

OPERA:

NUOVA ILLUMINAZIONE DEL FRONTE MARE DI ANCONA

STRATEGIA DI SVILUPPO URBANO SOSTENIBILE - I.T.I. WATERFRONT DI ANCONA 3.0
CUP: E31B17000680007

FASE:

PROGETTO ESECUTIVO AMBITO URBANO

OGGETTO:

CALCOLI STRUTTURALI
VIA XXIX SETTEMBRE-LUNGOMARE
VANVITELLI
CONFIGURAZIONE P1

ELABORATO GRAFICO:

B-C.4.4.3

Data:

Dicembre 2019
rev 01

Scala:

ENTE AMMINISTRATIVO

COMUNE DI ANCONA

Largo XXIV Maggio 1, - tel: 071 222.1
RUP: Arch. Claudio CENTANNI

IDEAZIONE E COORDINAMENTO GENERALE, PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI, CO-PROGETTAZIONE ILLUMINOTECNICA,
COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN PROGETTAZIONE, RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE TRA LE VARIE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE

TIMBRO E FIRMA



SARDELLINI MARASCA ARCHITETTI

ANCONA Via De Bosis 8 - 60123 tel 071 2073835 - fax 071 2082631
e-mail: studio@sardellinimarasca.com - www.sardellinimarasca.com

Arch. Anita SARDELLINI

Ing. Andrea MARASCA

Arch. Giorgio MARASCA

Geom. Paolo MARASCA

PROGETTAZIONE ILLUMINOTECNICA

astrapto

light designers

Società d'ingegneria ASTRAPTO srl

ROMA Viale dell'Università 27 - 00185 - tel 06 4941250

e-mail: info@astrapto.it

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI

Ing. Gaetano ROCCO

ANCONA Corso Garibaldi n° 111 - 60121 - tel 071 56300

e-mail: info@roccoengineering.it

PROGETTAZIONE SISTEMI E RETI DI TELECOMUNICAZIONE WI-FI E VIDEOSORVEGLIANZA

Ing. Diego FRANZONI

ANCONA Via Bartolin n° 6 - 60129 - tel 071 3580028

e-mail: diego.franzoni@gmail.com

CO-PROGETTISTA - GIOVANE PROFESSIONISTA

Arch. Valentina PORCARELLI

JESI Via dei Fiori n° 9 - 60035 - tel 333 1514050

e-mail: valentina.porcarelli@gmail.com

PRESTAZIONI GEOLOGICHE

Geologo Stefano GIULIANI

JESI Via Papa Giovanni XXIII n° 14/b - 60035 - tel/fax. 0731 201555

e-mail: geotecstudiogeologico@gmail.com

Sommario

1. INTRODUZIONE.....	2
2. RELAZIONE SUI MATERIALI	2
2.1. Calcestruzzo.....	2
2.2. Acciaio da costruzione	2
2.3. Barre filettate per tirafondi e collegamenti bullonati	3
3. CALCOLI STATICI	3
3.1. Criteri di calcolo	3
3.2. Analisi dei carichi	4
3.3. Azione del vento	4
3.4. Modello di calcolo	5
3.5. Verifica delle strutture in acciaio.....	7
3.6. Verifica giunto di base	9
4. RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	12
4.1. Verifica del carico limite	14

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è relativa al progetto esecutivo per la realizzazione dei pali di illuminazione stradale e pedonale, lungo via XXIX settembre di Ancona.

2. RELAZIONE SUI MATERIALI

2.1. Calcestruzzo

Per le opere in c.a. si prevede l'impiego di un calcestruzzo **XS3** con classe di resistenza "**C 35/45**" ($R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$) e classe di consistenza **S4** con copriferro minimo 50mm. Nelle valutazioni di resistenza con il metodo degli stati limite si assumono i seguenti parametri:

Caratteristiche generali

- modulo elastico E $= 34077 \text{ N/mm}^2$
- res. cil. compressione $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 37,35 \text{ N/mm}^2$

Per il calcestruzzo la resistenza di calcolo a compressione f_{cd} è:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 21,16$$

dove:

α_{cc} è il coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata ed è pari a 0,85;

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo ed è pari ad 1,5;

f_{ck} è la resistenza caratteristica cilindrica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni.

2.2. Acciaio da costruzione

I profili delle strutture principali in carpenteria metallica saranno realizzati in acciaio tipo:

A. "**S 235**" (UNI EN 10025-2 per i laminati a caldo a sezione aperta) avente le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 360 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 235 \text{ N/mm}^2$

B. "**S 235 H**" (UNI EN 10210-1 per profili a sezione cava) avente le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 360 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 235 \text{ N/mm}^2$

La resistenza di calcolo delle membrature in carpenteria metallica R_d si pone nella forma:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

dove:

R_k è il valore caratteristico della resistenza (trazione, compressione, flessione, taglio e torsione) della membratura, determinata dai valori caratteristici delle resistenza dei materiali f_{yk} e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti dalla classe della sezione.

