

PONTILE NATO DI AUGUSTA

INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PONTILE

CAMICIA DI RINFORZO PILONI - RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO



ENTE APPALTANTE:

DITTA APPALTATRICE:

COSIAM S.r.l. - VIA CICERONE 94 - 93012 GELA (CL)

DITTA COSTRUTTRICE:

ERGO MECCANICA S.r.l. – Zona Industriale Nord 2 –
Strada 4 - 93012 GELA (CL)



IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE

IL DIRETTORE DEI LAVORI

L'IMPRESA COSTRUTTRICE

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
2. NORME DI RIFERIMENTO	3
3. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA ESISTENTE	3
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
5. TRATTAMENTO SUPERFICIALE.....	7
6. Materiali e resistenze di calcolo	7
6.1. Piloni pontile.....	7
6.2. Camicia	7
6.3. Bulloni.....	7
7. ANALISI DEI CARICHI	7
8. VERIFICHE STRUTTURALI	8
8.1. Verifica allo sfilamento della clampa per effetto del carico P.....	8
8.2. Verifica allo schiacciamento del pilone	9
9. CALCOLO DELLO STATO TENSIONALE E DEFORMATIVO PER EFFETTO DEI CARICHI VERTICALI.....	9
10. VERIFICHE STRUTTURALI E DEFORMATIVI.....	11
10.1. Verifica di resistenza.....	11
10.2. Verifica delle deformazioni.....	12
10.3. Verifica bulloni.....	13
11. CONCLUSIONI	14

1. PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di manutenzione straordinaria del pontile Nato di Augusta, si rende necessario eseguire degli interventi di riparazione su alcuni piloni di sostegno in acciaio interessati da fenomeni di corrosione localizzati nella "splash zone" ad un'altezza di circa 100 cm sopra il livello del mare.

La presente relazione espone la soluzione tecnica che si intende adottare per l'intervento di consolidamento dei piloni e le verifiche strutturali **preliminari** della struttura che verrà impiegata allo scopo.

2. NORME DI RIFERIMENTO

- CNR UNI 10011 - Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
- ENV 1993 1-1 EUROCODICE 3 - design of steel structures;
- Raccolta VSR.1.H.2.1.2 – INAIL

3. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA ESISTENTE

Il pontile Nato, situato nel porto di Augusta, è una struttura continua composta da un impalcato in cemento armato sorretto da portali posti ad interasse longitudinale di 12,50 m.

Ciascun portale di sostegno è costituito da una coppia di pali in acciaio di forma circolare ancorati al fondale marino e da un pulvino sommitale in cemento armato su cui poggiano le travi dell'impalcato.

Di seguito vengo riportati alcuni dati geometrici della struttura:

- Diametro nominale pali: $\varnothing 762$ mm
- Spessore nominale pali: 12.7 mm
- Inclinazione pali: 4 a 1
- Altezza livello del mare-intradosso impalcato: 2.3 m
- Interasse longitudinale pali: 12'500 mm (misurato alla quota dell'intradosso dell'impalcato)
- Interasse trasversale dei pali: 4'362 mm (misurato alla quota dell'intradosso dell'impalcato)

La figura seguente riporta una sezione schematica della struttura.

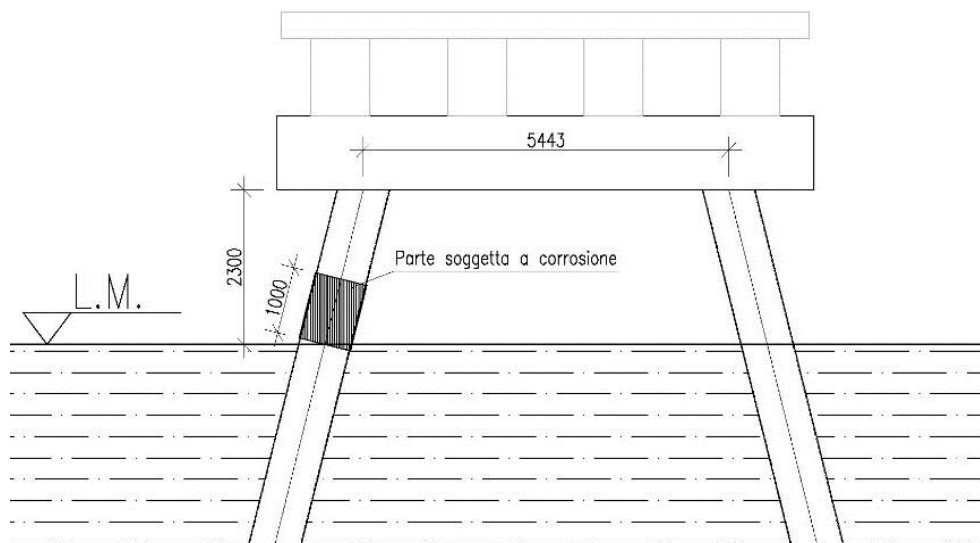


Figura 1 - Sezione schematica del pontile

I piloni della struttura sono interessati da una forte corrosione localizzata che ha provocato in alcuni punti della "splash zone" una sostanziale riduzione della sezione resistente.

