

C0	16/06/11	EMISSIONE PER APPROVAZIONE	BR	PF	YE
REVISIONE		DESCRIZIONE	EL.	CON.	APP.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
MAGISTRATO ALLE ACQUE

## NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991  
ATTO ATTUATIVO REP. 8249 DEL 28-12-2007  
ATTO ATTUATIVO REP. 8492 DEL 30-03-2011

### INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

CUP: D51B020000500D1 (A.A. 8249), D51B020000500H1 (A.A. 8492)

### PROGETTO ESECUTIVO

WBS: MA.E1.14.PE

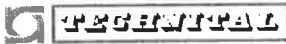
### BOCCA DI MALAMOCCO CONCA DI NAVIGAZIONE PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE STRUTTURA DELLE PORTE

### GRIGLIATO MOBILE DI PROTEZIONE FUNI RELAZIONE DI CALCOLO

ELABORATO B. Rancati	CONTROLLATO P. Fontana	APPROVATO Y. Eprim
N. ELABORATO MV036P-PE-MAR-4011-C0	CODICE FILE MV036P-PE-MAR-4011-C0.DOC	DATA 16 Giugno 2011

### CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

<p>COORDINAMENTO PROGETTAZIONE</p> <p>VERIFICATO S. Dalla Villa</p> <p>CONTROLLATO M. Brotto</p> <p>CONSORZIO VENEZIA NUOVA Ing. M. Brotto</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>DOTT. ING. BERTO SCOTTI</p> <p>IL RESPONSABILE : Ing. A. SCOTTI</p> 
--	---

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 2
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI**

**MAGISTRATO ALLE ACQUE**

**NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA**

**CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991  
ATTO ATTUATIVO REP. 8249 DEL 28-12-2007**

**CONSORZIO VENEZIA NUOVA**

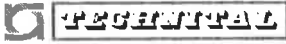
**INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI  
FLUSSI DI MAREA**

**- PROGETTO ESECUTIVO -**

**BOCCA DI MALAMOCCO – CONCA DI NAVIGAZIONE  
PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE**

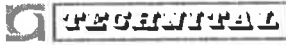
**STRUTTURA DELLE PORTE**

**GRIGLIATO MOBILE DI PROTEZIONE FUNI  
RELAZIONE DI CALCOLO**

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 3
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

## INDICE

INDICE	3
1. OGGETTO E SCOPO	4
2. DESCRIZIONE	6
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	10
4.1. Acciaio per strutture metalliche	10
4.2. Acciaio per bulloni	10
5. MODELLO DI CALCOLO	11
5.1. Descrizione	11
5.2. Analisi dei risultati	14
5.3. Verifica degli elementi portanti	18

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 4
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

## 1. OGGETTO E SCOPO

Le opere di difesa dall'acqua alta per la laguna di Venezia comprendono, per la bocca di Malamocco, la realizzazione di una conca di navigazione per grandi navi che consenta il transito dei vettori quando la barriera sia alzata, ovviando all'interdizione di ingresso nel canale della bocca e limitando i tempi di attesa quando il varco è varco chiuso (Figura 1.1). La conca è dotata di un sistema di porte scorrevoli. Ogni porta è installata all'interno di una struttura di alloggiamento che costituisce la battuta a porta chiusa e il ricovero quando sia aperta. La movimentazione delle porte è eseguita mediante funi in acciaio trascinate da motori elettrici.

Oggetto della presente relazione è la struttura di supporto per il grigliato mobile di protezione delle funi (Figura 1.2).

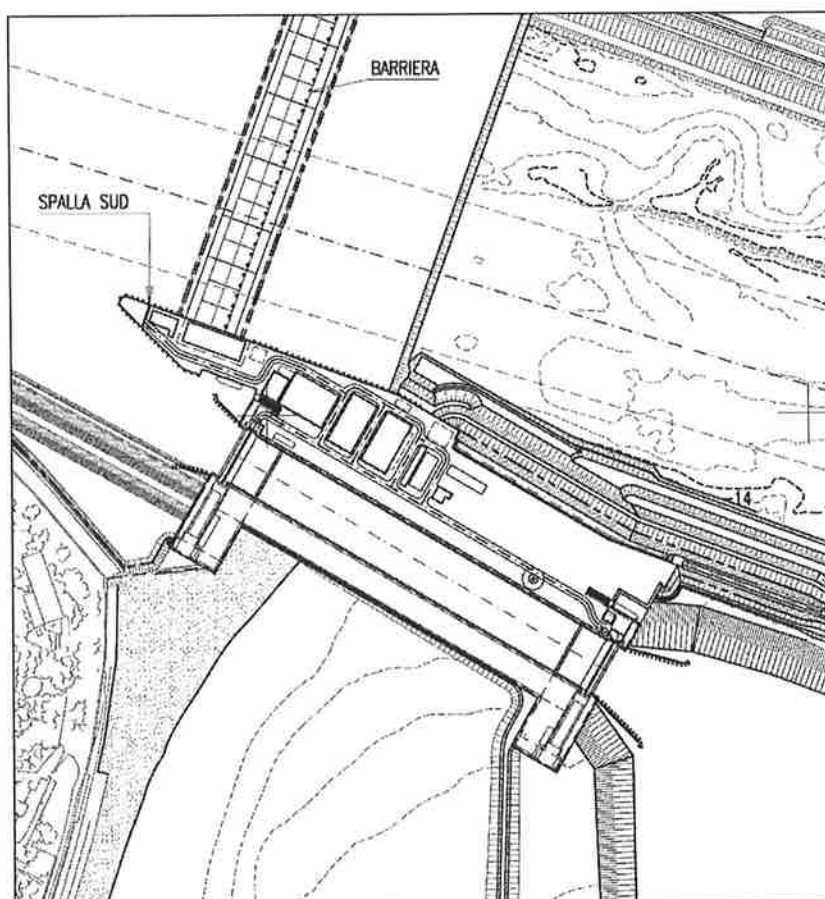


FIGURA 1.1 – CONCA DI NAVIGAZIONE E OPERE PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA ALLA BOCCA DI MALAMOCCHO

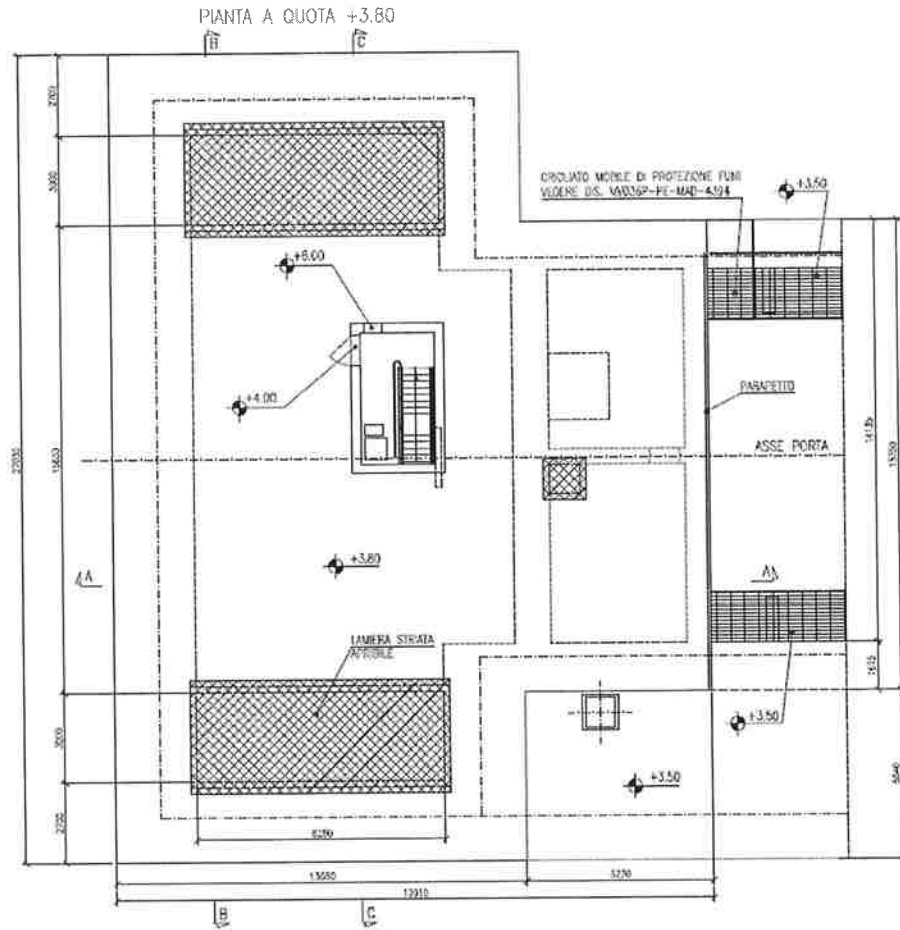



FIGURA 1.2 – STRUTTURA DELLE PORTE; GRIGLIATO MOBILE DI PROTEZIONE

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 6
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

## 2. DESCRIZIONE

Il grigliato mobile viene realizzato tramite una serie di moduli in carpenteria metallica, accostati tra loro con giunto di separazione pari a 4 cm.

