



"DECARBONIZZAZIONE DEL SISTEMA PORTUALE SICILIANO – PORTO DI SIRACUSA"  
CUP: G31B21004600001 – CIG: 95453120A7

PROGETTO ESECUTIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO	Ing. Marco Brandaleone	IL PRESIDENTE	On. Renato Schifani
IL DIRIGENTE GENERALE	Ing. Antonio Martini	IL SEGRETARIO GENERALE	Avv. Maria Mattarella
INCARICATO DELLA PROGETTAZIONE	Ing. Alberto Lambertini	COORDINATORE SICUREZZA PROGETTAZIONE	Arch. Luciano Franchi

Progettista incaricato:



Azienda certificata **ISO 9001:2015**  
**RINA n.5923/01/S IQNet n.IT-19510**

Sede legale:  
Piazza Roma, 19  
32045 S. Stefano di Cadore (BL)  
tel +39.0422.693511

Sede secondaria:  
Via Pietro Chiesa, 9  
16149 Genova (GE)  
tel +39.0422.693511

Raggruppamento temporaneo di imprese

Capogruppo:



Responsabile di commessa:

Ing. Mario Corace

Mandataria:



Responsabile di commessa:

Ing. Giuseppe Vito Moramarco

NOME FILE: 32016019PE0STRREL02R0

SCALA: –

PAGINA: –

TITOLO  
Relazione Tecnica – Parte Strutture Torre Faro

ELABORATO  
32016019  
PEO STR REL 02 R0

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
0	Lug. 2025	Prima emissione	A. Lambertini	A. Lambertini	A. Lambertini

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p><b>PROGETTO ESECUTIVO</b></p> <p>RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO</p> <p>32016019PE0STRREL02R0</p> <p style="text-align: right;">Pag. 1 di 5</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE GENERALE .....	2
2	INSERIMENTO DEL PROGETTO NEL TERRITORIO.....	3
2.1	AREA DELL'INTERVENTO .....	3
2.2	IL TERMINAL .....	4
3	ALLEGATI .....	5
3.1	RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO .....	5
3.2	RELAZIONE SULLA QUALITÀ DEI MATERIALI E DEI MANUFATTI IN ACCIAIO .....	5
3.3	PIANO DI MANUTENZIONE STRUTTURALE DELLA TORRE FARO A STRUTTURA MOBILE.....	5

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO</p> <p>32016019PE0STRREL02R0</p> <p style="text-align: right;">Pag. 2 di 5</p>

## 1 INTRODUZIONE GENERALE

Il presente documento costituisce la relazione descrittiva degli sviluppi progettuali definiti a partire dal Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e modificati per effetto dei pareri conclusivi del processo di Conferenza dei Servizi, nonché dei pareri raccolti nelle opportune sedi durante i successivi incontri indetti dalla Stazione Appaltante. I principali interventi previsti a progetto sono:

- L'elettrificazione delle banchine del Porto Grande Siracusa per l'alimentazione da terra di navi da *Cruise* (di seguito anche *Cold Ironing*);
- La realizzazione di punti presa dedicati a rifornire le imbarcazioni da diporto di energia elettrica;
- La realizzazione di impianti fotovoltaici;
- L'ottimizzazione dell'illuminazione delle aree a progetto.

Nel suo complesso l'intervento si inserisce in un contesto di iniziative molto ampio promosso dalla Commissione Europea nell'ambito degli interventi tesi ad assicurare “Energia pulita nei trasporti”. Invito raccolto e sviluppato dal Governo italiano che, nell'ambito degli interventi previsti dal PNRR ha riservato importanti risorse su questo tema. Un'attenzione crescente è infatti posta a livello nazionale ed europeo sugli aspetti ambientali connessi all'attività portuale. La riduzione dei consumi energetici delle aree portuali e soprattutto la riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera, sono perseguite grazie a molteplici iniziative che portano ognuna il suo contributo.

Tra queste vi è l'elettrificazione delle banchine, anche nota sotto altri nomi quali: *Cold Ironing*, *shore to ship power*, *Alternative Maritime Power (AMP)*, *High Voltage Shore Connection (HVSC)*, etc.

L'apporto del traffico marittimo all'emissione globale di gas serra è stimato prossimo al 2,8% e quindi presenta una incidenza doppia, ad esempio, rispetto al traffico aereo; il tema acquista ancora maggiore rilevanza considerando che le previsioni di crescita dei volumi di merci spedite via nave stimano un aumento che varia dal 50% al 250% entro il 2050.

Anche il settore crocieristico è interessato ad una ripresa dei volumi, infatti, in base alle analisi della *Cruise Lines International Association (CILA)*, il 2023 ha fatto registrare un incremento del 6% del numero di passeggeri rispetto ai dati pre-pandemia mentre, lato armatori, si prevede una crescita ancora maggiore nei prossimi anni. Sono previsti infatti investimenti sulle flotte, sia per quanto riguarda il *retrofitting* dei sistemi propulsori, sia per quanto riguarda la possibilità di ricevere energia elettrica da terra nonché per la realizzazione di nuove imbarcazioni. Dal 2023 al 2028, tra le compagnie che hanno reso noti i dati a CILA, è prevista la consegna di 44 nuove imbarcazioni da crociera con l'obiettivo di aumentare la capacità di trasporto arrivando a 746.000 posti letto.

Questi dati esplicano il contributo che l'industria dei trasporti marittimi da all'inquinamento globale e rendono altresì evidente l'interesse degli Enti, che gestiscono queste infrastrutture, nell'introduzione di soluzioni che consentano di ridurre tale contributo inquinante. Rispetto ad altri accorgimenti che vengono utilizzati per raggiungere gli obiettivi di riduzione dei consumi energetici, il *Cold Ironing* consiste nel fornire direttamente energia elettrica alle navi in ormeggio in maniera tale da consentire alle stesse di spegnere i propri generatori diesel che hanno l'effetto di contribuire all'inquinamento locale in modo significativo. Il *Cold Ironing* si pone quindi l'obiettivo di annullare integralmente le emissioni locali durante l'ormeggio ed è particolarmente efficace per i porti prossimi ad aree urbane.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p>PROGETTO ESECUTIVO</p> <p>RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO</p> <p>32016019PE0STRREL02R0</p> <p style="text-align: right;">Pag. 3 di 5</p>

## 2 INSERIMENTO DEL PROGETTO NEL TERRITORIO

### 2.1 AREA DELL'INTERVENTO

L'area di intervento è localizzata nel settore costiero della Sicilia, nell'area urbana di Siracusa.



**Figura 1: Inquadramento territoriale del porto di Siracusa**

Il Porto di Siracusa è situato nel sud-est della Sicilia, nella zona orientale, proprio di fronte all'omonima città. La sua posizione strategica sul Mar Ionio lo rende un punto d'accesso importante per le rotte commerciali e turistiche che collegano la Sicilia con la Calabria, l'Italia continentale e anche con destinazioni internazionali. Sebbene sia corretto indicare la struttura portuale di Siracusa come porto unico, va specificato che essa si compone in realtà di tre distinte aree portuali di competenza dell'autorità marittima del comune di Siracusa. Due di queste sono il porto Grande e il porto Marmoreo (detto anche Lakkios o Piccolo), esse si trovano nei due opposti versanti dell'isola di Ortigia, dichiarata Patrimonio dell'umanità UNESCO, ma comunicano tra loro grazie ad un canale sormontato da due ponti.

La terza area si trova invece a nord della città, oltre capo Santa Panagia, nella rada omonima, ed è costituito dal porto Rifugio e dal pontile di attracco per le attività petrolchimiche; qui ha sede la Sezione Staccata Santa Panagia della capitaneria di porto di Siracusa, la cui sede centrale si trova nel Piazzale IV Novembre, all'imboccatura del porto Grande.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p><b>PROGETTO ESECUTIVO</b></p> <p>RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO</p> <p>32016019PE0STRREL02R0</p> <p style="text-align: right;">Pag. 4 di 5</p>

Il complesso portuale della città di Siracusa oltre ad annoverare uno dei più importanti pontili industriali d'Europa, può ospitare nelle sue due e comunicanti aree portuali circa 1000 imbarcazioni di diversa taglia, e questo fa di Siracusa uno dei più ampi porti della nautica da diporto.

Essendo l'intera area comunale affacciata sul mare, al di là dei tre approdi maggiori ve ne sono altri di minore entità siti in periferia che fanno parte del sistema portuale del comune e vengono gestiti dal circondario marittimo di Siracusa: essi sono il porticciolo di Ognina, sito nell'omonima baia, e il porticciolo di Fontane Bianche; entrambi siti a sud della città, nei pressi di Cassibile.

## 2.2 IL TERMINAL

Il ruolo del terminal del porto di Siracusa è fondamentale per la gestione delle attività marittime e logistiche della città, poiché il porto di Siracusa è uno dei principali punti di accesso per il commercio e il trasporto nella zona orientale della Sicilia. Il terminal portuale è ben collegato alla rete stradale siciliana, con facile accesso alla SS114, la strada che collega Siracusa ad altre città siciliane. Questo rende il porto accessibile sia per il traffico commerciale che per il turismo. La vicinanza con l'aeroporto di Catania Fontanarossa, a circa 50 km, favorisce inoltre i collegamenti per merci e passeggeri. Le funzioni principali del terminal includono:

- **Trasporto merci e passeggeri:** Il terminal facilita l'arrivo e la partenza di navi merci e traghetti, gestendo il carico e scarico di merci come prodotti industriali, materie prime, container, e anche il trasporto di passeggeri tramite traghetti per destinazioni regionali.
- **Infrastrutture logistiche:** Il terminal è dotato di strutture adeguate per l'imbarco e lo sbarco di merci, tra cui banchine, gru, magazzini, e container terminal. Ciò permette una gestione efficiente dei flussi di merci sia nazionali che internazionali.
- **Attività industriali e petroliere:** Siracusa ha una forte vocazione industriale, in particolare nel settore chimico e petrolchimico. Il porto, grazie alle sue strutture e alla sua vicinanza con le raffinerie e gli impianti industriali, è essenziale per il trasporto di materie prime, prodotti petroliferi e chimici.
- **Rifornimento e manutenzione navale:** Il porto di Siracusa ospita anche attività di rifornimento di carburante e manutenzione per le navi che transitano nel Mar Ionio.
- **Turismo crocieristico:** Sebbene non sia uno dei porti più grandi per le crociere, il terminal portuale di Siracusa gestisce anche il traffico crocieristico, attirando turisti grazie alla sua posizione storica e alla vicinanza alle attrazioni culturali della città, come il Parco Archeologico della Neapolis.

L'esigenza di un utilizzo diportistico e crocieristico del Porto Grande si è manifestata sin da quando la città, negli anni 2000, si è aperta maggiormente alla sua vocazione turistica. Per questa ragione, negli ultimi anni, sono stati fatti investimenti per modernizzare il terminal e aumentarne la capacità operativa, per far fronte alla crescita del traffico commerciale e passeggeri.

Il Terminal del Porto di Siracusa è dunque una struttura vitale per l'economia locale e per la logistica regionale, con un ruolo che spazia dal supporto al trasporto commerciale alla promozione del turismo marittimo. La sua posizione strategica, unita a infrastrutture moderne e a una gestione efficiente, lo rende un punto di riferimento importante nel panorama portuale siciliano.

	<p>“Decarbonizzazione del sistema portuale siciliano - Elettrificazione banchine - Porto di Siracusa”</p> <p>CUP G31B21004600001 – CIG: 95453120A7</p>
 <p>REGIONE SICILIANA</p>	<p><b>PROGETTO ESECUTIVO</b></p> <p>RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO</p> <p>32016019PE0STRREL02R0</p> <p style="text-align: right;">Pag. 5 di 5</p>

### 3 ALLEGATI

La presente sezione illustra gli aspetti strutturali relativi alla realizzazione delle Torri Faro presenti a progetto oltre che alla qualità dei materiali utilizzati. Tutte le valutazioni sono state eseguite in conformità alle normative tecniche di riferimento.

#### 3.1 RELAZIONE TECNICA - PARTE STRUTTURE TORRE FARO

#### 3.2 RELAZIONE SULLA QUALITÀ DEI MATERIALI E DEI MANUFATTI IN ACCIAIO

#### 3.3 PIANO DI MANUTENZIONE STRUTTURALE DELLA TORRE FARO A STRUTTURA MOBILE



Committente : GEMMO S.p.A.

