA	SISMA	SLE 1	SLE 2	SLE 3
	COMBO	COMBO	COMBO	COMBO	COMBO		1	2	3			
	1	2	3	4	5							
1	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354
2	4091	4013	7519	7576	6656	6022	2793	2631	2893	4947	5486	5496
3	4402	4530	1461	1353	2215	867	3477	3657	3398	1607	1203	1213
4	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354
5	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354
6	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354
7	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354
8	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354
9	4246	4271	4490	4465	4435	3445	3135	3144	3146	3277	3344	3354

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

7.1.1.2 Carichi orizzontali

. SOLLECITAZIONI INTRADOSSO FONDAZIONE (valori relativi ad assi principali x,y)

combo	Fx(kN)	Fy(kN)	Fz(kN)	Mx(kN)	My(kN)
STR COMBO 1	1.103,40	6.751,86	38.222,10	9.199,43	1.410,57
STR COMBO2	1.839,00	6.751,86	38.447,70	8.579,03	2.350,95
STR COMBO 3	1.935,60	7.950,66	40.413,00	-4.078,29	-27.546,95
STR COMBO 4	1.197,00	7.950,66	40.188,60	-3.461,19	-28.294,88
STR COMBO 5	1.913,32	7.650,96	39.920,92	-911,90	-20.192,75
GEO	1.676,20	5.968,62	31.006,63	-2.540,85	-23.438,21
SISMA 1	2.146,25	37.892,25	28.222,83	-187.121,73	3.109,58
SISMA 2	2.435,35	26.913,45	28.302,83	-120.919,99	4.663,33
SISMA 3	2.152,55	37.895,05	28.314,73	-187.391,40	2.295,62
SLE 1	1.231,00	4.600,13	29.493,33	5.332,64	-15.186,32
SLE 2	2.030,60	4.600,13	30.104,13	3.652,94	-19.474,97
SLE 3	2.030,60	5.488,13	30.194,13	-1.966,96	-19.474,97

7.1.1.3 Carichi sollecitanti dado di fondazione

SOLLECITAZIONI MENSOLA DI VALLE

Combo	Mx(kNm)	Vz(kN)	mx(kNm/ml)	vz(kN/ml)
STR COMBO 1	8.690,72	8.606,32	695,26	688,51
STR COMBO2	8.784,72	8.681,52	702,78	694,52
STR COMBO 3	9.603,59	9.336,62	768,29	746,93
STR COMBO 4	9.510,09	9.261,82	760,81	740,95
STR COMBO 5	9.398,56	9.172,60	751,88	733,81
GEO	7.560,05	7.273,04	604,80	581,84
SISMA 1	6.400,14	6.345,11	512,01	507,61
SISMA 2	6.433,47	6.371,78	514,68	509,74
SISMA 3	6.438,43	6.375,74	515,07	510,06
SLE 1	6.929,51	6.768,61	554,36	541,49

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

SLE 2	7.184,01	6.972,21	574,72	557,78
SLE 3	7.221,51	7.002,21	577,72	560,18

SOLLECITAZIONI MENSOLA DI MONTE

Combo	Mx(kNm)	Vz(kN)	mx(kNm/ml)	vz(kN/ml)
STR COMBO 1	-14.539,99	-1.054,92	-1.163,20	-84,39
STR COMBO2	-14.013,59	-904,52	-1.121,09	-72,36
STR COMBO 3	-9.427,89	405,68	-754,23	32,45
STR COMBO 4	-9.951,49	256,08	-796,12	20,49
STR COMBO 5	-10.576,07	77,63	-846,09	6,21
GEO	-7.393,24	1.014,56	-591,46	81,16
SISMA 1	-10.979,97	-841,31	-878,40	-67,30
SISMA 2	-10.793,31	-787,98	-863,46	-63,04
SISMA 3	-10.765,54	-780,04	-861,24	-62,40
SLE 1	-8.015,47	5,69	-641,24	0,46
SLE 2	-6.590,28	412,89	-527,22	33,03
SLE 3	-6.380,28	472,89	-510,42	37,83

7.1.2 PILE**GEOMETRIA PALIFICATA**

Palo N°	x(m)	y(m)	diametro(m)
1	-3,25	2,25	1,50
2	-3,25	6,75	1,50
3	-3,25	-2,25	1,50
4	-3,25	-6,75	1,50
5	2,75	2,25	1,50
6	2,75	6,75	1,50
7	2,75	-2,25	1,50
8	2,75	-6,75	1,50

7.1.2.1 Carichi verticali**AZIONI VERTICALI (in kN) SUI SINGOLI PALI NELLE DIVERSE COMBINAZIONI**

Palo N°	STR	STR	STR	STR	STR	GEO	SISMA	SISMA	SISMA	SLE 1	SLE 2	SLE 3
	COMBO	COMBO	COMBO	COMBO	COMBO		1	2	3			
	1	2	3	4	5							
1	4688	4497	4953	5193	4808	3666	3338	3039	3346	3609	3560	3564
2	5097	4906	5363	5603	5218	3978	3651	3352	3658	3922	3873	3877
3	4278	4087	4544	4784	4399	3353	3026	2726	3033	3296	3247	3252
4	3869	3678	4134	4375	3989	3040	2713	2414	2720	2983	2934	2939
5	8007	8607	10222	9518	9883	7954	5888	6201	5894	7186	7976	7983
6	8417	9016	10631	9928	10293	8266	6201	6513	6207	7499	8289	8296
7	7598	8197	9812	9109	9474	7641	5575	5888	5582	6873	7663	7671
8	7188	7788	9403	8699	9064	7328	5263	5575	5269	6561	7351	7358

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

7.1.2.2 Carichi orizzontali

. SOLLECITAZIONI INTRADOSSO FONDAZIONE (valori relativi ad assi principali x,y)

combo	Fx(kN)	Fy(kN)	Fz(kN)	Mx(kN)	My(kN)
STR COMBO 1	1.253,70	1.890,47	49.146,84	-18.526,59	28.169,09
STR COMBO2	2.089,50	1.890,47	50.781,12	-18.526,59	37.394,42
STR COMBO 3	2.459,70	1.890,47	59.066,82	-18.526,59	49.445,40
STR COMBO 4	1.482,30	1.890,47	57.213,54	-18.526,59	38.405,64
STR COMBO 5	2.455,65	1.890,47	57.132,27	-18.526,59	47.566,68
GEO	2.131,50	1.444,14	45.229,80	-14.152,57	40.953,38
SISMA 1	1.206,80	1.444,14	35.658,80	-14.152,57	22.161,66
SISMA 2	2.016,00	1.444,14	35.712,80	-14.152,57	29.602,22
SISMA 3	1.251,60	1.444,14	35.712,80	-14.152,57	22.136,30
SLE 1	1.629,00	1.444,14	41.933,20	-14.152,57	33.113,82
SLE 2	2.382,40	1.444,14	44.897,40	-14.152,57	42.597,10
SLE 3	2.382,40	1.444,14	44.944,60	-14.152,57	42.620,70

7.1.2.3 Carichi sollecitanti dado di fondazione

SOLLECITAZIONI MENSOLA DI VALLE

Combo	Mx(kNm)	Vz(kN)	mx(kNm/ml)	vz(kN/ml)
STR COMBO 1	53.267,15	13.981,21	5.607,07	1.471,71
STR COMBO2	56.290,57	14.798,35	5.925,32	1.557,72
STR COMBO 3	71.619,11	18.941,20	7.538,85	1.993,81
STR COMBO 4	68.190,54	18.014,56	7.177,95	1.896,27
STR COMBO 5	68.040,19	17.973,92	7.162,13	1.891,99
GEO	55.965,96	14.806,76	5.891,15	1.558,61
SISMA 1	38.259,61	10.021,26	4.027,33	1.054,87
SISMA 2	38.359,51	10.048,26	4.037,84	1.057,71
SISMA 3	38.359,51	10.048,26	4.037,84	1.057,71
SLE 1	49.867,25	13.158,46	5.249,18	1.385,10
SLE 2	55.351,02	14.640,56	5.826,42	1.541,11
SLE 3	55.438,34	14.664,16	5.835,61	1.543,60

SOLLECITAZIONI MENSOLA DI MONTE

Combo	Mx(kNm)	Vz(kN)	mx(kNm/ml)	vz(kN/ml)
STR COMBO 1	37.463,25	10.705,79	3.943,50	1.126,93
STR COMBO2	40.486,67	11.522,93	4.261,76	1.212,94
STR COMBO 3	55.815,22	15.665,78	5.875,29	1.649,03
STR COMBO 4	52.386,65	14.739,14	5.514,38	1.551,49
STR COMBO 5	52.236,30	14.698,51	5.498,56	1.547,21
GEO	43.893,26	12.304,64	4.620,34	1.295,23
SISMA 1	26.186,91	7.519,14	2.756,52	791,49
SISMA 2	26.286,81	7.546,14	2.767,03	794,33
SISMA 3	26.286,81	7.546,14	2.767,03	794,33
SLE 1	37.794,55	10.656,34	3.978,37	1.121,72
SLE 2	43.278,32	12.138,44	4.555,61	1.277,73
SLE 3	43.365,64	12.162,04	4.564,80	1.280,22

Considerato lo schema di vincolo i momenti nella direzione longitudinale (Mx) del ponte sono dovuti esclusivamente alle spinte idrauliche che sono sempre state considerate (sia in fase sismica che SLU che SLE) sempre dovute a quelle del fiume in piena a notevole favore di sicurezza.

