




**COMUNE DI PALERMO**  
**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle OO.PP**  
**e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione**  
**Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**

<b>VERIFICA PROGETTAZIONE ESECUTIVA</b> Rapporto conclusivo del _____ ALLEGATO N. _____ Elaborato N. _____	
Esito	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">POS</div> NEG
Il Progettista : Ing. Margherita Di Lorenzo del Casale	
Il Soggetto verificatore :  D.T. Prof. Ing. G. Rizzari VISTO : IL R.U.P. Ing. Roberto Cairone	

<b>PARERE TECNICO</b> ai sensi dell'art. 5 comma 3 della Legge 12/07/2011 n. 12 prot. n. _____ del _____	
Esito	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">POS</div> NEG
Il R.U.P. Ing. Roberto Cairone	
<b>ATTESTATO DI VALIDAZIONE</b> ai sensi dell'art. 26 c. 8 D.Lgs. 50/2016 e s.m.i. prot. n. _____ del _____	
Esito	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">POS</div> NEG
Il R.U.P. Ing. Roberto Cairone	

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**  
**CUP D74H16000810001**

B3

OGGETTO:

**PON METRO PALERMO - LUCI SUL MARE- Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione- valorizzazione del tratto "Porto Fenicio"**

ELABORATO:

**CALCOLI STATICI**

SCALA:

DATA: NOVEMBRE 2016 - AGG.FEBBRAIO 2019

Il Coordinatore del gruppo di progettazione

*Ing. Margherita Di Lorenzo Del Casale*

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

Esp. Geom. Natale Schiera

Geom. Dir. Maurizio Pollicino

Esp. Geom. Stefano Sabbia

Imp. Tecn. Dis. Domenico Volturro

Esp. Geom. Giovanni Seghini (Coord. Sicurezza in fase progettazione)

*Il Responsabile Unico del Procedimento*

*Ing. Roberto Cairone*

*Il Dirigente dell'Ufficio*

*Dott. Roberto Raineri*

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
***Luci sul mare - Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".***

1. Descrizione Generale dell'opera.....	2
2 Normativa di Riferimento .....	2
3 Caratteristiche dei materiali .....	2
4 Azioni di Progetto.....	3
4.1 Carichi permanenti.....	3
4.2 Azione del vento .....	4
4.3 Azione sismica.....	7
5 Verifiche di Sicurezza.....	9
5.1 Verifiche di sicurezza per carichi non sismici .....	9

## **1. Descrizione Generale dell'opera**

Sono oggetto della presente relazione le verifiche del sistema costituito da un palo tronco conico diritto e della sua relativa fondazione. Il palo è realizzato in ghisa UNI EN 1561 e acciaio S355JR, in particolare è costituito all'interno da un palo rastremato in acciaio a sezione circolare zincato a caldo ed all'esterno da un basamento in ghisa con sovrastante colonna in fusione di ghisa, posta ad incastro sulla base inferiore.

Il palo interno avente funzione strutturale portante ha una sezione circolare di diametro alla base pari a 140 mm ed alla sommità di 89 mm, spessore 4 mm e altezza complessiva pari a 8,00 m dal piano di fondazione.

In sommità il palo sostiene un braccio pastorale costituito da elementi in ghisa del peso di circa 50 daN e superficie esposta al vento di 0,36 m<sup>2</sup> al quale è appeso un corpo illuminante a LED con telaio a forma di campana del peso di circa 30 daN e superficie esposta al vento di 0,20 m<sup>2</sup>.

La struttura di fondazione è un plinto in c.a. di forma cubica a base quadrata di lato 1,00 m ed altezza pari a 1,00 m.

## **2 Normativa di Riferimento**

Le verifiche sono state condotte secondo quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni» (G.U. Serie Generale n. 42 del 20.02.2018 – Suppl. Ordinario n. 8)" e della Circolare 2 Febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. "Circolare esplicativa delle Norme Tecniche per le Costruzioni"; per il calcolo dell'azione del vento è stato fatto riferimento alla CNR-DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

## **3 Caratteristiche dei materiali**

I materiali presenti in progetto rispettano le caratteristiche meccaniche e di resistenza riportate in seguito:

- 1) LEGANTI: Idraulici, previsti dalla Legge 26/05/1965, n. 595 e norme armonizzate della serie EN 197