Sito : Porto di Siracusa

**RELAZIONE DI CALCOLO TORRE CON  
CORONA MOBILE PER SUPPORTO  
PROIETTORI - H f.t.=30m  
MODELLO CM30.B**

*Zona Vento 4 , Cat. Esposizione I , Classe Rugosità D , Hslm max =500m*

Relazione di Calcolo n. 15765W

Revisione : 0

Il Progettista : Ing. Lambertini Alberto

**TECNOPALI S.r.L.**

Strada Pizzolese 46/a

43122 Parma Italy

Progettista : Ing. Lambertini Alberto  
Relazione di calcolo palo n. 15765W rev.0  
Sito : Porto di Siracusa

luglio '25

Pag. 1

# 1. PREMESSA

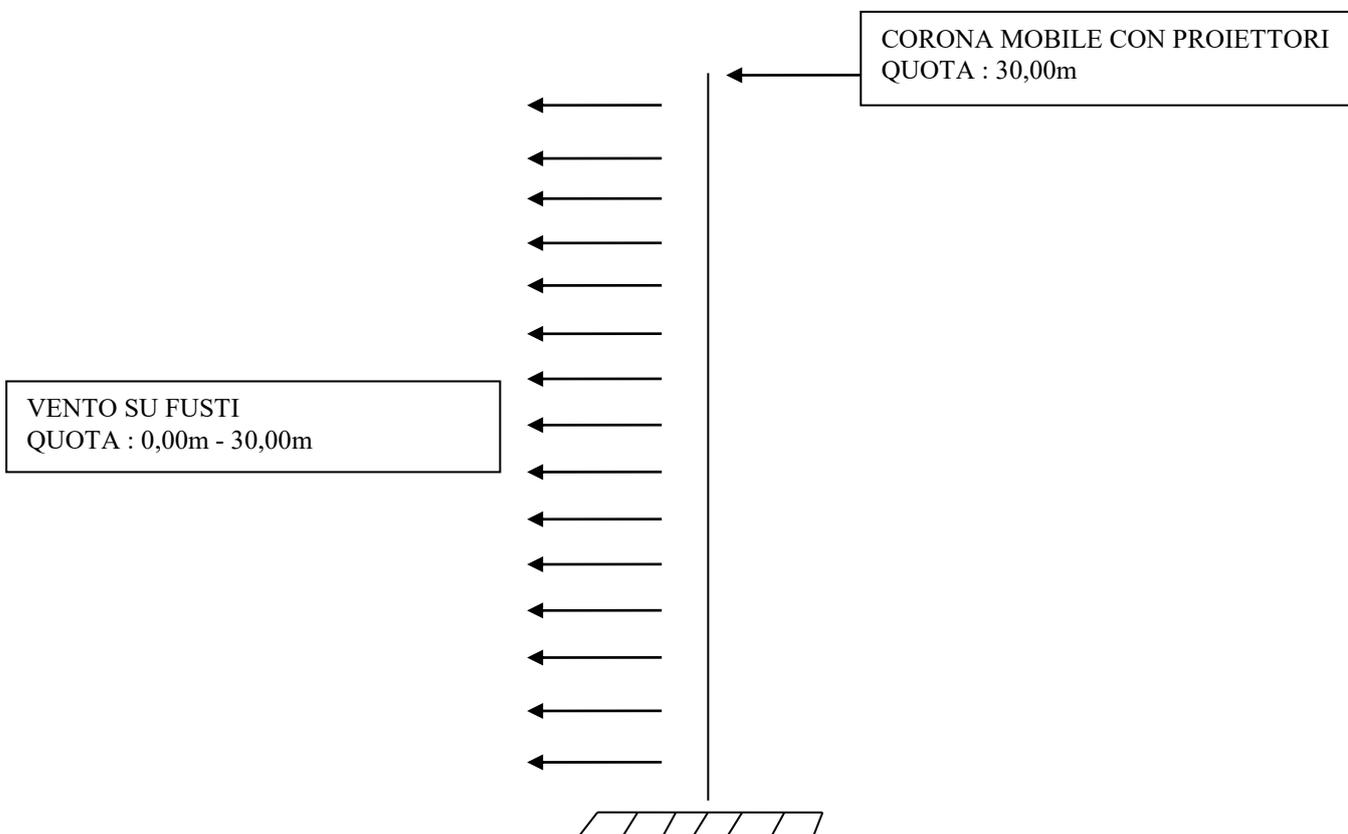
## 1.1 Introduzione

Il presente documento contiene le verifiche strutturali di sicurezza di un palo metallico autoportante di nuova installazione atto a supportare un impianto di illuminazione mobile , nello specifico : **Corona mobile di sommità per supporto max :**

- n. 4 proiettori tipo MIDSTREAM mod. n°4 M04 a 180° ( configurazione A ) :
- n. 6 proiettori tipo MIDSTREAM mod. n°4 M04 + n°2 M07 a 360° ( configurazione B ).

La presente relazione di calcolo contempla esclusivamente i componenti strutturali espressamente analizzati, tutti gli accessori non sono esaminati nel presente documento. Secondo il D.M. 17 Gennaio 2018 e la relazione geologica fornita dal cliente , a favore di sicurezza per massimizzare le azioni sismiche , la struttura si può inserire in Classe IV , Categoria Sottosuolo C , Categoria Topografica T1. La verifica statica viene eseguita con il metodo agli stati limite. Le azioni sismiche sono calcolate in accordo con la vigente normativa, considerando una vita utile nominale di 100 anni . Si effettua la verifica sismica secondo lo stato limite di salvaguardia della vita .

Lo schema statico considerato è quello di mensola verticale incastrata alla base . I carichi orizzontali , che simulano il vento , vengono considerati concentrati alle relative quote di installazione e distribuiti (si veda paragrafo 1.3 Carichi) .



## 1.2 Dimensionali , materiali struttura , parametri vento e sismici

La struttura è costituita da fusti tubolari tronco conici a 16 lati , in lamiera metallica pressopiegata a freddo , incastrati mediante la tecnica “slip on joint” , presentano una sezione retta poligonale a 16 lati.

Le caratteristiche della struttura in esame sono le seguenti :

Altezza palo f.t. (mm)	30000
Caratteristiche acciaio	
Peso Spec. (kN/m <sup>3</sup> )	78.5
Modulo di Young (MPa)	210000
Poisson	0.3
fyk (MPa)	355

Caratteristiche per il calcolo della pressione del vento :

Zona climatica	4
Altitudine s.l.m.	500m
Rugosità	D
Coefficiente di topografia	1

Caratteristiche per il calcolo dell'azione sismica :

Accelerazione massima - ag/g	0.415
Fattore di amplificazione - F0	2.351
Periodo tipico - Tc (s)	0.512
Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T1
Amplificazione stratigrafica - Ss	1.114
Traslazione stratigrafica - Cc	1.310
Amplificazione topografica - St	1

$$TB = 0.223$$

$$TC = 0.670$$

$$TD = 3.261$$

Fattore di comportamento  $q_0 = 1$

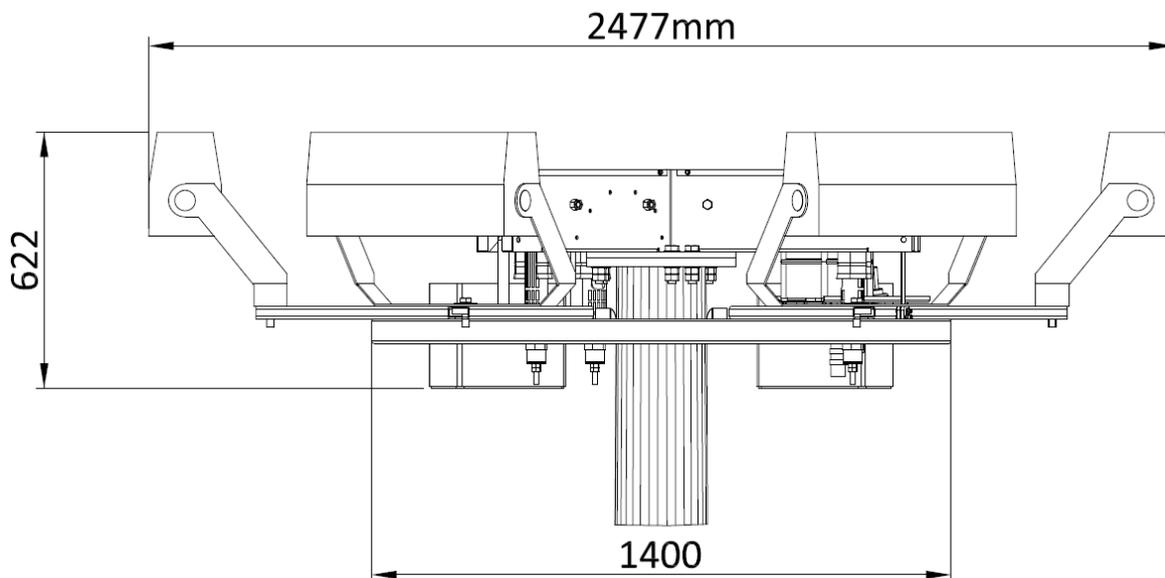
Comportamento Strutturale non dissipativo

Le caratteristiche geometriche dei tronchi nella struttura in esame sono:

H fuori terra palo	30000	mm	TIPOLOGIA DI TORRE :
Infissione nel plinto di fondazione	0	mm	TORRE SU FLANGIA DI BASE CON TIRAFONDI
TRONCO DI BASE ( mm )			
Lunghezza totale	diametro base	diametro punta	spessore tronco
11300	710	523	5
		infilamento	1050
TRONCO INTERMEDIO ( mm )			
Lunghezza totale	diametro base	diametro punta	spessore tronco
10250	549	379	4
		infilamento	750
TRONCO PUNTA ( mm )			
Lunghezza totale	diametro base	diametro punta	spessore tronco
10250	399	230	4

### 1.3 Carichi

Per la determinazione della superficie esposta in sommità si riporta il seguente particolare ( configurazione di carico proiettori A con area esposta al vento maggiore ) :



A favore di sicurezza si considera Sup. tot. piena in testa alla torre pari a 1.21m<sup>2</sup>

Determinazione coeff. di forma :

Ai sensi del 7.4.3 , Insegne , della UNI EN 1991-1-4:2010 , si può considerare un Coeff. di forma pari a 1.80, pertanto : Sup effettiva = 1,21m<sup>2</sup> x 1,80 = 2,18m<sup>2</sup> .

**Si è assunta un'area esposta pari a 2,50 m<sup>2</sup> e un peso totale in sommità pari a 500 daN .**

Carichi Concentrati , coeff. forma compreso nella superficie dei carichi			
Tipologia	quota installazione da terra ( m )	superficie (mq)	peso (daN)
Corona mobile con proiettori	30.00	2.50	500.00

## **2.    NORMATIVA**

Legge 5/11/1971 n° 1086 "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso, ed a struttura metallica".

Legge 2/2/1974 n° 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche" e successivo D.M. 24/1/1986 di approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

EUROCODICE 1 – AZIONI SULLE STRUTTURE - UNI EN 1991-1-4 - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento

EUROCODICE 3 – PROGETTAZIONE STRUTTURE IN ACCIAIO - UNI EN 1993-1-1 - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

EUROCODICE 3 – PROGETTAZIONE STRUTTURE IN ACCIAIO - UNI EN 1993-1-3 - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo

EUROCODICE 3 – PROGETTAZIONE STRUTTURE IN ACCIAIO - UNI EN 1993-1-5 - Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra

D.M. del 17/01/2018 : Norme tecniche per le costruzioni.

CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

### **3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI**

- Lamiere dei fusti torre , flangia di base torre con nervature , flangia di testa torre , tirafondi in acciaio tipo S355JR.
- Bulloneria strutturale in testa classe 8.8 secondo UNI EN ISO 898-1, zincata a caldo.
- Procedimenti di realizzazione in classe di esecuzione EXC2 secondo UNI EN 1090 . Controlli in stabilimento secondo Piano dei controlli UNI EN 1090 TECNOPALI .
- Protezione superficiale : zincatura a caldo in accordo alle norme UNI EN 1461

I materiali utilizzati saranno conformi alla norma UNI EN 10025 .

#### 4. METODO DI CALCOLO

Nella presente relazione di calcolo si è utilizzato il "Metodo semiprobabilistico agli stati limite".

Le forze verticali ed orizzontali sono state determinate secondo quanto prescritto al capitolo 3 del D.M. 17 Gennaio 2018

In particolare sono presenti :

- carichi permanenti strutturali ( Palo Poligonale in acciaio , Testa e Corona )
- carichi permanenti non strutturali ( Attrezzature per illuminazione )
- carichi variabili ( vento )
- carichi sismici

In particolare i carichi orizzontali dovuti al vento ( paragrafo 3.3. del cap. 3 del D.M. 17 Gennaio 2018 ) si determinano nel seguente modo :

- pressione del vento :  $p = q_r C_e C_p C_d$  , dove  $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento ,  $C_e$  è il coefficiente di esposizione,  $C_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico) ,  $C_d$  è il coefficiente dinamico che tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura , applicando la UNI EN 1991-1-4:2010 risulta  $C_d = 1,175$  .

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  (in  $N/m^2$ ) è data dall'espressione  $q_r = 0.5 \rho v_r^2$  , dove :  $v_r$  è la velocità di riferimento del vento (in  $m/s$ ) ,  $\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a  $1,25 \text{ kg/m}^3$  .