γ_M è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato.

Tab. 4.2.VII - Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

La **saldatura** dovrà avvenire in officina con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2011, a completa penetrazione UNI 2560:2010

Le giunzioni bullonate saranno realizzate con bulloni ad alta resistenza con le seguenti caratteristiche:

2.3. Barre filettate per tirafondi e collegamenti bullonati

- Vite classe 8.8 (UNI EN ISO 898-1: 2013)
- tensione di rottura a trazione $f_{tb} \geq 800 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento $f_{yb} \geq 640 \text{ MPa}$
- dado classe 8 (UNI EN ISO 898-2:2012)
- rosette 100HV min. (UNI EN 15048-1)
- forza di serraggio $N_s = 0,8 f_{K,N} \cdot A_{res}$
- coppia di serraggio $T_s = 0,2 N_s \cdot d$

I bulloni dovranno essere dotati di dispositivi antisvitamento: rondelle elastiche spaccate secondo la UNI 1751:2013.

3. CALCOLI STATICI

3.1. Criteri di calcolo

Le verifiche assumendo le azioni e le combinazioni previste dalle NTC 2018.

Le normative di riferimento sono:

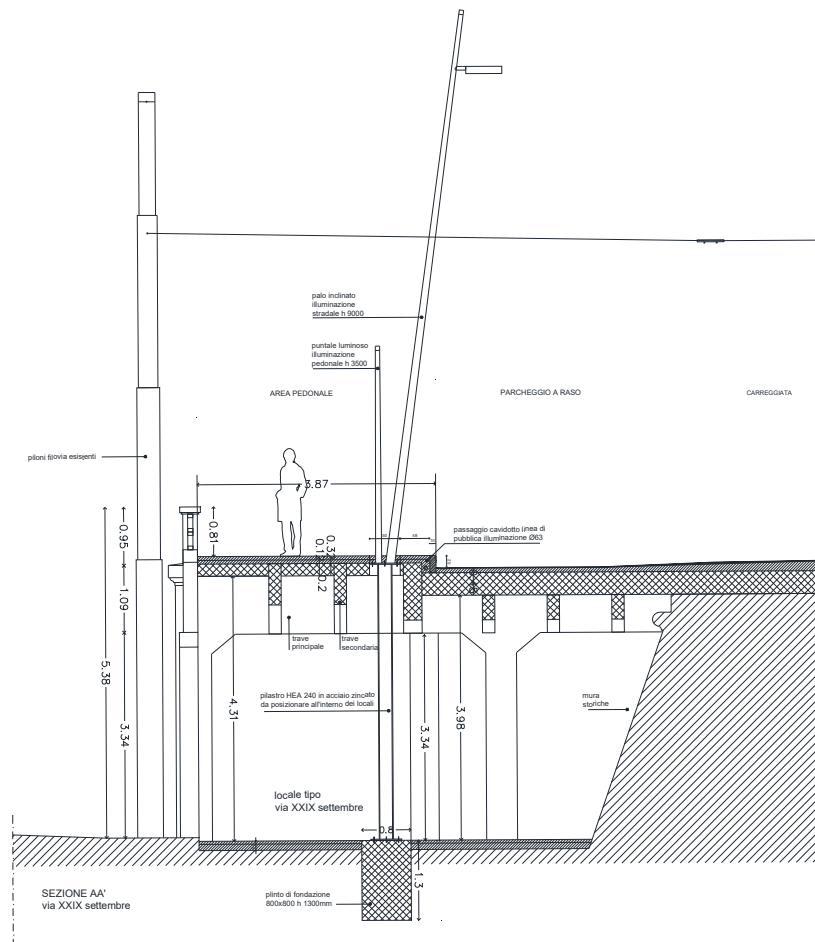
- D.M. 17 gennaio 2018 recante "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 recante Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.;
- CNR 10016/2000: Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni;
- Eurocodice 3: UNI EN 1993-1-1 "Progettazione delle strutture in acciaio";

3.2. Analisi dei carichi

Il peso proprio delle strutture è calcolato automaticamente dal programma in base alla geometria dell'elemento ed alle caratteristiche del materiale con il quale è realizzato. Il peso proprio "G1" è stato tenuto in considerazione assumendo, nel modello, un peso specifico per l'acciaio pari a 78,50 kN/m³.