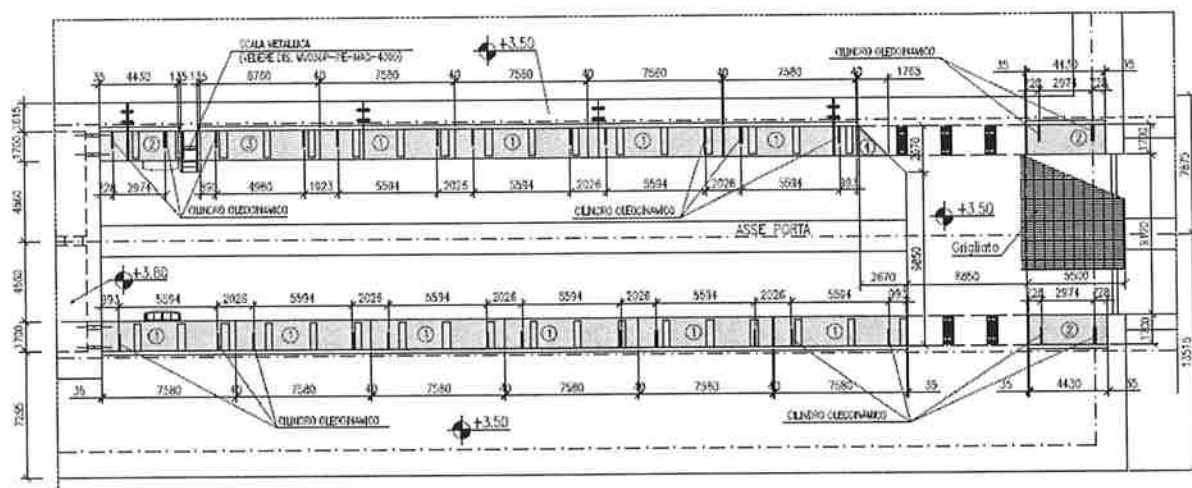


FIGURA 2.1 – PORTA LATO MARE – DISPOSIZIONI MODULI

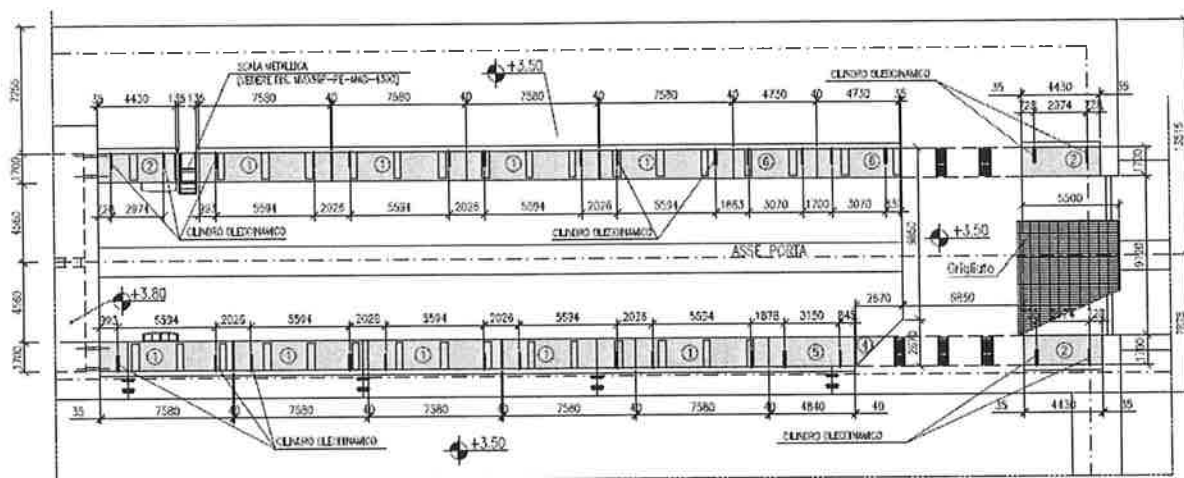


FIGURA 2.2 – PORTA LATO LAGUNA – DISPOSIZIONI MODULI

Ciascun modulo è costituito da una struttura metallica a sbalzo di luce pari a 1.7 m. In Figura 2.3 è riportata la pianta del modulo tipico (tipo 1) con l'indicazione delle sezioni dei profili metallici.

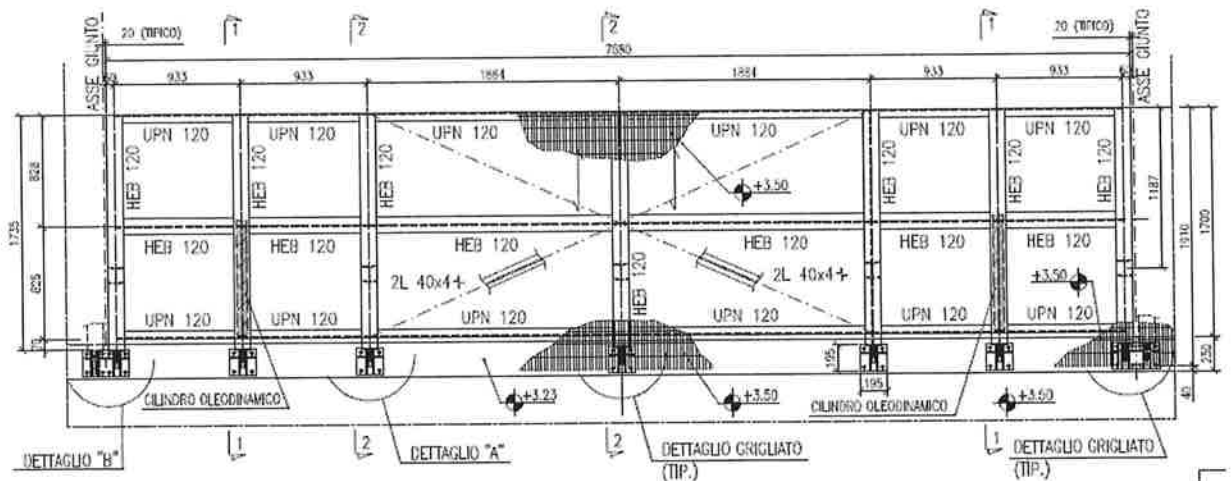
PIANTA MODULO TIPO "1"  
 (TOTALE MODULI = 19)


FIGURA 2.3 – MODULO TIPO 1; PIANTA

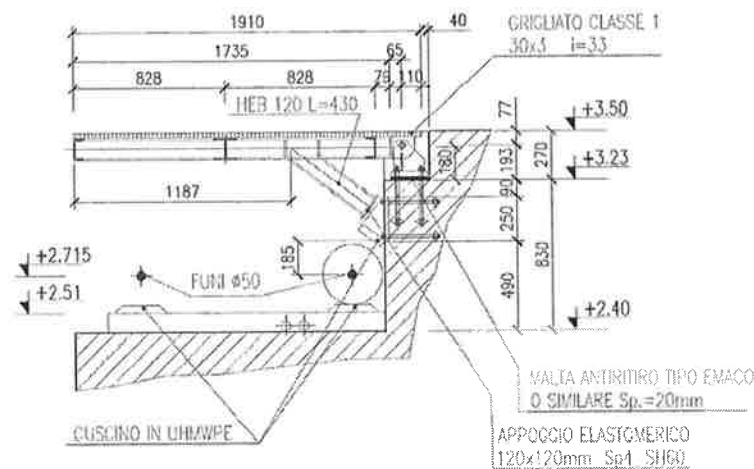
 SEZIONE 2-2  
 (CONFIGURAZIONE CON CILINDRO A RIPOSO)


FIGURA 2.4 – SEZIONE TRASVERSALE, CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO, APPOGGIO ELASTOMERICO

In condizioni di esercizio (grigliato abbassato) i tiranti della pensilina sono vincolati tramite sette collegamenti a perno mentre i puntoni scaricano su cinque appoggi elastomerici (Figura 2.4).

Il grigliato viene alzato per poter effettuare la manutenzione delle funi di movimentazione delle porte.

Il sollevamento avviene tramite due cilindri oleodinamici che normalmente sono inattivi (Figura 2.5).

In fase di sollevamento gli appoggi elastomerici si scaricano e lavorano i due cilindri oleodinamici (Figura 2.6).

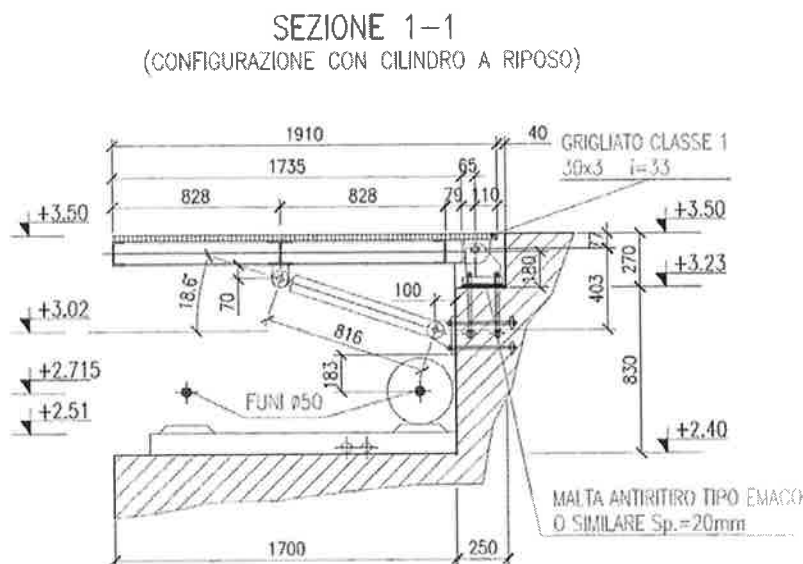


FIGURA 2.5 –SEZIONE TRASVERSALE, CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO, CILINDRO A RIPOSO

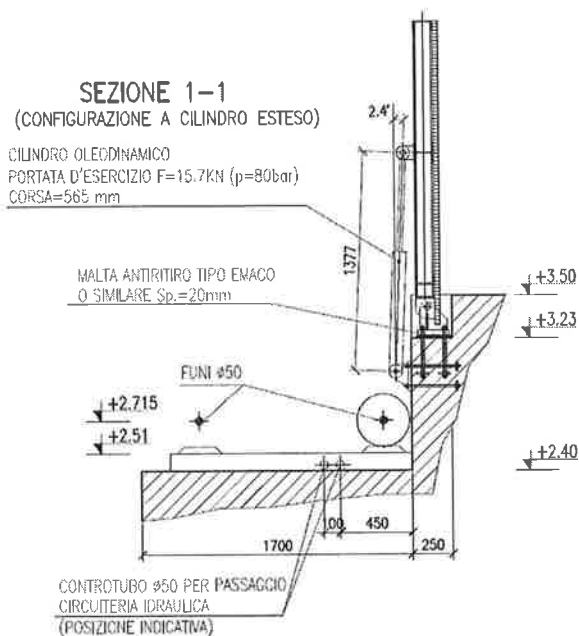
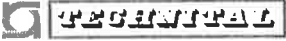


FIGURA 2.6 –SEZIONE TRASVERSALE, CONFIGURAZIONE CON CILINDRO ESTESO



	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 9
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

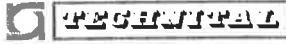
### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel seguito della presente relazione di calcolo si farà riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 14.01.2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- UNI EN 1993-1-8:2003 “Eurocode 3 – Progettazione delle strutture in acciaio – Part 1-8: progetto dei collegamenti.