Il coefficiente di esposizione  $C_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione . In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione , per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200 \text{ m}$ , esso è dato dalla formula :

- $C_e(z) = k_r^2 C_t \ln(z/z_0) [7 + C_t \ln(z/z_0)]$  , per  $z$  maggior uguale a  $z_{min}$
- $C_e(z) = C_e(z_{min})$  , per  $z$  minore a  $z_{min}$

$k_r$  ,  $z_0$  ,  $z_{min}$  , sono assegnati in apposite tabelle in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

- $C_t$  è il coefficiente di topografia.

Determinazione Coeff. forma fusti :

**UNI EN 1991-1-4:2010**

prospetto 7.11 Coefficienti di forza  $c_{f,0}$  per sezioni aventi la forma di poligoni regolari

Numero di lati	Sezioni	Finitura della superficie e degli spigoli	Numero di Reynolds $Re^{a)}$	$c_{f,0}$
5	Pentagono	Tutte	Tutti	1,80
6	Esagono	Tutte	Tutti	1,60
8	Ottagono	Superficie liscia <sup>b)</sup> $r/b < 0,075$	$Re \leq 2,4 \times 10^5$	1,45
			$Re \geq 3 \times 10^5$	1,30
		Superficie liscia <sup>b)</sup> $r/b \geq 0,075$	$Re \leq 2 \times 10^5$	1,30
			$Re \geq 7 \times 10^5$	1,10
10	Decagono	Tutte	Tutti	1,30
12	Dodecagono	Superficie liscia <sup>c)</sup> spigoli arrotondati	$2 \times 10^5 < Re < 1,2 \times 10^6$	0,90
		Tutte le altre	$Re < 4 \times 10^5$	1,30
			$Re > 4 \times 10^5$	1,10
16-18	Da esadecagono a ottadecagono	Superficie liscia <sup>c)</sup> spigoli arrotondati	$Re < 2 \times 10^5$	Da trattarsi come un cilindro circolare (vedere punto 7.9)
			$2 \times 10^5 \leq Re < 1,2 \times 10^6$	0,70

a) Il numero di Reynolds ( $Re$ ) con  $v = v_m$  (con  $v_m$  fornito nel punto 4.3) è definito nel punto 7.9.  
b)  $r$  = raggio di curvatura dello spigolo,  $b$  = diametro della circonferenza circoscritta, vedere figura 7.26.  
c) Da prove in galleria del vento su modelli sezione con superfici di acciaio galvanizzato e una sezione caratterizzata da  $b = 0,3$  m e  $r = 0,06 \times b$ .

**CNR-DT 207 R1/2018**

**3.3.7 Numero di Reynolds**

(1) Il numero di Reynolds  $Re$  è una quantità adimensionale fondamentale che esprime il rapporto fra le forze d'inerzia e le forze viscosse, ovvero tra una dimensione caratteristica della struttura e una dimensione caratteristica del flusso. Esso ha un ruolo determinante nel comportamento aerodinamico di corpi con superfici arrotondate. All'altezza  $z$  sul suolo è fornito dalla relazione:

$$Re(z) = \frac{l \cdot v_m(z)}{\nu} \tag{3.18}$$

Con riferimento a metà altezza PALO :

l o $\emptyset$ di riferimento	470 mm
$v_m$	34.81 m/s
$\nu$	1.50E-05 m <sup>2</sup> /s
Re(Hriferimento)	1.09E+06

Determinazione del periodo proprio della struttura :

CALCOLO DEL PERIODO DELLA STRUTTURA CON RAYLEIGH				T =	2.052
Tipologia carico	Pesi (daN)	Spostamenti (m)	(mq)	(daN*m)	(daN*mq)
	Pi	fi	fi^2	Pi*fi	Pi*fi^2
Corona mobile con proiettori	500	1.282	1.643	640.979	821.708
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Base con carichi distr.	960	0.000	0.000	0.000	0.000
Intermedio con carichi distr.	463	0.238	0.057	110.112	26.215
Punta con carichi distr.	313	0.792	0.628	247.620	196.170
				<b>998.711</b>	<b>1044.092</b>

Nel caso specifico essendo in Zona di vento 4 , Cat I , Hslm max= 500m , si utilizzano le seguenti pressioni del vento , alle quote di interesse :

PRESSIONI VENTO		
p (daN/mq) = qref * ce * cf * cd	H baricentro da sez. incastro palo (m)	Tipologia carico
200.00	30.00	Corona mobile con proiettori
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
96.25	5.13	tronco 1 base
121.97	15.00	tronco 2
135.02	24.88	tronco 3

I parametri assunti alle quote di interesse , per la determinazione della pressione del vento , sono :

Tipologia carico	Vb(m/s)	qb (daN/mq)	ce (coeff. esposizione)	cf (coeff. forma)	cd (coeff. dinamico)
Corona mobile con proiettori	28.00	49.00	3.472	1.000	1.175
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
tronco 1 base	28.00	49.00	2.387	0.700	1.175
tronco 2	28.00	49.00	3.025	0.700	1.175
tronco 3	28.00	49.00	3.349	0.700	1.175

Le Forze alle quote di interesse si determinano moltiplicando la pressione del vento p per la superficie di esposizione al vento del corpo ( cap.5 ANALISI DEI CARICHI ).

Per quanto concerne i carichi sismici questi sono stati determinati secondo la seguente formula :

$$F_i = F_k(z_i W_i) / \sum_j z_j W_j$$

dove:

$$F_k = \frac{S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda}{g}$$

$F_i$  forza da applicare all'elemento  $i$ ;

$W_i$  pesi dei singoli elementi;

$z_i$  quote dei singoli elementi rispetto alla base;

$S_d(T_1)$  ordinata dello spettro di risposta di progetto in corrispondenza del periodo fondamentale di vibrazione;

$W$  peso complessivo della struttura.

$\lambda$  coefficiente posto uguale all'unità nel caso specifico;

$g$  è l'accelerazione di gravità.

I pesi degli elementi sono stati calcolati considerando i carichi permanenti .

Determinazione spettro di risposta sismico per il Sito in esame :

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE	LATTITUDINE
15.28628	37.06421

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="120"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="201"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1898"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- ...□... Strategia scelta

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

Categoria topografica  info

$S_B = 1.114$   $C_C = 1.310$  info

$h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)  $\zeta = 5\%$   $\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)  $\eta = 1$   $\eta = 1.000$  info

Compon. verticale

Spettro di progetto  $\eta = 1.5$   $\eta = 0.667$  info

Elaborazioni

- Grafici spettri di risposta
- Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

## Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.415 g
$F_o$	2.351
$T_c$	0.512 s
$S_s$	1.114
$C_c$	1.310
$S_T$	1.000
$q$	1.000

### Parametri dipendenti

$S$	1.114
$\eta$	1.000
$T_B$	0.223 s
$T_C$	0.670 s
$T_D$	3.261 s

### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $\eta/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.463
$T_B \leftarrow$	0.223	1.088
$T_C \leftarrow$	0.670	1.088
	0.794	0.919
	0.917	0.795
	1.040	0.701
	1.164	0.626
	1.287	0.566
	1.410	0.517
	1.534	0.475
	1.657	0.440
	1.781	0.409
	1.904	0.383
	2.027	0.360
	2.151	0.339
	2.274	0.321
	2.397	0.304
	2.521	0.289
	2.644	0.276
	2.767	0.263
	2.891	0.252
	3.014	0.242
	3.138	0.232
$T_D \leftarrow$	3.261	0.224
	3.296	0.219
	3.331	0.214
	3.366	0.210
	3.402	0.205
	3.437	0.201
	3.472	0.197
	3.507	0.193
	3.542	0.189
	3.578	0.186
	3.613	0.182
	3.648	0.179
	3.683	0.175
	3.718	0.172
	3.754	0.169
	3.789	0.166
	3.824	0.163
	3.859	0.160
	3.894	0.157
	3.930	0.154
	3.965	0.151
	4.000	0.149

## 5. ANALISI DEI CARICHI

<b>CARICHI VENTO CONCENTRATI ORIZZONTALI</b>		
<b>F(daN)</b>	<b>H baricentro da sez. incastro palo (m)</b>	<b>Tipologia carico</b>
499.99	30.00	Corona mobile con proiettori
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
616.88	5.13	tronco 1 base
544.60	15.00	tronco 2
435.56	24.88	tronco 3

<b>CARICHI SISMICI CONCENTRATI ORIZZONTALI</b>		
<b>F(daN)</b>	<b>H baricentro da sez. incastro palo (m)</b>	<b>Tipologia carico</b>
343.65	30.00	Corona mobile con proiettori
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
0.00	0.00	0
112.75	5.13	tronco 1 base
158.94	15.00	tronco 2
178.12	24.88	tronco 3

## 6. COMBINAZIONI DI CARICO APPLICATE

Nell'analisi statica della struttura si sono considerate le seguenti combinazioni di carico , per le quali si è individuata la relativa terna di sforzi alla base :

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):  

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:  

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:  

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1}$$

Dove :

- G carichi permanenti , permanenti non strutturali ;
- Q carichi variabili ;
- $\gamma_G$  coeff. amplificativo carichi permanenti , permanenti non strutturali ;
- $\gamma_Q$  coeff. amplificativo carichi variabili ;
- $\psi$  coeff. di combinazione .

Nello specifico :

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

Categoria/Azione variabile	$\psi_0$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6

Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

COMBINAZIONE S.L.U. STR : G x 1.3			Q x 1.5		Momenti secondo ordine statici		Momenti secondo ordine dinamici		
Momenti primo ordine									
	coeff. amplificazione	Forze verticali perm. (G * Coeff. Amplif. , daN)			eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	
162.50	1.30	211.25	PESI CONCENTRATI		0.00	0.00	2.14	451.94	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	1.95	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	1.78	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	1.62	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	1.34	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	0.99	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	0.79	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	0.63	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	0.40	0.00	
0.00	1.30	0.00			0.00	0.00	0.20	0.00	
0.00	1.30	0.00		PESI DISTRIBUITI		0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.30	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00
960.29	1.30	1248.38		PESI FUSTI		<b>Momento totale</b>		0.00	0.00
462.51	1.30	601.26						0.40	239.81
312.56	1.30	406.33					1.32	537.48	
							<b>Momento totale</b>	<b>1229.24</b>	
	coeff. amplificazione	Forze orizz. variab. (Q * Coeff. Amplif. , daN)	H Forza orizz. da sez. incastro palo (m)	Momento Parziale (daN*m)					
499.99	1.50	749.99	30.00	22499.74	CARICHI CONCENTRATI				
0.00	1.50	0.00	29.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	28.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	27.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	25.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	22.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	20.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	18.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	15.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	12.00	0.00					
0.00	1.50	0.00	0.00	0.00		CARICHI DISTRIBUITI			
0.00	1.50	0.00	0.00	0.00					
616.88	1.50	925.32	5.13	4742.28		CARICHI SU FUSTI			
544.60	1.50	816.90	15.00	12253.55					
435.56	1.50	653.35	24.88	16251.97					
<b>SFORZI DI BASE :</b>									
<b>MOMENTO =</b>		<b>56976.78</b>	<b>daN*m</b>						
<b>TAGLIO =</b>		<b>3145.56</b>	<b>daN</b>						
<b>CARICO ASSIALE =</b>		<b>2467.23</b>	<b>daN</b>						

COMBINAZIONE SISMICA					Momenti secondo ordine statici		Momenti secondo ordine dinamici		
Momenti primo ordine					eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	
	coeff. amplificazione	Forze verticali perm. (G * Coeff. Amplif. , daN)							
500.00	1.00	500.00	PESI CONCENTRATI		0.00	0.00	0.74	370.92	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.68	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.61	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.56	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.46	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.34	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.27	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.21	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.13	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.06	0.00	
0.00	1.00	0.00	PESI DISTRIBUITI		0.00	0.00	0.00	0.00	
960.29	1.00	960.29	PESI FUSTI		<b>Momento totale</b>	<b>0.00</b>	0.00	0.00	
462.51	1.00	462.51					0.13	60.00	
312.56	1.00	312.56					0.45	142.17	
							<b>Momento totale</b>	<b>573.09</b>	
	coeff. amplificazione	Forze orizz. variab. (Q * Coeff. Amplif. , daN)	H Forza orizz. da sez. incastro palo (m)	Momento Parziale (daN*m)					
343.65	1.00	343.65	30.00	10309.39	CARICHI CONCENTRATI				
0.00	1.00	0.00	29.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	28.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	27.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	25.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	22.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	20.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	18.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	15.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	12.00	0.00					
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	CARICHI DISTRIBUITI				
112.75	1.00	112.75	5.13	577.85	CARICHI SU FUSTI				
158.94	1.00	158.94	15.00	2384.10					
178.12	1.00	178.12	24.88	4430.84					
<b>SFORZI DI BASE :</b>									
<b>MOMENTO =</b>		<b>18275.27</b>	<b>daN*m</b>						
<b>TAGLIO =</b>		<b>793.46</b>	<b>daN</b>						
<b>CARICO ASSIALE =</b>		<b>2235.37</b>	<b>daN</b>						