2) AGGREGATI: Conformi alla parte armonizzata della norma europea UNI EN 12620

3) ADDITIVI: Conformi alla parte armonizzata della norma europea EN 934-2

4) ACQUA: Conforme alla norma UNI EN 1008

5) ACCIAIO PER ARMATURA: B450C

6) ACCIAIO PER PALO: S375 JR

Il conglomerato cementizio da impiegarsi nelle strutture dei lavori in epigrafe sarà dosato in modo tale da garantire una classe C16/20. Le altre caratteristiche del conglomerato cementizio, conformi alla norma EN 206, sono riportate di seguito:

- CLASSE DI ESPOSIZIONE: XC2
- COPRIFERRO MINIMO: 30 mm
- RAPPORTO ACQUA CEMENTO: < 0,60
- CLASSE DI CONSISTENZA DEL CALCESTRUZZO S4
- AGGREGATI D < 30 mm
- CONTENUTO DI CEMENTO > 300 daN/m<sup>3</sup>
- 

Circa le altre prescrizioni esecutive si richiamano le disposizioni di cui al D.M.17/01/2018

## **4 Azioni di Progetto**

Le azioni di progetto considerate per la verifica dell'opera in oggetto sono:

- carichi permanenti (pesi propri dei materiali strutturali, carichi permanenti non strutturali)
- azione del vento
- azione sismica

Di seguito si riportano nel dettaglio le valutazioni numeriche delle azioni considerate.

### **4.1 Carichi permanenti**

I carichi permanenti da considerare nelle verifiche di resistenza e stabilità sono rappresentati dai pesi propri degli elementi strutturali e non strutturali.

#### *4.2 Azione del vento*

Il vento esercita una duplice azione sull'elemento in esame:

- un'azione concentrata, agente sulla sommità del palo, causata dalla pressione esercitata dal vento sull'apparecchio illuminante;
- un'azione distribuita, agente lungo tutto lo sviluppo del palo, causata dalla pressione esercitata dal vento sulla superficie del palo stesso.

Per determinare l'entità delle due azioni suddette si è fatto riferimento alle norme CNR-DT207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

In particolare, il calcolo è stato effettuato secondo i punti seguenti:

- valutazione della velocità e della pressione cinetica del vento (par. 3.2 della norma di riferimento);
- valutazione dell'azione concentrata del vento sulla sommità del palo (par. 3.3.3 e G.7/Allegato G della norma di riferimento);
- valutazione dell'azione distribuita del vento lungo lo sviluppo del palo (par. 3.3.4 e G.10/Allegato G della norma di riferimento).

#### **Valutazione della velocità e della pressione cinetica del vento**

La velocità base di riferimento ( $v_b$ ) è in funzione della posizione geografica e dell'altitudine sul livello del mare del sito di costruzione. In particolare, il sito ricade in zona 4 ed ha un'altitudine di 0 m s.l.m.

La velocità di riferimento di progetto è assunta per un tempo di ritorno di 50 anni da cui è stata determinata la categoria di esposizione del sito.

Sono stati valutati il coefficiente di topografia, il coefficiente di esposizione e il coefficiente aerodinamico, tramite i quali è stato possibile determinare la pressione cinetica di picco.

Si riporta di seguito il dettaglio di tali calcoli:

Altitudine del sito	$a_s=0$ m
Altezza del palo (fuori terra)	$H=8.00$ m
Zona	Sicilia: Zona 4
Velocità base di riferimento s.l.m.	$v_{b,0}=28$ m/s
Parametro Tab. 3.3.1	$a_0=500$ m

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
**Luci sul mare - Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".**

Parametro Tab. 3.3.I	$k_s = 0,36 \text{ s}^{-1}$
Coefficiente di altitudine:	$c_a = 1$
Velocità base di riferimento (TR=50 anni)	$v_b = c_a * v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$
Classe di rugosità del terreno (Tab. 3.3.III)	D
Distanza dalla costa	$d_s = 0 \text{ km}$
Categoria di esposizione del sito (Fig.3.3)	II
Coefficiente Tab. 3.3.II	$k_r = 0,19$
Coefficiente Tab. 3.3.II	$z_0 = 0,05 \text{ m}$
Coefficiente Tab. 3.3.II	$z_{min} = 4 \text{ m}$
Coefficiente di topografia	$c_t = 1$
Coefficiente di esposizione	$c_e = 2,21$
Coefficiente aerodinamico	$c_d = 1$
Pressione cinetica dell'aria	$\rho = 1,25 \text{ daN/m}^3$
	$q_p = (1/2) * \rho * v_b^2 * c_e * c_d =$
Pressione cinetica di picco	$1084,05 \text{ N/m}^2$