La zona al di sopra della "splash zone" e la parte immersa del pilone si presentano invece in discreto stato di conservazione.

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento da realizzare è mirato al rafforzamento strutturale dei piloni ammalorati mediante l'installazione sugli stessi di clampa (o camicia) di irrigidimento in acciaio che assicuri la continuità strutturale dei piloni e quindi la capacità di portanza che avevano all'origine della costruzione.

La camicia avrà una lunghezza complessiva di 4'150 mm e verrà installata sui singoli piloni, oggetto di intervento, simmetricamente rispetto al livello del mare con una parte emersa e una parte sommersa.

La clampa sarà composta da due semi gusci cilindrici di diametro interno $\varnothing 762$ mm (stesso diametro esterno del palo) flangiati e irrigiditi da nervature circolari.

I semi gusci in acciaio verranno realizzati mediante calandratura di lamiera di spessore 13 mm sulla quale verranno saldate le flange anch'essi di spessore 13 mm e le nervature anulari di spessore 6 mm. Per il serraggio dei semi gusci al pilone, verranno impiegati bulloni EN 14399 - M24x90 mm in classe 10.9.

I materiali impiegati per la costruzione delle clampe saranno in acciaio S355J2+N secondo norma di riferimento EN 10025-2:2004.

Ciascun semi guscio sarà dotato di golfari per il sollevamento opportunamente disposti in modo da agevolare le operazioni di montaggio.

La figura seguente riporta un disegno qualitativo della corazza, mentre per i dettagli costruttivi si faccia riferimento agli elaborati grafici Di. 18.75-E01 / E02.