COMBINAZIONE S.L.U. STR : G x 1.0					Q x 1.5		Momenti secondo ordine statici		Momenti secondo ordine dinamici		
Momenti primo ordine					eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)			
	coeff. amplificazione	Forze verticali perm. (G * Coeff. Amplif. , daN)									
162.50	1.00	162.50	PESI CONCENTRATI		0.00	0.00	2.14	347.65			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.95	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.78	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.62	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.34	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.99	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.79	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.63	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.40	0.00			
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.20	0.00			
0.00	1.00	0.00	PESI DISTRIBUITI		0.00	0.00	0.00	0.00			
960.29	1.00	960.29	PESI FUSTI		<b>Momento totale</b>	<b>0.00</b>	0.00	0.00			
462.51	1.00	462.51					0.40	184.47			
312.56	1.00	312.56					1.32	413.45			
							<b>Momento totale</b>	<b>945.57</b>			
	coeff. amplificazione	Forze orizz. variab. (Q * Coeff. Amplif. , daN)	H Forza orizz. da sez. incastro palo (m)	Momento Parziale (daN*m)							
499.99	1.50	749.99	30.00	22499.74	CARICHI CONCENTRATI						
0.00	1.50	0.00	29.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	28.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	27.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	25.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	22.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	20.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	18.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	15.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	12.00	0.00							
0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	CARICHI DISTRIBUITI						
616.88	1.50	925.32	5.13	4742.28	CARICHI SU FUSTI						
544.60	1.50	816.90	15.00	12253.55							
435.56	1.50	653.35	24.88	16251.97							
<b>SFORZI DI BASE :</b>											
<b>MOMENTO =</b>		<b>56693.11</b>	<b>daN*m</b>								
<b>TAGLIO =</b>		<b>3145.56</b>	<b>daN</b>								
<b>CARICO ASSIALE =</b>		<b>1897.87</b>	<b>daN</b>								

COMBINAZIONE S.L.E. STR : G x 1.0		Q x 1.0			Momenti secondo ordine statici		Momenti secondo ordine dinamici	
Momenti primo ordine								
Forze verticali perm. (G , daN)	coeff. amplificazione	Forze verticali perm. (G * Coeff. Amplif. , daN)			eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)
500.00	1.00	500.00	PESI CONCENTRATI		0.00	0.00	1.43	713.12
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.30	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.19	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.08	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.89	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.66	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.53	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.42	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.27	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.13	0.00
0.00	1.00	0.00	PESI DISTRIBUITI		0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
960.29	1.00	960.29	PESI FUSTI		<b>Momento totale</b>		0.00	0.00
462.51	1.00	462.51					0.27	122.98
312.56	1.00	312.56					0.88	275.63
							<b>Momento totale</b>	<b>1111.74</b>
Forze orizz. variab. (Q , daN)	coeff. amplificazione	Forze orizz. variab. (Q * Coeff. Amplif. , daN)	H Forza orizz. da sez. incastro palo (m)	Momento Parziale (daN*m)				
499.99	1.00	499.99	30.00	14999.83	CARICHI CONCENTRATI			
0.00	1.00	0.00	29.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	28.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	27.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	25.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	22.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	20.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	18.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	15.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	12.00	0.00				
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	CARICHI DISTRIBUITI			
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00				
616.88	1.00	616.88	5.13	3161.52	CARICHI SU FUSTI			
544.60	1.00	544.60	15.00	8169.03				
435.56	1.00	435.56	24.88	10834.64				
<b>SFORZI DI BASE :</b>								
<b>MOMENTO =</b>		<b>38276.76</b>	<b>daN*m</b>					
<b>TAGLIO =</b>		<b>2097.04</b>	<b>daN</b>					
<b>CARICO ASSIALE =</b>		<b>2235.37</b>	<b>daN</b>					

COMBINAZIONE S.L.U. GEO : G x 1.0		Q x 1.3			Momenti secondo ordine statici		Momenti secondo ordine dinamici		
Momenti primo ordine									
Forze verticali perm. (G , daN)	coeff. amplificazione	Forze verticali perm. (G * Coeff. Amplif. , daN)			eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	eccentricità (m)	Momento Parziale (daN*m)	
162.50	1.00	162.50	PESI CONCENTRATI		0.00	0.00	1.85	301.29	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.69	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.54	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.40	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	1.16	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.86	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.69	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.55	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.35	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.17	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	
0.00	1.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	
960.29	1.00	960.29	PESI DISTRIBUITI		<b>Momento totale</b>	<b>0.00</b>	0.00	0.00	
462.51	1.00	462.51					0.35	159.87	
312.56	1.00	312.56	PESI FUSTI				1.15	358.32	
							<b>Momento totale</b>	<b>819.49</b>	
Forze orizz. variab. (Q , daN)	coeff. amplificazione	Forze orizz. variab. (Q * Coeff. Amplif. , daN)	H Forza orizz. da sez. incastro palo (m)	Momento Parziale (daN*m)					
499.99	1.30	649.99	30.00	19499.78	CARICHI CONCENTRATI				
0.00	1.30	0.00	29.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	28.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	27.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	25.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	22.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	20.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	18.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	15.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	12.00	0.00					
0.00	1.30	0.00	0.00	0.00		CARICHI DISTRIBUITI			
0.00	1.30	0.00	0.00	0.00					
616.88	1.30	801.95	5.13	4109.98	CARICHI SU FUSTI				
544.60	1.30	707.98	15.00	10619.74					
435.56	1.30	566.23	24.88	14085.04					
<b>SFORZI DI BASE :</b>									
<b>MOMENTO =</b>	<b>49134.03 daN*m</b>								
<b>TAGLIO =</b>	<b>2726.15 daN</b>								
<b>CARICO ASSIALE =</b>	<b>1897.87 daN</b>								

## 7. VERIFICHE

In queste verifiche si è considerato, in accordo alle normative, lo stato limite elastico della sezione. Si verifica cioè che in nessun punto della sezione lo sforzo ecceda la tensione limite di progetto del materiale, ottenuta con la formula seguente:

$$f_{yEd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

Inoltre i profili formati a freddo possono essere soggetti a fenomeni di instabilità locale, cioè di imbozzamento delle lamiere a seguito della presenza di sforzi di compressione.

### VERIFICA INSTABILITA' LOCALE MEDIANTE UNI EN 1993-1-5 .

La tabella , formule , a cui fare riferimento , per la distribuzione delle tensioni su ogni lato della sezione , è la seguente :

Table 4.1: Internal compression elements

Stress distribution (compression positive)				Effective <sup>p</sup> width $b_{eff}$		
				$\psi = 1$ : $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \psi > 0$ : $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0$ : $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi \geq -3$
Buckling factor $k_{\sigma}$	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

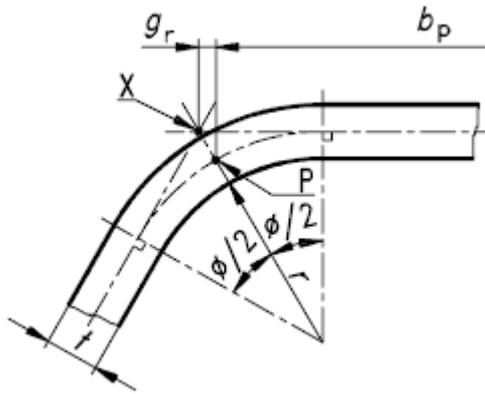
where  $\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_{\sigma}}}$        $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [N/mm^2]}}$

dove :

$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$  ;

$b =$  lato della sezione ;

$b^- = b' =$  lato della sezione depurato degli spigoli arrotondati secondo gli schemi seguenti :



**Legenda**

- X Punto di intersezione delle linee d'asse
- P Punto medio dello spigolo
- $r_m = r + t/2$
- $g_r = r_m [\tan (\phi/2) - \sin (\phi/2)]$

t = s = spessore sezione  
 r = 4t

se  $\lambda_p < 0.673$  = assenza instabilità locale

**Verifica instabilità locale tronco di base :**

QUOTA (m)	DIAMETRO (mm)	b (mm)	b' (mm)	b/s (mm)	$\lambda_p (\nu=1)$	$\rho (\nu=1)$
0.00	710	137.52	137.35	27.47	0.594	1.000
2.56	668	129.25	129.08	25.82	0.559	1.000
5.13	625	120.99	120.82	24.16	0.523	1.000
7.69	583	112.72	112.55	22.51	0.487	1.000
10.25	541	104.46	104.29	20.86	0.451	1.000

**Verifica instabilità locale tronco intermedio :**

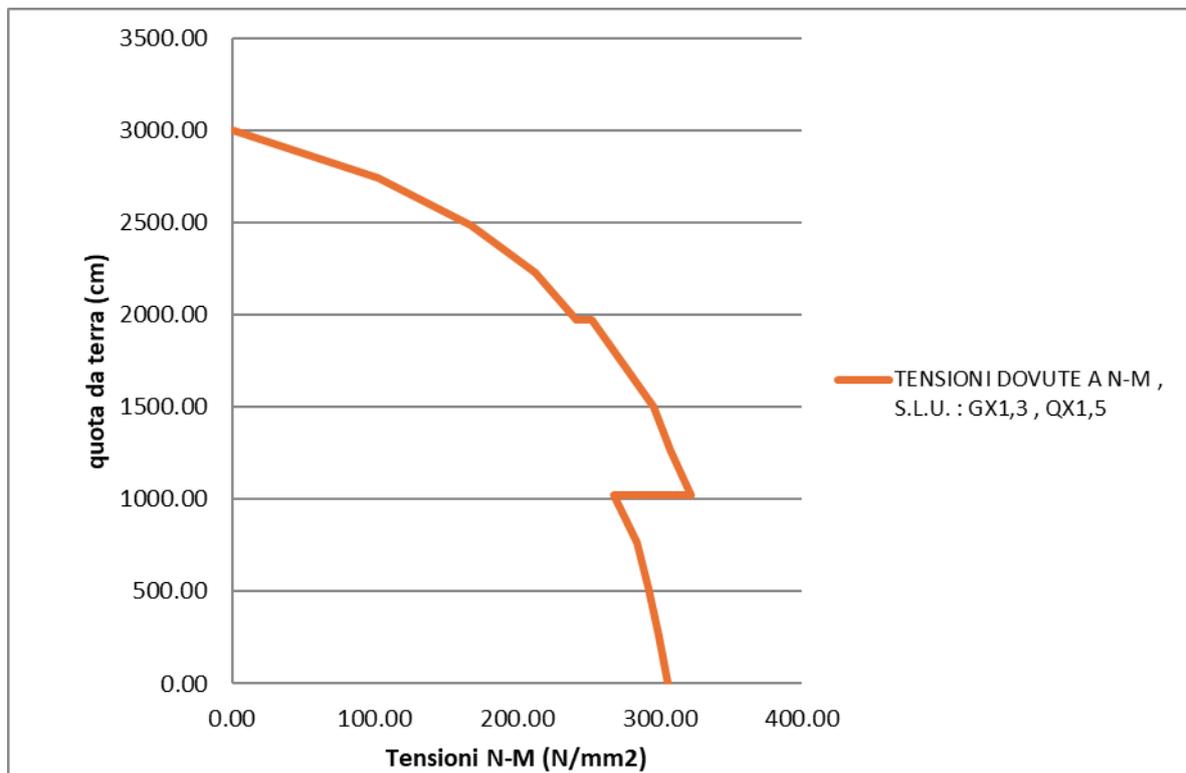
QUOTA (m)	DIAMETRO (mm)	b (mm)	b' (mm)	b/s (mm)	$\lambda_p (\nu=1)$	$\rho (\nu=1)$
10.25	548.53	106.22	106.08	26.52	0.574	1.000
12.63	509.27	98.56	98.42	24.60	0.532	1.000
15.00	470.00	90.90	90.76	22.69	0.491	1.000
17.38	430.73	83.24	83.10	20.77	0.450	1.000
19.75	391.47	75.58	75.44	18.86	0.408	1.000