3.3. Azione del vento

Le azioni del vento sono considerate come una pressione statica normale alla superficie esterna degli elementi costruttivi. Si calcolano due diversi valori della pressione del vento in funzione dell'altezza dal suolo *z* di ciascuno palo di illuminazione.



Il valore della pressione del vento è dato da:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

q_r = pressione cinetica di riferimento

c_e = coefficiente di esposizione

c_p = coefficiente di forma

Relazione configurazione P1

c_d = coefficiente dinamico

per la zona in oggetto (Ancona – zona 3), si ha:

Velocità di base: $v_b = v_{b,0} \cdot c_d = 27 \cdot 1,00 = 27 \text{ m/s}$

Velocità di riferimento: $v_r = v_b \cdot c_r = 27 \cdot 1,00 = 27 \text{ m/s}$

Pressione cinetica di riferimento: $q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho v_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 27^2 = 456,29 \text{ N/m}^2$

dove:

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m^3 .

I singoli coefficienti, assumono i seguenti valori:

$c_e = 2,24$ Per $z = 8,40 \text{ m}$ palo illuminazione pedonale

$c_e = 2,57$ per $z = 13,90 \text{ m}$ palo illuminazione stradale

$c_d = 1,00$

$c_p = 2,40$ §C3.3.8.7

$$p(z = 8,40 \text{ m}) = 2,45 \text{ kN/m}^2$$

$$p(z = 13,90 \text{ m}) = 2,81 \text{ kN/m}^2$$

3.4. Modello di calcolo

La struttura viene schematizzata con un modello tridimensionale dove le singole aste sono modellate con elementi frame.

Nel seguito vengono riportati i dati di input del modello e successivamente i risultati delle analisi.

Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico agli Stati Limite Ultimi sono state determinate in base alle indicazioni della normativa di riferimento: le combinazioni di carico da considerare ai fini delle verifiche devono essere stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto dalle NTC 2018 al Cap. 2.

Nelle verifiche di resistenza di cui allo stato limite di resistenza della struttura [STR] compresi gli elementi di fondazione si adotta la seguente combinazione:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (\text{SLU})$$



Figura 1 – Modello shade

Dati di input

TABLE: Load Pattern Definitions		
LoadPat	DesignType	SelfWtMult
Text	Text	Unitless
DEAD	Dead	1
Vx+	Wind	0
Vx-	Wind	0
Vy	Wind	0
V45°+	Wind	0
V45°-	Wind	0

TABLE: Load Case Definitions		
Case	Type	InitialCond
Text	Text	Text
DEAD	LinStatic	Zero
MODAL	LinModal	Zero
Vx+	LinStatic	Zero
Vx-	LinStatic	Zero
Vy	LinStatic	Zero
V45°+	LinStatic	Zero
V45°-	LinStatic	Zero

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
SLU x+	Linear Add	Linear Static	DEAD	1,3
	Linear Add	Linear Static	Vx+	1,5
SLU x-	Linear Add	Linear Static	DEAD	1,3
	Linear Add	Linear Static	Vx-	1,5
SLU y	Linear Add	Linear Static	DEAD	1,3
	Linear Add	Linear Static	Vy	1,5
SLU 45+	Linear Add	Linear Static	DEAD	1,3
	Linear Add	Linear Static	V45°+	1,5
SLU 45-	Linear Add	Linear Static	DEAD	1,3
	Linear Add	Linear Static	V45°-	1,5
involuppo	Envelope	Response Combo	SLU 45-	1
	Envelope	Response Combo	SLU 45+	1
	Envelope	Response Combo	SLU x-	1
	Envelope	Response Combo	SLU x+	1
	Envelope	Response Combo	SLU y	1

3.5. Verifica delle strutture in acciaio

In generale le verifiche delle singole membrature (pilastri, travi, aste) che compongono le strutture di elevazione in acciaio, vengono eseguite in base alle NTC2018, assegnando ai coefficienti parziali di sicurezza per il materiale, i valori indicati:

$$\gamma_{M0} = 1,05 \quad (\text{per sezioni di classe 1-2-3});$$

$$\gamma_{M1} = 1,05 \quad (\text{per sezioni di classe 4 – per fenomeni di instabilità}).$$

Le membrature puramente tese sono verificate per:

- la resistenza delle sezioni trasversali.

Le membrature compresse, sono verificate per:

- la resistenza delle sezioni trasversali;
- la resistenza all'instabilità.