**Valutazione dell'azione concentrata del vento sulla sommità del palo**

La forza concentrata esercitata dal vento sulla sommità del palo può essere calcolata mediante la relazione seguente (par. 3.3.3 della norma di riferimento):

$$F_x = q_p(z') * L^2 * c_{FX} \text{ in cui:}$$

$q_p$  è la pressione cinetica di picco del vento;

$z'$  è l'altezza di riferimento associata al coefficiente di forza;

$L$  è la lunghezza di riferimento su cui agisce la pressione del vento;

$c_{FX}$  è il coefficiente di forza secondo la direzione X.

L'area di riferimento  $L^2$  è stata assunta pari alla proiezione sul piano verticale dell'apparecchio di illuminazione posto sulla sommità del palo e del braccio del pastorale.

Il coefficiente di forza è stato valutato in via approssimata in maniera analoga al caso delle insegne (par. G.7 dell'Allegato G alla norma di riferimento). Di conseguenza, si è assunto un coefficiente di forza pari a

1,8

Si riporta di seguito il dettaglio del calcolo:

### DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DEL VENTO SULLA LANTERNA:

In corrispondenza della lanterna l'azione del vento può essere schematizzata come una forza puntuale. Per il calcolo del coefficiente di forza si fa riferimento al punto G.7

Coefficiente di forza	$C_{FX}$	=	1.8
Larghezza del lanterna	$b$	=	0.30 m
Altezza della lanterna	$L$	=	0.60 m
Area di riferimento	$A=b*L$	=	0.20 m <sup>2</sup>

[illegible]

**Valutando ugualmente l'azione del vento sul braccio del pastorale risulta:**

**Forza puntuale del vento**  $F_X = 2 \cdot q_p \cdot c_{FX} \cdot A = 1404.92 \text{ N}$   
**=140.49 daN**

### Valutazione dell'azione distribuita del vento lungo lo sviluppo del palo

La forza distribuita esercitata dal vento lungo lo sviluppo del palo può essere calcolata mediante la relazione seguente (par. 3.3.4 della norma di riferimento):

$$f_X(z) = q_p(z) * I * c_{FX} \quad \text{in cui:}$$

$q_p$  e la pressione cinetica di picco del vento;

$z$  è la quota sul suolo;

$l$  è la dimensione di riferimento associata al coefficiente di forza;

$c_{FX}$  è il coefficiente di forza.

Per la valutazione del coefficiente di forza e della dimensione di riferimento ad esso associata si è fatto riferimento al caso di elementi strutturali allungati a sezione circolare (par. G.10 dell'Allegato G alla norma di riferimento).

Si riporta di seguito il dettaglio del calcolo:

## DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DEL VENTO LUNGO LO SVILUPPO DEL PALO

Lungo lo sviluppo del palo l'azione del vento può essere schematizzata come una forza per unità di lunghezza.

Per il calcolo del coefficiente di forza si fa riferimento al punto G.10.6

Diametro del palo (medio)	d=	0.114 m
Dimensione di riferimento	l=d=	0.114 m

Coefficiente di profilo medio del vento		0.96
Velocità media del vento	$V_m = c_m \cdot v_b =$	26.88 m/s
Viscosità cinematica dell'aria	$\nu =$	0.000015 m <sup>2</sup> /s
Numero di Reynolds	$Re = l \cdot v_m / \nu =$	258048
Scabrezza della superficie (Tab.G.XVII)	$k =$	0.20 mm
Parametro	$k/d =$	0.0018
Coefficiente di forza ideale (curva A)	$c_{fx0,A} =$	0.733
Coefficiente di forza ideale (curva B)	$C_{fx0,B} =$	1.0247
Coefficiente di forza ideale (Fig.G.51)	$C_{fx0} = c_{fx0,B} =$	1.0247 km
Snellezza effettiva (Tab.G.XIX)	$\lambda =$	76.4
Coefficiente di snellezza (Formule G.23)	$\Psi_\lambda =$	0.921
Coefficiente di forza	$c_{fx} = c_{fx,0} \cdot \Psi_\lambda =$	0,9437 m
Forza del vento per unità di lunghezza	$f_x = q_p \cdot c_{fx} \cdot l =$	116.62 N/m
		11.66 daN/m

NOTA: per il calcolo della velocità media del vento e del numero di Reynolds si è fatto riferimento rispettivamente ai paragrafi 3.2.5 e 3.3.7 della norma di riferimento.