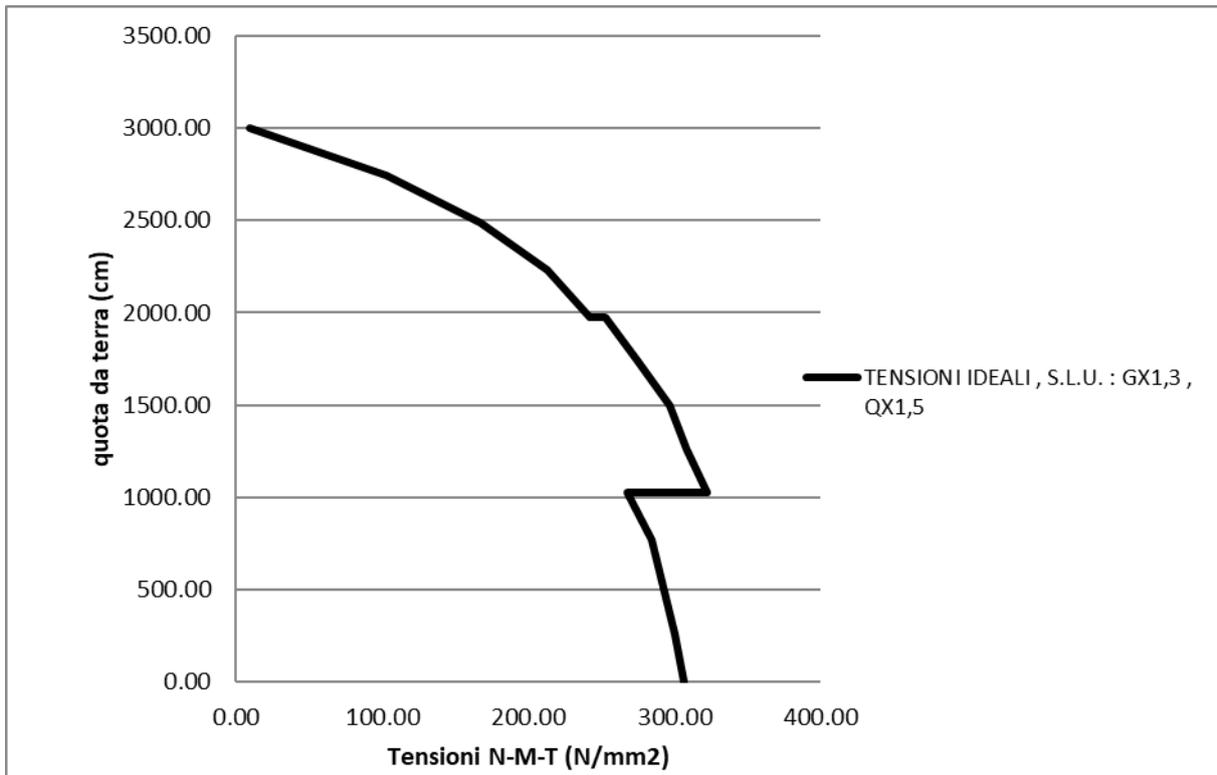
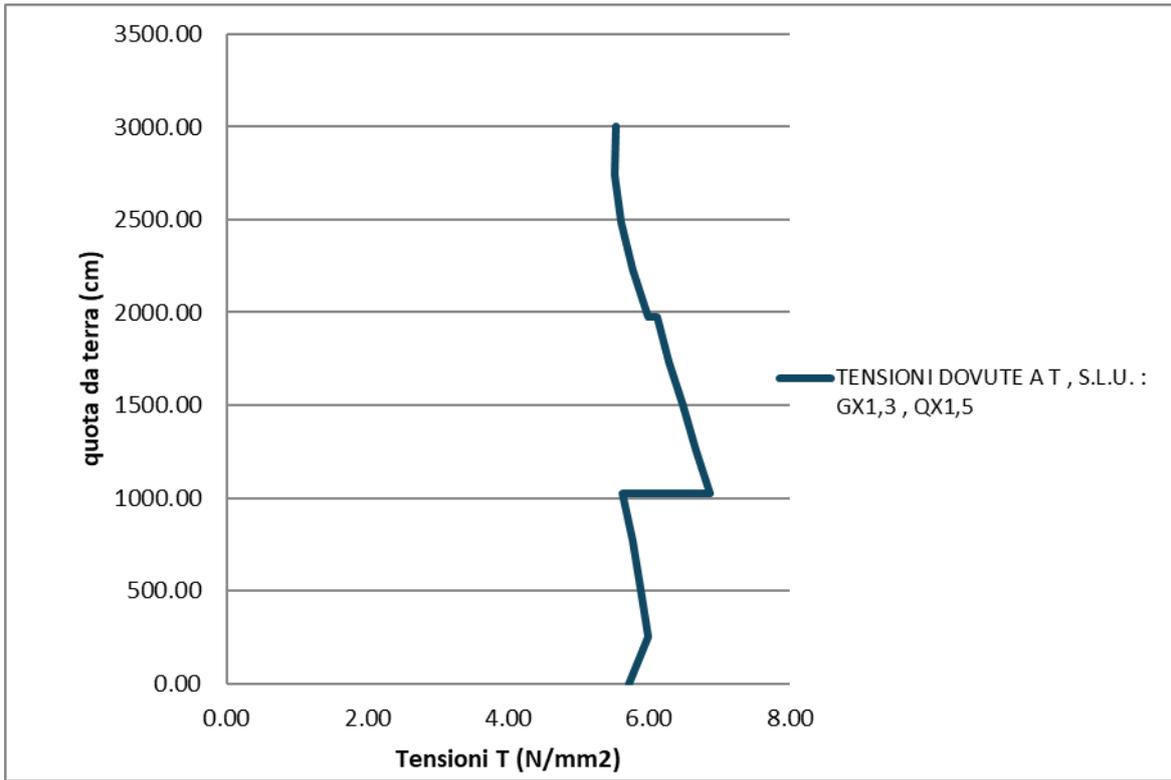
**Verifica instabilità locale tronco punta :**

QUOTA (m)	DIAMETRO (mm)	b (mm)	b' (mm)	b/s (mm)	$\lambda_p (\nu=1)$	$\rho (\nu=1)$
19.75	399	77.14	77.00	19.25	0.417	1.000
22.31	357	68.87	68.73	17.18	0.372	1.000
24.88	315	60.61	60.47	15.12	0.327	1.000
27.44	272	52.34	52.20	13.05	0.282	1.000
30.00	230	44.08	43.94	10.98	0.238	1.000

## VERIFICHE SEZIONI FUSTI : S.L.U. G x 1.3 , Q x 1.5

VERIFICA SEZIONI FUSTI : S.L.U. GX1,3 QX1,5						
QUOTA (cm)	Sig (N,M) N/mm <sup>2</sup>	Tau (T) N/mm <sup>2</sup>	Sig id (N,M,T) N/mm <sup>2</sup>	Sig limite (N,M,T) N/mm <sup>2</sup>	VERIFICA	RAPPORTO DI UTILIZZO
0.00	306.05	5.72	306.21	323.91	VERIFICATO	0.95
256.25	299.57	5.98	299.75	332.82	VERIFICATO	0.90
512.50	292.06	5.88	292.24	338.10	VERIFICATO	0.86
768.75	283.94	5.76	284.11	338.10	VERIFICATO	0.84
1025.00	267.36	5.62	267.54	338.10	VERIFICATO	0.79
1025.00	322.30	6.87	322.52	338.10	VERIFICATO	0.95
1262.50	307.67	6.67	307.88	338.10	VERIFICATO	0.91
1500.00	296.15	6.47	296.36	338.10	VERIFICATO	0.88
1737.50	273.89	6.28	274.10	338.10	VERIFICATO	0.81
1975.00	252.07	6.11	252.29	338.10	VERIFICATO	0.75
1975.00	241.88	5.98	242.10	338.10	VERIFICATO	0.72
2231.25	212.26	5.77	212.49	338.10	VERIFICATO	0.63
2487.50	167.05	5.60	167.33	338.10	VERIFICATO	0.49
2743.75	102.40	5.51	102.84	338.10	VERIFICATO	0.30
3000.00	0.75	5.53	9.61	338.10	VERIFICATO	0.03





## VERIFICHE FLANGIA DI BASE E TIRAFONDI : S.L.U. G x 1.3 , Q x 1.5

Si utilizzerà una flangia di base e tirafondi , rispettivamente con Tens. Snerv. 284.0 N/mm<sup>2</sup> e Tens. Snerv. 338.1 N/mm<sup>2</sup>. Le caratteristiche geometriche sono le seguenti :

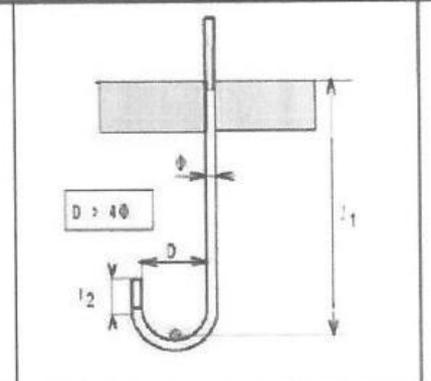
- diametro esterno flangia : 910mm
- diametro fori flangia : 810mm
- n. fori simmetrici flangia: 20
- spessore flangia : 45mm
- Ø tirafondi : 30mm
- Lunghezza tot. tirafondi J : 1000mm
- Lunghezza annegata tirafondi J : 820mm
- N. 10 nervature : b=90mm , h=230mm , sp=10mm
- CLS : C25/30 ( IPOTIZZATO )
- Coeff. effetto leva : 1

SPESSORE MINIMO FLANGIA DI BASE , TENSIONE NEL TIRAFONDO			
Momento alla base ( daNm )	M	56976.78	
Taglio alla base ( daN )	T	3145.56	
D base palo (mm)	Db = Øs	710	
spessore tronco base (mm)	Sb	5.00	
n. lati pali		16	
D interno flangia base (mm)	Di	650	
D foratura flangia base (mm)	Df = Øv	810	
D esterno flangia base (mm)	De = Øe	910	
Tensione limite flangia (N/mm2)	T f lim = Sig af	284.00	
Tensione limite tirafondi (N/mm2)	T t lim	338.10	
coeff. effetto leva	K elev	1	
coeff. imprecisioni montaggio	K inc	1.1	
Modulo res. sezione di base (cm3)	Wp	1875.39	
rapporto Dv/Dp		1.16	
Coeff. Flangia	Kfla	0.5896	
D tirafondo (mm)	Dtf	30	
Sezione tirafondo adottato (mmq)	SecT	561	
N tirafondi	Nt	20	
Area sezione di base (mm2)	As	11003.09	
<b>Tensione nel tirafondo =</b> $\frac{4 * M * Kelev}{SecT * Df * Nt} + \frac{T}{Nt * SecT}$			
		<b>253.58</b>	N/mm <sup>2</sup>

Spessore minimo flangia di base =	$(Kfla * Kinc) * \sqrt{\frac{M / Wp * (Db - Sb) * Sb}{Tf lim}}$	<b>39.83</b>	mm
Spessore assunto flangia di base =		<b>45.00</b>	mm
* A favore di sicurezza si trascurano nel calcolo le eventuali nervature			

VERIFICA SFILAMENTO TIRAFONDI AD UNCINO		
CLASSE CLS	C25/30	
Ø tir	30	mmq
A tir	561	mmq
Materiale	S355 JR	
Ft,Rd	338.10	N/mm2
σtir(da calcolo)	253.58	N/mm2
Ft,Sd	142256.18	N
l	1000	mm
l filetto	180	mm
l1	820	mm
D (2*3*Øtir)	180	mm
l2 (3*Øtir)	90	mm
Lmin	1258	mm
Lb	1711	mm
<b>Lb&gt;Lmin</b>	<b>VERIFICA POSITIVA</b>	
Fa,Rd	193509.54	N
<b>Fa,Rd&gt;Ft,sd</b>	<b>VERIFICA POSITIVA</b>	0.74

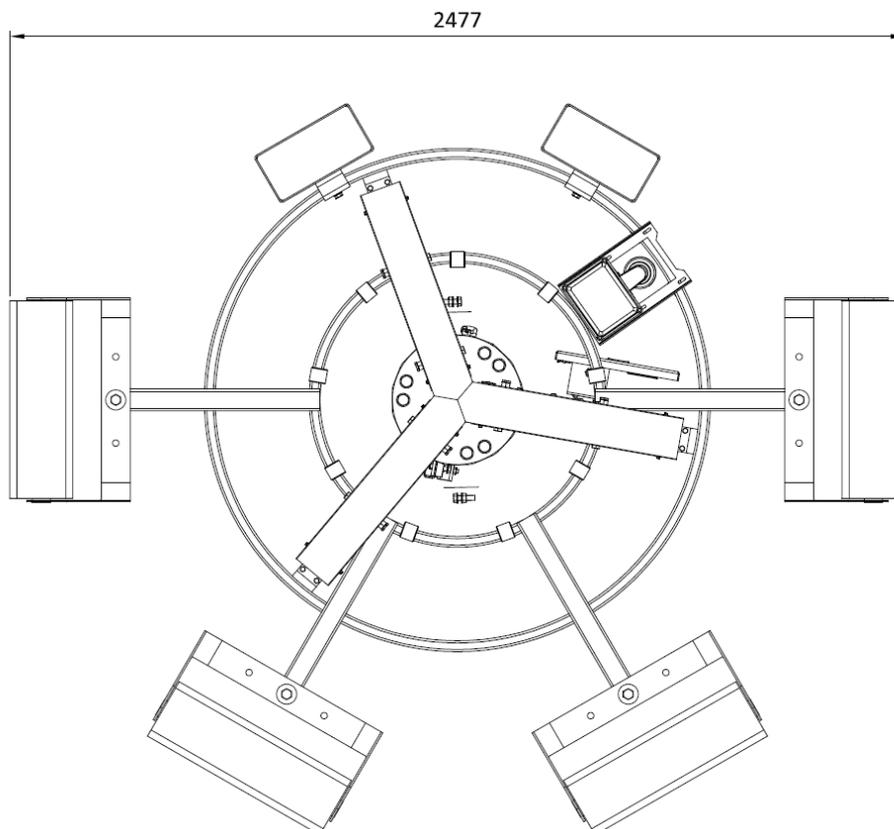
**Anchor with bend**



$$F_{a,Rd} = \pi \Phi L_b f_{bd}$$
with  

$$L_b = (l_1 + 3,2 D + 3,5 l_2)$$

**VERIFICA NODO DI SOMMITA' : COLLEGAMENTO FUSTO SOMMITA' – SISTEMA DI ILLUMINAZIONE : S.L.U. G x 1.3 , Q x 1.5**



Il giunto bullonato testa palo collega la flangia di base saldata alla testa di trascinamento alla flangia di testa saldata al tronco di sommità palo . Di seguito si presenta la verifica della flangia di testa palo che risulta priva di nervature a differenza della flangia di base della testa di trascinamento che viene irrigidita dai bracci della testa stessa .