8. Verifica strutturale dadi di fondazione

8.1 Dadi fondazione spalle (mensola a monte ed a valle)

Si considera una striscia unitaria armata mediante 1Φ26/20" sia inferiori che superiori e ripartizioni 1Φ20/20" sia inferiori che superiori.

Di seguito si riportano le verifiche

METODO DI CALCOLO: Stati limite; NORMATIVA: Norme Tecniche per le Costruzioni 2008;
ELEMENTO COSTR.: ZATTERA FONDAZIONE SPALLA; POSIZ. SEZIONE: in zona critica;
CARICO CONC.: si.
ARMATURA INFERIORE A TAGLIO: no; ECCENTRICITA' AGGIUNTIVA: no;
TRASL. MOMENTO FLETT.: no; SENZA STAFFE: NO; CONSIDERA SOLO STAFFE: SI;
COND. AMBIENTALI: ordinarie; SENSIBILITA' ARMATURE: poco sensibili.

MATERIALI:
Conglomerato cementizio: Rck=35.00;
GammaC: 1.50
Acciaio barre: B450C
GammaS: 1.15

FORMA DELLA SEZIONE: RETTANGOLARE
Base: B = 100.00 cm; Altezza: H = 200.00 cm
Rotazione: rot = 0.00 gradi sess.
Area totale acciaio: Af = 53.09 cmq
Copriferro: c = 5.00 cm

GEOMETRIA DELLE MASSE SEZIONE IN CALCESTRUZZO:
Area: Acls = 20000.00 cmq; Baricentro: XgCls = -0.00 cm; YgCls = 0.00 cm
Momenti d'inerzia: Jx = 66666666.67 cm⁴; Jy = 16666666.67 cm⁴; Jxy = 0.00 cm⁴;
Momenti principali d'inerzia: Jcsi = 66666666.67 cm⁴; Jeta = 16666666.67 cm⁴;
Angolo tra l'asse principale d'inerzia csi e l'asse x: Theta = -0.00 rad;

COMBINAZIONI DI CARICO:
Azione normale (positiva se di compressione).
Azioni rispetto x e y baricent. paralleli agli assi x e y (unita' N, N*m).

Combinazioni stati limite ultimi:

comb.	N	Mx	Tx	My	Ty	Mt
1	0.00	760810.00	0.00	0.00	740950.00	0.00
2	0.00	-1163200.00	0.00	0.00	-84390.00	0.00

Combinazioni rare:

comb.	N	Mx	My
1	0.00	577720.00	0.00
2	0.00	-641240.00	0.00

Combinazioni frequenti:

comb.	N	Mx	My
1	0.00	574720.00	0.00
2	0.00	-641240.00	0.00

Combinazioni quasi permanenti:

comb.	N	Mx	My
1	0.00	554360.00	0.00
2	0.00	-510420.00	0.00

VERIFICA PRESSO-TENSOFLESSIONE (comb. di carico N.ro 2):

Equaz. asse neutro ax+by+c=0 : a=-0.000000; b=-2000.000000; c=-184853.530454
Angolo asse neutro-asse x : alfa= -180.00000 gradi sessadec. in senso antiorario

(Deformazioni a rottura, valore positivo se di accorciamento)

Sezione parzializzata

Deformazione massima cls: epsilon c = 2.7465 / 1000
Deformazione massima acciaio: epsilon f = -67.5000 / 1000
Deformazione minima acciaio: epsilon f' = 0.4617 / 1000

Azioni sollecitanti rispetto agli assi principali d'inerzia:

NS=0.00; MxiS=-1163200.00; MyiS=0.00; TxiS=0.00; TyiS=-84390.00

Azioni resistenti a rottura rispetto agli assi principali d'inerzia:

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

NR= 1.58 N; MxiR= -2239840.65 N*m; MyiR= 0.00 N*m

Fattore di sicurezza SLU ad eccentricita' M/N costante : Resistenza/Sicurezza = 1.9256 > 1
VERIFICA POSITIVAVALORI DI DELTA (p 4.1.1.1 NTC2008) (x/d= 0.039)
Delta = 0.44 + 1.25*(0.6 + 0.0014/epsCu)*x/d = 0.489VERIFICA QUANTITA' ARMATURA LONGITUDINALE (AfTot=53.09 cmq; AreaCls=20000.00 cmq)
Armatura tesa (comb. 1): Aft=26.55 cmq > 0.26*fctm*bt*d/fyk=31.07 cmq
Aft=26.55 cmq > 0.0013*bt*d=25.18 cmq
con: bt=100.00 cm; d=193.70 cm
Aftesa max (comb. 1)=26.55 cmq e Afcompr max (comb. 1)=26.55 cmq < 0.04*AreaCls=800.00 cmq
VERIFICHE POSITIVEVERIFICA TRINCIAMENTO BARRE
Comb. N.: 1; Taglio=740950.00 N; TauMaxTr=Taglio/Af=139.557 < fyd=391.300 MPa
VERIFICA POSITIVAVERIFICHE TAGLIO comb. n.ro: 1; (fcd=16.460, fctd=1.320, fck=29.050 in MPa)
VEd=740950.00 N; d=193.70 cm; bw=100.00 cm, alfa_c=1.0000, cot(theta)=2.5000,
Asw/s progettata=4.55 cmq/m
VRcd= 0.9*bw*d*alfa_c*fcd*0.5*(cot(90)+cot(theta)/(1+cot(theta)^2)) = 4947365.17 N
VRsd= 0.9*d*(Asw/s)*fyd_st*(cot(90) + cot(theta))*sin(90) = 740950.00 N
VEd < min(VRsd, VRcd) -> VERIFICA POSITIVAVERIFICHE S.L.E.: TENSIONI (fck = 29.050 MPa)
Comb. rara n.ro 2: Tens. cls= 0.887 < 0.600*fck = 17.430 MPa
Comb. rara n.ro 2: Tens. acciaio= -12.236 > -0.800*fyk = -360.000 MPa
Comb. q. per. n.ro 1: Tens. cls= 0.767 < 0.450*fck = 13.072 MPa
VERIFICHE POSITIVEVERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE
Comb. freq. n.ro 2: Tens. min. cls= -0.887 MPa; fc=fcfm=-3.400 MPa, fcfk=-2.380 MPa
wk=1.7*srm*esm=0.0000 mm < w3=0.4 mm VERIFICA POSITIVAComb. q. per. n.ro 1: Tens. min. cls= -0.767 MPa; fc=fcfm=-3.400 MPa, fcfk=-2.380 MPa
wk=1.7*srm*esm=0.0000 mm < w2=0.3 mm VERIFICA POSITIVA

VERTICI SEZIONE:

Nv	X (cm)	Y (cm)	epsilon c x 1000
1	-50.00	-100.00	2.75
2	-50.00	100.00	-69.78
3	50.00	100.00	-69.78
4	50.00	-100.00	2.75

ARMATURA SEZIONE:

Nf	X (cm)	Y (cm)	diametro(mm)	epsilon f x 1000
1	43.70	-93.70	26.00	0.46
2	21.85	-93.70	26.00	0.46
3	0.00	-93.70	26.00	0.46
4	-21.85	-93.70	26.00	0.46
5	-43.70	-93.70	26.00	0.46
6	-43.70	93.70	26.00	-67.50
7	-21.85	93.70	26.00	-67.50
8	-0.00	93.70	26.00	-67.50
9	21.85	93.70	26.00	-67.50
10	43.70	93.70	26.00	-67.50

INTERSEZIONI TRA ASSE NEUTRO E PROFILO DELLA SEZIONE :

Ni	X (cm)	Y (cm)
1	-50.00	-92.43
2	50.00	-92.43

8.2 Dadi di fondazione Pile (mensola a monte ed a valle)

Si considera una striscia unitaria armata mediante 1Φ26/10" sia inferiori che superiori con copriferro pari a 5 cm ed un ulteriore strato costituito da 1Φ26/10" sia inferiori che superiori con copriferro pari a 20 cm e

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

ripartizioni $\Phi 20/20$ " sia inferiori che superiori. Le ripartizioni verranno collegate da uncini $\Phi 20$ in modo tale da formare una staffatura diffusa sulla fondazione

Di seguito si riportano le verifiche

METODO DI CALCOLO: Stati limite; NORMATIVA: Norme Tecniche per le Costruzioni 2008;
ELEMENTO COSTR.: FONDAZIONE PILA; POSIZ. SEZIONE: fuori dalla zona critica; CARICO CONC.: SI.
ARMATURA INFERIORE A TAGLIO: no; ECCENTRICITA' AGGIUNTIVA: no;
TRASL. MOMENTO FLETT.: no; SENZA STAFFE: no; CONSIDERA SOLO STAFFE: no;
COND. AMBIENTALI: ordinarie; SENSIBILITA' ARMATURE: poco sensibili.