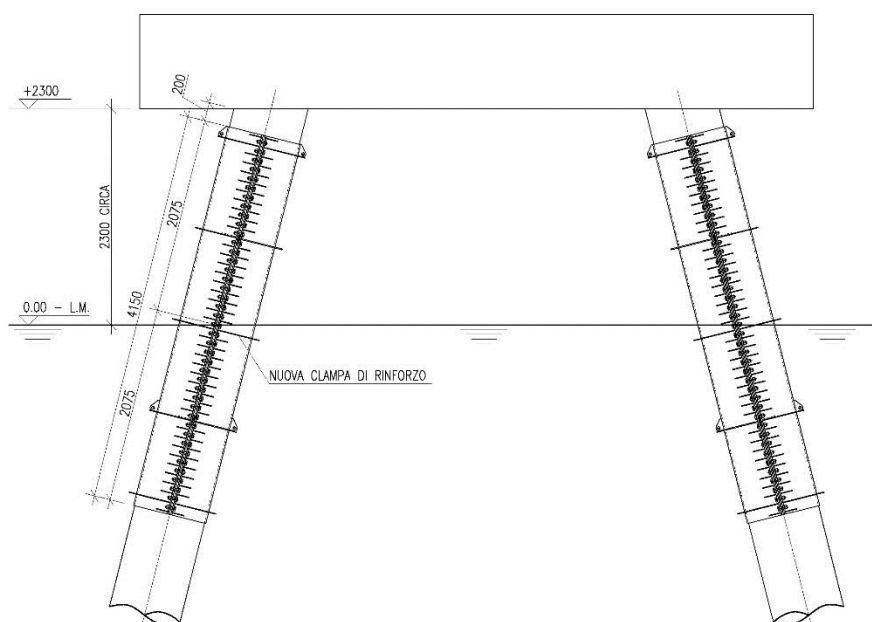


Figura 2- Inserimento camicia di rinforzo

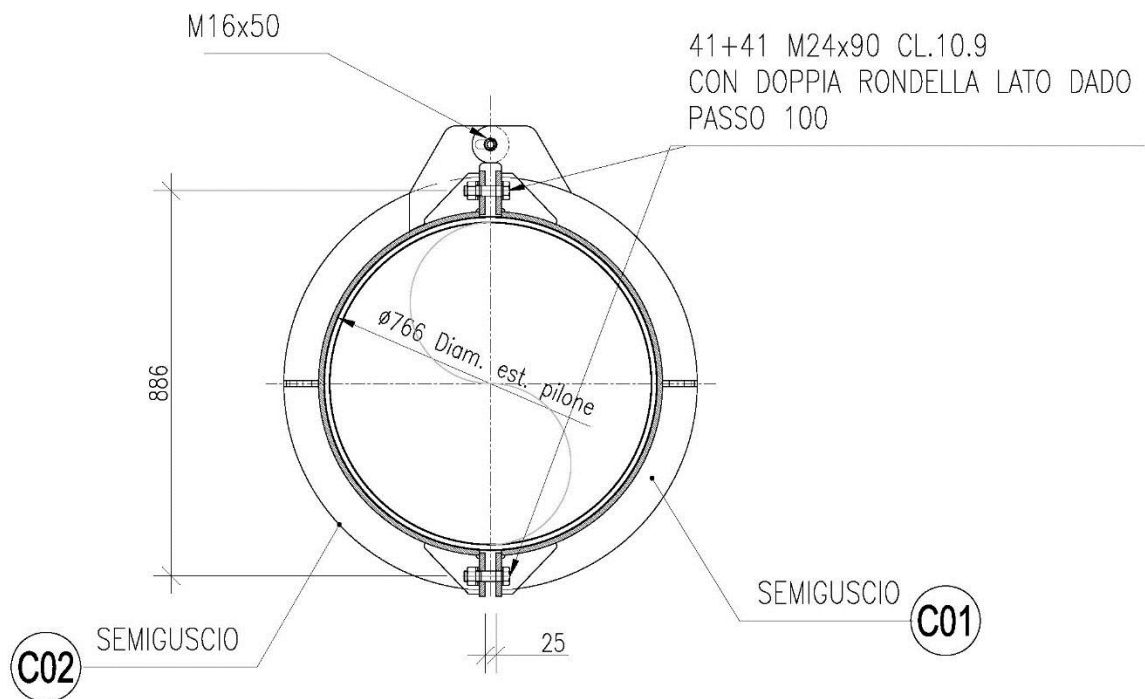


Figura 3 - Sezione trasversale corazza camicia

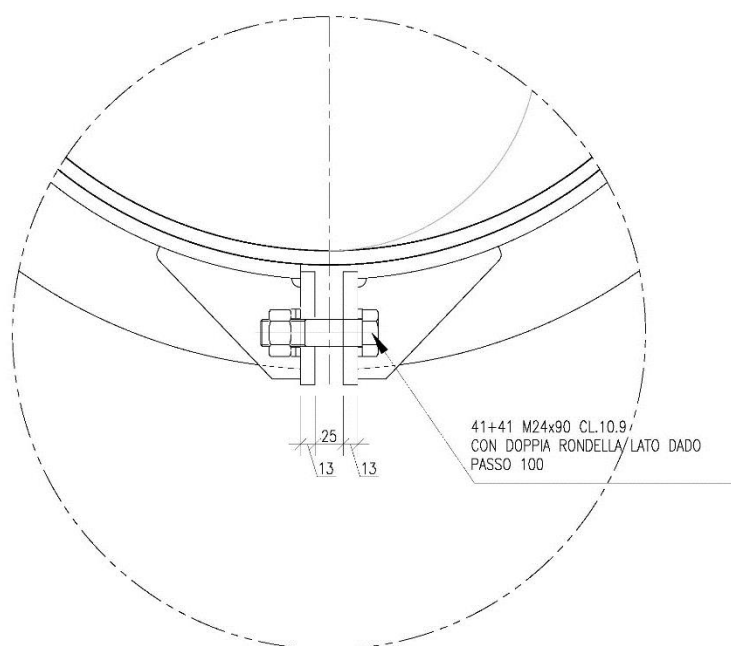


Figura 4 - Particolare collegamento



Figura 5 - Rendering Camicia di rinforzo

5. TRATTAMENTO SUPERFICIALE

L'intera camicia verrà sottoposta ad un ciclo di sabbiatura e verniciatura con rivestimento epossidico bi componente IAMSUB adatto ad ambienti marini.

6. Materiali e resistenze di calcolo

Nelle verifiche strutturali condotte si considereranno i seguenti materiali e relative resistenze di calcolo:

6.1. Piloni pontile

- S235JR (Fe 360)
- Diametro nominale 762 mm
- Spessore 12.70 mm
- Carico di rottura $f_{uk} = 360 \text{ N/mm}^2$
- Carico di snervamento $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$

Nelle verifiche strutturali si considererà un assottigliamento della sezione (spessore di sovra corrosione di 2 mm e un cedimento di sicurezza legato alle incertezze sul materiale pari a $\gamma_m = 1,25$

6.2. Camicia

Tutti i materiali impiegati nella realizzazione della camicia saranno in acciaio S355J2+N (EN 10025-2:2004) con le seguenti caratteristiche meccaniche minime:

- Carico di rottura $f_{uk} = 510 \text{ N/mm}^2$
- Carico di snervamento $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$

6.3. Bulloni

Si prevede di impiegare bulloni M24x90 EN 14399 mm zincati classe 10.9 ad alta resistenza con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Carico di rottura $f_{uk,b} = 1000 \text{ N/mm}^2$
- Carico di snervamento $f_{yk,b} = 900 \text{ N/mm}^2$

7. ANALISI DEI CARICHI

Di seguito si determina il carico gravante sul singolo pilone dovuto ai pesi della struttura sovrastante e ai carichi di esercizio:

ANALISI DEI CARICHI						
					PESO	
PESO PILONE			15	235	3.525,00	
PULVINO	1	1,2	3	2500	9.000,00	
TRAVI IMPALCATO	2	1	0,5	12,2	2500	15.250,00
IMPALCATO		0,3	3	12,2	2500	27.450,00
ESERCIZIO 500 KG/mq			3	12,2	500	18.300,00
CARICHI PORTATI 1000 KG/m				12	1000	12.000,00
CARICO SUL SINGOLO PALO				Q		85.525,00

Tenendo conto delle incertezze legate alla reale geometria della sovrastruttura si considera un coefficiente di sicurezza pari a $\gamma=1,75$. Pertanto le verifiche vengono eseguite assumendo un carico

$$P = 1.75 \times 82525 = 150'000 \text{ kg}$$

8. VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito vengono riportate le analisi e le verifiche strutturali condotte sul dispositivo che verrà impiegato per il consolidamento dei piloni. Lo studio è stato condotto in parte mediante verifiche eseguite con i principi della Scienza delle Costruzioni e in parte mediante analisi ad elementi finiti (FEM) computerizzata utilizzando il software di calcolo FEM STRAUS HSH.

Prima di tutto viene determinata la forza di serraggio da applicare ai tiranti delle semi corazze che attraverso il coefficiente di attrito produrranno l'attrito necessario ad impedire lo sfilamento della camicia.

Nella valutazione della forza di attrito si ipotizza che la superficie a contatto tra camicia e pilone sia quella relativa ad una lunghezza di 600 mm nella parte inferiore (zona immersa) e 600 mm nella parte superiore (zona emersa), trascurando il contributo dato dalla parte corrosa del pilone. Con questa ipotesi (cautelativa) il numero di tiranti che contribuirà al serraggio della camicia saranno 20 nella parte superiore e 20 nella parte inferiore.

8.1. Verifica allo sfilamento della clampa per effetto del carico P

La resistenza allo sfilamento della clampa è garantita dalla coppia di serraggio dei bulloni che esercitano una forza normale alla superficie di contatto clampa-pilone.

È previsto l'impiego di n° 82 bulloni (41 per lato) M24x90 in classe 10.9 EN 14399.

La forza di attrito necessaria ad equilibrare il carico P è data da:

$$f_{attr.} = \mu_s \cdot n \cdot N_b = P$$

Dove:

$\mu_s = 0.45$ è il coefficiente di attrito statico tra i materiali a contatto. Valore dato dalla letteratura per materiali acciaio – acciaio (tab. 5.2 Hoepli Manuale dell'ingegnere Meccanico);

N_b , forza che deve esercitare il singolo bullone;

$n_b = 82$ numero di bulloni;

Nota il carico P dalla precedente relazione si determina il valore di N_b

$$N_b = \frac{P}{\mu_s \cdot n} = \frac{150000}{0.45 \cdot 82} = 4065.04 \text{ kg}$$

Il valore di N_b calcolato è quello sufficiente a garantire l'equilibrio tra forza di attrito e carico verticale.

Considerando un coefficiente di sicurezza pari a 2 si ottiene il carico da applicare al singolo bullone

$$N_{b,effettivo} = 2 \cdot 4065 = 8130 \text{ kg}$$

8.2. Verifica allo schiacciamento del pilone

Di seguito viene verificata la possibilità che il carico esercitato dai bulloni, necessario a sviluppare la forza di attrito tra camicia e pilone possa provocare il collasso anulare del pilone per schiacciamento.

La configurazione di carico può essere schematizzata a quella di un cilindro di lunghezza 4200 mm sottoposto ad una pressione esterna.

La relazione base per il calcolo della pressione massima esterna in grado di provocare il collasso di un guscio è data dalla relazione: (Raccolta VSR.1.H.2.1.2)

$$P_{amm} = \frac{2 \cdot (s - t) \cdot f}{D_e} \cdot \frac{1,5}{1,6 \cdot k}$$

Dove:

s	= 12,70	spessore del tubo
t	= 1.59 mm	tolleranza di fabbricazione sullo spessore
f _{yk}	= 2390 kg/cm ²	tensione di snervamento del materiale pilone
D _e	= 762 mm	diametro esterno del tubo (pilone)

L = 4150 mm lunghezza del tubo sottoposto a pressione esterna.