Per i dispositivi di appoggio si fa riferimento alla seguente norma:

- CNR 10018/99 “Apparecchi di appoggio per le costruzioni. Istruzioni per l’impiego”.

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 10
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	


#### 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### 4.1. Acciaio per strutture metalliche

S 355	tipo di acciaio
$f_{yk} \geq 355$ Mpa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq 510$ Mpa	tensione caratteristica di rottura

##### 4.2. Acciaio per bulloni

Inox A4-70	tipo di acciaio
$f_{yb} \geq 450$ Mpa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tb} \geq 700$ Mpa	tensione caratteristica di rottura

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 11
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

## 5. MODELLO DI CALCOLO

### 5.1. Descrizione

Per determinare le sollecitazioni negli elementi strutturali sono stati implementati due modelli ad elementi finiti del modulo tipico, tramite il programma di calcolo SAP2000 v.14.0.0.

Le travi sono state modellate con elementi beam, le cui caratteristiche geometriche corrispondono a quelle dei profili corrispondenti.

Con il primo modello si è rappresentata la configurazione di esercizio (cilindri inattivi). I tiranti della pensilina sono stati vincolati tramite sette cerniere; i puntoni sono stati vincolati tramite cinque molle di rigidezza pari a quella dell'appoggio elastomerico.

Si sono verificate le sollecitazioni e le deformazioni attese nell'ipotesi di un carico uniformemente distribuito sulla pensilina pari a 6.3 kN/mq (grigliato di classe1: carico della folla compatta).

Con il secondo modello è stata rappresentata la configurazione con cilindri attivi. In questo caso il carico è determinato solo dal peso proprio della struttura.

I vincoli sono rappresentati dalle sette cerniere in corrispondenza dei tiranti e dalle sole due cerniere in corrispondenza dei due cilindri oleodinamici (gli appoggi elastomerici sono scarichi).

Al fine di determinare la massima reazione nelle cerniere dei cilindri, questi sono stati modellati nella posizione assunta al momento del distacco della pensilina dagli appoggi elastomerici. Infatti, al procedere del sollevamento, i cilindri si portano dalla configurazione inclinata alla configurazione verticale in cui l'intero peso della struttura scarica sulle cerniere superiori (Figura 2.6).

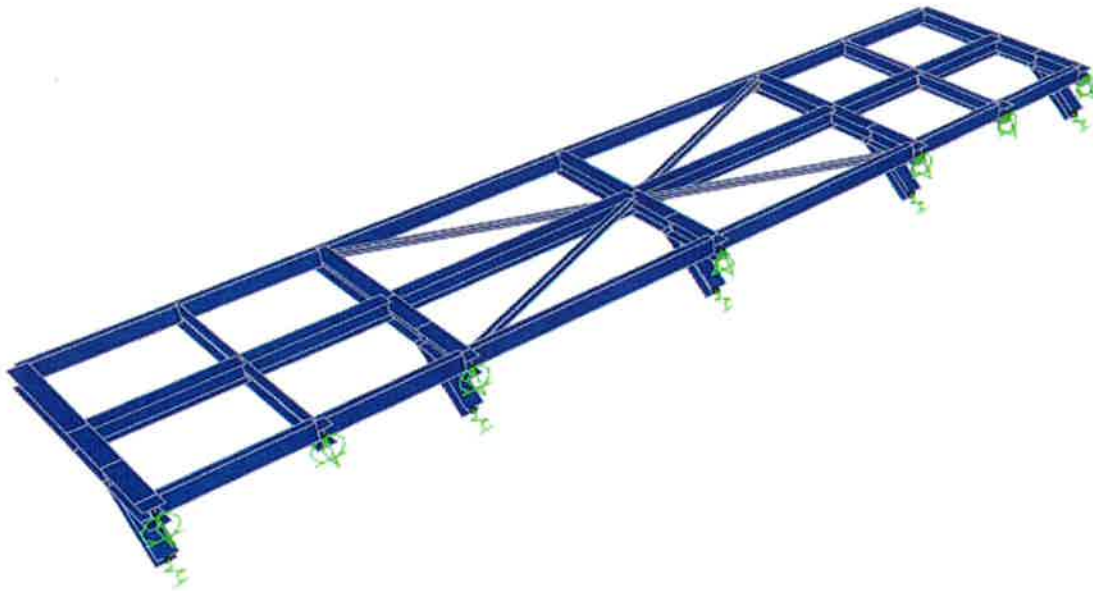


FIGURA 5.1 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), MODELLO 3D,

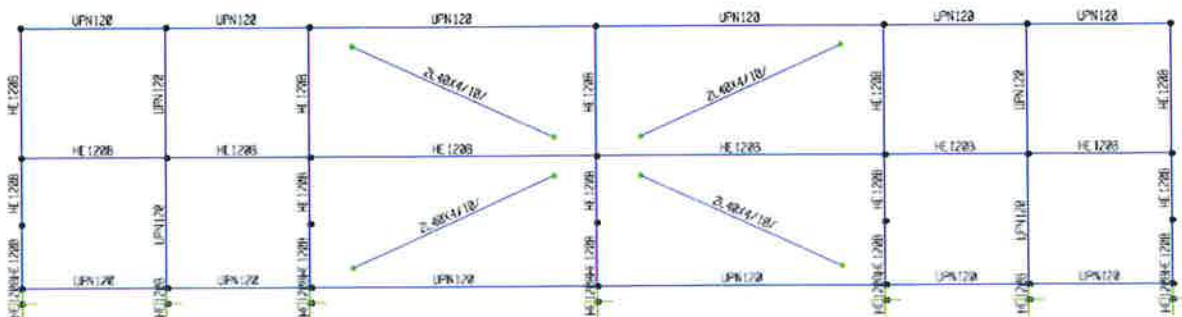


FIGURA 5.2 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), PIANTA



FIGURA 5.3 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), SEZIONE TRASVERSALE

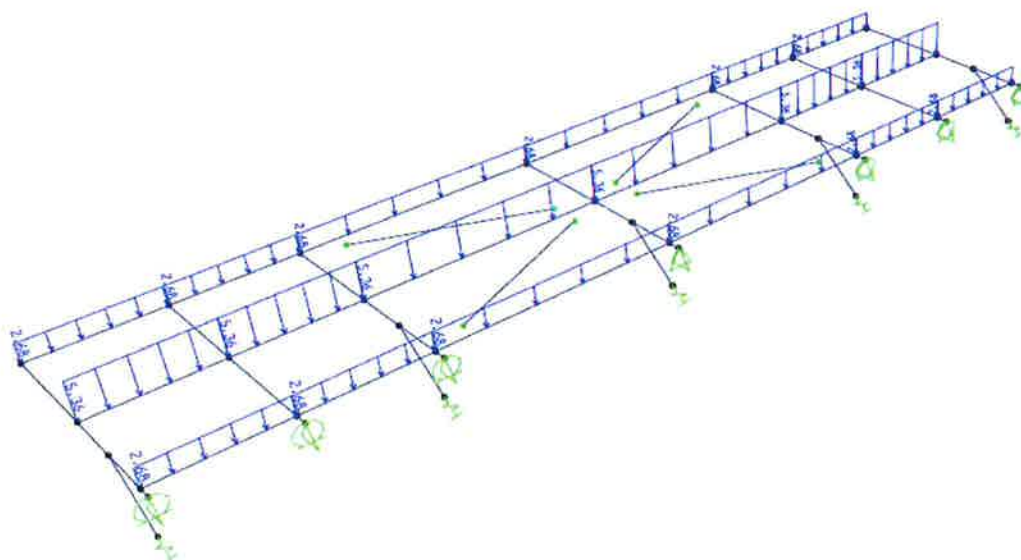


FIGURA 5.4 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), CARICO GRIGLIATO CLASSE 1

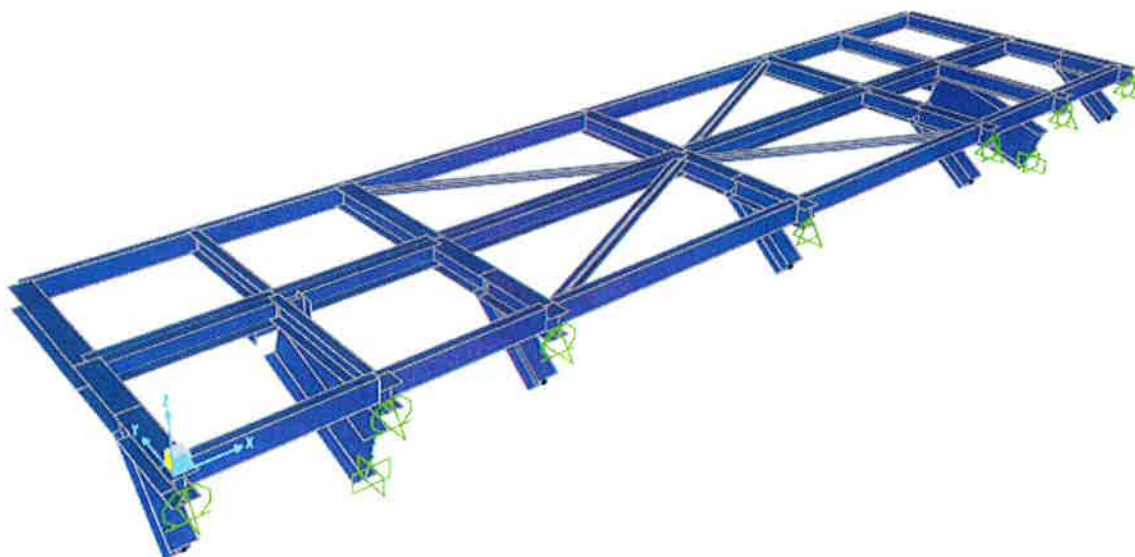



FIGURA 5.5 – CONFIGURAZIONE CON CILINDRI ATTIVI, MODELLO 3D

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 14
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