MATERIALI:
Conglomerato cementizio: Rck=35.00;
GammaC: 1.50
Acciaio barre: B450C
GammaS: 1.15

FORMA DELLA SEZIONE: RETTANGOLARE
Base: B = 100.00 cm; Altezza: H = 200.00 cm
Rotazione: rot = 0.00 gradi sess.
Area totale acciaio: Af = 212.37 cmq
Copriferro primo strato.....: c = 5.00 cm
Copriferro secondo strato.....: c = 20.00 cm

GEOMETRIA DELLE MASSE SEZIONE IN CALCESTRUZZO:
Area: Acls = 20000.00 cmq; Baricentro: XgCls = -0.00 cm; YgCls = 0.00 cm
Momenti d'inerzia: Jx = 66666666.67 cm⁴; Jy = 16666666.67 cm⁴; Jxy = 0.00 cm⁴;
Momenti principali d'inerzia: Jcsi = 66666666.67 cm⁴; Jeta = 16666666.67 cm⁴;
Angolo tra l'asse principale d'inerzia csi e l'asse x: Theta = -0.00 rad;

COMBINAZIONI DI CARICO:
Azione normale (positiva se di compressione).
Azioni rispetto x e y baricent. paralleli agli assi x e y (unita' N, N*m).

Combinazioni stati limite ultimi:

comb.	N	Mx	Tx	My	Ty	Mt
1	0.00	7538850.00	0.00	0.00	1993810.00	0.00
2	0.00	5875290.00	0.00	0.00	1649030.00	0.00

Combinazioni rare:

comb.	N	Mx	My
1	0.00	5835610.00	0.00
2	0.00	4564800.00	0.00

Combinazioni frequenti:

comb.	N	Mx	My
1	0.00	5826420.00	0.00
2	0.00	4555610.00	0.00

Combinazioni quasi permanenti:

comb.	N	Mx	My
1	0.00	5249180.00	0.00
2	0.00	3978370.00	0.00

VERIFICA PRESSO-TENSOFLESSIONE (comb. di carico N.ro 1):
Equaz. asse neutro ax+by+c=0 : a=0.000000; b=2000.000000; c=-161761.603594
Angolo asse neutro-asse x : alfa= 0.00000 gradi sessadec. in senso antiorario

(Deformazioni a rottura, valore positivo se di accorciamento)

Sezione parzializzata
Deformazione massima cls: epsilon c = 3.5000 / 1000
Deformazione massima acciaio: epsilon f = -31.9591 / 1000
Deformazione minima acciaio: epsilon f' = 2.3467 / 1000

Azioni sollecitanti rispetto agli assi principali d'inerzia:
NS=0.00; MxiS=7538850.00; MyiS=0.00; TxiS=0.00; TyiS=1993810.00
Azioni resistenti a rottura rispetto agli assi principali d'inerzia:
NR= -9.06 N; MxiR= 7946169.29 N*m; MyiR= -0.00 N*m

Fattore di sicurezza SLU ad eccentricita' M/N costante : Resistenza/Sicurezza = 1.0540 > 1
VERIFICA POSITIVA

VALORI DI DELTA (p 4.1.1.1 NTC2008) (x/d= 0.099)
Delta = 0.44 + 1.25*(0.6 + 0.0014/epsCu)*x/d = 0.563

VERIFICA QUANTITA' ARMATURA LONGITUDINALE (AfTot=212.37 cmq; AreaCls=20000.00 cmq)

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Armatura tesa (comb. 1): $A_{ft}=159.28 \text{ cmq} > 0.26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk} = 31.07 \text{ cmq}$
 $A_{ft}=159.28 \text{ cmq} > 0.0013 \cdot b_t \cdot d = 25.18 \text{ cmq}$
 con: $b_t=100.00 \text{ cm}$; $d=193.70 \text{ cm}$
 $A_{ftesa \text{ max}} \text{ (comb. 1)}=159.28 \text{ cmq}$ e $A_{fcompr \text{ max}} \text{ (comb. 1)}=53.09 \text{ cmq} < 0.04 \cdot Area_{cls}=800.00 \text{ cmq}$
 VERIFICHE POSITIVE

VERIFICA TRINCIAMENTO BARRE

Comb. N.: 1; Taglio=1993810.00 N; $\tau_{MaxTr}=\text{Taglio}/A_f=93.883 < f_{yd}=391.300 \text{ MPa}$
 VERIFICA POSITIVA

VERIFICHE TAGLIO comb. n.ro: 1; ($f_{cd}=16.460$, $f_{ctd}=1.320$, $f_{ck}=29.050$ in MPa)
 $V_{Ed}=1993810.00 \text{ N}$; $d=193.70 \text{ cm}$; $b_w=100.00 \text{ cm}$, $\alpha_c=1.0000$, $\cot(\theta)=2.5000$,
 $A_{sw/s} \text{ progettata}=12.24 \text{ cmq/m}$
 $VR_{cd}=0.9 \cdot b_w \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot 0.5 \cdot (\cot(90) + \cot(\theta)) / (1 + \cot(\theta)^2) = 4947365.17 \text{ N}$
 $VR_{sd}=0.9 \cdot d \cdot (A_{sw/s}) \cdot f_{yd} \cdot \sin(\theta) = 1993810.00 \text{ N}$
 $V_{Ed} < \min(VR_{sd}, VR_{cd})$ -> VERIFICA POSITIVA

VERIFICHE S.L.E.: TENSIONI ($f_{ck} = 29.050 \text{ MPa}$)

Comb. rara n.ro 1: Tens. cls= $8.896 < 0.600 \cdot f_{ck} = 17.430 \text{ MPa}$
 Comb. rara n.ro 1: Tens. acciaio= $-337.901 > -0.800 \cdot f_{yk} = -360.000 \text{ MPa}$
 Comb. q. per. n.ro 1: Tens. cls= $8.002 < 0.450 \cdot f_{ck} = 13.072 \text{ MPa}$
 VERIFICHE POSITIVE

VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. cls= -6.538 MPa ; $f_c=f_{cfm}=-3.400 \text{ MPa}$, $f_{cfk}=-2.380 \text{ MPa}$
 $c=5.00 \text{ cm}$; $A_{ceff}=3800.58 \text{ cmq}$; $A_s=106.19 \text{ cmq}$; $r_o=A_s/A_{ceff}=0.027939$; $s=9.71 \text{ cm}$
 $f_i=2.60 \text{ cm}$; $k_2=0.4000$; $k_3=0.1250$; $s_{rm}=16.5952 \text{ cm}$; $\zeta=0.86477$
 $\sigma_{mat}=-6.538 \text{ MPa}$; $\sigma_s=-337.369 \text{ MPa}$; $\beta_{e1}=1.00$; $\beta_{e2}=0.50$; $e_{sm}=0.001416$
 $w_k=1.7 \cdot s_{rm} \cdot e_{sm}=0.3995 \text{ mm} < w_3=0.4 \text{ mm}$ VERIFICA POSITIVA

posto (per gli altri simboli vedere la normativa):

$$\zeta = 1 - \beta_{e1} \cdot \beta_{e2} \cdot (f_c / \sigma_{mat})^2$$

σ_{mat} : tensione max di trazione nel conglomerato con sezione interamente reagente e resistente a trazione

c: valore del copriferro inserito dall'utente

PROGETTO PASSO STAFFE. (N.ro bracci: $N_b=2$, Area singola staffa: $A_{ls}=0.5027 \text{ cmq}$)

N.B. I bracci considerati sono quelli delle staffe dell'anima aventi l'angolo, con l'asse ort. all'asse neutro, inferiore a 45 gradi