U = 1% ovalizzazione del tubo

$$k = 1 + 0.15 \cdot u \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \frac{D_e}{L}\right) \cdot \frac{D_e}{s} \quad \text{Fattore geometrico}$$

Sostituendo i valori si ottiene una pressione ammissibile pari:

$$k = 1 + 0.15 \cdot u \cdot \left(1 - 0.2 \cdot \frac{D_e}{L}\right) \cdot \frac{D_e}{s} = 1,99$$

$$P_{amm} = \frac{2 \cdot s \cdot f}{D_e} \cdot \frac{1,5}{1,6 \cdot k} = 0,78 \text{ Mpa} = 7,8 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Massima pressione a cui può essere sottoposto il tubo}$$

Indicando con:

S_{cont} è la superficie di contatto tra tubo e camicia ed

N_{b,tot} il carico totale trasmesso da bulloni

La pressione esercitata dal serraggio dei bulloni vale:

$$P = \frac{N_{b,tot}}{S_{cont}} = \frac{N_{b,tot}}{\pi \cdot D \cdot L} = \frac{8130 \cdot 82}{\pi \cdot 76,2 \cdot 415} = 6,71 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < P_{amm}$$

La verifica allo schiacciamento risulta soddisfatta

9. CALCOLO DELLO STATO TENSIONALE E DEFORMATIVO PER EFFETTO DEI CARICHI VERTICALI

Di seguito viene eseguita una verifica dello stato tensionale e deformativo del sistema pilone-corazza quando quest'ultimo risulta sottoposto al carico verticale P = 150'000 che genera pressoflessione sul palo.

L'interazione tra pilone e corazza viene determinata mediante calcolo agli elementi finiti FEM utilizzando il codice di calcolo FEM STRAUS –HSH.

Il software consente di eseguire un'analisi statica-lineare del modello tridimensionale, importato da AutoCAD 3D e generando in modo automatico mesh tri-dimensionali (brick) con elementi principalmente quadrangolari di elevata qualità.

Nella modellazione della struttura per il calcolo FEM si è modellato il pilone con due tratti di tubo discontinui estremizzando di fatti l'effetto della corrosione e quindi la riduzione della sezione resistente.

Lo schema di carico è quello di tre tronchi di tubo coassiali con cerniera in testa, incastro alla base sottoposto a sforzo normale.