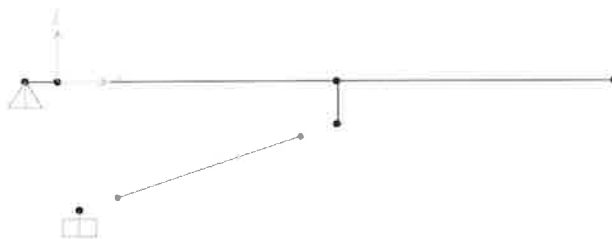


FIGURA 5.6 – CONFIGURAZIONE CON CILINDRI ATTIVI, SEZIONE TRASVERSALE

## 5.2. Analisi dei risultati

Nelle figure seguenti sono riportati i diagrammi delle sollecitazioni e della deformata nella sola configurazione di esercizio e le reazioni massime alle cerniere nelle due configurazioni.

Nella configurazione con cilindri attivi le sollecitazioni non sono significative, in quanto determinate solo dal peso proprio della struttura.

Dai risultati ottenuti si deduce che sono sempre ampiamente verificati i profili HEB120 e UPN120, realizzati in acciaio S355.

Tali profili sono essenzialmente determinati da fenomeni di deformazione.

La freccia massima ottenuta alla punta della pensilina è pari a 6.44 mm per una luce di 1700 mm (~1/265 della luce).

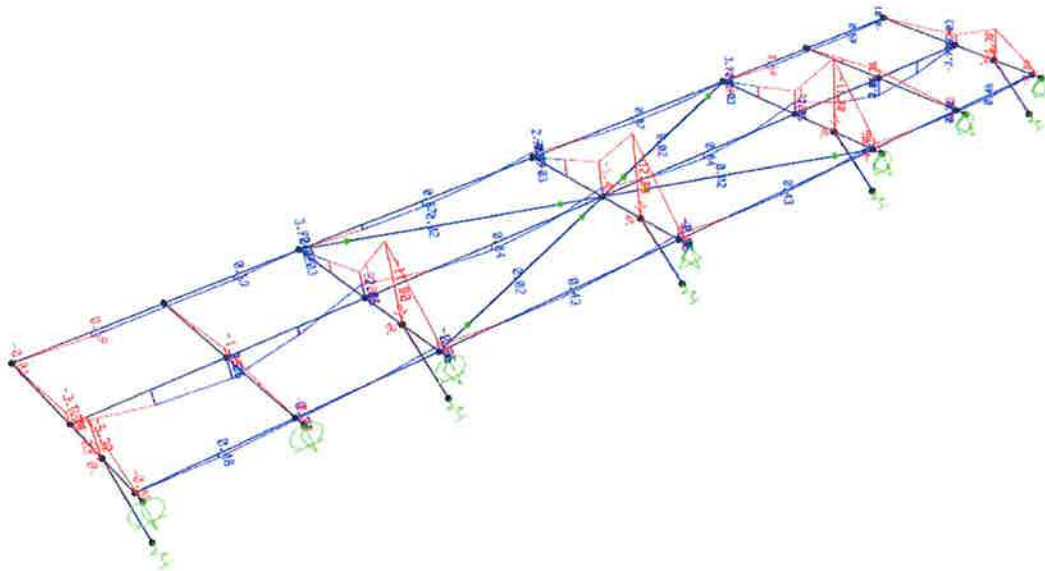


FIGURA 5.7 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), MOMENTO FLETTENTE

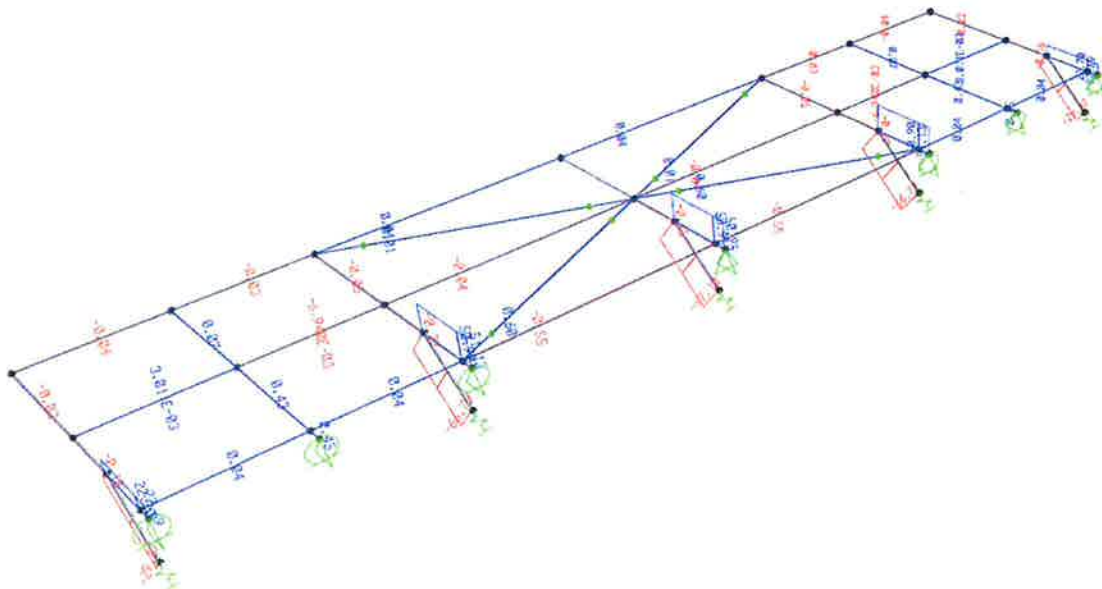


FIGURA 5.8 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), AZIONE ASSIALE

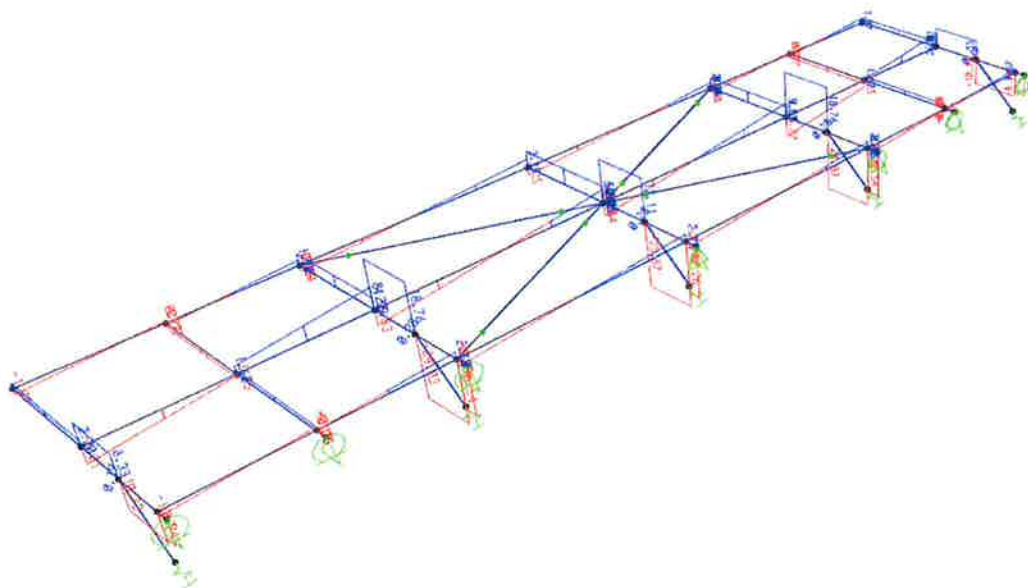


FIGURA 5.9 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), AZIONE TAGLIANTE