Le membrature delle travi soggette a flessione sono verificate principalmente per:

- la resistenza delle sezioni trasversali;
- la resistenza all'instabilità flessione torsionale;

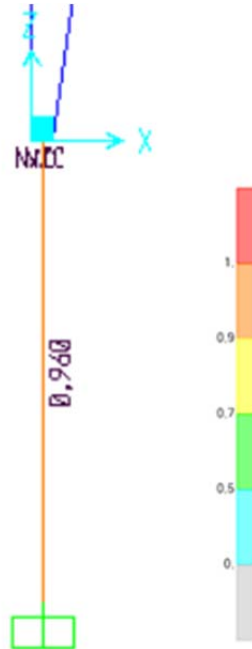
Le membrature soggette alla combinazione di forza assiale e momento, sono verificate principalmente per:

- la resistenza delle sezioni trasversali agli effetti combinati;
- la resistenza delle membrature agli effetti combinati;
- i criteri per le travi;

- i criteri per le membrature tese o compresse, secondo quanto appropriato.

Per tutte le formule di verifica dei diversi casi, si rimanda alle NTC 2018.

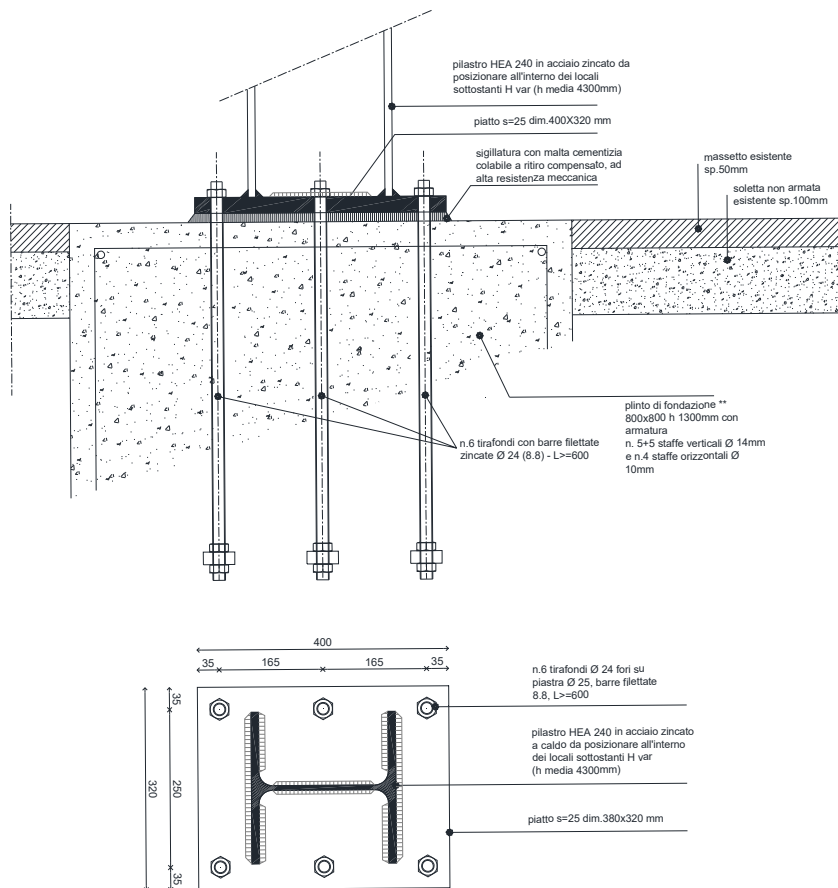
Di seguito si riporta la verifica dall' HEA 240 per le combinazioni allo SLU



La verifica risulta soddisfatta

3.6. Verifica giunto di base

L'ancoraggio di base della struttura è costituito da una piastra in acciaio S235 di forma rettangolare 400 x 320 mm e spessore 25 mm. La piastra di base contiene sei barre filettate zincate $\phi 24 A_{res} = 353 \text{ mm}^2$, acciaio classe 8.8 con lunghezza di ancoraggio minima pari a 600 mm. Si procede alla verifica dell'elemento più sollecitato.



Le massime sollecitazioni agenti sul collegamento risultano pari a:

$$N_{Ed} = -4,94 \text{ KN}$$

$$V_{X,Ed} = 6,52 \text{ KN}$$

$$V_{Y,Ed} = 6,52 \text{ KN}$$

$$M_{X,Ed} = 53,56 \text{ KNm}$$

$$M_{Y,Ed} = 54,22 \text{ KNm}$$

$$M_{Z,Ed} = 3,37 \text{ KNm}$$

Nel caso di presenza combinata di trazione e taglio si adotta la formula di interazione lineare:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1 \text{ con } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

$F_{V,Ed}$ ed $F_{t,Ed}$ sono rispettivamente le sollecitazioni di taglio e di trazione agenti sull'unione, $F_{V,Rd}$ ed $F_{t,Rd}$ sono rispettivamente le resistenze di taglio e di trazione.