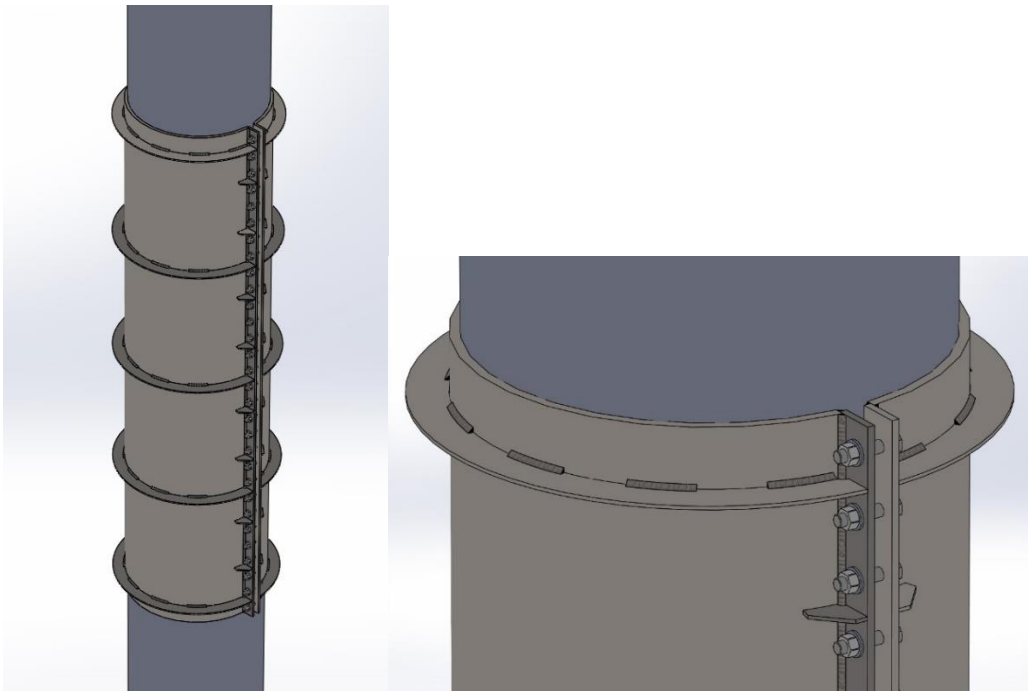


Figura 6 - Modellazione della struttura

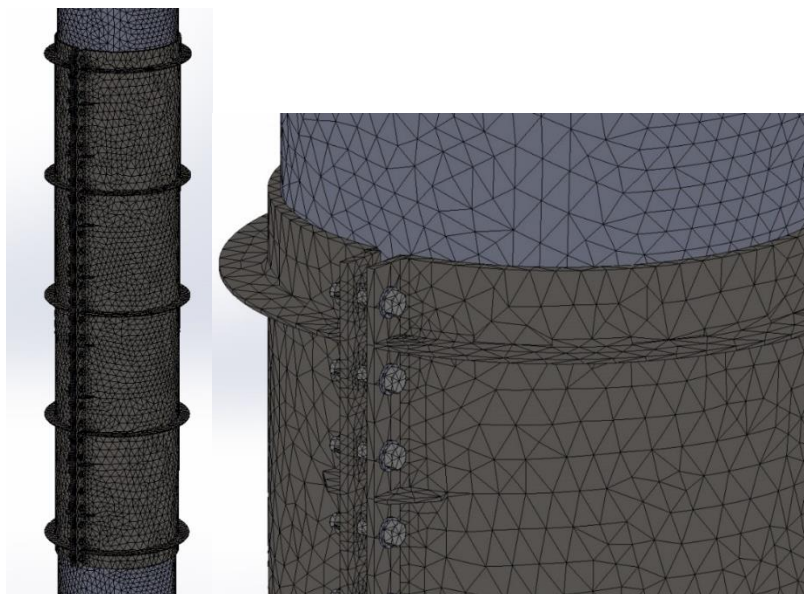


Figura 7-mesh tridimensionale Brick ad elementi finiti

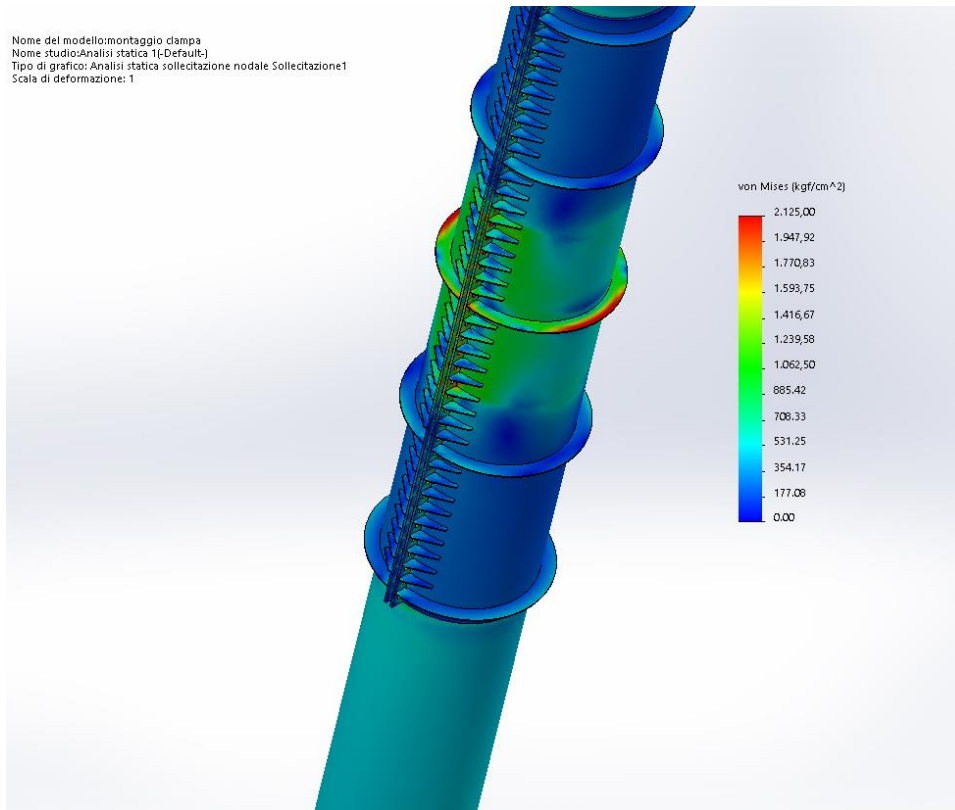


Figura 8 - Stato tensionale di Von Mises

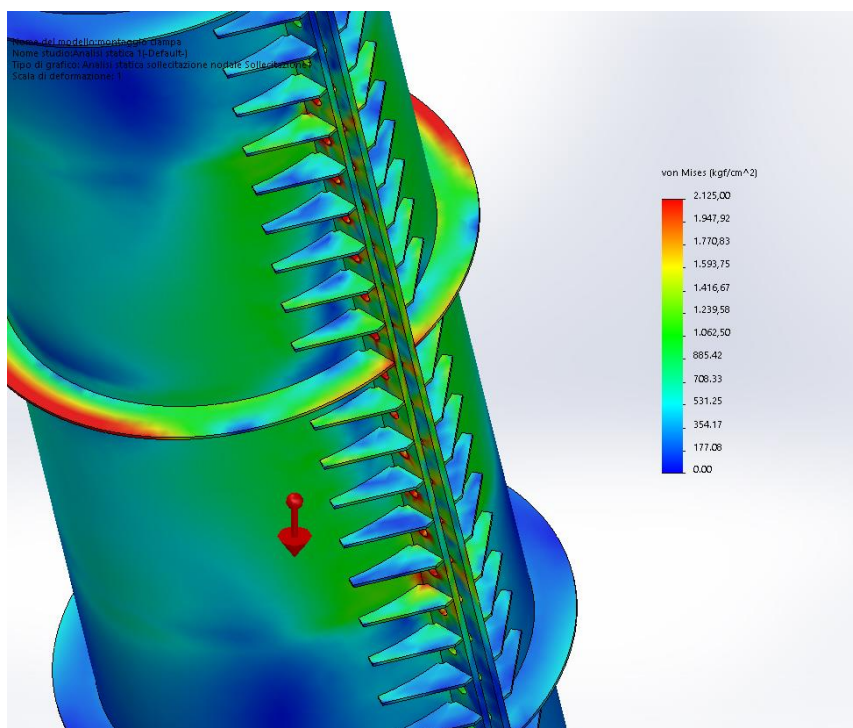


Figura 9 - Stato tensionale di Von Mises

10. VERIFICHE STRUTTURALI E DEFORMATIVI

10.1. Verifica di resistenza

Le immagini sopra riportate mostrano lo stato tensionale triassiale di Von Mises dovuto alla sollecitazione di presso flessione.

Come si evince dal grafico la tensione massima sulla corazza vale: $\sigma_{Von\ mises} = 2125\text{ kg/cm}^2$ risultando sempre inferiore alla tensione ammissibile del materiale pari a:

$$\sigma_{amm} = \frac{f_{yk}}{\gamma} = \frac{3550}{1.25} = 2840\text{ kg/cm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.

10.2. Verifica delle deformazioni

L'analisi FEM mette in evidenza una deformazione massima dovuta al carico P verticale e al precarico esercitato dai tiranti pari a $u=3,01\text{ mm}$. **Valore sicuramente accettabile.**

Nome del modello: montaggio clamp
Nome studio: Analisi statica 1-(Default)
Tipo di grafico: Spostamento statico Spostamento1
Scala di deformazione: 1