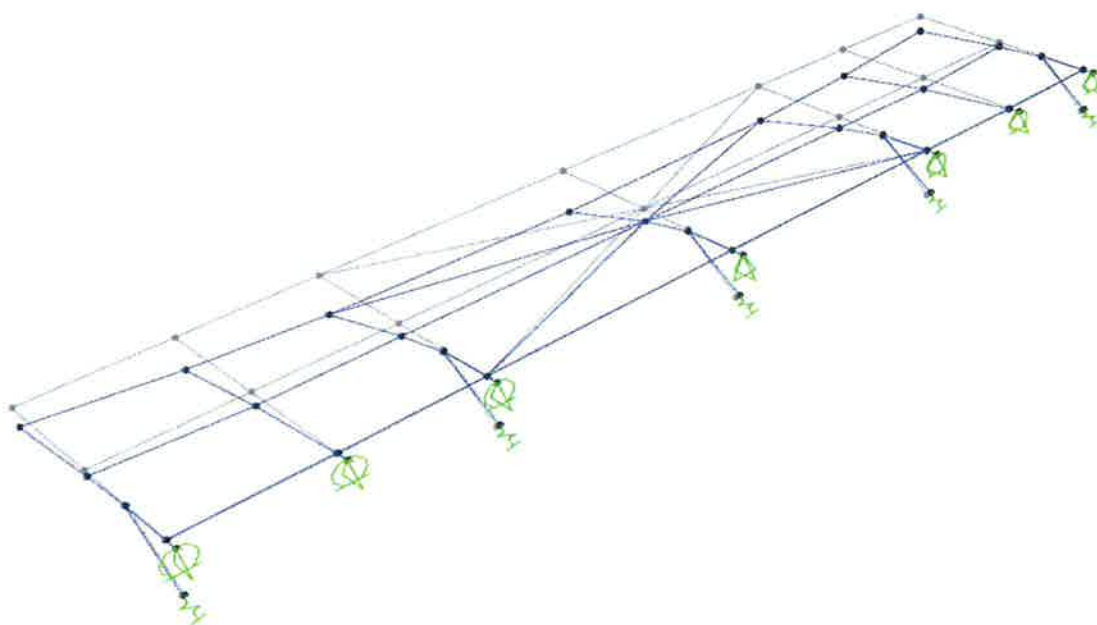


FIGURA 5.10 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), DEFORMATA



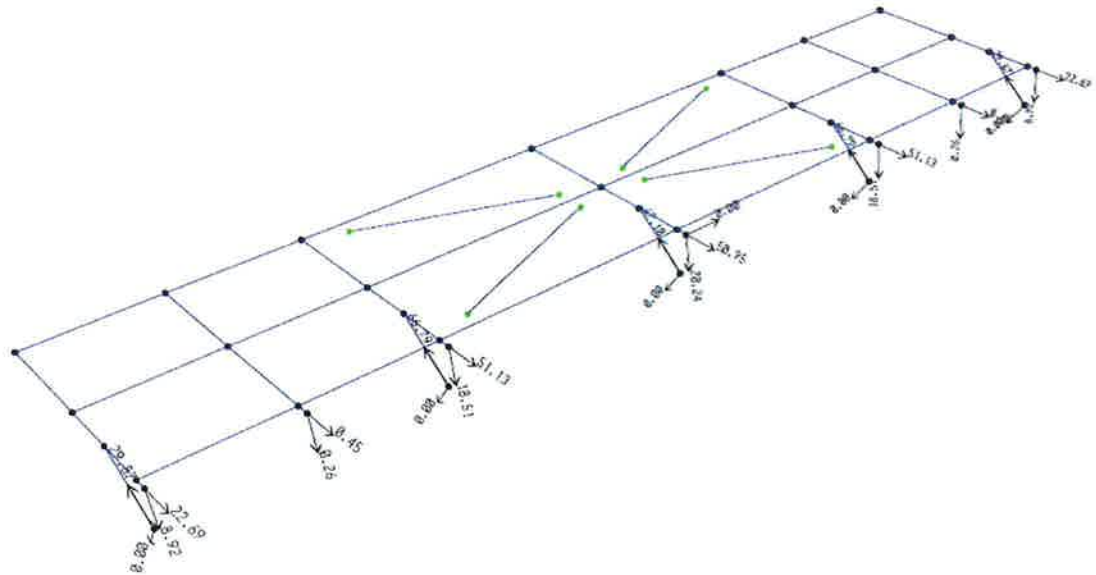


FIGURA 5.11 – CONFIGURAZIONE DI ESERCIZIO (CILINDRI INATTIVI), REAZIONI VINCOLARI

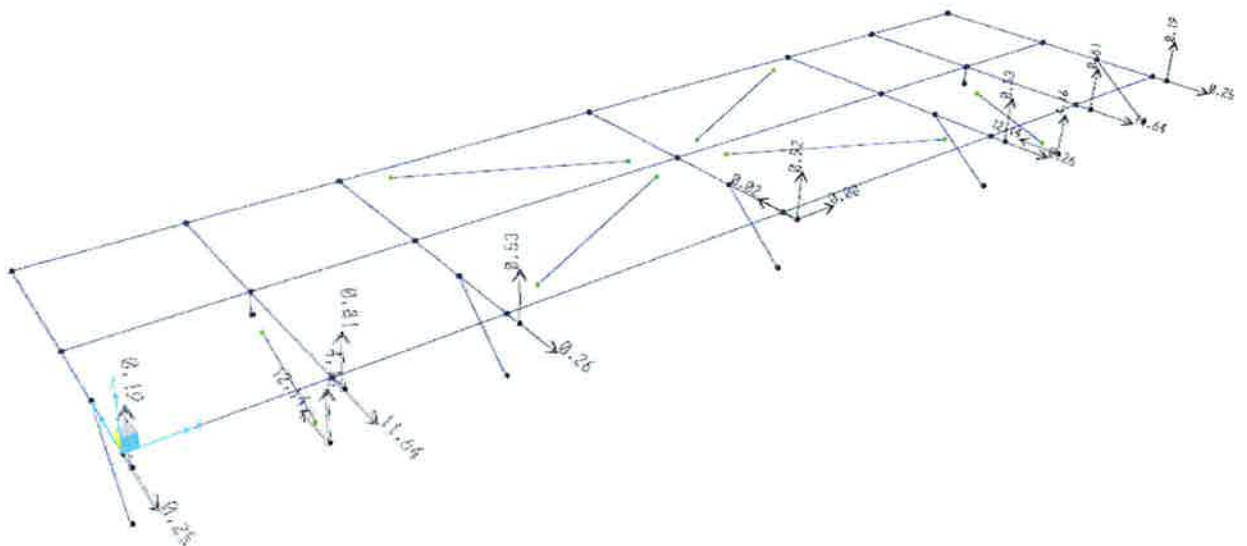



FIGURA 5.12 – CONFIGURAZIONE CON CILINDRI ATTIVI, REAZIONI VINCOLARI

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 18
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

### 5.3. Verifica degli elementi portanti

Si eseguono le verifiche allo stato limite ultimo per la quale si assumono a favore di sicurezza  $\gamma_G = 1.5$  e  $\gamma_Q = 1.5$ .

#### Verifica profili HEB120

$$N_{Ed} = 50.95 \times 1.5 = 76.43 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 12.86 \times 1.5 = 19.29 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 25.87 \times 1.5 = 38.81 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Ed} = 76430/3400 + 19290000/144000 = 156.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = 38810/780 = 49.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{id,Ed} = (\sigma_{Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)^{1/2} = 178.6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_M = 355/1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$$

La verifica è quindi soddisfatta.

#### Verifica profili UPN120

$$N_{Ed} = 0.43 \times 1.5 = 0.65 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1.36 \times 1.5 = 2.04 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1.62 \times 1.5 = 2.43 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Ed} = 650/1700 + 2040000/60700 = 34.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = 2430/840 = 2.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{id,Ed} = (\sigma_{Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)^{1/2} = 34.4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_M = 355/1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$$

La verifica è quindi ampiamente soddisfatta.

#### Verifica collegamenti

Si verificano i tirafondi e le piastre previste per il collegamento delle cerniere alla struttura in calcestruzzo.

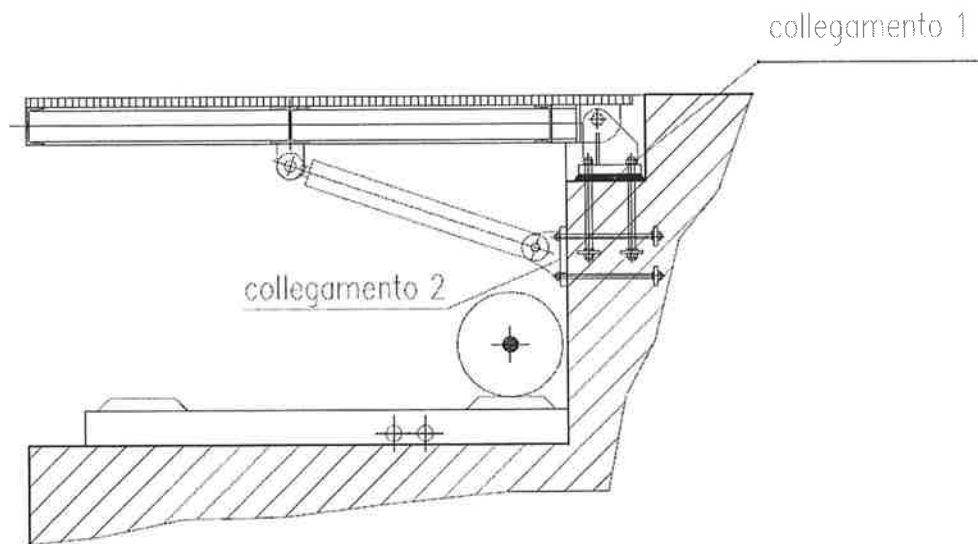


FIGURA 5.13 – COLLEGAMENTI PENSILINA - CALCESTRUZZO

### Collegamento 1

Il collegamento alla struttura in cemento armato viene realizzato tramite 4 tirafondi M20 in acciaio inox A4-70.

Di seguito si verificano i 4 bulloni e la piastra per le massime sollecitazioni a cui sono soggetti.