$$F_{t,Ed} = \sigma_s \cdot A_{res}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

Verifica a trazione barre filettate:

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays input data for a bolted connection. The 'N° Vertici' (Number of Vertices) is 4, and the 'N° barre' (Number of Bars) is 6. The 'Tipo Sezione' (Section Type) is set to 'Coord.'. The 'P.to applicazione N' (Point of application of N) is set to 'Centro' (Center). The 'Metodo di calcolo' (Calculation Method) is set to 'Metodo n'. The 'Verifica' (Check) button is visible, and the 'N° iterazioni' (Number of iterations) is 4. The 'Precompresso' (Precompressed) checkbox is unchecked.

N°	x [mm]	y [mm]
1	0	0
2	400	0
3	400	320
4	0	320

N°	As [mm²]	x [mm]	y [mm]
1	353	35	35
2	353	200	35
3	353	365	35
4	353	35	285
5	0	200	285
6	0	365	285

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	0	4,94	kN
M _{xEd}	0	53,56	kNm
M _{yEd}	0	54,22	

Materiali

8,8	C25/30
ϵ_{su} 67,5 %	ϵ_{c2} 2 %
f_{yd} 556,5 N/mm²	ϵ_{cu} 3,5
E_s 200.000 N/mm²	f_{cd} 14,17
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0,8
ϵ_{syd} 2,783 %	$\sigma_{c,adm}$ 9,75
$\sigma_{s,adm}$ 0 N/mm²	τ_{co} 0,6
	τ_{c1} 1,829

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord. [mm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

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

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

σ_c -20,08 N/mm²

σ_s 379,2 N/mm²

ϵ_s 1,896 %

d 447,4 mm

x 198,1 x/d 0,4427

δ 0,9934

$$F_{t,Ed} = \sigma_s \cdot A_{res} = 379,2 \cdot 353 \cdot 10^{-3} = 133,86 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \min[F_{tb,Rd}; B_{p,Rd}]$$

$$F_{tb,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} \cdot 10^{-3} = 203,33 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 36,00 \cdot 25 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 488,58$$

$$F_{t,Rd} = 203,33 \text{ kN} > 133,86 \text{ kN}$$

Resistenza a trazione di progetto

Resistenza a trazione dei bulloni

Resistenza a punzonamento flangia

Verifica a taglio barre filettate:

Per la singola barra $\phi 24$ il taglio massimo sollecitante è pari a $F_{V,Ed} = 4,97 \text{ kN}$, comprensivo dell'effetto del momento $M_{z,Ed}$.

$$F_{v,Rd} = \min [F_{vb,Rd} ; F_{bf,Rd}] \quad \text{Resistenza a taglio di progetto}$$

$$F_{vb,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 353}{1,25} \cdot 10^{-3} = 135,55 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio dei bulloni}$$

$$F_{bf,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,22 \cdot 0,47 \cdot 235 \cdot 24 \cdot 25}{1,25} \cdot 10^{-3} = 117,70 \text{ kN} \quad \text{Verifica a rifollamento piastra}$$

$$F_{v,Rd} = 117,70 \text{ kN} > 4,97 \text{ kN}$$

Verifica a taglio – trazione

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{4,97}{117,70} + \frac{133,86}{1,4 \cdot 203,33} = 0,512 \leq 1$$

Verifica ancoraggio

Consiste nel verificare $F_{t,ad,Rd} > F_{t,an,Ed}$

Lunghezza tirafondi $L_t = 600 \text{ mm}$

Calcestruzzo

Resistenza cubica caratteristica a compressione $R_{ck} = 45,00 \text{ N/mm}^2$

Resistenza cilindrica caratteristica a compressione $f_{ck} = 37,35 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 21,16 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a trazione $f_{ctk} = 0,7 \cdot 0,30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 2,34 \text{ N/mm}^2$

Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo $f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk} / \gamma_c = 2,46 \text{ N/mm}^2$

Compressione massima calcestruzzo $\sigma_c = 20,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{cd} = 21,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Trazione di progetto dell'ancoraggio $F_{t,an,Ed} = F_{t,Ed} = 133,86 \text{ kN}$