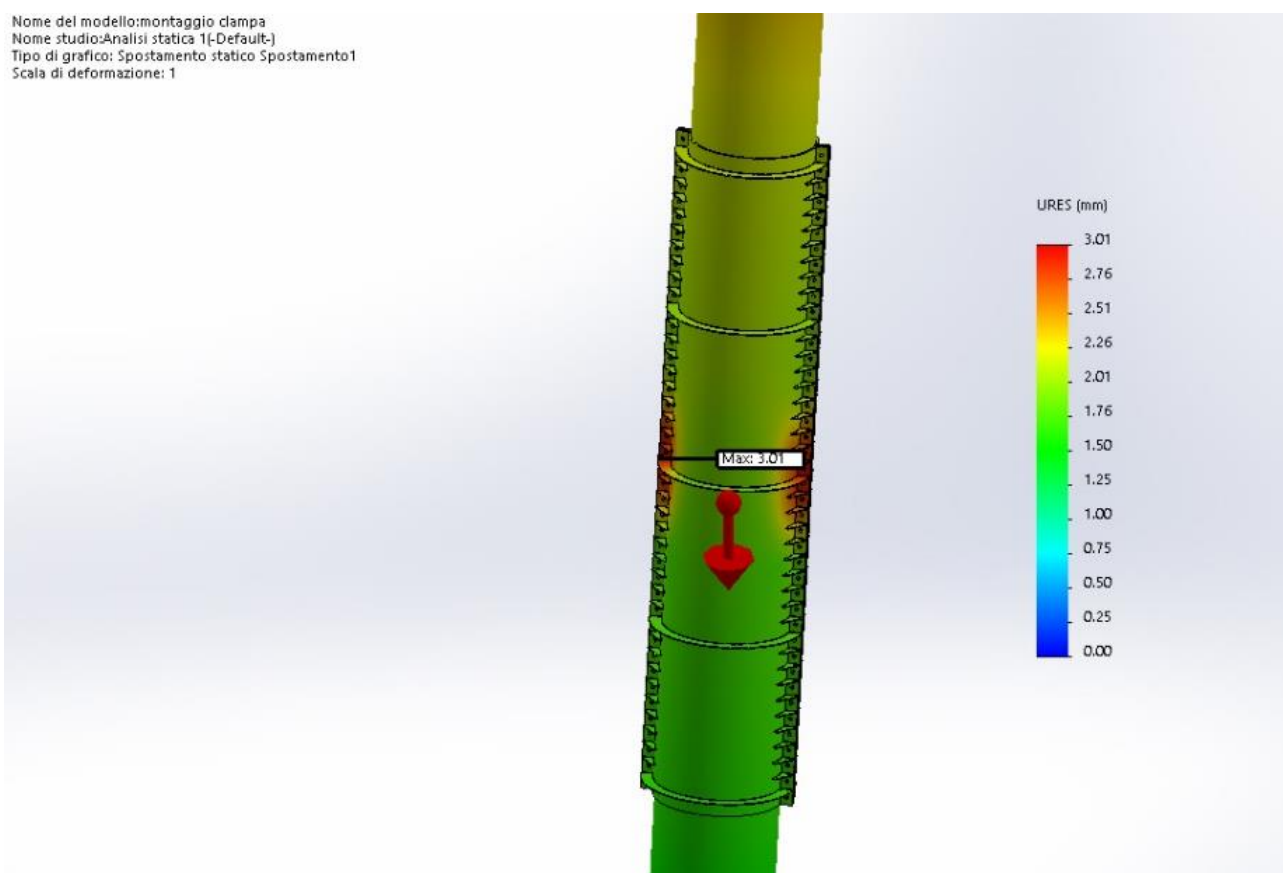


Figura 10 - stato deformativo massimo

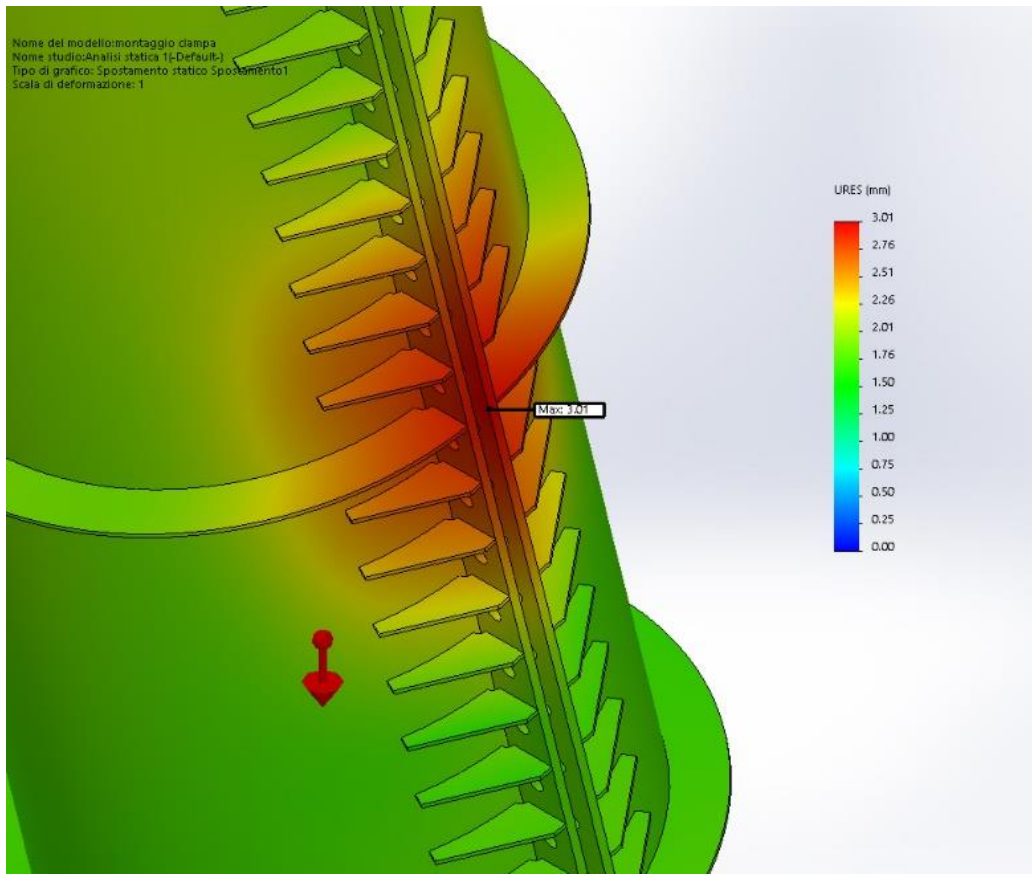


Figura 11 - Figura 10 - stato deformativo massimo

10.3. Verifica bulloni

La verifica viene condotta sul tirante maggiormente sollecitato (12 esimo tirante a partire da quello superiore)

La seguente tabella estratta dal programma di calcolo riporta le sollecitazioni sul tirante maggiormente sollecitato

Bullone: M24x190 classe 10.9 - EN 14399

Tipo	Precarico	Carico	Risultante	Verifica
Forza di taglio (kg)		386	386 < $F_{v,rb}$	soddisfatta
Forza assiale (kg)	8130	3111	11'241 < $F_{t,rb}$	soddisfatta

Dove:

La resistenza di taglio di un singolo bullone è fornita dalla relazione:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_m} = \frac{0.5 \cdot 1000 \cdot 353}{1.25} = 141'200 \text{ N} \cong 14'120 \text{ kg}$$

La resistenza a trazione di un singolo bullone è fornita dalla relazione:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res}}{\gamma_m} = \frac{0.9 \cdot 1000 \cdot 353}{1.25} = 254'160 \text{ N} \cong 25'120 \text{ kg}$$

11. CONCLUSIONI

Le verifiche di tipo statico condotte hanno messo in evidenza che il dispositivo studiato assicura la trasmissione dei carichi verticali ripristinando di fatti la continuità del pilone e quindi la capacità portante che aveva all'origine.

IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE

Gela, li 27/11/2018