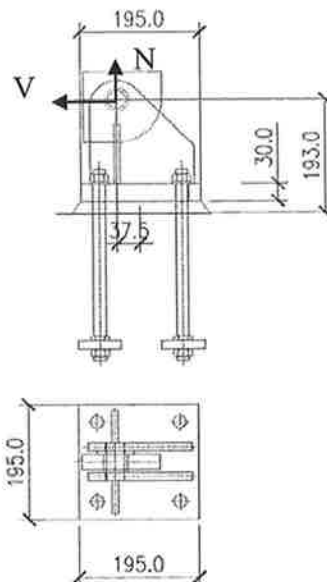


FIGURA 5.14 – COLLEGAMENTO 1

Le azioni alla cerniera sono le seguenti:

$$V=51.13 \text{ kN}$$

$$N=18.51 \text{ kN}$$

$$e_v=0.193 \text{ m}$$

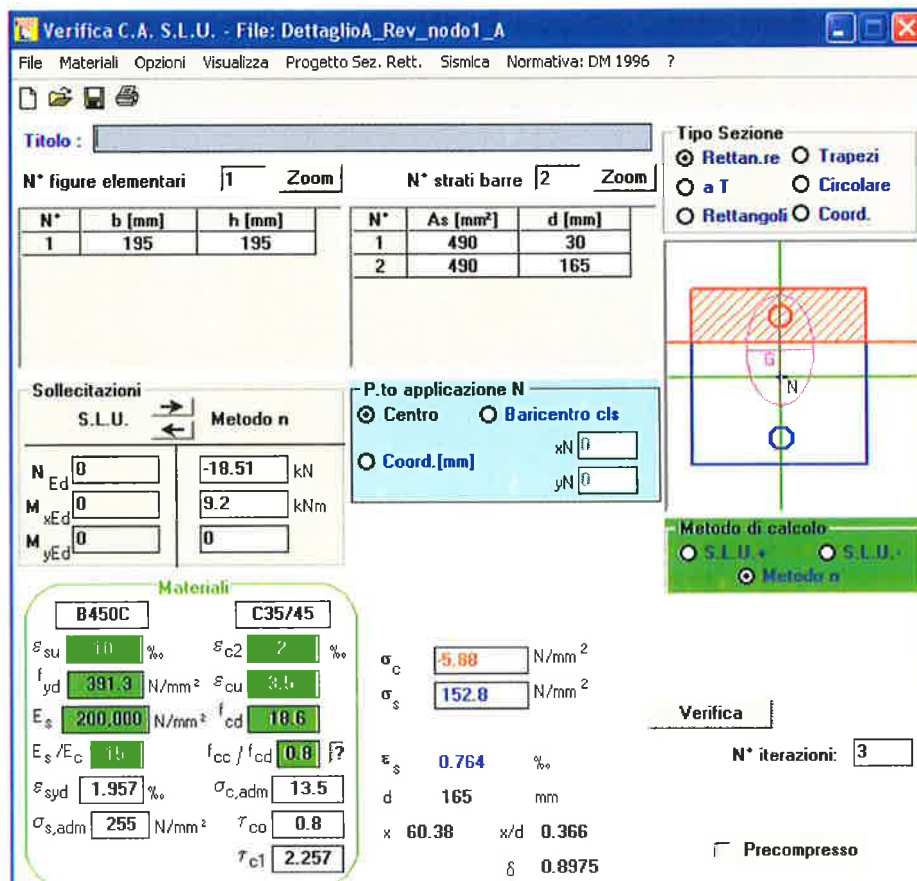
$$e_N=-0.0375 \text{ m}$$

$$M_v=51.13 \cdot 0.193=9.9 \text{ kNm}$$

$$M_N=18.51 \cdot (-0.0375)=-0.69 \text{ kNm}$$

$$M_{tot}=9.9-0.69=9.2 \text{ kNm}$$

Gli sforzi agenti nel calcestruzzo e nei tirafondi a causa del momento flettente e dello sforzo normale di trazione sono:



**Verifica C.A. S.L.U. - File: DettaglioA\_Rev\_nodo1\_A**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]	N°	As [mm²]	d [mm]
1	195	195	1	490	30
			2	490	165

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  -18.51 kN  
 M<sub>xEd</sub>  9.2 kNm  
 M<sub>yEd</sub>  0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] xN  yN

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

Materiali  
 B450C C35/45  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ‰  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$    $\tau_{cl}$

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  mm  
 x  x/d   
 $\delta$

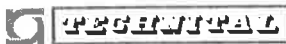
Verifica  
 N° iterazioni:

Precompresso

Le resistenze di calcolo a taglio e trazione dei tirafondi sono date da:

M20

$$f_{t,b}=700 \text{ N/mm}^2$$

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 21
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

$$A_{res}=245 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2}=1.25$$

$$F_{v,Rd}=0.5 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}=68.6 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd}=0.9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}=123.5 \text{ kN}$$

Le sollecitazioni agenti allo SLU nei tirafondi M20 maggiormente sollecitati sono:

$$F_{v,Ed}=51.13 \cdot 1.5/4=19.2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed}=152.8 \cdot 245 \cdot 1.5/1000=56.2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed}/F_{t,Rd}=56.2/123.5=0.455 < 1$$

$$F_{v,Ed}/F_{v,Rd}+F_{t,Ed}/1.4F_{t,Rd}=0.604 < 1$$

La verifica è quindi soddisfatta.

Si effettua la verifica delle rosette di ancoraggio poste all'estremità di ciascun tirafondo, necessarie per limitare la lunghezza di ancoraggio del medesimo.

Lo sforzo di trazione massimo a cui è sottoposta la rosetta è pari a 56.2 kN (SLU).

Le caratteristiche geometriche della piastra di ancoraggio sono le seguenti:

$$t = \text{spessore} = 15 \text{ mm}$$

$$a = \text{raggio interno} = 10 \text{ mm}$$

$$b = \text{raggio esterno} = 35 \text{ mm}$$

$$r = \text{raggio di verifica} = 15 \text{ mm}$$

$$A = \text{area di contatto} = \pi(b^2 - a^2) = 3534 \text{ mm}^2$$

I valori delle tensioni del calcestruzzo e dell'acciaio sono i seguenti:

$$p \cong F_{t,Ed}/A = 56200/3534 = 15.90 \text{ N/mm}^2 \leq f_{cd}$$

$$\sigma \cong Mt/W = 203 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$$

dove per la valutazione della sollecitazione flettente sulla piastra di ancoraggio è stata impiegata la seguente espressione:


$$Mt = pa^2/16[(1+3\nu)(1-\rho^2) + \beta^2 C1(1/\rho^2 - 1) + 4(1+\nu)\beta^2 \ln \rho + 2(1-\nu) - 2\beta^2(2(1-\nu) - C1)]$$

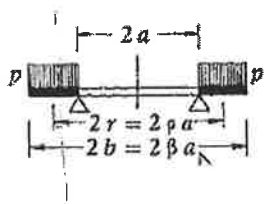
$$Mt = 7609.73$$

con:

$$C1 = 3 + \nu + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot \beta^2 / (1 - \beta^2) \ln \beta$$

$$W = t^2/6 = 37.50 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

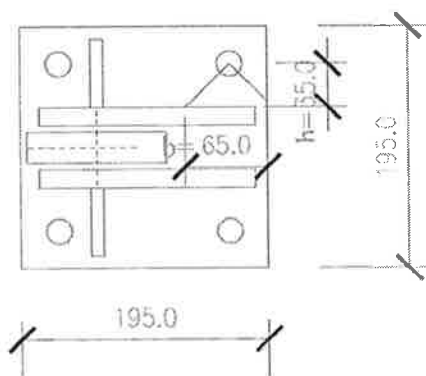
 <b>REGENTRA</b>	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 22
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	



Si effettua la verifica della piastra di collegamento di dimensioni pari a 195x195 mm e spessore pari a 30 mm.

Si ipotizza un comportamento a mensola della piastra.

Si considera una diffusione del carico di trazione del bullone a 45°, fino al raggiungimento del profilo di irrigidimento più vicino.



Azioni sollecitanti:

$$V_{Ed} = F_{t,Ed} = 56.2 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot h = 56.2 \cdot 0.035 = 1.97 \text{ kNm}$$

$$b_w = 65 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ mm}$$

$$W = b_w \cdot t^2 / 6 = 9750 \text{ mm}^3$$

$$A = b_w \cdot t = 1950 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = M_{Ed} / W = 201.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} / A = 28.80 \text{ N/mm}^2$$

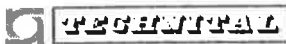
$$\sigma_{id,Ed} = (\sigma_{Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)^{1/2} = 207.7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 355 / 1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$$

La resistenza di calcolo a rifollamento della piastra è data da:

$$d_0 = \text{diametro foro} = 21 \text{ mm}$$

$$d = \text{diametro nominale bullone} = 20 \text{ mm}$$

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 23
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

$$e1=30 \text{ mm}$$

$$e2=30 \text{ mm}$$

$$f_{t,b} = \text{res. rottura bullone} = 700 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,k} = \text{res. rottura piastra} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$t = \text{spessore piastra} = 30 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$\text{bulloni di bordo } k = \min.(2.8 \cdot e2/d_0 - 1.7; 2.5) = 2.3$$

$$\text{bulloni di bordo } \alpha = e1/(3d_0) = 0.48$$

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{t,k} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 268 \text{ kN}$$

La sollecitazione di taglio è pari a:

$$F_{v,Ed} = 19.2 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} / F_{b,Rd} = 0.072 < 1$$

La resistenza di calcolo a punzonamento della piastra è data da:

$d_m = 30 \text{ mm}$  diametro minimo tra dado e testa bullone


$$B_{p,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_{t,k} / \gamma_{M2} = 692 \text{ kN}$$

La sollecitazione di trazione è pari a:

$$F_{t,Ed} = 56.2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} / B_{p,Rd} = 0.081 < 1$$

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

 <b>PERCETTI</b>	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 24
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

### Collegamento 2

Il collegamento viene realizzato tramite 4 tirafondi M16 in acciaio inox A4-70.

A favore di sicurezza si verificano i bulloni e la piastra per la portata massima di esercizio del cilindro oleodinamico, pari a 15.7 kN, nella configurazione con cilindro esteso (Figura 2.6).