#### 4.3 Azione sismica

##### PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La costruzione in oggetto è una struttura ordinaria quindi si assume  $V_N \geq 50$  anni.

La costruzione in oggetto è una struttura di "Classe III", così definita:

Classe III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  :



$$VR=VN*CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito al variare della classe d'uso.

Si ottiene quindi:  $VR=VN*CU=50*1,5=75$  anni

## **AZIONE SISMICA**

L'azione sismica sul palo di illuminazione è stata considerata mediante l'applicazione di una forza statica equivalente alla forza indotta dall'azione sismica, in sommità del palo.

Il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame, T1, è stato valutato utilizzando la seguente formula:

$$T1=2\sqrt{d} \quad [7.3.6]$$

dove d è lo spostamento laterale lastico del punto più alto docvuto alla combinazione di carichi [2.5.7] applicata nella direzione orizzontale. Nel caso specifico, dal momento che coefficiente  $\Psi_{2j} = 0$ , la forza orizzontale è pari alla massa del palo.

Noto il periodo del primo modo di vibrare, espresso in secondi, l'entità della forza sismica si ottiene dall'ordinata dello spettro di progetto corrispondente al periodo T1 e la sua distribuzione sulla struttura segue la forma del modo di vibrare principale nella direzione in esame, valutata in modo approssimato.

La forza da applicare in sommità del palo è pari a:

$$Fh=Sd(T1)*W*\lambda/g \quad [7.3.7]$$

dove Sd(T1) è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto, W è il peso complessivo della struttura,  $\lambda$  è un coefficiente pari a 1 nel caso in esame, e g è l'accelerazione di gravità.

Nel caso in esame è stato considerato lo stato limite SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita).

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

Si è assunto un suolo di fondazione appartenente alla categoria C e dato che il palo dell'illuminazione si trova in zona pianeggiante, ricade nella categoria T1.

Per la determinazione dell'azione sismica le coordinate dell'ubicazione dell'opera in oggetto sono: latitudine 38,1121 e longitudine 13,3366; con tali valori si ricavano, per lo stato limite SLV, i seguenti parametri:

d=	0.158 m
H=	8.00 m
$T1= 2\sqrt{d}=$	0.7746 s
$T*c=$	0.298 s
Cc=	1.565
F0=	2.402

$$ag/g= 0.204$$

ST= 1.00

SS= 1.406

S=ST*SS=	1.406
TC=	0.467 s
TD=	2.417 s
verifica $T1 < 2,5 * Cc * T * c$ =	1.165 verificato
verifica $T1 < TD$ =	0.7746 verificato
q=	1.00
$Sd(T1) = ag * S * F0 * (TC/T) / q$	0.415
=	
W=	910 N
$\lambda$ =	1.00
$Fh = Sd(T1) * W * \lambda / g$ =	4.00 daN

Dai precedenti calcoli si evince che le azioni dovute al sisma sono nettamente inferiori rispetto a quelle dovute al vento, per cui le relative verifiche di sicurezza verranno condotte unicamente per le azioni legate a quest'ultimo.

## **5 Verifiche di Sicurezza**

Lo schema di calcolo adottato per la valutazione delle sollecitazioni è quello di una mensola, di lunghezza pari a 8,00 m. Il plinto di fondazione è stato dimensionato con le massime sollecitazioni derivanti dal palo sovrastante. Per il calcolo delle strutture si è utilizzato il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

### **5.1 Verifiche di sicurezza per carichi non sismici**

Le verifiche per i carichi non sismici vengono eseguite allo stato limite ultimo, mediante il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sulle resistenze secondo quanto riportato nel D.M. 17/01/2018.