Area staffe per il taglio (Comb. n.ro 1) ($f_{ydSt}=373.910 \text{ MPa}$)

$V_{Ed}=1993810.00 \text{ N}$; $d=193.70 \text{ cm}$; $b_w=100.00 \text{ cm}$, $\cot(\theta)=2.5000$

da $V_{Ed}=0.9 \cdot d \cdot (A_{sw/s}) \cdot f_{ydSt} \cdot \cot(\theta)$ si ottiene: $A_{sw/s}=12.24 \text{ cmq/m}$

$$s = 100 \cdot N_b \cdot A_{ls} / A_{sw} = 8.22 \text{ cm}$$

Per le travi: $A_{st}=0.15 \cdot b_w = 15.00 \text{ cmq/m}$

$$s \leq N_b \cdot A_{ls} / A_{st} = 6.70 \text{ cm}$$

$$s \leq 0.8 \cdot h_{utile} = 0.8 \cdot 193.70 = 154.96 \text{ cm}$$

$$s \leq 33 \text{ cm}$$

Armatura staffe adottata: $A_s=15.71 \text{ cmq/m}$ -> 1 Ø 20 a 2 bracci ogni 40 cm

VERTICI SEZIONE:

Nv	X (cm)	Y (cm)	epsilon c x 1000
1	-50.00	-100.00	-33.11
2	-50.00	100.00	3.50
3	50.00	100.00	3.50
4	50.00	-100.00	-33.11

ARMATURA SEZIONE:

Nf	X (cm)	Y (cm)	diametro(mm)	epsilon f x 1000
1	43.70	-93.70	26.00	-31.96
2	33.99	-93.70	26.00	-31.96
3	24.28	-93.70	26.00	-31.96
4	14.57	-93.70	26.00	-31.96
5	4.86	-93.70	26.00	-31.96
6	-4.86	-93.70	26.00	-31.96
7	-14.57	-93.70	26.00	-31.96
8	-24.28	-93.70	26.00	-31.96
9	-33.99	-93.70	26.00	-31.96
10	-43.70	-93.70	26.00	-31.96
11	-43.70	93.70	26.00	2.35
12	-33.99	93.70	26.00	2.35
13	-24.28	93.70	26.00	2.35
14	-14.57	93.70	26.00	2.35
15	-4.86	93.70	26.00	2.35
16	4.86	93.70	26.00	2.35
17	14.57	93.70	26.00	2.35

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

18	24.28	93.70	26.00	2.35
19	33.99	93.70	26.00	2.35
20	43.70	93.70	26.00	2.35
21	-43.70	-80.00	26.00	-29.45
22	43.70	-80.00	26.00	-29.45
23	-33.99	-80.00	26.00	-29.45
24	-24.28	-80.00	26.00	-29.45
25	-14.57	-80.00	26.00	-29.45
26	-4.86	-80.00	26.00	-29.45
27	4.86	-80.00	26.00	-29.45
28	14.57	-80.00	26.00	-29.45
29	24.28	-80.00	26.00	-29.45
30	33.99	-80.00	26.00	-29.45
31	-43.70	80.00	26.00	-0.16
32	43.70	80.00	26.00	-0.16
33	-33.99	80.00	26.00	-0.16
34	-24.28	80.00	26.00	-0.16
35	-14.57	80.00	26.00	-0.16
36	-4.86	80.00	26.00	-0.16
37	4.86	80.00	26.00	-0.16
38	14.57	80.00	26.00	-0.16
39	24.28	80.00	26.00	-0.16
40	33.99	80.00	26.00	-0.16

INTERSEZIONI TRA ASSE NEUTRO E PROFILO DELLA SEZIONE :

Ni	X (cm)	Y (cm)
1	-50.00	80.88
2	50.00	80.88

9. Verifiche di portanza

Le portate dei pali sono vengono di seguito riassunte nei vari casi (per il calcolo analitico si veda la relazione geotecnica allegata al presente progetto)

SPALLA A

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

$$R_d = R_{ck}/\gamma = 9168/1+5044/1 = \mathbf{14212 \text{ KN}}$$

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

$$R_d = R_{ck}/\gamma_R = 9168/1.7+5044/1.45 = \mathbf{8871 \text{ KN}}$$

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

$$R_d = R_{ck}/\gamma_R = 9168/1.35+5044/1.15 = \mathbf{11177 \text{ KN}}$$

SPALLA B

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

$$R_d = R_{ck}/\gamma = 7305/1+6572/1 = \mathbf{13877 \text{ KN}}$$

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

$$R_d = R_{ck}/\gamma_R = 7305/1.7+6572/1.45 = \mathbf{8829 \text{ KN}}$$

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

$$R_d = R_{ck}/\gamma_R = 7305/1.35+6572/1.15 = \mathbf{11126 \text{ KN}}$$

PILE

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

$$R_d = R_{ck}/\gamma = 8962/1+10232/1 = \mathbf{19194 \text{ KN}}$$

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

$$R_d = R_{ck}/\gamma_R = 8962/1.7+10232/1.45 = \mathbf{12328 \text{ KN}}$$

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

$$R_d = R_{ck}/\gamma_R = 8962/1.35+10232/1.15 = \mathbf{15536 \text{ KN}}$$

9.1 Spalla A (mobile)

Si assumono i valori di sollecitazione della Spalla B (dimensionante) a favore della sicurezza

Per il palo maggiormente sollecitato si ha:

STR (slu e sisma) palo 2 combo STR 4 $V=Fz= 7576 \text{ KN}$

GEO palo 2 $V=Fz= 6022 \text{ KN}$

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 7576 + 1.3 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 28 \cdot (25 - 10) = \mathbf{8541 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma = 9168 / 1 + 5044 / 1 = \mathbf{14212 \text{ KN}}$$

Rd > Rs verifica soddisfatta

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 6022 + 1.0 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 28 \cdot (25 - 10) = \mathbf{6764 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma_R = 9168 / 1.7 + 5044 / 1.45 = \mathbf{8871 \text{ KN}}$$

Rd > Rs verifica soddisfatta

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 7576 + 1.3 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 28 \cdot (25 - 10) = \mathbf{8541 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma_R = 9168 / 1.35 + 5044 / 1.15 = \mathbf{11177 \text{ KN}}$$

Rd > Rs verifica soddisfatta

9.2 Spalla B (fissa)

Il palo maggiormente sollecitato per la Spalla B è

STR (slu e sisma) palo 2 combo STR 4 $V=Fz= 7576 \text{ KN}$

GEO palo 2 $V=Fz= 6022 \text{ KN}$

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 7576 + 1.3 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 30 \cdot (25 - 10) = \mathbf{8610 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma = 7305 / 1 + 6572 / 1 = \mathbf{13877 \text{ KN}}$$

$Rd > Rs$ verifica soddisfatta

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 6022 + 1.0 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 30 \cdot (25 - 10) = \mathbf{6817 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma_R = 7305 / 1.7 + 6572 / 1.45 = \mathbf{8829 \text{ KN}}$$

$Rd > Rs$ verifica soddisfatta

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 7576 + 1.3 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 30 \cdot (25 - 10) = \mathbf{8610 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma_R = 7305 / 1.35 + 6572 / 1.15 = \mathbf{11126 \text{ KN}}$$

$Rd > Rs$ verifica soddisfatta

9.3 Pile in alveo

Il palo maggiormente sollecitato per le pile è

STR (slu e sisma)	palo 6 combo STR 3	$V=Fz= 10631 \text{ KN}$
GEO	palo 6	$V=Fz= 8266 \text{ KN}$

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1 (STR) DA1.1 (A1+M1+R1)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 10631 + 1.3 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 40 \cdot (25 - 10) = \mathbf{12009 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma = 8962 / 1 + 10232 / 1 = \mathbf{19194 \text{ KN}}$$

$Rd > Rs$ verifica soddisfatta

APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2 (GEO) DA1.2 (A2+M1+R2)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 8266 + 1.0 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 40 \cdot (25 - 10) = \mathbf{9326 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma_R = 8962 / 1.7 + 10232 / 1.45 = \mathbf{12328 \text{ KN}}$$

$Rd > Rs$ verifica soddisfatta

APPROCCIO 2 COMBINAZIONE 1 (GEO) DA2.1 (A1+M1+R3)

$RS = V + \text{peso efficace palo}$

$$Rs = 10631 + 1.3 \cdot (3.14 \cdot 1.5^2 / 4) \cdot 40 \cdot (25 - 10) = \mathbf{12009 \text{ KN}}$$

$$Rd = Rck / \gamma_R = 8962 / 1.35 + 10232 / 1.15 = \mathbf{15536 \text{ KN}}$$

$Rd > Rs$ verifica soddisfatta

10. Verifiche strutturali dei pali

Il calcolo del palo avviene nelle combinazioni dimensionanti in regime di **massima e minima azione assiale**:

Il carico assiale e le azioni taglianti agenti sul palo sono calcolate attraverso le seguenti relazioni:

$$N_i = N/n_{\text{pali}} + M_{x_r} \cdot y_i / \sum y_i^2 + M_{y_r} \cdot x_i / \sum x_i^2$$

$$F_{x_i} = F_x / n_{\text{pali}}$$

$$F_{y_i} = F_y / n_{\text{pali}}$$

$$F_d = (F_x^2 + F_y^2)^{1/2}$$

Dove

N = carico assiale nel baricentro palificata

F_x = taglio lungo x nel baricentro palificata

F_y = taglio lungo y nel baricentro palificata

x_i, y_i = coordinate palo rispetto al baricentro palificata

$$M_{x_r} = M_x + M_{\text{inc}x}$$

$$M_{y_r} = M_y + M_{\text{inc}y}$$

M_{inc} = momento agente in testa palo dovuto alla traslazione rigida della platea di fondazione

$$M_{\text{inc}x} = k \cdot F_y$$

$$M_{\text{inc}y} = -k \cdot F_x$$

$$k = L_0 / 2$$

$$L_0 = (4 \cdot E_p \cdot J_p / k_w \cdot \Phi)$$

Per cui

$$L_0 = (4 \cdot 32308 \cdot 2.483 \cdot 10^{11} / 0.005 \cdot 1500)^{1/4} = 8088 \text{ mm}$$

Avendo adottato come valore per k winkler = 0.005N/mm³

$$k = 8088 / 2 = 4044 \text{ mm}$$

10.1 Pali Spalla A

Si assumono i valori di sollecitazione della Spalla B (dimensionante) a favore della sicurezza

SLU - SISMICA

Max N static (comb STR4 palo 2)

$$N_{SLU} = 7576 \text{ KN}$$

$$F_{diSLU} = [(1197/9)^2 + (7950.66/9)^2]^{1/2} = 894 \text{ KN}$$

$$M_{diSLU} = 894 * 4.044 = 3616 \text{ KNm}$$

Min N static associate a max T (comb STR3 palo 3)

$$N_{SLU} = 1461 \text{ KN}$$

$$F_{diSLU} = [(1935.6/9)^2 + (7950.66/9)^2]^{1/2} = 910 \text{ KN}$$

$$M_{diSLU} = 910 * 4.044 = 3680 \text{ KNm}$$

SLE

Max N static (comb SLE3 palo 2)

$$N_{SLE} = 5496 \text{ KN}$$

$$F_{diSLE} = [(2030.60/9)^2 + (5488.13/9)^2]^{1/2} = 651 \text{ KN}$$

$$M_{diSLE} = 651 * 4.044 = 2633 \text{ KNm}$$

Min N static associate a max T (comb SLE2 palo 3)

$$N_{SLE} = 1203 \text{ KN}$$

$$F_{diSLE} = [(2030.6/9)^2 + (4600.13/9)^2]^{1/2} = 559 \text{ KN}$$

$$M_{diSLE} = 559 * 4.044 = 2261 \text{ KNm}$$

Per le verifiche strutturali si veda il listato riportato per i pali relativi alla Spalla B, avendo assunto di armare il palo mediante 30Φ26 e spirale Φ12/15.

10.2 Pali Spalla B

SLU - SISMICA

Max N static (comb STR4 palo 2)

$$N_{SLU} = 7576 \text{ KN}$$

$$F_{diSLU} = [(1197/9)^2 + (7950.66/9)^2]^{1/2} = 894 \text{ KN}$$

$$M_{diSLU} = 894 * 4.044 = 3616 \text{ KNm}$$

Min N static associate a max T (comb STR3 palo 3)

$$N_{SLU} = 1461 \text{ KN}$$

$$F_{diSLU} = [(1935.6/9)^2 + (7950.66/9)^2]^{1/2} = 910 \text{ KN}$$

$$M_{diSLU} = 910 * 4.044 = 3680 \text{ KNm}$$

SLE

Max N static (comb SLE3 palo 2)

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

$N_{SLE} = 5496 \text{ KN}$
 $F_{diSLE} = [(2030.60/9)^2 + (5488.13/9)^2]^{1/2} = 651 \text{ KN}$
 $M_{diSLE} = 651 \cdot 4.044 = 2633 \text{ KNm}$

Min N static associate a max T (comb SLE2 palo 3)

$N_{SLE} = 1203 \text{ KN}$
 $F_{diSLE} = [(2030.6/9)^2 + (4600.13/9)^2]^{1/2} = 559 \text{ KN}$
 $M_{diSLE} = 559 \cdot 4.044 = 2261 \text{ KNm}$

Di seguito si riportano le verifiche della sezione del palo armato da 30Φ26 e spirale Φ12/15 valide anche per i pali della spalla A

METODO DI CALCOLO: Stati limite; NORMATIVA: Norme Tecniche per le Costruzioni 2008;

ELEMENTO COSTR.: PALO; POSIZ. SEZIONE: in zona critica; CARICO CONC.: si.

COND. AMBIENTALI: ordinarie; SENSIBILITA' ARMATURE: poco sensibili.

MATERIALI:

Conglomerato cementizio: $R_{ck}=30.00$;

GammaC: 1.50

Acciaio barre: B450C

GammaS: 1.15

FORMA DELLA SEZIONE: CIRCOLARE

Raggio: $R = 75.00 \text{ cm}$

Area totale acciaio: $A_f = 159.28 \text{ cm}^2$

Copriferro: $c = 5.00 \text{ cm}$

Diametro spirale: $d_s = 12.00 \text{ mm}$

GEOMETRIA DELLE MASSE SEZIONE IN CALCESTRUZZO:

Area: $A_{cls} = 17671.46 \text{ cm}^2$; Baricentro: $X_{gCls} = -0.00 \text{ cm}$; $Y_{gCls} = 0.00 \text{ cm}$

Momenti d'inerzia: $J_x = 24584821.07 \text{ cm}^4$; $J_y = 24584821.07 \text{ cm}^4$; $J_{xy} = 0.00 \text{ cm}^4$;

Momenti principali d'inerzia: $J_{csi} = 24584821.07 \text{ cm}^4$; $J_{eta} = 24584821.07 \text{ cm}^4$;

Angolo tra l'asse principale d'inerzia csi e l'asse x: $\Theta = 0.00 \text{ rad}$;

COMBINAZIONI DI CARICO:

Azione normale (positiva se di compressione).

Azioni rispetto x e y baricent. paralleli agli assi x e y (unita' N, N*m).

Combinazioni stati limite ultimi:

comb.	N	Mx	Tx	My	Ty	Mt
1	7576000.00	3616000.00	0.00	0.00	894000.00	0.00
2	1461000.00	3680000.00	0.00	0.00	910000.00	0.00

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Combinazioni rare:

comb.	N	Mx	My
1	5496000.00	2633000.00	0.00

Combinazioni frequenti:

comb.	N	Mx	My
1	1203000.00	2261000.00	0.00

VERIFICA PRESSO-TENSOFLESSIONE (comb. di carico N.ro 2):

Equaz. asse neutro $ax+by+c=0$: $a=0.000000$; $b=2000.000000$; $c=-68975.961995$ Angolo asse neutro-asse x : $\alpha=0.000000$ gradi sessadec. in senso antiorario

(Deformazioni a rottura, valore positivo se di accorciamento)

Sezione parzializzata

Deformazione massima cls: $\epsilon_c = 3.5000 / 1000$ Deformazione massima acciaio: $\epsilon_f = -8.9148 / 1000$ Deformazione minima acciaio: $\epsilon_f' = 2.9557 / 1000$

Azioni sollecitanti rispetto agli assi principali d'inerzia:

NS=1461000.00; MxiS=3680000.00; MyiS=0.00; TxiS=0.00; TyiS=910000.00

Azioni resistenti a rottura rispetto agli assi principali d'inerzia:

NR=1775158.31 N; MxiR= 4471322.80 N*m; MyiR= -0.00 N*m

Fattore di sicurezza SLU ad eccentricita' M/N costante :

Resistenza/Sicurezza = 1.2150 > 1 VERIFICA POSITIVA

VERIFICA AZIONE ASSIALE MASSIMA

Comb. n.ro: 1; NS=7576000.00 < Nrd=25801116.64 N VERIFICA POSITIVA

VERIFICA QUANTITA' ARMATURA LONGIT. (AfTot=159.28 cmq; Acls=17671.46 cmq; Nsd=7576000.00 N)