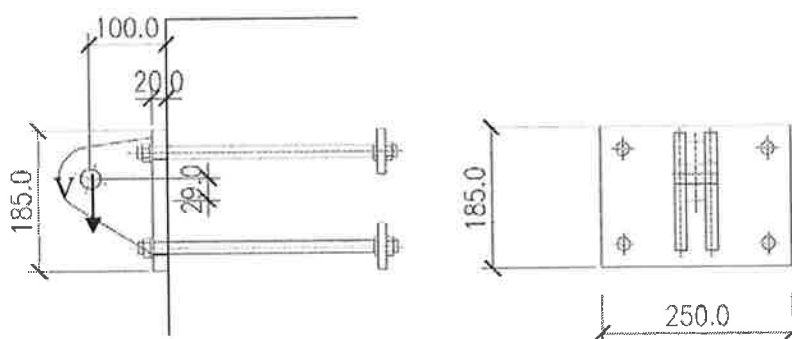


FIGURA 5.15 – COLLEGAMENTO 2

Le azioni alla cerniera sono le seguenti:

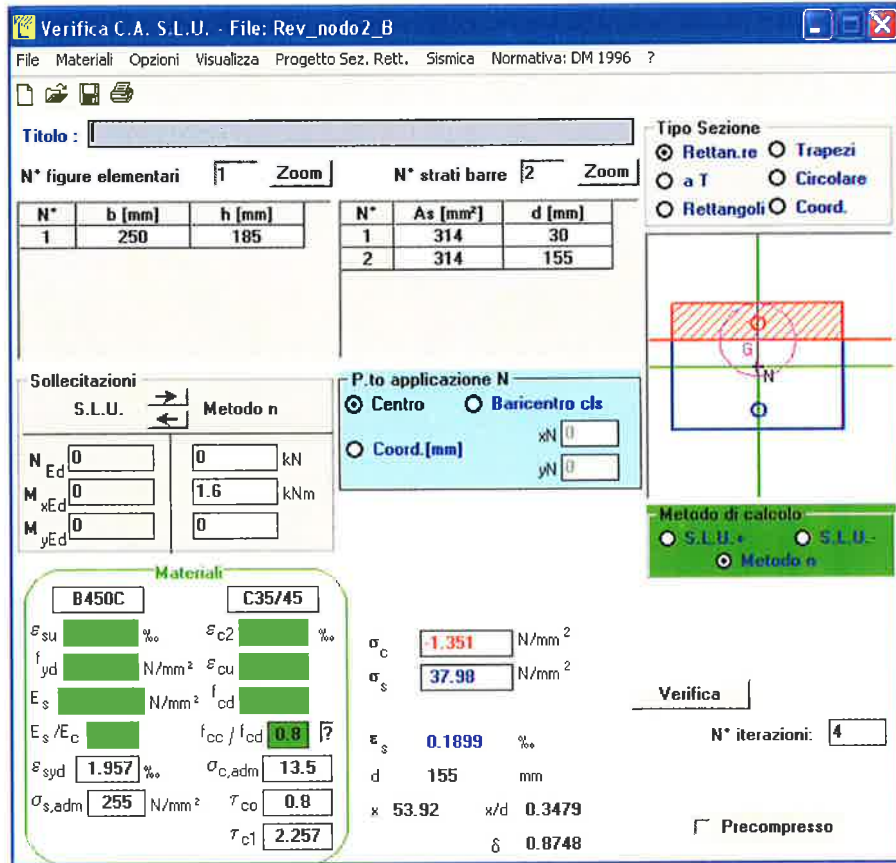
$$V=15.7 \text{ kN}$$

$$e_v=0.10 \text{ m}$$

$$M=15.7 \cdot 0.10=1.6 \text{ kNm}$$

Gli sforzi agenti nel calcestruzzo e nei tirafondi a causa del momento flettente e dello sforzo normale di trazione sono:





**Verifica C.A. S.L.U. - File: Rev\_nodo2\_B**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: DM 1996 ?

TITOLO: \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [mm]	h [mm]
1	250	185

N°	As [mm²]	d [mm]
1	314	30
2	314	155

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[mm] xN   
 yN

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali  
 B450C  C35/45

$\epsilon_{su}$	<input type="text" value=""/>	%	$\epsilon_{c2}$	<input type="text" value=""/>	%
$f_{yd}$	<input type="text" value=""/>	N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	<input type="text" value=""/>	
$E_s$	<input type="text" value=""/>	N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	<input type="text" value=""/>	
$E_s/E_c$	<input type="text" value=""/>		$f_{cc}/f_{cd}$	<input type="text" value="0.8"/>	
$\epsilon_{syd}$	<input type="text" value="1.957"/>	%	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="13.5"/>	
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/>	N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	<input type="text" value="0.8"/>	
			$\tau_{c1}$	<input type="text" value="2.257"/>	

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$   %  
 d  mm  
 x  w/d   
 $\delta$

Verifica  
 N° iterazioni:

Precompresso

Le resistenze di calcolo a taglio e trazione dei tirafondi sono date da:

M16

$$f_{t,b}=700 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{res}=157 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M2}=1.25$$

$$F_{v,Rd}=0.5 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 43.96 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd}=0.9 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 79.13 \text{ kN}$$

Le sollecitazioni agenti allo SLU nei tirafondi M16 maggiormente sollecitati sono:


$$F_{v,Ed}=15.7 \cdot 1.5 / 4 = 5.9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed}=37.98 \cdot 157 \cdot 1.5 / 1000 = 8.9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} / F_{t,Rd} = 8.9 / 79.13 = 0.113 < 1$$

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1.4 F_{t,Rd} = 0.215 < 1$$

La verifica è quindi soddisfatta.

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 26
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

Si effettua la verifica delle rosette di ancoraggio poste all'estremità di ciascun tirafondo, necessarie per limitare la lunghezza di ancoraggio del medesimo.

Lo sforzo di trazione massimo a cui è sottoposta la rosetta è pari a 8.9 kN (SLU).

Le caratteristiche geometriche della piastra di ancoraggio sono le seguenti:

$t$  = spessore = 10 mm

$a$  = raggio interno = 8 mm

$b$  = raggio esterno = 30 mm

$r$  = raggio di verifica = 12 mm

$A$  = area di contatto =  $\pi(b^2 - a^2) = 2626 \text{ mm}^2$

I valori delle tensioni del calcestruzzo e dell'acciaio sono i seguenti:

$p \cong F_{t,Ed} / A = 8900 / 2626 = 3.39 \text{ N/mm}^2 \leq f_{cd}$

$\sigma \cong M_t / W = 76 \text{ N/mm}^2 \leq f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$

dove per la valutazione della sollecitazione flettente sulla piastra di ancoraggio è stata impiegata la seguente espressione:

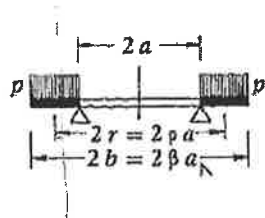
$M_t = pa^2 / 16 [(1+3\nu)(1-p^2) + \beta^2 C_1 (1/p^2 - 1) + 4(1+\nu)\beta^2 \ln p + 2(1-\nu) - 2\beta^2 (2(1-\nu) - C_1)]$

$M_t = 1273.71$

con:

$C_1 = 3 + \nu + 4(1+\nu)\beta^2 / (1-\beta^2) \ln \beta$

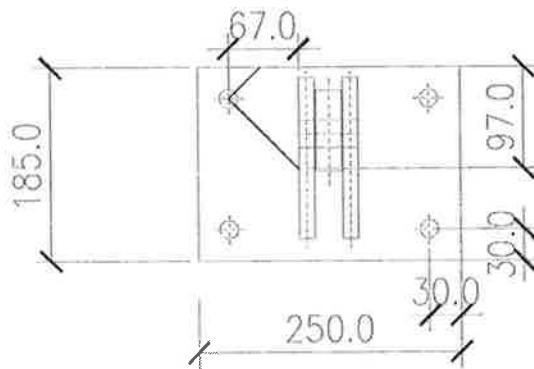
$W = t^2 / 6 = 16.67 \text{ mm}^3/\text{mm}$



Si effettua la verifica della piastra di collegamento di dimensioni pari a 250x185 mm e spessore pari a 20 mm.

Si ipotizza un comportamento a mensola della piastra.

Si considera una diffusione del carico di trazione del bullone a 45°, fino al raggiungimento del profilo di irrigidimento più vicino.



Azioni sollecitanti:

$$V_{Ed} = F_{t,Ed} = 8.9 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot h = 8.9 \cdot 0.067 = 0.60 \text{ kNm}$$

$$b_w = 97 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$W = b_w \cdot t^2 / 6 = 6467 \text{ mm}^3$$

$$A = b_w \cdot t = 1940 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{Ed} = M_{Ed} / W = 92.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} / A = 4.61 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{id,Ed} = (\sigma_{Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed}^2)^{1/2} = 93.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_M = 355 / 1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$$

La resistenza di calcolo a rifollamento della piastra è data da:

$$d_0 = \text{diametro foro} = 17 \text{ mm}$$

$$d = \text{diametro nominale bullone} = 16 \text{ mm}$$

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$f_{t,b} = \text{res. rottura bullone} = 700 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = \text{res. rottura piastra} = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$t = \text{spessore piastra} = 20 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$


$$\text{bulloni di bordo } k = \min.(2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7; 2.5) = 2.5$$

$$\text{bulloni di bordo } \alpha = e_1 / (3d_0) = 0.59$$

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 192 \text{ kN}$$

La sollecitazione di taglio è pari a:

$$F_{v,Ed} = 5.9 \text{ kN}$$

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 28
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

$$F_{v,Ed} / F_{b,Rd} = 0.031 < 1$$

La resistenza di calcolo a punzonamento della piastra è data da:

$d_m = 24$  mm diametro minimo tra dado e testa bullone

$$B_{p,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} = 369 \text{ kN}$$

La sollecitazione di trazione è pari a:

$$F_{t,Ed} = 8.9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} / B_{p,Rd} = 0.024 < 1$$

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

#### Verifica perni

Si riportano di seguito le verifiche dei perni di collegamento.

È stata prevista la sostituzione dei perni durante la vita dell'opera, per cui vengono limitate le sollecitazioni di flessione e taglio sul perno e di compressione sul contorno dei fori.

#### Verifica perno tipo 1

Il perno tipo 1 corrisponde al collegamento 1 (vedi Figura 5.13).

