

| | | | | | |
|-----------|-------------|----------------------------|----|----|-----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| C0 | 04/09/14 | Emissione per approvazione | GP | AC | YE |
| REVISIONE | DESCRIZIONE | | | EL | CON. APP. |

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE
VENETO – TRENTINO ALTO ADIGE – FRIULI VENEZIA GIULIA

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 10^a ASSEGNAZIONE CIPE PER IL “SISTEMA MOSE”

INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

CUP: D51B02000050AD1 (CIPE 10B)



PROGETTO ESECUTIVO

WBS: CH.E1.14

WBE: CH.E1.14.PE.01B

BOCCA DI CHIOGGIA CONCHE: PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE PORTE, PASSERELLE, PANCONI ED IMPIANTI AFFERENTI

RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE

| | | |
|---|--|--|
| ELABORATO  G. Parodi | CONTROLLATO  A. Chiarelli | APPROVATO  Y. Eprim |
| N. ELABORATO MV048P-PE-CAR-6026-C0 | CODICE FILE MV048P-PE-CAR-6026-C0.doc | DATA 04 Settembre 2014 |

CONSORZIO “VENEZIA NUOVA”

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE

VERIFICATO


V. Esposito

CONTROLLATO


H. Redi 
V. Ardore




CONSORZIO VENEZIA NUOVA
Ing. H. Redi

PROGETTAZIONE


DOTT. ING.

IL RESPONSABILE: Ing. A. SCOTTI
n° A/9782
CONSULENZA SPECIALISTICA
BCV progetti s.r.l.

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|-----------|
|  REPUBBLICA ITALIANA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 2 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

**PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER LE OPERE PUBBLICHE
VENETO – TRENTINO ALTO ADIGE – FRIULI VENEZIA GIULIA**

NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. N° 7191 DEL 04-10-1991

ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 10ª ASSEGNAZIONE CIPE PER IL “SISTEMA MOSE”


CONSORZIO VENEZIA NUOVA

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

BOCCA DI CHIOGGIA


**CONCHE: PORTE E OPERE ELETTROMECCANICHE
PORTE, PASSERELLE, PANCONI ED IMPIANTI AFFERENTI**

RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|-----------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 3 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

INDICE

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUZIONE | 4 |
| 2. | NOTE DI MONTAGGIO | 6 |
| 3. | NORME | 9 |
| 4. | MATERIALI | 10 |
| 5. | DISEGNI DI RIFERIMENTO | 12 |
| 6. | CODICI DI CALCOLO | 13 |
| 7. | CARICHI | 14 |
| 8. | VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI | 16 |
| 8.1. | Supporto inferiore | 16 |
| 8.1.1. | Perno verticale | 17 |
| 8.1.2. | Supporto orizzontale | 19 |
| 8.1.3. | Verifica saldatura tubolare – perno dello snodo | 22 |
| 8.1.4. | Perni di rotazione | 22 |
| 8.2. | Supporto superiore | 24 |
| 8.2.1. | Piastra di sostegno supporto superiore | 26 |
| 8.2.2. | Sistema di regolazione superiore | 28 |
| 8.2.3. | Analisi FEM | 30 |

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|-----------|
|  PROVINCIA DEL TREVISO | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 4 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

1. INTRODUZIONE

Vengono qui di seguito riportate le verifiche degli elementi strutturali che realizzano i supporti di sostegno delle cerniere attorno a cui ruotano per l'apertura e la chiusura le porte delle conche per i pescherecci della "Bocca di Chioggia"


Tali supporti sono realizzati in tre elementi separati di cui due costituiscono il supporto dell'elemento di rotazione inferiore (cerniera inferiore) e il terzo costituisce il supporto per l'elemento di rotazione superiore.

I due elementi del supporto della cerniera inferiore, hanno la funzione di assorbire uno il carico verticale totale dovuto al peso proprio della parte di porta direttamente su esso gravante e l'altro le sole azioni orizzontali provocate dall'eccentricità del carico verticale della porta rispetto all'asse di rotazione e da tutte le altre azioni esterne che su di essa gravano.