0.10*NED/fyd=19.36 cmq; Acls*0.003=53.01 cmq; Acls*0.04=706.86 cmq;

VERIFICHE POSITIVE

Interasse tra le barre sufficiente (≤ 30 cm) VERIFICA POSITIVA

VERIFICA TRINCIAMENTO BARRE

Comb. N.: 2; Taglio=910000.00 N; TauMaxTr=Taglio/Af=57.133 < fyd=391.300 MPa

VERIFICA POSITIVA

VERIFICHE TAGLIO comb. n.ro: 2; (fcd=14.110, fctd=1.190, fck=24.900 in MPa)

VEd=910000.00 N; d=143.70 cm; bw=60.05 cm, $\alpha_c=1.0597$, $\cot(\theta)=2.5000$,

Asw/s progettata=7.53 cmq/m

VRcd = $0.9 \cdot bw \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot 0.5 \cdot (\cot(90) + \cot(\theta) / (1 + \cot(\theta)^2)) = 2002200.88$ NVRsd = $0.9 \cdot d \cdot (Asw/s) \cdot f_{yd_st} \cdot (\cot(90) + \cot(\theta)) \cdot \sin(90) = 910000.00$ N

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

6	59.50	34.35	26.00	-0.01
7	65.34	21.23	26.00	-1.15
8	68.32	7.18	26.00	-2.36
9	68.32	-7.18	26.00	-3.60
10	65.34	-21.23	26.00	-4.81
11	59.50	-34.35	26.00	-5.95
12	51.05	-45.97	26.00	-6.95
13	40.38	-55.58	26.00	-7.78
14	27.94	-62.76	26.00	-8.40
15	14.28	-67.20	26.00	-8.79
16	0.00	-68.70	26.00	-8.91
17	-14.28	-67.20	26.00	-8.79
18	-27.94	-62.76	26.00	-8.40
19	-40.38	-55.58	26.00	-7.78
20	-51.05	-45.97	26.00	-6.95
21	-59.50	-34.35	26.00	-5.95
22	-65.34	-21.23	26.00	-4.81
23	-68.32	-7.18	26.00	-3.60
24	-68.32	7.18	26.00	-2.36
25	-65.34	21.23	26.00	-1.15
26	-59.50	34.35	26.00	-0.01
27	-51.05	45.97	26.00	0.99
28	-40.38	55.58	26.00	1.82
29	-27.94	62.76	26.00	2.44
30	-14.28	67.20	26.00	2.83

INTERSEZIONI TRA ASSE NEUTRO E PROFILO DELLA SEZIONE :

Ni	X (cm)	Y (cm)
1	-66.49	34.49
2	66.49	34.49

10.3 Pali Pile

SLU - SISMICA

Max N static (comb STR3 palo 6)

$$N_{SLU} = 10631 \text{ KN}$$

$$F_{diSLU} = [(2459.70/8)^2 + (1890.47/8)^2]^{1/2} = 388 \text{ KN}$$

$$M_{diSLU} = 388 * 4.044 = 1570 \text{ KNm}$$

Min N static associate a max T (comb SISMA2 palo 4)

$$N_{SLU} = 2414 \text{ KN}$$

$$F_{diSLU} = [(2016/8)^2 + (1444.14/8)^2]^{1/2} = 310 \text{ KN}$$

$$M_{diSLU} = 310 * 4.044 = 1254 \text{ KNm}$$

SLE

Max N static (comb SLE3 palo 6)

$$N_{SLE} = 8296 \text{ KN}$$

$$F_{diSLE} = [(2030.60/9)^2 + (5488.13/9)^2]^{1/2} = 651 \text{ KN}$$

$$M_{diSLE} = 651 * 4.044 = 2633 \text{ KNm}$$

Min N static associate a max T (comb SLE2 palo 3)

$$N_{SLE} = 1203 \text{ KN}$$

$$F_{diSLE} = [(2382.40/8)^2 + (1444.14/8)^2]^{1/2} = 349 \text{ KN}$$

$$M_{diSLE} = 349 * 4.044 = 1412 \text{ KNm}$$

Di seguito si riportano le verifiche della sezione del palo armato da 30Φ26 e spirale Φ10/15

METODO DI CALCOLO: Stati limite; NORMATIVA: Norme Tecniche per le Costruzioni 2008;

ELEMENTO COSTR.: PALO; POSIZ. SEZIONE: in zona critica; CARICO CONC.: si.

COND. AMBIENTALI: ordinarie; SENSIBILITA' ARMATURE: poco sensibili.

MATERIALI:

Conglomerato cementizio: Rck=30.00;

GammaC: 1.50

Acciaio barre: B450C

GammaS: 1.15

FORMA DELLA SEZIONE: CIRCOLARE

Raggio: R = 75.00 cm

Area totale acciaio: Af = 159.28 cmq

Copriferro: c = 5.00 cm

Diametro spirale.....: ds = 12.00 mm

GEOMETRIA DELLE MASSE SEZIONE IN CALCESTRUZZO:

Area: Acls = 17671.46 cmq; Baricentro: XgCls = -0.00 cm; YgCls = 0.00 cm

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Momenti d'inerzia: $J_x = 24584821.07 \text{ cm}^4$; $J_y = 24584821.07 \text{ cm}^4$; $J_{xy} = 0.00 \text{ cm}^4$;

Momenti principali d'inerzia: $J_{csi} = 24584821.07 \text{ cm}^4$; $J_{eta} = 24584821.07 \text{ cm}^4$;

Angolo tra l' asse principale d'inerzia csi e l'asse x: $\Theta = 0.00 \text{ rad}$;

COMBINAZIONI DI CARICO:

Azione normale (positiva se di compressione).

Azioni rispetto x e y baricent. paralleli agli assi x e y (unita' N, N*m).

Combinazioni stati limite ultimi:

comb.	N	Mx	Tx	My	Ty	Mt
1	10631000.00	1570000.00	0.00	0.00	388000.00	0.00
2	2414000.00	1254000.00	0.00	0.00	310000.00	0.00

Combinazioni rare:

comb.	N	Mx	My
1	8296000.00	2633000.00	0.00

Combinazioni frequenti:

comb.	N	Mx	My
1	1203000.00	1412000.00	0.00

VERIFICA PRESSO-TENSOFLESSIONE (comb. di carico N.ro 1):

Equaz. asse neutro $ax+by+c=0$: $a=0.000000$; $b=2000.000000$; $c=128757.571430$

Angolo asse neutro-asse x : $\alpha = 0.00000$ gradi sessadec. in senso antiorario

(Deformazioni a rottura, valore positivo se di accorciamento)

Sezione parzializzata

Deformazione massima cls: $\epsilon_c = 3.5000 / 1000$

Deformazione massima acciaio: $\epsilon_f = -0.1085 / 1000$

Deformazione minima acciaio: $\epsilon_f' = 3.3418 / 1000$

Azioni sollecitanti rispetto agli assi principali d'inerzia:

$NS=10631000.00$; $M_{xiS}=1570000.00$; $M_{yiS}=0.00$; $T_{xiS}=0.00$; $T_{yiS}=388000.00$

Azioni resistenti a rottura rispetto agli assi principali d'inerzia:

$NR=23341024.34$ N; $M_{xiR}= 3447034.13$ N*m; $M_{yiR}= 0.00$ N*m

Fattore di sicurezza SLU ad eccentricita' M/N costante :

Resistenza/Sicurezza = 2.1956 > 1 VERIFICA POSITIVA

VERIFICA AZIONE ASSIALE MASSIMA

Comb. n.ro: 1; $NS=10631000.00 < N_{rd}=25801116.64$ N VERIFICA POSITIVA

VERIFICA QUANTITA' ARMATURA LONGIT. ($A_{fTot}=159.28 \text{ cm}^2$; $A_{cls}=17671.46 \text{ cm}^2$; $N_{sd}=10631000.00$ N)

$0.10 \cdot N_{ED}/f_{yd}=27.17 \text{ cm}^2$; $A_{cls} \cdot 0.003=53.01 \text{ cm}^2$; $A_{cls} \cdot 0.04=706.86 \text{ cm}^2$;

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

VERIFICHE POSITIVE

Interasse tra le barre sufficiente (≤ 30 cm) VERIFICA POSITIVA

VERIFICA TRANCIAMENTO BARRE

Comb. N.: 1; Taglio=388000.00 N; TauMaxTr=Taglio/Af=24.360 < fyd=391.300 MPa

VERIFICA POSITIVA

VERIFICHE TAGLIO comb. n.ro: 1; (fcd=14.110, fctd=1.190, fck=24.900 in MPa)