Le azioni alla cerniera sono le seguenti:

$$H = 51.13 \text{ kN}$$

$$V = 18.51 \text{ kN}$$

$$\gamma = 1.5$$

$$F_{sd} = 1.5(51.13^2 + 18.51^2)^{0.5} = 81.57 \text{ kN}$$

Caratteristiche del materiale:

Modulo elastico  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$

$f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_{M0} = 1.05$

Caratteristiche geometriche e meccaniche:

diametro perno  $d = 30 \text{ mm}$

diametro foro del perno piatto centrale  $d_{0c} = 40 \text{ mm}$

diametro foro del perno piatto laterale  $d_0=31.5$  mm

Area perno  $A=707$  mmq

Modulo di resistenza  $W_{el}=2651$  mmc

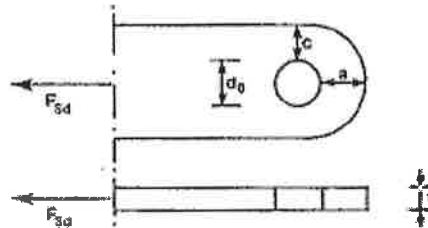
$\gamma_{M2}=1.25$

$\gamma_{M6,ser}=1.00$

spessore piatto centrale  $t_c=25$  mm

spessore piatti laterali  $t_l=15$  mm

interspazio piatti  $c = 5$  mm



$$a \geq \frac{F_{Sd} \gamma_{M0}}{2t_y} + \frac{2d_0}{3} \quad ; \quad c \geq \frac{F_{Sd} \gamma_{M0}}{2t_y} + \frac{d_0}{3}$$

FIGURA 5.16 – REQUISITI GEOMETRICI PIATTI COLLEGATI AL PERNO

Verifiche geometriche (vedi Figura 5.16)

Piatto centrale:

$a_{min}=31.49$  mm

$a=53$  mm

$c_{min}=18.16$  mm

$c=29$  mm

Piatto laterale:

$a_{min}=25.02$  mm


$a=28$  mm

$c_{min}=14.52$  mm

$c=26.5$  mm

Verifiche di resistenza del perno

$F_{v,Rd}$  resistenza a taglio del perno  $=0.6f_{tk}A/\gamma_{M2}= 173.0$  kN

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 30
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

$$F_{v,Ed} \text{ taglio sollecitante} = 81.57/2 = 40.78 \text{ kN} < F_{v,Rd}$$

$$M_{Rd} \text{ momento resistente a flessione del perno} = 1.5W_{el}f_{yk}/\gamma_{M0} = 1.344 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \text{momento sollecitante} = F_{sd}/8 * (t_c + 4c + 2t_i) = 0.765 \text{ kNm} < M_{Rd}$$

Combinazione taglio + flessione:

$$(M_{Ed}/M_{Rd})^2 + (F_{v,Ed}/F_{v,Rd})^2 = 0.38 <= 1$$

Perno sostituibile:

$$F_{b,Rd,ser} = 0.6 * t_c * d * f_{yk} / \gamma_{M6,ser} = 159.8 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed,ser} = \text{taglio per rifollamento in esercizio} = 81.57/1.5 = 54.4 \text{ kN} < F_{b,Rd,ser}$$

$$M_{Rd,ser} = 0.8 * W_{el} * f_{yk} / \gamma_{M6,ser} = 0.753 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,ser} = \text{momento sul perno in esercizio} = F_{sd} * (t_c + 4c + 2t_i) / (8 * 1.5) = 0.510 \text{ kNm} < M_{Rd,ser}$$

tensioni di contatto sul piatto laterale:

$$\text{valore limite } f_{h,Ed} = 2.5 * f_{yk} / \gamma_{M6,ser} = 888 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{Ed,ser} = 81.57 / (2 * 1.5) = 27.19 \text{ kN}$$

$$\sigma_{h,Ed} = 0.591 * (E * F_{Ed,ser} * (d_{0l} - d) / (d^2 * t_i))^{0.5} = 471 \text{ N/mm}^2 < f_{h,Ed}$$

Verifica rifollamento piatti connessi al perno

Piatto centrale

$$F_{b,Rd} = 1.5 * t_c * d * f_{yk} / \gamma_{M0} = 380.4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Ed} = 81.57 \text{ kN} < F_{b,Rd}$$

Piatti laterali

$$F_{b,Rd} = 1.5 * t_l * d * f_{yk} / \gamma_{M0} = 228.2 \text{ kN}$$


$$F_{b,Ed} = 81.57 / 2 = 40.8 \text{ kN} < F_{b,Rd}$$

Verifica pressioni manicotto tipo "Orkot - tlm - marine"

$$\text{valore limite } F_{h,Ed} = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{h,Ed} = F_{sd} / d * t_c = 109 \text{ N/mm}^2 < F_{h,Ed}$$

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.

	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 31
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

### Verifica perno tipo 2

Il perno tipo 2 è in corrispondenza dei cilindri oleodinamici (vedi Figura 5.15).

Le dimensioni geometriche riportate nelle verifiche potrebbero variare in funzione del fornitore dei cilindri.

Le azioni alla cerniera sono le seguenti:

$$V=15.7 \text{ kN}$$

$$\gamma = 1.5$$

$$Fsd=1.5*15.7=23.55 \text{ kN}$$

Caratteristiche del materiale:

Modulo elastico  $E= 210000 \text{ N/mm}^2$

$f_{yk}=355 \text{ N/mm}^2$

$f_{tk}=510 \text{ N/mm}^2$

$\gamma_{M0}=1.05$

Caratteristiche geometriche e meccaniche:

diametro perno  $d=25 \text{ mm}$

diametro foro del perno  $d_0=26.5 \text{ mm}$

Area perno  $A=491 \text{ mm}^2$

Modulo di resistenza  $W_{el}=1534 \text{ mm}^3$

$\gamma_{M2}=1.25$

$\gamma_{M6,ser}=1.00$

spessore piatto centrale  $t_c=25 \text{ mm}$

spessore piatti laterali  $t_l=15 \text{ mm}$

interspazio piatti  $c = 1 \text{ mm}$

Si verificano il perno e i soli piatti laterali di collegamento, in quanto il piatto centrale è parte integrante del cilindro oleodinamico.

Verifiche geometriche (vedi Figura 5.16)

Piatto laterale:

$a_{min}=18.83 \text{ mm}$

$a=28 \text{ mm}$

$c_{min}=9.99 \text{ mm}$

$c=28$  mm

Verifiche di resistenza del perno

$F_{v,Rd}$  resistenza a taglio del perno  $=0.6f_{tk}A/\gamma_{M2}=120.2$  kN

$F_{v,Ed}$  taglio sollecitante  $=23.55/2=11.8$  kN  $< F_{v,Rd}$

$M_{Rd}$  momento resistente a flessione del perno  $=1.5W_{el}f_{yk}/\gamma_{M0}=0.778$  kNm

$M_{Ed}$  = momento sollecitante  $=Fsd/8*(t_c+4c+2t_i)=0.17$  kNm  $< M_{Rd}$

Combinazione taglio + flessione:

$$(M_{Ed}/M_{Rd})^2 + (F_{v,Ed}/F_{v,Rd})^2 = 0.06 < 1$$

Perno sostituibile:

$F_{b,Rd,ser}=0.6*t_c*d*f_{yk}/\gamma_{M6,ser}=133.1$  kN

$F_{b,Ed,ser}$  = taglio per rifollamento in esercizio  $=23.55/1.5=15.7$  kN  $< F_{b,Rd,ser}$

$M_{Rd,ser}=0.8*W_{el}*f_{yk}/\gamma_{M6,ser}=0.436$  kNm

$M_{Ed,ser}$  = momento sul perno in esercizio  $=Fsd*(t_c+4c+2t_i)/(8*1.5)=0.116$  kNm  $< M_{Rd,ser}$

tensioni di contatto:

valore limite  $f_{h,Ed}=2.5*f_{yk}/\gamma_{M6,ser}=888$  N/mm<sup>2</sup>

$F_{Ed,ser}=23.55/1.5=15.7$  kN

$\sigma_{h,Ed}=0.591*(E*F_{Ed,ser}*(d_0-d)/(d^2*t_c))^{0.5}=332$  N/mm<sup>2</sup>  $< f_{h,Ed}$

Verifica rifollamento piatti connessi al perno.


Piatti laterali

$F_{b,Rd}=1.5*t_l*d*f_{yk}/\gamma_{M0}=190.2$  kN

$F_{b,Ed}=23.55/2=11.78$  kN  $< F_{b,Rd}$

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.



	Rev. C0	Data: 16/06/2011	El. MV036P-PE-MAR-4011-C0	Pag. n. 33
	Rev.	Data:	Relazione di calcolo grigliato mobile di protezione funi	

### Verifica appoggio elastomerico

Si riporta di seguito la verifica dell'appoggio elastomerico non armato di dimensioni pari a 120x120 mm e spessore 4 mm, per la massima sollecitazione di compressione a cui è soggetto.

$$a=120 \text{ mm}$$

$$b=120 \text{ mm}$$

$$s= 4 \text{ mm}$$

$$F = 67.5 \text{ kN forza normale massima}$$

$$G = 0.9 \text{ N/mm}^2 \text{ modulo di elasticità tangenziale della gomma}$$

$$S = ab/(2s(a+b))=7.5 \text{ coefficiente di forma}$$

$$A_r = 14400 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_v = F/A_r = 67.5 \cdot 1000 / 14400 = 4.7 \text{ N/mm}^2$$

$\Delta h$  = massimo schiacciamento della gomma

$$\Delta h = (\sigma_v / (20GS + 3\sigma_v))h = (4.7 / (20 \cdot 0.9 \cdot 7.5 + 3 \cdot 4.7)) \cdot 4 = 0.126 \text{ mm}$$

Verifiche di resistenza

$$\sigma_v = 4.7 \leq 1.2SG = 8.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 4.7 \leq 5 \text{ N/mm}^2$$

Verifiche di stabilità

$$h = 4 \text{ mm} \leq a/5 = 120/5 = 24 \text{ mm}$$

Le verifiche risultano quindi soddisfatte.