La parte verticale della cerniera inferiore è realizzata da una piastra di base, ancorata alle circostanti strutture in c.a. con sei tirafondi M24, che risulta essere prevalentemente compressa e da un supporto cilindrico all'interno del quale è alloggiato un perno sull'estremità superiore del quale, in fase di esercizio, è appoggiato un cuscinetto reggispinga su cui scarica direttamente la porta. Il cuscinetto è contenuto lateralmente dalla sede opportunamente ricavata nel perno solidarizzato alle parti strutturali della porta.

La parte orizzontale della cerniera inferiore è costituita da una piastra di base ancorata alla struttura in c.a. mediante quattro tirafondi M56 e provvista di apparecchio resistente a taglio per far fronte alle elevate azioni orizzontali agenti sulla cerniera; alla piastra di base, mediante piastre verticali ed orizzontali, è vincolata la sede dello snodo sferico in cui scorre libero verticalmente il perno inferiore della porta.

Il supporto superiore, realizzato con un elemento scatolare, oltre alla funzione di sostenere la cerniera superiore, ha anche la funzione di consentire nel tempo l'eventuale riallineamento dell'asse verticale della porta. L'elemento scatolare, ha spessore totale di circa 500 mm, risulta eccentrico rispetto all'asse della porta, è vincolato alle strutture in c.a. mediante sei tirafondi M56 alloggiati in tubi passanti e collegati alle nervature della struttura scatolare ed è dotato di apparecchi di taglio per assorbire le forze orizzontali gravanti sulla cerniera.

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|-----------|
|  CONSORZIO VENEZIA NUOVA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 5 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

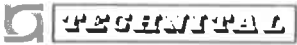
Il supporto della cerniera è vincolato con due piastre tra loro ortogonali ad altrettante piastre verticali solidarizzate alla parte superiore del corpo scatolare della piastra di base. Nella stessa parte superiore della piastra di base, al di sopra della piastra di ancoraggio del cuscinetto, libero di scorrere verticalmente sul perno della porta, è previsto il sistema dell'eventuale regolazione nel tempo della verticalità dell'asse della porta.

Tale sistema consiste in due tiranti orizzontali tra loro a 90° vincolati ad un ulteriore cuscinetto posto sull'asse della porta al di sopra del cuscinetto di vincolo ed in grado di avvicinare od allontanare la parte superiore della stessa. Gli spostamenti sono compensati da spessori di dimensioni variabili inseriti tra la piastra di sostegno del cuscinetto di rotazione della porta e le relative piastre di ancoraggio.

Il sistema di regolazione della verticalità dell'asse della porta può essere messo in opera solo all'occorrenza.

I materiali con cui sono realizzati gli snodi superiori ed inferiore sono di qualità tale da resistere alla corrosione in ambiente marino:

- le piastre e gli elementi in acciaio al carbonio S355 saranno verniciati secondo quanto previsto in capitolato;
- Per entrambi gli snodi tutte le parti inghisate (quindi non sostituibili) e quelle a diretto contatto con i cuscinetti sono in acciaio duplex (SAF 2205) in modo da effetti di usura e corrosivi;
- lo snodo inferiore viene protetto dalla corrosione tramite gli anodi sacrificali previsti sulla porta;
- per lo snodo superiore, non essendo immerso, è stata prevista la possibilità, per le parti più delicate, di una ulteriore protezione realizzata con coperchi e con anelli di sigillatura.

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|-----------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 6 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

2. NOTE DI MONTAGGIO

In fase di progetto, sono stati previsti alcuni accorgimenti per poter realizzare le regolazioni necessarie in fase di montaggio al fine di ottenere la corretta verticalità dell'asse di rotazione delle porte e di, eventualmente, correggerlo nel tempo in caso di accidentale disallineamento.