Resistenza a trazione per aderenza $F_{t,ad,Rd} = L_t \cdot \pi \cdot \phi \cdot f_{bd} = 111,29 \text{ kN}$

$$F_{t,ad,Rd} < F_{t,an,Ed}$$

La sola resistenza a trazione per aderenza non è sufficiente, si chiama in causa anche il contributo resistente fornito dalla rosetta $d = 50 \text{ mm}$ e $s = 20 \text{ mm}$. Considerando la rosetta infinitamente rigida, la resistenza a trazione dell'ancoraggio è data dalla seguente relazione

$$F_{t,Rd} = F_{t,ad,Rd} + F_{t,ED,max}$$

Dove $F_{t,ED,max} = f_{cd} \cdot A_{rosetta}$ resistenza a trazione fornita dalla rosetta

$$F_{t,Rd} = 111,29 + 21,16 \cdot \frac{50^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10^{-3} = 152,83 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta in quanto $F_{t,Rd} = 152,83 \text{ kN} > F_{t,an,Ed} = 133,86 \text{ kN}$

Verifica saldatura piastra:

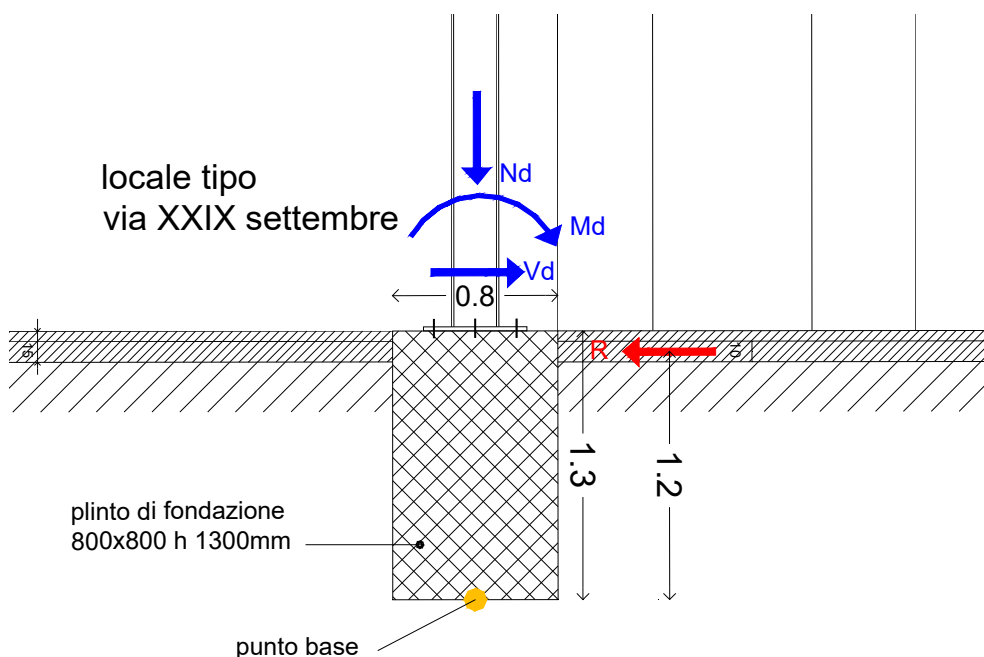
Le saldature di collegamento della colonna alla piastra sono a piena penetrazione secondo quanto riportato nel capitolo delle 4.2.8.2.1 NTC2018

4. RELAZIONE DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI

Per quanto concerne la fondazione, il plinto risulta immerso nella massicciata e bloccato in testa dal solettone esistente che gli impedisce di ruotare. Le uniche sollecitazioni che arrivano sul terreno sono gli sforzi normali che risultano di modesta entità rispetto alla fondazione stessa.

Di seguito si riporta l'equazione di equilibrio alla rotazione del plinto rispetto al punto base.

$$M_d + V_d \cdot 1,30 - R \cdot 1,20 = 0$$



$$R = \frac{M_d + V_d \cdot 1,30}{1,20} = \frac{54,22 + 6,52 \cdot 1,30}{1,20} = 52,25 \text{ kN}$$

Di seguito si riporta lo stato tensionale medio sulla soletta in calcestruzzo

$$\sigma = \frac{R}{Area} = \frac{52250}{800 \cdot 100} = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

Lo stato tensionale risulta di bassa entità ed è tale da poter essere sopportato dalla soletta esistente.

Di seguito si riportano verifiche al carico limite assiale.

Le verifiche di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi devono rispettare la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico valutata come $R_d = R/\gamma_R$.

Le verifiche, da condurre con l'approccio 2 (A1+M1+R3), sono le seguenti:

- SLU di tipo strutturale (STR): raggiungimento delle resistenza negli elementi strutturali;
- SLU di tipo geotecnico (GEO): collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno.