AZIONI DI CALCOLO:

Le azioni di calcolo  $E_d$  si ottengono combinando le azioni caratteristiche secondo la seguente formula di correlazione:

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
**Luci sul mare - Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".**

$$\gamma G_1 * G_1 + \gamma G_2 * G_2 + \gamma P * P + \gamma Q_1 * Q_{k1} + \gamma Q_2 * y_{02} * Q_{k2} + \gamma Q_3 * y_{03} * Q_{k3} + \dots$$

dove:

G<sub>1</sub> rappresenta il valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi strutturali;

G<sub>2</sub> rappresenta il valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

P rappresenta il valore di pretensione;

Q<sub>k1</sub> rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile dominante di ogni combinazione;

Q<sub>ki</sub> rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;

$\gamma G_1$ ,  $\gamma G_2$ ,  $\gamma Q_i$  e  $\gamma P$  rappresentano i coefficienti parziali di sicurezza, che assumono i valori riportati nella Tabella 2.6.I.

Per il palo di illuminazione è stata effettuata l'unica verifica ritenuta significativa, ossia la verifica a flessione (STR).

Per quanto riguarda il plinto di fondazione sono state effettuate le seguenti verifiche: - -  
 verifica a ribaltamento (EQU)

- verifica a scorrimento (GEO)

- verifica di capacità portante del terreno (GEO)

Nelle verifiche strutturali le azioni sono state moltiplicate per i coefficienti parziali di tipo STR.

Per la verifica a ribaltamento (Stato Limite di Equilibrio come corpo rigido), il momento ribaltante e quello stabilizzante sono stati calcolati sulla base dei carichi agenti moltiplicati per i coefficienti parziali di tipo EQU.

Le verifiche a scorrimento e di capacità portante (verifiche di tipo Geotecnico) sono state condotte secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

#### VERIFICHE:

#### **1) PALO**

Per le verifiche sul palo, sono stati utilizzati i seguenti parametri:

Altezza del palo	L=	8.00 m
Diametro di base del palo	D=	14.00 cm
Spessore sezione trasversale	t=	4 mm
Tensione di snervamento acciaio S375 JR	$f_y$ =	3550.00 daN/cm <sup>2</sup>

#### • Verifica a flessione

Parametro sezione trasversale	$D/t$ =	35.00
Parametro resistenza	$\varepsilon=(355/f_{yk})^{1/2}$ =	1.00
Classe sezione trasversale	=	I ( $D/t \leq 50 * \varepsilon^2 = 50.00$ )
Coefficiente STR carichi accidentali	$\gamma_Q$ =	1.50 (sfavorevoli)
Momento massimo dovuto a $f_x$	$M_t = \gamma_Q * f_x * L^2/2$ =	360.96 daNm

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
**Luci sul mare - Riqualficazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".**

Momento massimo dovuto a $F_x$	$M_F = \gamma_Q * F_x * L =$	450.84 daNm	
Coeff. parz. di sicurezza per la resistenza	$\gamma_{M0} =$	1.05	
Modulo di resistenza plastico	$W_{pl} = (D^3 - (D - 2 * t)^3) / 6 =$	82.96 cm <sup>3</sup>	
<b>Momento resistente di progetto <math>M_{c,Rd} = (W_{pl} * f_y) / \gamma_{M0} =</math></b>		<b>1856.72 daNm</b>	<b>VERIFICATO</b>

**Momento sollecitante alla base del palo  $M_{Sd} = M_r + M_F =$**  811.80 daNm

## 2) PLINTO DI FONDAZIONE

Per la struttura di fondazione del palo, sono stati utilizzati i seguenti parametri:

Altezza del plinto	$h =$	100 cm
Base del plinto	$b =$	100 cm
Peso specifico cls	$\gamma_{cls} =$	2500 kg/m <sup>3</sup>
Peso del palo (solo fusto)	$N_p =$	91 kg
Peso del faro	$N_{faro} =$	14 kg
Altezza palo	$L =$	8.00 m

### • Verifica al ribaltamento

La verifica a ribaltamento viene quindi effettuata secondo l'unico approccio: EQU.