In particolare, per il sistema di rotazione inferiore è previsto un perno ausiliario in modo da poter posizionare correttamente il supporto verticale e il supporto orizzontale. Infatti il perno ausiliario lega tra loro i due elementi nella posizione che dovranno avere in fase di esercizio, mentre sarà cura degli operatori far sì che venga assicurata la corretta posizione in verticale del sistema e la corretta verticalità dell'asse di rotazione della porta.

La regolazione dei due elementi del supporto di rotazione inferiore è possibile attraverso:

- la regolazione in pianta ed in verticale per il gioco tirafondi di ancoraggio-tubi di contenimento della malta di sigillatura;
- il supporto del perno verticale può inoltre, a sigillatura dei tiranti di ancoraggio avvenuta, essere ulteriormente regolato in verticale attraverso i dadi posti inferiormente alla piastra di base;
- la posizione dei due supporti può inoltre essere affinata attraverso il gioco foro-bullone previsto nelle piastre di base per il passaggio dei tirafondi; questo gioco dà una possibilità di spostamento nel piano di circa 2,5 cm in tutte le direzioni.


Il supporto del cuscinetto di rotazione superiore, può a sua volta essere regolato nel piano per il gioco previsto tra i tirafondi ed i tubi di contenimento della malta di sigillatura ed in verticale variando lo spessore della stessa malta di sigillatura. Una ulteriore possibilità di regolazione nel piano, è possibile per la presenza di spessori di regolazione poste tra le piastre di base del supporto del cuscinetto di rotazione e le piastre di contrasto saldate alla struttura a cassone che realizza la piastra di base.

E' quindi possibile effettuare il fissaggio degli snodi alle opere civili con estrema precisione grazie alle possibilità di regolazione delle stesse. Il fissaggio con grout delle piastre dello snodo superiore potrà essere effettuato a valle del varo della porta e quindi dopo aver verificato la perfetta verticalità della porta, oppure, mediante ausilio di dime (o di mezzi di equivalente precisione), prima del varo della porta, a patto di poter controllare e verificare le posizioni degli snodi rispetto all'asse teorico con estrema precisione durante ogni operazione.

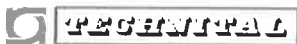
| | | | | |
|--|---------|------------------|---|-----------|
|  PROVVEDITORATO | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 7 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

Alla luce di quanto sopra evidenziato, una possibile procedura di montaggio dei supporti delle porte, può essere quella qui di seguito in sintesi proposta.

1. Realizzazione dei getti di seconda fase nel quale vengono lasciate le riserve per i tirafondi e le piastre per le pilette di scarico, mentre vengono già annegati nel getto i lamierini con i tirafondi degli snodi inferiori e superiori (fase già realizzata durante la realizzazione dei getti di seconda fase nell'ambito della WBS CH.E1.10);
2. Predisposizione al suolo della piastra inferiore e tirafondi;
3. Predisposizione della piastra di fissaggio dello snodo inferiore;
4. Prima della posa della porta tramite un'apposita dima verifica della posizione reciproca tra piletta di fondo e dell'ancoraggio dello snodo inferiore. Fissaggio preliminare della piastra di base mediante inghisaggio dei tirafondi;
5. Inserimento della piletta alla piastra di base e fissaggio della stessa tramite grout;
6. Verifica tramite un'apposita dima (o mezzo di precisione equivalente) della posizione reciproca tra l'ancoraggio dello snodo inferiore e dello snodo superiore tenendo a riferimento l'asse di rotazione della porta;
7. Regolazione di precisione dello snodo superiore;
8. Getto del grout di fissaggio del cassone dello snodo superiore;
9. Varo della porta in acciaio. La porta viene trasportata su pontone e calata con l'ausilio di 4 funi; il telaio viene varato sulla piletta e su appoggi provvisori posti in corrispondenza dei montanti tubolari;
10. Verifica della posizione piano/altimetrica della porta, della posizione del tubolare centrale di rotazione, dello snodo inferiore e della piletta;
11. Regolazione della porta in posizione di chiusura tramite tensionatori idraulici che agiscono sui tiranti che ancorano lo snodo superiore sotto l'azione del peso proprio della porta, aumentando o diminuendo gli spessoramenti tra le piastre in contatto dello snodo superiore;
12. Regolazione dei piatti terminali e degli elementi di supporto alle tenute;