VEd=388000.00 N; d=143.70 cm; bw=60.05 cm, alfa_c=1.2000, cot(theta)=2.5000,

Asw/s progettata=3.21 cmq/m

VRcd= $0.9 \cdot bw \cdot d \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot 0.5 \cdot (\cot(90) + \cot(\theta) / (1 + \cot(\theta)^2)) = 2267223.16$ N

VRsd= $0.9 \cdot d \cdot (Asw/s) \cdot f_{yd_st} \cdot (\cot(90) + \cot(\theta)) \cdot \sin(90) = 388000.00$ N

VEd < min(VRsd, VRcd) -> VERIFICA POSITIVA

VERIFICHE S.L.E.: TENSIONI (fck = 24.900 MPa)

Comb. rara n.ro 1: Tens. cls= 10.896 < $0.600 \cdot f_{ck} = 14.940$ MPa

Comb. rara n.ro 1: Tens. acciaio= -27.450 > $-0.800 \cdot f_{yk} = -360.000$ MPa

VERIFICHE POSITIVE

VERIFICHE S.L.E.: FESSURAZIONE

Comb. freq. n.ro 1: Tens. min. cls= -2.943 MPa; fc=fcm=-3.070 MPa, fck=-2.149 MPa

c=5.00 cm; Aceff=3273.51 cmq; As=58.40 cmq; ro=As/Aceff=0.017841; s=14.36 cm

fi=2.60 cm; k2=0.4000; k3=0.1250; srm=20.1591 cm; zeta=0.45601

sigmat=-2.943 MPa; sigma_s=-134.507 MPa; beta1=1.00; beta2=0.50; esm=0.000298

wk=1.7*srm*esm=0.1020 mm < w3=0.4 mm VERIFICA POSITIVA

Comb. q. per. n.ro 0: Tens. min. cls= 0.000 MPa; fc=fcm=-3.070 MPa, fck=-2.149 MPa

wk=1.7*srm*esm=0.0000 mm < w2=0.3 mm VERIFICA POSITIVA

posto (per gli altri simboli vedere la normativa):

zeta = $1 - \beta_{e1} \cdot \beta_{e2} \cdot (f_c / \sigma_{max})^2$

sigmat: tensione max di trazione nel conglomerato con sezione

interamente reagente e resistente a trazione

c: valore del copriferro inserito dall'utente

PROGETTO PASSO STAFFE. (N.ro bracci: Nb=2, Area singola staffa: Als=1.1310 cmq)

N.B. I bracci considerati sono quelli delle staffe dell'anima aventi l'angolo,

con l'asse ort. all'asse neutro, inferiore a 45 gradi

Area staffe per il taglio (Comb. n.ro 1) (fydSt=373.910 MPa)

VEd=388000.00 N; d=143.70 cm; bw=60.05 cm, cot(theta)=2.5000

da VEd=0.9*d*(Asw/s)*fydSt*cot(theta) si ottiene: Asw/s=3.21 cmq/m

s= $100 \cdot Nb \cdot Als / Asw = 70.48$ cm

s <= 25 cm

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

$$s \leq 12 \cdot \phi_{\min} = 12 \cdot 2.60 = 31.20 \text{ cm}$$

Armatura a taglio minima: $A_s = 9.05 \text{ cm}^2/\text{m}$

Armatura adottata: $A_s = 15.06 \text{ cm}^2/\text{m}$ -> spirale $\phi 12$ ogni 15.0 cm

ARMATURA SEZIONE:

Nf	X (cm)	Y (cm)	diametro(mm)	epsilon f x 1000
1	0.00	68.70	26.00	3.34
2	14.28	67.20	26.00	3.30
3	27.94	62.76	26.00	3.19
4	40.38	55.58	26.00	3.01
5	51.05	45.97	26.00	2.77
6	59.50	34.35	26.00	2.48
7	65.34	21.23	26.00	2.15
8	68.32	7.18	26.00	1.80
9	68.32	-7.18	26.00	1.44
10	65.34	-21.23	26.00	1.08
11	59.50	-34.35	26.00	0.75
12	51.05	-45.97	26.00	0.46
13	40.38	-55.58	26.00	0.22
14	27.94	-62.76	26.00	0.04
15	14.28	-67.20	26.00	-0.07
16	0.00	-68.70	26.00	-0.11
17	-14.28	-67.20	26.00	-0.07
18	-27.94	-62.76	26.00	0.04
19	-40.38	-55.58	26.00	0.22
20	-51.05	-45.97	26.00	0.46
21	-59.50	-34.35	26.00	0.75
22	-65.34	-21.23	26.00	1.08
23	-68.32	-7.18	26.00	1.44
24	-68.32	7.18	26.00	1.80
25	-65.34	21.23	26.00	2.15
26	-59.50	34.35	26.00	2.48
27	-51.05	45.97	26.00	2.77
28	-40.38	55.58	26.00	3.01
29	-27.94	62.76	26.00	3.19
30	-14.28	67.20	26.00	3.30

INTERSEZIONI TRA ASSE NEUTRO E PROFILO DELLA SEZIONE :

Ni	X (cm)	Y (cm)
1	-37.89	-64.38
2	37.89	-64.38

11. DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2008 (punto 10)

DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE IMPIEGATI

Per la realizzazione delle **fondazioni**, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe C28/35 che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cubica)	→	R_{ck}	= 35 MPa
Resistenza a compressione (cilindrica)	→	f_{ck}	= 28 MPa
Resistenza di calcolo a compressione	→	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5$	= 15.9 MPa
Resistenza a trazione media	→	$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	= 2.77 MPa
Resistenza a trazione	→	$f_{ctk} = 0.7 * f_{ctm}$	= 1.94 MPa
Resistenza a trazione di calcolo	→	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.29 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara)	→	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck}$	= 16.80 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)		$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	= 12.6 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara – Ferrovie)	→	$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	= 12.6 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi perm. – Ferrovie)		$\sigma_c = 0.4 * f_{ck}$	= 11.2 MPa

Per la realizzazione dei **pali di fondazione**, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe C25/30 che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cubica)	→	R_{ck}	= 30 MPa
Resistenza a compressione (cilindrica)	→	f_{ck}	= 25 MPa
Resistenza di calcolo a compressione	→	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * f_{ck} / 1.5$	= 14.17 MPa
Resistenza a trazione media	→	$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}$	= 2.56 MPa
Resistenza a trazione	→	$f_{ctk} = 0.7 * f_{ctm}$	= 1.79 MPa
Resistenza a trazione di calcolo	→	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	= 1.20 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara)	→	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck}$	= 15 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)		$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	= 11.25 MPa
Resistenza a compressione (comb. Rara – Ferrovie)	→	$\sigma_c = 0.45 * f_{ck}$	= 11.25 MPa
Resistenza a compressione (comb. Quasi perm. – Ferrovie)		$\sigma_c = 0.4 * f_{ck}$	= 10 MPa

Calcestruzzo a prestazione garantita secondo UNI EN 206-1

- Cemento conforme alla norma EN 197-1
- Diametro massimo barre di armatura, $\Phi_{max} = 26$ mm
- Aggregati normali conformi alla norma UNI EN 12620, $D_{max} = 20$ mm

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

- Interferro minimo $d_{bars} = 26$ mm
- Acqua di impasto conforme alla norma EN 1008
- Additivi conformi alla norma EN 934-2

CALCESTRUZZO PALI

Classe esposizione	Rapporto $(A/C)_{max}$	Slum p	Quantità minima cemento $[kg/m^3]$	Contenuto minimo aria	Altro
XC2	0.650	S4	300	-	Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo

CALCESTRUZZO FONDAZIONI

Classe esposizione	Rapporto $(A/C)_{max}$	Slum p	Quantità minima cemento $[kg/m^3]$	Contenuto minimo aria	Altro
XF3	0.50	S4	340	-	Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

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

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento f_y	≥ 450 MPa
Limite di rottura f_t	≥ 540 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	→	$f_{yk} \geq$	450	MPa
Tensione caratteristica a rottura	→	$f_{tk} \geq$	540	MPa
Fattore di sicurezza acciaio	→	$\gamma_s =$	1.15	
Resistenza a trazione di calcolo	→	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	= 391.30	MPa
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)→		$\sigma_c =$	0.80* f_{yk} =360	MPa
Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara – Ferrovie)→		$\sigma_c =$	0.65* f_{yk} =292.5	MPa

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

PRESTAZIONI ATTESE – CLASSE DELLA COSTRUZIONE - VITA ESERCIZIO - MODELLI DI CALCOLO
– TOLLERANZE – DURABILITA' - PROCEDURE QUALITA' E MANUTENZIONE

Le prestazioni della struttura e la vita utile sono state definite in accordo a quanto previsto nel progetto definitivo in funzione della destinazione d'uso individuando la classe della struttura che risulta

TIPO DI COSTRUZIONE	VITA UTILE
3	100 anni

La sicurezza e le prestazioni saranno garantite verificando opportuni stati limite definiti in accordo con il progetto definitivo approvato dal committente e posto a base di gara in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita utile e di quanto stabilito dalle norme di cui al D.M. 14.01.2008 e s.m.i.