I coefficienti per le azioni, per i materiali e per le resistenze da utilizzare con l'approccio 2 sono evidenziati di seguito:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

4.1. Verifica del carico limite

Per il calcolo del carico limite si adotta il metodo di Terzaghi

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

Dove:

- c coesione del terreno in fondazione;
- ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
- γ peso di volume del terreno in fondazione;
- B larghezza della fondazione;
- D profondità del piano di posa;
- q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I fattori di capacità portante sono espressi dalle seguenti relazioni:

$$N_q = \frac{e^{2\left(0,75\pi - \frac{\phi}{2}\right) \cdot \tan \phi}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \cdot \tan \phi$$

I fattori di forma s_c e s_γ che compaiono nella espressione di Q_{lim} dipendono dalla forma della fondazione. In particolare valgono 1 per fondazioni nastriformi o rettangolari allungate e valgono rispettivamente 1.3 e 0.8 per fondazioni quadrate.

Si considera un approfondimento della fondazione pari a $D=1,30\text{m}$. Di seguito si riporta il calcolo della resistenza del sistema geotecnico pari $R_d = q_{lim}/\gamma_R$ con $\gamma_R = 2,3$.

$$N_q = 4,92$$

$$N_c = 13,67$$

$$N_\gamma = 3,40$$

$$Q_{lim} = 0 \cdot 13,67 \cdot 1,3 + 12,00 \cdot 4,92 + 0,5 \cdot 1,7 \cdot 4 \cdot 3,40 \cdot 0,8 = 68,29 \text{ kN/m}^2$$

$$R_d = \frac{Q_{lim}}{\gamma_R} = \frac{68,29}{2,3} = 29,69 \text{ kN/m}^2$$

$$E_d = \frac{4,94}{0,8 \cdot 0,8} = 7,72 \text{ kN/m}^2$$

La verifica risulta soddisfatta in quanto $R_d > E_d$

1. Model geometry

This section provides model geometry information, including items such as joint coordinates, joint restraints, and element connectivity.

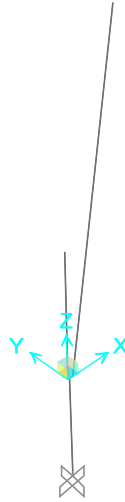


Figure 1: Finite element model

1.1. Joint coordinates

Table 1: Joint Coordinates

Table 1: Joint Coordinates						
Joint	CoordSys	CoordType	GlobalX	GlobalY	GlobalZ	
			m	m	m	
1	GLOBAL	Cartesian	0,	0,	0,	
2	GLOBAL	Cartesian	0,	2,700E-16	4,5	
3	GLOBAL	Cartesian	0,205	0,	0,	
4	GLOBAL	Cartesian	1,59673	6,040E-16	9,90268	
5	GLOBAL	Cartesian	0,1025	0,	0,	
6	GLOBAL	Cartesian	0,1025	0,	-4,5	

1.2. Joint restraints

Table 2: Joint Restraint Assignments

Table 2: Joint Restraint Assignments						
Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
6	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

1.3. Element connectivity

Table 3: Connectivity - Frame

Table 3: Connectivity - Frame			
Frame	JointI	JointJ	Length m
1	1	2	4,5
2	3	4	10,
3	1	5	0,1025
5	5	3	0,1025
6	6	5	4,5

Table 4: Frame Section Assignments

Table 4: Frame Section Assignments			
Frame	AnalSect	DesignSect	MatProp
1	palo pedonale	palo pedonale	Default
2	palo stradale	palo stradale	Default
3	250 x 150 s=10	250 x 150 s=10	Default
5	250 x 150 s=10	250 x 150 s=10	Default
6	HE240A	HE240A	Default

2. Material properties

This section provides material property information for materials used in the model.

Table 5: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties

Table 5: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties						
Material	UnitWeight KN/m3	UnitMass KN-s2/m4	E1 KN/m2	G12 KN/m2	U12	A1 1/C
S235	7,6973E+01	7,8490E+00	210000000	80769230, 77	0,3	1,1700E-05

Table 6: Material Properties 03a - Steel Data

Table 6: Material Properties 03a - Steel Data			
Material	Fy KN/m2	Fu KN/m2	FinalSlope
S235	235000,	360000,	-0,1

3. Section properties

This section provides section property information for objects used in the model.