**Verifica flangia di testa palo allo S.L.U.  $G \times 1.3$  ,  $Q \times 1.5$**

**(flangia in acciaio S355JR , Tensione limite snerv. =  $355 \text{ N/mm}^2 / 1.25 = 284 \text{ N/mm}^2$ )**

***Verifica con azione del vento***

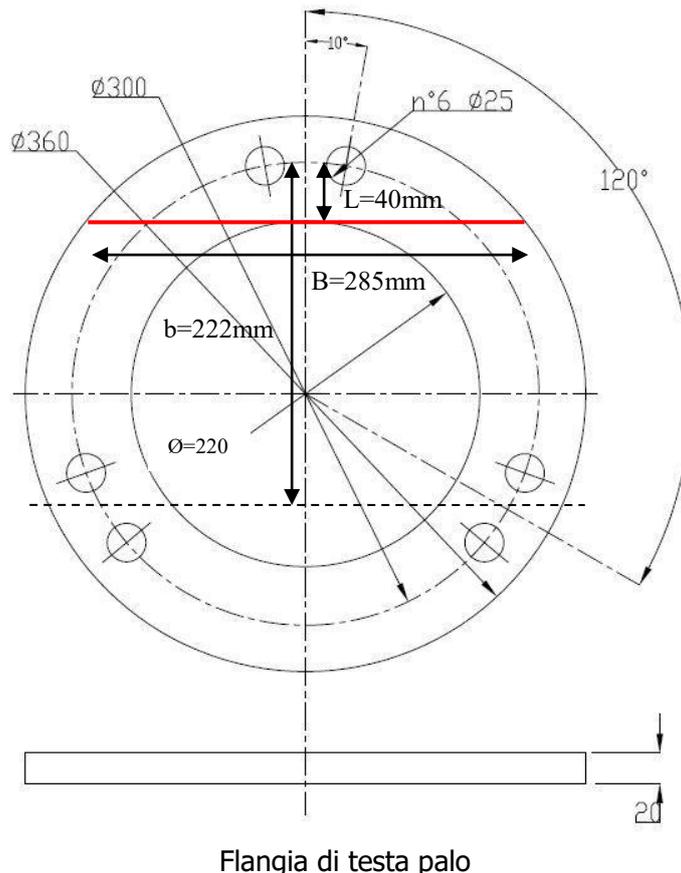
- Spinta del vento ( come da cap. 5 della relazione di calcolo ) = 499.99 daN
- Coefficiente amplificativo = 1,5

Si ricava una forza

$$T = 499.99 \text{ daN} \times 1,5 = 749.99 \text{ daN}$$

Si considera ( a favore di sicurezza ) un braccio della forza rispetto la flangia di testa pari a 300 mm .

Si ha un momento pari a :  $M = 7500 \text{ N} \times 300 \text{ mm} = 2250000 \text{ Nmm}$



### - verifica spessore flangia

Sezione sollecitata in corrispondenza del diametro di testa del palo :



H = 20 mm

B = 285 mm

W = 19000mm<sup>3</sup>

Considerando che il braccio tra la bullonatura risulta b=222mm , si ottiene :

$$F_{\text{traz.tot}} = 2250000\text{Nmm} / 222\text{mm} = 10135\text{N} \text{ ( forza totale di trazione )}$$

che si considera agente su n. 2 bulloni , per cui su ogni bullone si avrà :

$$F_{\text{traz.}} = 10135\text{N} / 2 = 5068\text{N} \text{ ( forza di trazione su n. 1 bullone)}$$

$$F_{\text{taglio}} = 7500\text{N} / 6 = 1250\text{N} \text{ ( forza di taglio su n. 1 bullone)}$$

Il momento effettivo che interessa la sezione reagente sopra identificata vale :

$$M_{\text{eff}} = 2 \times 5068\text{N} \times 40\text{mm} = 405440\text{Nmm}$$

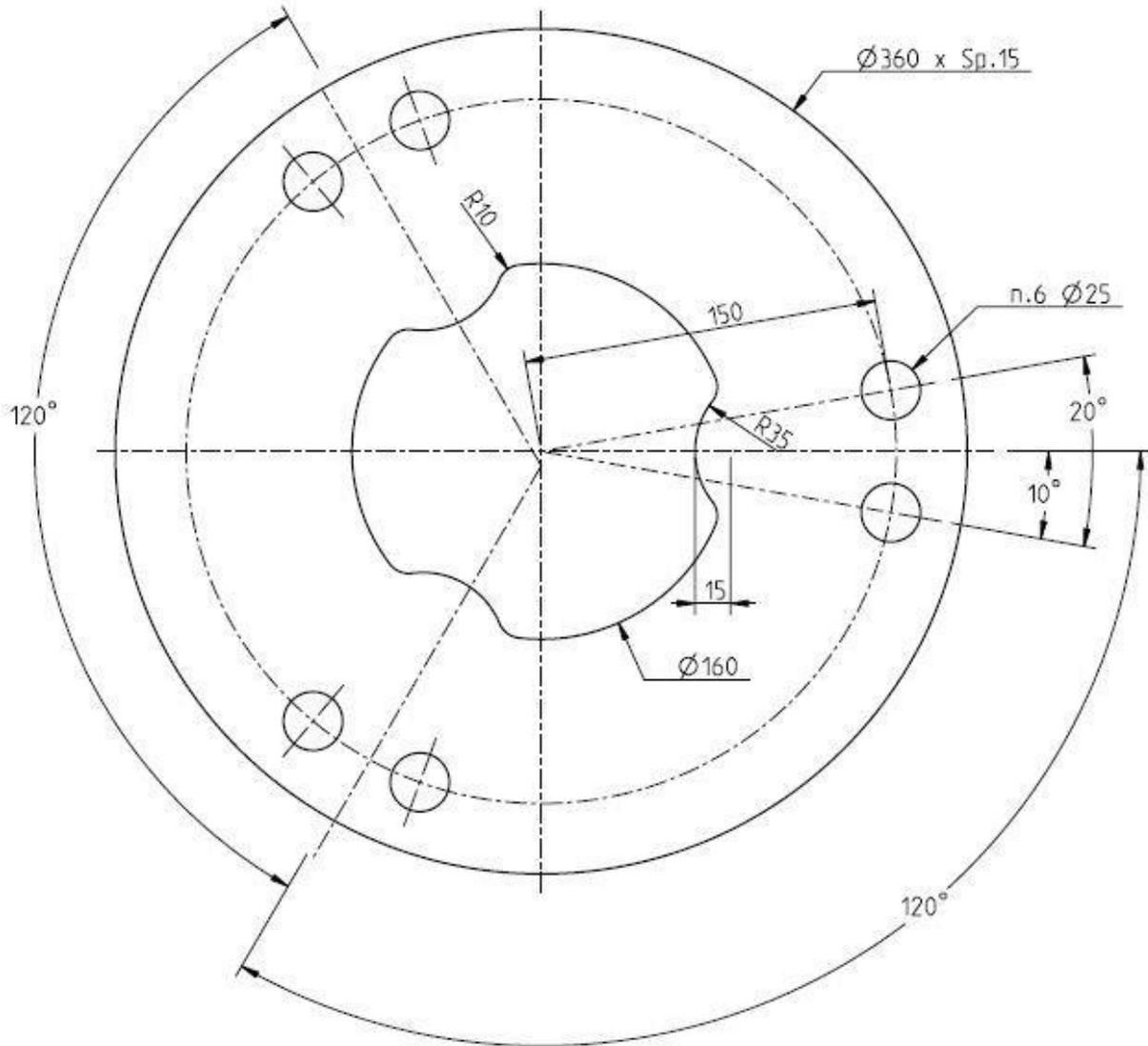
$$\sigma_{\text{eff}} = M_{\text{eff}} / W = 405440\text{Nmm} / 19000\text{mm}^3 = 21.3 \text{ N/mm}^2 < 284 \text{ N/mm}^2$$

**- verifica bulloni**

Si utilizzano bulloni M20 8.8 tutto filetto .

VERIFICA BULLONE SOGGETTO A TAGLIO E TRAZIONE						
$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_t * A}{1,25} =$		RESISTENZA LIMITE DI TAGLIO				
$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * f_t * A}{1,25} =$		RESISTENZA LIMITE DI TRAZIONE				
dove :						
ft : RESISTENZA A ROTTURA						
A : AREA DELLA SEZIONE DEL BULLONE						
La classe dei bulloni scelta è :	8.8	<i>f<sub>t</sub></i>	800	N/mm <sup>2</sup>	tensione di rottura	
Il diametro dei bulloni scelto è :	2	<i>A<sub>res</sub></i>	2.45	cm <sup>2</sup>	Area nel filetto	
<b>F<sub>v,Ed</sub> =</b>	<b>125.00</b>	<b>daN</b>	<b>&lt; F<sub>v,Rd</sub></b>	<b>9408</b>	<b>daN</b>	<b>VERIFICATO</b>
<b>F<sub>t,Ed</sub> =</b>	<b>506.80</b>	<b>daN</b>	<b>&lt; F<sub>t,Rd</sub></b>	<b>14112</b>	<b>daN</b>	<b>VERIFICATO</b>
F <sub>v,Ed</sub> = FORZA DI TAGLIO DI PROGETTO						
F <sub>t,Ed</sub> = FORZA DI TRAZIONE DI PROGETTO						
$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 * F_{t,Rd}} < 1$			<b>0.04</b>	<b>VERIFICATO</b>		

**Particolare del nodo di sommita'**

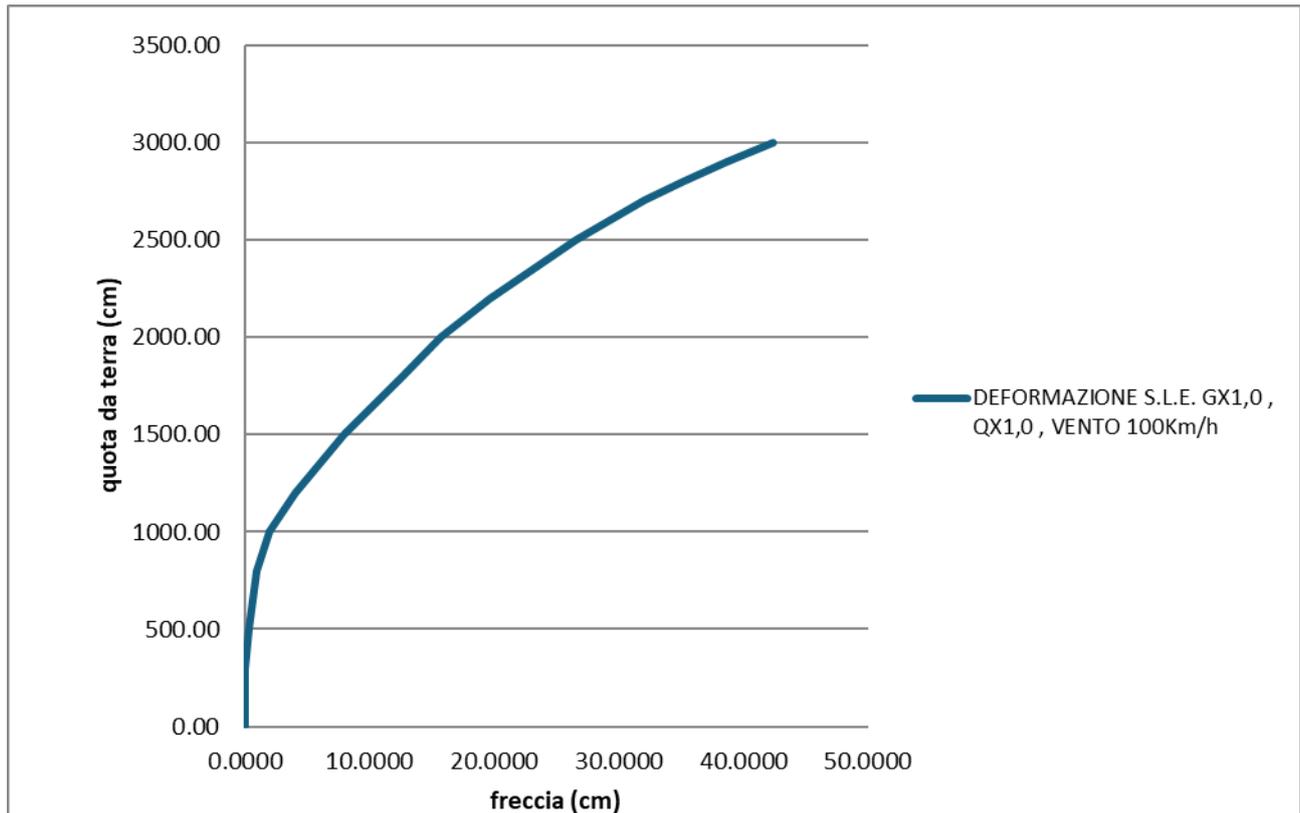


Flangia di base testa di trascinamento

## IMPIANTI (IM) - VERIFICHE DI FUNZIONAMENTO (FUN)

Per gli impianti, si deve verificare che le rotazioni in testa torre , prodotte dalle azioni relative allo SLE con vento costante pari a 100Km/h , non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti stessi .