In particolare si è verificata :

la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 per i vari tipi di materiale e le azioni. I valori utilizzati sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (SLE) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio. In particolare di concerto con il committente e coerentemente alle norme tecniche si sono definiti i limiti riportati nell'allegato fascicolo delle calcolazioni.

Per quanto riguarda le fasi costruttive intermedie le strutture non risultano cimentate in maniera più gravosa della fase finale a patto che vengano messe in opera le fasi di realizzazione come riportate sulle relazioni di calcolo e sulle tavole di cantierizzazione. Spetta alla Direzione dei Lavori in fase esecutiva far realizzare le opere secondo gli step assunti a base di calcolo pena il non rispetto delle ipotesi a base di calcolo e quindi della rispondenza delle strutture ai minime legislativi.

AZIONI AMBIENTALI E NATURALI

In accordo con quanto previsto nel progetto definitivo si è assunto che le prestazioni attese in caso di azione sismica siano verificate per due eventi sismici aventi probabilità di superamento in 50 anni rispettivamente pari :

CLASSE	SLV
IV	10%

utilizzando come domanda sismica gli spettri elastici di cui al DM14/01/2008 con i seguenti parametri :

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Tipo costruzione (Art. 2.4.1)

Tipo 1 (Vn <=10 anni)

Tipo 2 (Vn >=50 anni)

Tipo 3 (Vn >=100 anni)

Vita Nominale Vn (anni):

Classe d'uso (Art. 2.4.2)

Classe I

Classe II

Classe III

Classe IV

Periodo di riferimento per l'azione sismica (>=35 anni): $VR = Vn \cdot Cu = 100.00 \cdot 2.00 = 200.00$ anni

Pvr % (Art. 3.2.1)

SLD	81.00
SLD	63.00
SLV	10.00
SLC	5.00

Periodo di ritorno Tr (anni)

SLD	120.43
SLD	201.16
SLV	1898.24
SLC	2475.00

Posizione del sito

Comune: Spino d'Adda - (CR)

Longitudine:

Latitudine:

Isola:

Nodi intorno al sito

ID	Longitudine	Latitudine	Dist. sito (Km)
12486	9.4340	45.4170	0.4014
12485	9.3630	45.4140	5.5242
12707	9.3664	45.3640	7.6094
12708	9.4374	45.3670	5.1724

Parametri di pericolosità sismica

	ag (g/10)	FO (adim)	TC*(sec)
SLD	0.4182	2.5652	0.2409
SLD	0.5049	2.5790	0.2611
SLV	1.0196	2.6452	0.3068
SLC	1.1056	2.6539	0.3100

N.B. Dal valore tabellato, per ottenere ag in (g), dividerlo per 10; per ottenerlo in m/sec², moltiplicarlo per 0.9806

Categoria di sottosuolo (Art. 3.2.2)

Categoria A

Categoria B

Categoria C

Categoria D

Categoria E

Categoria topografica (Art. 3.2.2)

Categoria T1

Categoria T2

Categoria T3

Categoria T4

Rapporto h/H altezza pendio:

Coeff. amplif. topografica St:

Coeff. smorzamento (%) ξ : => $\eta = 1.000$

Parametri spettri orizzontali e Fv

	S	TB	TC	TD	Fv	Cc	Ss
SLD	1.800	0.205	0.614	1.767	0.708	2.547	1.800
SLD	1.800	0.213	0.639	1.802	0.782	2.446	1.800
SLV	1.800	0.231	0.692	2.008	1.140	2.257	1.800
SLC	1.800	0.232	0.696	2.042	1.191	2.245	1.800

Parametri spettri verticali

Ss	TB	TC	TD
1.000	0.050	0.150	1.000

Fattore di struttura spettro orizz. direz X1 qX1:

Fattore di struttura spettro orizz. direz Y1 qY1:

Fattore di struttura spettro verticale q:

Classe di duttilità

Alta (CD'A')

Bassa (CD'B')

DESTINAZIONE D'USO E SOVRACCARICHI VARIABILI DOVUTO ALLE AZIONI ANTROPICHE

Per la determinazione dell'entità e della distribuzione spaziale e temporale dei sovraccarichi si farà riferimento a quanto previsto nel cap. 5 del D.M. 14/01/2008.

MODELLI DI CALCOLO

Si sono utilizzati come modelli di calcolo quelli esplicitamente richiamati nel D.M. 14.01.2008 ed in particolare:

ANALISI ELASTICA LINEARE PER IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DERIVANTI DA CARICHI STATICI

ANALISI DINAMICA PSEUDOSTATICA PER IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO DOVUTE ALL'AZIONE SISMICA

ANALISI DEGLI EFFETTI DEL 2° ORDINE QUANDO SIGNIFICATIVI

VERIFICHE SEZIONALI AGLI S.L.U. PER LE SEZIONI IN C.A. UTILIZZANDO IL LEGAME PARABOLA RETTANGOLO PER IL CALCESTRUZZO ED IL LEGAME ELASTOPLASTICO INCRUDENTE A DUTTILITA' LIMITATA PER L'ACCIAIO

La definizione quantitativa delle prestazioni e le verifiche sono riportati nei precedenti paragrafi

TOLLERANZE

Nelle calcolazioni si è fatto riferimento ai valori nominali delle grandezze geometriche ipotizzando che le tolleranze ammesse in fase di realizzazione siano conformi alle euronorme EN 1992-1991- EN206 - EN 1992-2005:

Copriferro -5 mm (EC2 4.4.1.3)

Per dimensioni ≤ 150 mm ± 5 mm

Per dimensioni =400 mm ± 15 mm

Per dimensioni ≥ 2500 mm ± 30 mm

Per i valori intermedi si ritiene valida l'interpolazione lineare.

DURABILITA'

Per garantire la durabilità della struttura sono state prese in considerazioni opportuni stati limite in funzione dell'uso e dell'ambiente in cui la struttura dovrà vivere limitando sia gli stati tensionali che nel caso delle opere in calcestruzzo anche l'ampiezza delle fessure. La definizione quantitativa delle prestazioni, la classe di esposizione e le verifiche sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegate.

Relazione di calcolo FONDAZIONI E PALI DI SPALLE E PILE DEL NUOVO PONTE SULL'ADDA

Inoltre per garantire la durabilità, così come tutte le prestazioni attese, è necessario che si ponga adeguata cura sia nell'esecuzione che nella manutenzione e gestione della struttura e si utilizzino tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture. La qualità dei materiali e le dimensioni degli elementi sono coerenti con tali obiettivi.

Durante le fasi di costruzione, il Direttore dei Lavori implementerà severe procedure di controllo sulla qualità dei materiali, sulle metodologie di lavorazione e sulla conformità delle opere eseguite al progetto esecutivo nonché alle prescrizioni contenute nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" DM 14.01.2008".

SOFTWARE UTILIZZATI –TIPO DI ELABORATORE

Le analisi e le verifiche sono state condotte con il metodo degli stati limite.

L'analisi delle sollecitazioni è stata effettuata in campo elastico lineare, per l'analisi sismica si è effettuata una analisi pseudostatica

SOFTWARE UTILIZZATO :

Software di calcolo sezioni:

SEZIONE C.A. versione 5.8.0 con licenza chiave n° 396 prodotto dalla :

Ingegneria Soft srl

ELABORATORE UTILIZZATO :

MARCA	B@B PC
MODELLO	ASSEMBLATO
PROCESSORE	INTEL i7 4.99Ghz
RAM	16 GB
S.O.	WINDOWS
VERSIONE	8.1
CHIAVE REGISTRAZIONE	FV7JN-8YKYP-RFXQH-D3TW4- F6XGD02594084968369 X1904615

CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITA' DEI RISULTATI

Come previsto dal D.M. 14.01.2008 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

Il software è dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato

Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.

Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.

Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.

Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

VALUTAZIONE DEI RISULTATI E GIUDIZIO MOTIVATO SULLA LORO ACCETTABILITA'

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati. In particolare, per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

PRESTAZIONI ATTESE AL COLLAUDO

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al D.M. 14.01.2008.