Si calcolano il momento ribaltante  $M_R$ , dovuto all'azione del vento, ed il momento stabilizzante  $M_S$ , dovuto ai pesi propri, rispetto allo spigolo esterno della base del plinto di fondazione. Affinchè la verifica sia soddisfatta, deve essere:  $M_S / M_R \geq 1$  Si riportano di seguito i calcoli effettuati:

Coefficiente EQU carichi permanenti	$\gamma_G =$	0.90 (favorevoli)	
Coefficiente EQU carichi accidentali	$\gamma_Q =$	1.50 (sfavorevoli)	
Momento massimo dovuto a $f_x$	$M_f = \gamma_Q * f_x * L^2 / 2 =$	360.96 daNm	
Momento massimo dovuto a $F_x$	$M_F = \gamma_Q * F_x * L =$	450.84 daNm	
Taglio massimo dovuto a $f_x$	$T_f = \gamma_Q * f_x * L =$	90.24 daN	
Taglio massimo dovuto a $F_x$	$T_F = \gamma_Q * F_x =$	56.36 daN	
Peso del palo (solo fusto)	$N_p = \gamma_G * N_p =$	81.90 daN	
Peso del faro	$N_{faro} = \gamma_G * N_{faro} =$	12.60 daN	
Peso del plinto	$P = \gamma_G * \gamma_{cls} * V_{plinto} =$	2250.00 daN	
Momento alla base del palo	$M_{Sd} = M_f + M_F =$	811.80 daNm	
Taglio alla base del palo	$T_{Sd} = T_f + T_F =$	146.60 daN	
Compressione alla base del palo	$N_{pl} = N_p + N_s + N_{faro} =$	94.50 daN	
<b>Momento stabilizzante</b>	<b><math>M_S = (N_p + P) * b / 2 =</math></b>	<b>1172.25 daNm</b>	<b>VERIFICATO</b>
<b>Momento ribaltante</b>	<b><math>M_R = M_{Sd} + T_{Sd} * h =</math></b>	<b>958.40 daNm</b>	

### • Verifica allo scorrimento

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
**Luci sul mare - Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".**

La verifica allo scorrimento è stata effettuata secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Si calcolano la forza di scorrimento,  $F_{scorr}$ , dovuta all'azione del vento, e la forza stabilizzante,  $F_{stab}$ , dovuta all'attrito tra terreno e muro, pari a:

$$F_{stab} = (\gamma_{G1,F} \cdot P \cdot \tan \frac{\delta}{\gamma_R}) / \gamma_R$$

Affinché la verifica sia soddisfatta, deve essere  $F_{stab}/F_{scorr} \geq 1$  Si riportano di seguito i calcoli effettuati:

Coefficiente A1 carichi permanenti	$\gamma_G =$	1.00 (favorevoli)	
Coefficiente A2 carichi accidentali	$\gamma_Q =$	1.50 (sfavorevoli)	
Coefficiente M1 parametri geotecnici	$\gamma_\phi =$	1.00	
Coefficiente R3 scorrimento	$\gamma_R =$	1.10	
Taglio massimo dovuto a $f_x$	$T_f = \gamma_Q \cdot f_x \cdot L =$	90.24 kg	
Taglio massimo dovuto a $F_x$	$T_F = \gamma_Q \cdot F_x =$	56.36 kg	
Peso del palo (solo fusto)	$N_p = \gamma_G \cdot N_p =$	91.00 kg	
Peso del faro	$N_{faro} = \gamma_G \cdot N_{faro} =$	14.00 kg	
Peso del plinto	$P = \gamma_G \cdot \gamma_{cls} \cdot V_{plinto} =$	2500.00 kg	
Angolo di attrito terreno-cla	$\delta = 2/3 \cdot \phi' =$	20.00 °	
<b>Forza resistente</b>	$F_R = (N_p + N_s + N_{faro} + P) \cdot \tan(\delta / \gamma_\phi) / \gamma_R =$	<b>861.95 kg</b>	<b>VERIFICATO</b>
<b>Forza di scorrimento</b>	$F_s = T_f + T_F =$	<b>146.6 kg</b>	

• Verifica della capacità portante

Dalla vasta bibliografia esistente sulla zona oggetto dell'intervento, si è ipotizzato un terreno di fondazione caratterizzato dai seguenti parametri:

Categoria suolo di fondazione	C
Peso specifico	$\gamma = 2000.00 \text{ kg/m}^3$
Angolo di attrito	$\phi' = 30.00^\circ$
Coesione efficace	$c' = 0.20 \text{ kg/cm}^2$

Per il calcolo del carico limite si è utilizzata la formula di Brinch-Hansen, che esprime l'equilibrio fra il carico applicato alla fondazione e la resistenza limite del terreno:

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + \frac{1}{\gamma} \cdot B \cdot \gamma_f \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
**Luci sul mare - Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".**

in cui:

$c$  = coesione del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$q = \gamma \cdot D$  = pressione geostatica in corrispondenza del piano di posa della fondazione;

$\gamma$  = peso unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione;

$D$  = profondità del piano di posa della fondazione;

$B$  = dimensione caratteristica della fondazione, che corrisponde alla larghezza della suola;

**$L$  = Lunghezza della fondazione;**

$\gamma_f$  = peso unità di volume del terreno al disotto del piano di posa della fondazione;

$N_c, N_q, N_\gamma$  = fattori di capacità portante;

$s, d, i, g, b, \gamma$  = coefficienti correttivi.

**NB:** Se la risultante dei carichi verticali è eccentrica,  $B$  e  $L$  sono ridotte rispettivamente di:

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

$$L' = L - 2 \cdot e_L$$

dove:

$e_B$  = eccentricità parallela al lato di dimensione  $B$ ;

$e_L$  = eccentricità parallela al lato di dimensione  $L$ .

Si riporta il valore dei succitati parametri, calcolati con le relative formule, e della pressione limite:

$$N_c = 30.14$$

$$s_c = 1.14$$

$$d_c = 1.02$$

$$i_c = 0.956$$

$$g_c = 1.00$$

$$b_c = 1.00$$

$$N_q = 18.40$$

$$s_q = 1.13$$

$$d_q = 1.29$$

$$i_q = 0.956$$

$$g_q = 1.0$$

$$b_q = 1.0$$

$$N_\gamma = 22.40$$

$$s_\gamma = 0.91$$

$$d_\gamma = 1.00$$

$$i_\gamma = 0.829$$

$$g_\gamma = 1.00$$

**Area Tecnica della Rigenerazione Urbana, delle O.O.P.P. e dell'Attuazione delle Politiche di Coesione - Ufficio Infrastrutture e Servizi a Rete**  
**Luci sul mare - Riqualificazione impianti di pubblica illuminazione - Valorizzazione del tratto "Porto Fenicio".**

$$b_{\gamma} = 1.00$$

$$q_{lim} = 3.30 \text{ daN/cm}^2$$

La verifica della capacità portante è stata effettuata secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Tale verifica si esegue confrontando la massima pressione di contatto trasmessa dal plinto di fondazione con la pressione limite. Si riportano di seguito i calcoli effettuati:

Coefficiente A1 carichi permanenti	$\gamma_G =$	1.00 (favorevoli)	
Coefficiente A2 carichi accidentali	$\gamma_Q =$	1.50 (sfavorevoli)	
Coefficiente R3 capacità portante	$\gamma_R =$	2.30	
Momento massimo dovuto a $f_x$	$M_f = \gamma_Q * f_x * L^2 / 2 =$	360.96 kgm	
Momento massimo dovuto a $F_x$	$M_F = \gamma_Q * F_x * L =$	450.84 kgm	
Taglio massimo dovuto a $f_x$	$T_f = \gamma_Q * f_x * L =$	90.24 kg	
Taglio massimo dovuto a $F_x$	$T_F = \gamma_Q * F_x =$	56.36 kg	
Peso del palo (solo fusto)	$N_p = \gamma_G * N_p =$	91.00 kg	
Peso del faro	$N_{faro} = \gamma_G * N_{faro} =$	14.00 kg	
Peso del plinto	$P = \gamma_G * \gamma_{cls} * V_{plinto} =$	2500.00 kg	
Momento alla base del plinto	$M_{pl} = M_f + M_F + (T_f + T_F) * h =$	958.40 kgm	
Compressione alla base del plinto	$N_{pl} = N_p + N_s + N_{faro} + P =$	2605.00 kg	
Eccentricità	$e = M_{pl} / N_{pl} =$	0.368 m	
<b>Tensione di compressione massima</b>	$\sigma_{max} = 2 * N_{pl} / 3 * b * (b/2 - e) =$	<b>1.32 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>VERIFICATO</b>
<b>Tensione di compressione ammissibile</b>	$\sigma_{max} = q_{lim} / \gamma_R =$	<b>1.44 kg/cm<sup>2</sup></b>	

Tutte le verifiche effettuate hanno riportato esito positivo.