La rotazione massima testa torre in esercizio con vento costante pari a 100Km/h , con le azioni del vento orizzontali effettive , non deve superare i 3° sessag. , per evitare fuori servizi importanti degli impianti .



Spostamento in sommità palo (cm)	42.3560
Rotazione in sommità palo ( rad )	0.0287
Rotazione in sommità palo ( ° sessag. )	1.6462
Rotazione in sommità palo ( ° centes. )	1.8291

**Rotazione max S.L.E. ( v=100 Km/h ) = 1.64° sessag. < Rotazione limite S.L.E. ( v=100 Km/h ) = 3° sessag.**

## 8. LUNGHEZZA MINIMA D'INNESTO IN FUNZIONE DELLE SOLLECITAZIONI

La Torre H=30m fuori terra è una struttura "Slip Joint", cioè realizzata per accoppiamento di due tronchi per sovrapposizione, in cui la garanzia di continuità della struttura e la trasmissione degli sforzi da un tronco all'altro, sono affidate alla resistenza per attrito che si instaura tra superfici di contatto.

Tali giunti vengono realizzati prima della messa in opera del sostegno introducendo a forza, fino a rifiuto, il tronco superiore per una lunghezza di infissione "i" predeterminata, uguale o superiore a un valore minimo che deve essere tale garantire la stabilità della torre.

Normative, Prescrizioni, Capitolati Internazionali sono concordi nello stabilire una lunghezza minima di accoppiamento pari a 1.5 volte il diametro massimo del tronco femmina.

In questo caso particolare, applicando la suddetta regola, nel giunto è richiesta una :

- lunghezza minima pari a  $549 \times 1.5 = 823.5 \text{ mm}$  a fronte di tale lunghezza, la lunghezza nominale assunta risulta essere 1050 mm (innesto base-intermedio) ;
- lunghezza minima pari a  $399 \times 1.5 = 598.5 \text{ mm}$  a fronte di tale lunghezza, la lunghezza nominale assunta risulta essere 750 mm (innesto intermedio-punta) .

La forza di innesto applicata in queste condizioni (vedi CALCOLO DELLE FORZE DI SERRAGGIO) è calcolata in modo che la sezione interessata possa sopportare la sollecitazione massima per il materiale previsto. Di conseguenza il giunto assume una stabilità maggiore o uguale a quella necessaria, il tutto a favore di sicurezza.

### CALCOLO DELLE FORZE DI SERRAGGIO

Trattandosi di strutture con giunti ad innesto, è opportuno accoppiare i tronchi fino a rifiuto applicando una forza che in ogni caso non comprometta l'integrità del giunto e in particolare della saldatura.

La forza da applicare che garantisca l'integrità del giunto e della stabilità dello stesso deve essere compresa tra un valore massimo e un valore minimo definite dalle seguenti formule:



$i = 750$  [mm] Lunghezza del giunto  
 $f_d = 235$  N/mm<sup>2</sup> Tensione limite di progetto allo SLE  
 $s = 4$  [mm] Spessore del tronco femmina  
 $p_m = 1196$  [mm] Perimetro alla quota di innesto

$$F_{i \min} = \frac{1}{\gamma P_{fav}} \frac{n}{4} * \frac{c_f}{\mu} * \frac{M_f}{f_m} * \frac{1}{\sum_{m=0}^{\frac{n-1}{4}} \sin((2m+1)\frac{\pi}{n})} = 1799 \text{ daN}$$

$$F_{i \max} = \frac{1}{\gamma P_{fav}} n * c_f * s * i * \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) * f_d = 3141 \text{ daN}$$

### Calcolo Pressione massima consentita

$p_n = \frac{2 * F_{i \max}}{c_f * p_m * i}$			
$p_n$	= 4.5	$\frac{N}{mm^2}$	

## 9. SOLLECITAZIONI ALLA BASE DEL PALO

Di seguito si ripropongono le azioni alla base del palo , nelle combinazioni importanti , per la verifica della fondazione ( unita di misura daN,m ):

VERIFICA S.L.U. , Gx1.3 , Qx1.5 ( daN , m )	
SFORZI DI BASE :	
MOMENTO =	56976.78
TAGLIO =	3145.56
CARICO ASSIALE =	2467.23

VERIFICA S.L.U. , Gx1.0 , Qx1.5 ( daN , m )	
SFORZI DI BASE :	
MOMENTO =	56693.11
TAGLIO =	3145.56
CARICO ASSIALE =	1897.87

VERIFICA S.L.E. , Gx1.0 , Qx1.0 ( daN , m )	
SFORZI DI BASE :	
MOMENTO =	38276.76
TAGLIO =	2097.04
CARICO ASSIALE =	2235.37

VERIFICA GEO , G x 1,0 , Q x 1,3 ( daN , m )	
SFORZI DI BASE :	
MOMENTO =	49134.03
TAGLIO =	2726.15
CARICO ASSIALE =	1897.87

VERIFICA SISMICA ( daN , m ) ( senza vento )	
SFORZI DI BASE :	
MOMENTO =	18275.27
TAGLIO =	793.46
CARICO ASSIALE =	2235.37

## 10. CONCLUSIONI

Il presente documento contiene le verifiche strutturali di sicurezza di un palo metallico autoportante di nuova installazione atto a supportare un impianto di illuminazione mobile , nello specifico : **Corona mobile di sommità per supporto max :**

- **n. 4 proiettori tipo MIDSTREAM mod. n°4 M04 a 180° ( configurazione A ) :**
- **n. 6 proiettori tipo MIDSTREAM mod. n°4 M04 + n°2 M07 a 360° ( configurazione B ).**

Le verifiche strutturali, eseguite con il metodo semi-probabilistico agli stati limite, hanno confermato che, in corrispondenza delle combinazioni dei carichi ritenute significative, la capacità portante di tutte le membrature è superiore alle massime azioni di calcolo.

Il calcolo è stato condotto con i metodi della Scienza delle Costruzioni, basati sull'ipotesi di elasticità lineare dei materiali, le verifiche sono state condotte utilizzando il " Metodo degli stati limite " utilizzando un programma di calcolo sviluppato da Tecnopali , RFEM 5 - Programma di analisi strutturale FEM versione 5.21.01.150790 ( e successivi aggiornamenti ) chiave hardware 53651.02 concesso in licenza da D\_Lubal . I programmi effettuano una analisi statica lineare considerando gli effetti del secondo ordine dovuti all'eccentricità dei carichi verticali. Inoltre gli effetti sismici sono stati valutati mediante un'analisi statica equivalente in campo elastico lineare.

Per la validazione del programma di calcolo Tecnopali ha provveduto a :

a) eseguire confronti numerici con altri software di calcolo ad elementi finiti in particolare Dlubal RFEM 5 ;

b) eseguire calcoli manuali sui principali valori delle forze interne ed esterne di calcolo :  
Principalmente le comparazioni fra i risultati delle analisi e le valutazioni semplificate hanno interessato la determinazione delle reazioni vincolari nelle combinazioni importanti , la determinazione delle forze interne e delle tensioni interne nelle sezioni identificate .

Per quanto sopra esposto si ritengono affidabili i risultati ottenuti .



## **Relazione sulla qualità dei materiali e dei manufatti in acciaio**

Il sottoscritto Dott. Ing. Alberto Lambertini , con studio in Via Martiri della Libertà 374/A Mezzani , Comune di Sorbolo Mezzani PR , iscritto con il n° 2072 Sez. A all'Albo Professionale degli Ingegneri della Provincia di Parma , progettista delle strutture metalliche di cui allegata denuncia :

**Committente :**                   **GEMMO S.p.A.**

**Struttura :**                   **TORREFARO A CORONA MOBILE H f.t.=30m**

**Sito :**                           **Porto di Siracusa**

**Allegato alla relazione di calcolo palo n. 15765W rev.0**

DICHIARA

### **1. Premessa**

Si definiscono materiali e prodotti per uso strutturale, utilizzati nelle opere soggette alle presenti norme, quelli che consentono ad un'opera ove questi sono incorporati permanentemente di soddisfare in maniera prioritaria il requisito base delle opere n.1 "Resistenza meccanica e stabilità" di cui all'Allegato I del Regolamento UE 305/2011.

I prodotti per uso strutturale , nel caso specifico , sono gli acciai che dovranno rispettare le prescrizioni riportate :

- nel D.M. del 17/01/2018 : Norme tecniche per le costruzioni.
- nella CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

Tutti gli acciai utilizzati come carpenterie in strutture metalliche, devono essere prodotti con un sistema di controllo permanente della produzione in stabilimento che deve assicurare il mantenimento dello stesso livello di affidabilità nella conformità del prodotto finito, indipendentemente dal processo di produzione.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- identificati univocamente a cura del fabbricante ;
- qualificati sotto la responsabilità del fabbricante ;

In particolare, per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, per il caso in esame , si configura il seguente caso :

*A) materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato sul GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;*

La norma europea armonizzata di riferimento è la UNI EN 1090 1 – 2 , pertanto l' esecuzione e il controllo di produzione dei prodotti in stabilimento deve essere conforme alla norma sopra richiamata .

## **2. Acciaio previsto in progetto**

Palo poligonale in tronchi di lamiera piegata a freddo ( spessori < 40mm ) , flangia di base con nervature , flangia di sommità , tirafondi , in acciaio S355JR con le seguenti caratteristiche di resistenza :

- Tensione di rottura = 510 MPa
- Tensione di snervamento = 355 MPa
- Tensione di snervamento limite di calcolo =  $355 \text{ Mpa} / 1.05 = 338.1 \text{ Mpa}$

Testa , Corona , in acciaio S235JR con le seguenti caratteristiche di resistenza ( spessori < 40mm ) :

- Tensione di rottura = 360 MPa
- Tensione di snervamento = 235 Mpa
- Tensione di snervamento limite di calcolo =  $235 \text{ Mpa} / 1.05 = 223.8 \text{ Mpa}$

## **3. Esecuzione**

Procedimenti di esecuzione conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 1090 1 – 2 :

**Classe di esecuzione EXC2 .**

Controlli in stabilimento secondo Piano dei controlli UNI EN 1090 TECNOPALI .

#### **4. Bulloneria**

La bulloneria strutturale in sommità è di classe 8.8 secondo le UNI EN ISO 898-1 , zincata a caldo , presenta le seguenti caratteristiche minime di resistenza:

- Tensione di rottura = 800 N/mm<sup>2</sup>
- Tensione di snervamento = 640 N/mm<sup>2</sup>

#### **5. Zincatura**

La protezione superficiale di tutti gli elementi strutturali è ottenuta mediante zincatura per immersione in zinco fuso in conformità alle norme EN1461 .

Parma , 02/07/2025

IL PROGETTISTA DELLA STRUTTURA



# PIANO DI MANUTENZIONE STRUTTURALE DELLA TORREFARO A CORONA MOBILE

( ai sensi del D.M. 17/01/2018 )

**Committente :** GEMMO S.p.A.

**Struttura :** TORREFARO A CORONA MOBILE H f.t.=30m

**Sito :** Porto di Siracusa

**Allegato alla relazione di calcolo palo n. 15765W rev.0**

L'attività di manutenzione è regolamentata dalle seguenti indicazioni di carattere generale:

- ad un anno dall'installazione, controllare il serraggio dei dadi dei tirafondi di ancoraggio della struttura e della bullonatura flangia di testa torre - flangia di base testa trascinamento;
- fare sempre eseguire i controlli periodici da Personale Addestrato;
- attenersi scrupolosamente alle istruzioni di uso e manutenzione dei proiettori e dei loro componenti;
- accertarsi prima di ogni intervento di manutenzione che il palo sia completamente isolato da energia elettrica;
- usare solo ed esclusivamente ricambi originali . Non è consentito apportare modifiche, aggiunte o trasformazioni ai pali che potrebbero pregiudicarne la sicurezza di esercizio, senza esplicita e scritta autorizzazione e quindi verifica di un Tecnico abilitato. Il Palo dovrà essere messo fuori servizio immediatamente qualora si riscontrassero difetti o anomalie.