3.1. Frames

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 4

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 1 of 4

SectionName	Material	Shape	t3 m	t2 m	tf m	tw m	t2b m	tfb m
250 x 150 s=10	S235	Box/Tube	0,25	0,15	0,01	0,01		
D 160	S235	Pipe	0,16			0,003		
D 60	S235	Pipe	0,06			0,003		
D 95	S235	Pipe	0,095			0,003		
HE240A	S235	I/Wide Flange	0,23	0,24	0,012	0,0075	0,24	0,012
palo pedonale		Nonprismatic						
palo stradale		Nonprismatic						

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 2 of 4

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 2 of 4

SectionName	Area m2	TorsConst m4	I33 m4	I22 m4	I23 m4	AS2 m2	AS3 m2
250 x 150 s=10	0,0076	0,000059	0,000064	0,000028	0,	0,005	0,003
D 160	0,00148	9,122E-06	4,561E-06	4,561E-06	0,	0,00074	0,00074
D 60	0,000537	4,376E-07	2,188E-07	2,188E-07	0,	0,000269	0,000269
D 95	0,000867	1,837E-06	9,183E-07	9,183E-07	0,	0,000434	0,000434
HE240A	0,00768	4,210E-07	0,000078	0,000028	0,	0,001725	0,0048
palo pedonale							
palo stradale							

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 3 of 4

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 3 of 4

SectionName	S33 m3	S22 m3	Z33 m3	Z22 m3	R33 m	R22 m
250 x 150 s=10	0,000508	0,000376	0,000625	0,000435	0,09141	0,060918
D 160	0,000057	0,000057	0,000074	0,000074	0,055518	0,055518
D 60	7,293E-06	7,293E-06	9,756E-06	9,756E-06	0,02018	0,02018
D 95	0,000019	0,000019	0,000025	0,000025	0,032544	0,032544
HE240A	0,000675	0,000231	0,000745	0,000352	0,100539	0,060046
palo pedonale						
palo stradale						

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 4 of 4

Table 7: Frame Section Properties 01 - General, Part 4 of 4

SectionName	AMod	A2Mod	A3Mod	JMod	I2Mod	I3Mod	MMod	WMod
250 x 150 s=10	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,
D 160	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,
D 60	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,
D 95	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,
HE240A	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,	1,
palo pedonale								
palo stradale								

Table 8: Frame Section Properties 05 - Nonprismatic

SectionName	SegmentNum	StartSect	EndSect	AbsLength	VarLength	EI33Var	EI22Var
palo pedonale	1	D 95	D 60		1,	Parabolic	Linear
palo stradale	1	D 160	D 60		1,	Parabolic	Linear

4. Load patterns

This section provides loading information as applied to the model.

4.1. Definitions

Table 9: Load Pattern Definitions

LoadPat	DesignType	SelfWtMult	AutoLoad
DEAD	Dead	1,	
Vx+	Wind	0,	None
Vx-	Wind	0,	None
Vy	Wind	0,	None
V45°+	Wind	0,	None
V45°-	Wind	0,	None

5. Load cases

This section provides load case information.

5.1. Definitions

Table 10: Load Case Definitions, Part 1 of 2

Case	Type	InitialCond	ModalCase	BaseCase	MassSource	DesActOpt
DEAD	LinStatic	Zero				Prog Det
MODAL	LinModal	Zero				Prog Det
Vx+	LinStatic	Zero				Prog Det
Vx-	LinStatic	Zero				Prog Det
Vy	LinStatic	Zero				Prog Det
V45°+	LinStatic	Zero				Prog Det
V45°-	LinStatic	Zero				Prog Det

Table 10: Load Case Definitions, Part 2 of 2

Case	DesignAct
DEAD	Non-Composite
MODAL	Other

Table 10: Load Case Definitions, Part 2 of 2

Case	DesignAct
Vx+	Short-Term Composite
Vx-	Short-Term Composite
Vy	Short-Term Composite
V45°+	Short-Term Composite
V45°-	Short-Term Composite

5.2. Static case load assignments

Table 11: Case - Static 1 - Load Assignments

Table 11: Case - Static 1 - Load Assignments

Case	LoadType	LoadName	LoadSF
DEAD	Load pattern	DEAD	1,
Vx+	Load pattern	Vx+	1,
Vx-	Load pattern	Vx-	1,
Vy	Load pattern	Vy	1,
V45°+	Load pattern	V45°+	1,
V45°-	Load pattern	V45°-	1,

6. Load combinations

This section provides load combination information.

Table 12: Combination Definitions

Table 12: Combination Definitions

ComboName	ComboType	CaseName	ScaleFactor
SLU x+	Linear Add	DEAD	1,3
SLU x+		Vx+	1,5
SLU x-	Linear Add	DEAD	1,3
SLU x-		Vx-	1,5
SLU y	Linear Add	DEAD	1,3
SLU y		Vy	1,5
SLU 45+	Linear Add	DEAD	1,3
SLU 45+		V45°+	1,5
SLU 45-	Linear Add	DEAD	1,3
SLU 45-		V45°-	1,5
inviluppo	Envelope	SLU 45-	1,
inviluppo		SLU 45+	1,
inviluppo		SLU x-	1,
inviluppo		SLU x+	1,
inviluppo		SLU y	1,