## **A. PERIODICITA' DELLE VERIFICHE**

Per garantire il perfetto funzionamento in esercizio della Torrefaro a Corona Mobile ed il mantenimento dello stato di "Messa in Sicurezza" secondo le disposizioni delle vigenti normative in materia, è stato definito il seguente programma di MANUTENZIONE MECCANICA , **da iniziare non oltre un anno dalla installazione della struttura** :

**a) Controllo annuale (A):** Consiste nell'accurata verifica di tutti i componenti strutturali del Sistema a Corona Mobile, dei dispositivi meccanici ed elettrici, nel valutare il loro stato di usura e di efficienza, nell'evidenziare e risolvere difetti o funzionamenti anomali che possano costituire pericolo o divenire causa di seri danni. In concomitanza di ogni intervento annuale sulle torri del sito, si effettua anche il controllo sull'unità elettrica (carrellata, integrata o semi-integrata) .

Di seguito schede controlli :

<b>COD.</b>	<b>CORONA MOBILE</b>	<b>Controllo</b>	<b>Sostituzione</b>
C 01	Controllare il fissaggio proiettori	[ ]	
C 02	Controllare tutti i collegamenti elettrici della presa interbloccata	[ ]	
C 03	Controllare che l'elemento di sicurezza sia agganciato correttamente	[ ]	
C 04	Controllare il fissaggio dei cavi di acciaio e che questi non siano attorcigliati all'interno della torre	[ ]	
C 05	Controllare il fissaggio dei cavi elettrici e che questi non siano attorcigliati all'interno della torre	[ ]	
C 06	Controllare lo stato di usura e di deformazione delle balestre d'aggancio	[ ]	
C 07	Controllare lo stato di usura e di deformazione dei perni e delle forcelle di centraggio	[ ]	
C 08	Controllare il serraggio e lo stato di corrosione degli elementi di fissaggio e dei tirafondi di ancoraggio	[ ]	
C 09	Controllare che i cablaggi elettrici non presentino tracce di ossidazione o corrosione tali da compromettere la funzionalità dei collegamenti (proiettori e reattori esclusi)	[ ]	
C 10	Controllare il cinematismo del freno (se in dotazione) ed effettuare, se necessaria, la relativa regolazione	[ ]	
C 11	Controllare che la corona portaproiettori sia perfettamente bilanciata	[ ]	
C 12	Prova di accensione a terra dei proiettori	[ ]	
C 13	Controllare che il meccanismo di sgancio/aggancio della corona avvenga in modo regolare	[ ]	
C 14	Controllare il corretto funzionamento del fine corsa di prossimità	[ ]	
C 15	Controllare il corretto collegamento e il serraggio del cavo di massa e contatto	[ ]	

A seconda della tipologia di movimentazione prevista compilare l'apposito campo :

<b>COD.</b>	<b>UNITA' ELETTRICA DI SOLLEVAMENTO INTEGRATA</b>	<b>Controllo</b>	<b>Sostituzione</b>
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa su cui è fissato il paranco e relative viti di fissaggio non presentino deformazioni o tracce di corrosione che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	

U 04	Controllare il funzionamento del paranco di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	
------	--	-----	--

COD.	UNITA' SEMI-INTEGRATA MANUALE	Controllo	Sostituzione
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa su cui è fissato il paranco e relative viti di fissaggio non presentino deformazioni o tracce di corrosione che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento del paranco di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

COD.	UNITÀ ELETTRICA PORTATILE	Controllo	Sostituzione
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa su cui è fissato il paranco e relative viti di fissaggio non presentino deformazioni o tracce di corrosione che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento del paranco di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

COD.	UNITA' ELETTRICA CARRELLATA	Controllo	Sostituzione
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa ed il cursore di rinvio (fornito con l'unità elettrica carrellata) non presentino deformazioni che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento dell'unità elettrica di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza, attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

**b) Controllo del quinto anno (R5):** Oltre all'integrale ripetizione del programma di controllo annuale, consiste nella revisione accurata dei componenti strutturali della Testa di Trascinamento, dei dispositivi meccanici ed elettrici, nel valutare il loro stato di usura e di efficienza, nell'evidenziare e risolvere difetti o funzionamenti anomali che possano costituire pericolo o divenire causa di seri danni.

Di seguito schede controlli :

COD.	CORONA MOBILE	Controllo	Sostituzione
C 01	Controllare il fissaggio proiettori	[ ]	
C 02	Controllare tutti i collegamenti elettrici della presa interbloccata	[ ]	
C 03	Controllare che l'elemento di sicurezza sia agganciato correttamente	[ ]	
C 04	Controllare il fissaggio dei cavi di acciaio e che questi non siano attorcigliati all'interno della torre	[ ]	
C 05	Controllare il fissaggio dei cavi elettrici e che questi non siano attorcigliati all'interno della torre	[ ]	
C 16	Controllare in fase di abbassamento corona che i cavi di acciaio ed elettrici non presentino tracce di usura e che scorrano in maniera corretta	[ ]	
C 17	Sostituire le balestre d'aggancio	[ ]	
C 07	Controllare lo stato di usura e di deformazione dei perni e delle forcelle di centraggio	[ ]	
C 08	Controllare il serraggio e lo stato di corrosione degli elementi di fissaggio e dei tiranti di ancoraggio	[ ]	
C 18	Controllare che i bracci portaproiettori siano perfettamente fissati alla corona e posizionati in conformità al progetto illuminotecnica	[ ]	
C 19	Controllare che i supporti reattori siano correttamente fissati alla corona	[ ]	
C 09	Controllare che i cablaggi elettrici non presentino tracce di ossidazione o corrosione tali da compromettere la funzionalità dei collegamenti (proiettori e reattori esclusi)	[ ]	
C 20	Controllare che le cassette di derivazione non presentino incrinature che possano compromettere il grado di protezione	[ ]	
C 10	Controllare il cinematismo del freno (se in dotazione) ed effettuare, se necessaria, la relativa regolazione	[ ]	
C 11	Controllare che la corona portaproiettori sia perfettamente bilanciata	[ ]	
C 12	Prova di accensione a terra dei proiettori	[ ]	
C 13	Controllare che il meccanismo di sgancio/aggancio della corona avvenga in modo regolare	[ ]	
C 14	Controllare il corretto funzionamento del fine corsa di prossimità	[ ]	
C 15	Controllare il corretto collegamento e il serraggio del cavo di massa e contatto	[ ]	

COD.	TESTA DI TRASCINAMENTO	Controllo	Sostituzione
T 01	Controllare lo stato di usura della testa di trascinamento e degli elementi di fissaggio : bullonatura	[ ]	
T 02	Controllare i rullini portacavo e le pulegge dei cavi in acciaio provvedendo alla loro lubrificazione con apposito grasso.	[ ]	

A seconda della tipologia di movimentazione prevista compilare l' apposito campo :

<b>COD.</b>	<b>UNITA' ELETTRICA DI SOLLEVAMENTO INTEGRATA</b>	<b>Controllo</b>	<b>Sostituzione</b>
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa su cui è fissato il paranco e relative viti di fissaggio non presentino deformazioni o tracce di corrosione che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento del paranco di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

<b>COD.</b>	<b>UNITA' SEMI-INTEGRATA MANUALE</b>	<b>Controllo</b>	<b>Sostituzione</b>
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa su cui è fissato il paranco e relative viti di fissaggio non presentino deformazioni o tracce di corrosione che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento del paranco di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

<b>COD.</b>	<b>UNITÀ ELETTRICA PORTATILE</b>	<b>Controllo</b>	<b>Sostituzione</b>
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa su cui è fissato il paranco e relative viti di fissaggio non presentino deformazioni o tracce di corrosione che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento del paranco di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza attenendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

COD.	UNITA' ELETTRICA CARRELLATA	Controllo	Sostituzione
U 01	Controllare che la catena non presenti tracce di deformazioni, incrinature, alveoli dovuti a corrosione, riduzione dello spessore delle maglie o aumento del passo dovuto all'usura o allungamento per deformazione plastica e provvedere alla lubrificazione della stessa con apposito grasso	[ ]	
U 02	Controllare l'integrità delle "noci di bloccaggio" della catena sia quella di tiro che quella di antisfilamento	[ ]	
U 03	Controllare che la traversa ed il cursore di rinvio (fornito con l'unità elettrica carrellata) non presentino deformazioni che possano pregiudicare il corretto funzionamento della salita/discesa della corona	[ ]	
U 04	Controllare il funzionamento dell'unità elettrica di sollevamento ed il mantenimento delle condizioni di sicurezza, attendendosi a quanto stabilito nel manuale d'uso redatto dalla casa costruttrice	[ ]	

### c) Controllo del decimo anno (R10) :

Oltre all'integrale ripetizione del programma di controllo annuale e di quello del quinto anno , consiste nell' esecuzione di indagini non distruttive sulla struttura portante (fusti , flange , saldature , tirafondi , bullonature ) con l'impiego di apparecchiature diagnostiche ( spessimetri , controlli ultrasonori , magnetoscopio , chiave dinamometrica ) idonee a rilevare lo stato dei materiali , delle lavorazioni e la presenza o meno di difetti :

- 1) integrità del rivestimento di zincatura ( visivo e mediante spessimetro ) ,
- 2) stato delle lamiere dei fusti ( visivo e mediante spessimetro ) ,
- 3) stato delle flange ( visivo e mediante spessimetro ) ,
- 4) stato delle saldature : visivo e mediante controlli ultrasonori , magnetoscopio e qualunque indagine il tecnico incaricato ritenga necessaria ( saldature longitudinali su fusti , saldature flange , saldatura cornice di rinforzo portella di base ) ,
- 5) verifica dello stato conservativo della flangia di base e tirafondi ( si veda allegato seguente ) ,
- 6) verifica della presenza di ruggine ed acqua alla base della torre , all' interno , mediante portella di ispezione ;
- 7) controllo serraggio bulloni sulla flangia di base e flange di testa ( mediante chiave dinamometrica ) ;
- 8) verifica della verticalità della torre con strumento elettronico.

**Tutti i controlli dovranno essere verbalizzati e messi a disposizione del verificatore/manutentore ogni anno .**

**Dopo il controllo del decimo anno occorre concordare con Tecnopali srl un nuovo programma di manutenzione in funzione dello stato in essere della struttura .**

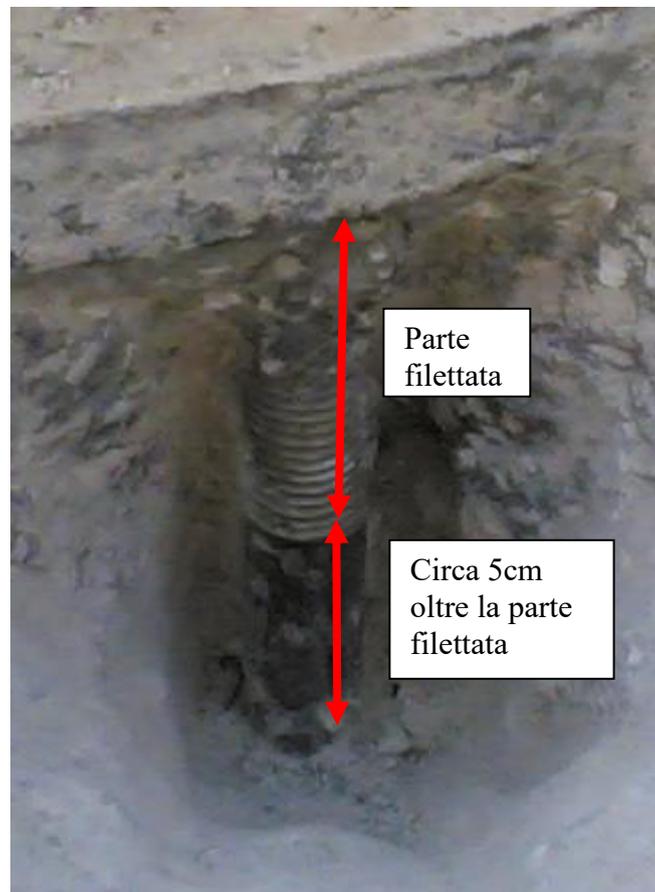
Parma , 02/07/2025

IL PROGETTISTA DELLA STRUTTURA

## PREPARAZIONE DELLE TORRI SU FLANGIA DI BASE PER LA VERIFICA FLANGIA DI BASE E TIRAFONDI DURANTE IL CONTROLLO DEL DECIMO ANNO R10

Per permettere ai Tecnici incaricati di effettuare correttamente tutte le analisi occorre che vengano realizzate le seguenti preparazioni :

- Occorre scoprire dal calcestruzzo almeno due tirafondi ogni 120° per tutta la parte filettata ed oltre per circa 5cm , come da indicazioni nell' immagine sotto :



La finalità è scoprire flangia di base e tirafondi per la verifica dello stato conservativo , come realizzato nell' immagine sotto :



Parma , 02/07/2025

**UFFICIO TECNICO**  
**TECNOPALI S.r.L.**  
Strada Pizzolese 46/a  
43122 Parma Italy

Progettista : Ing. Lambertini Alberto  
Allegato alla relazione di calcolo palo n. 15765W REV.0  
Sito : Porto di Siracusa