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|-----------|
|  Consorzio Venezia Nuova | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 8 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

13. Posizionamento del cilindro di movimentazione varandolo dall'alto, poggiandolo sul telaio della porta e fissandolo prima al telaio e poi alla parete del recesso;
14. Smontaggio dei tiranti di regolazione dello snodo superiore e posizionamento della copertura per lo snodo superiore.


| | | | | |
|--|---------|------------------|---|-----------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 9 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

3. NORME

- DM del 14/01/2008: “Norme Tecniche delle Costruzioni”
- CNR - UNI 10011 / 97: “Costruzioni di acciaio: istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione”
- Legge n. 1086 del 5 novembre 1971: “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”
- D.M. 09/01/1996: “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”
- Circolare ministero LL.PP. 15/10/1996 n. 252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 09/01/1996
- D.M. 16/01/1996: “Norme tecniche relative ai "criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- Circolare ministero LL.PP. 04/07/1996 n. 156 AA.GG./S.T.C.: istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M. 16/01/1996
- Circolare ministero LL.PP. 10/04/1997 n. 65/AA.GG.: istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica” di cui al D.M. 16/01/1996

Eurocodici

- UNI EN 1990:2004 - “Eurocodice - Criteri generali di progettazione strutturale”;
- UNI EN 1993-1-1:2005 – “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1993-1-8:2005 – “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1 - 1 –Progettazione di collegamenti”;


| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  REGIONE | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 10 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

4. MATERIALI

Strutture in acciaio


| Supporto cuscinetto superiore | |
|---|--|
| descrizione | materiale |
| Tirafondi, dadi, rondelle sferiche | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |
| piastra di ripartizione superiore, piatto di contrasto | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |
| Lamiere, piastre e tubi per scatolare di supporto del cuscinetto superiore, piastra di sostegno cuscinetto superiore con relative nervature e piastra di base | S355 J2G3 EN10025 |
| | $f_y = 345 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 328 \text{ MPa}$ |
| $16 < t \leq 40$ | $f_y = 335 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 319 \text{ MPa}$ |
| $40 < t \leq 63$ | $f_y = 325 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 309 \text{ MPa}$ |
| $63 < t \leq 80$ | $f_y = 325 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 309 \text{ MPa}$ |
| Bulloni, dadi e rondelle per ancoraggio piastra di sostegno snodo superiore ai relativi supporti sullo scatolare | 1.4410 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |
| Tiranti per regolazione verticalità asse porta, dadi, rondelle e relative piastre di contrasto | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |
| Sede per il contenimento del cuscinetto superiore e relativi accessori | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |
| Snodo superiore – Deva.glide – Floating gearing $\phi_l = 260 \text{ mm}$ - $\phi_e = 400 \text{ mm}$ | Capacità di carico |
| | Carico statico: $L_0 = 7327 \text{ kN}$ |
| | Carico dinamico: $L = 4397 \text{ kN}$ |
| Perno superiore | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |

| Supporto cuscinetto inferiore – supporto verticale | |
|---|-------------------------|
| descrizione | materiale |
| Tirafondi e dadi | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |
| Tubo per sede perno verticale inferiore e rondelle di contrasto per tirafondi | 1.4462 UNI 10088 |
| | $f_y = 460 \text{ MPa}$ |
| | $f_d = 400 \text{ MPa}$ |

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  FEGENTRA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 11 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

| Supporto cuscinetto inferiore – supporto verticale | |
|--|-------------------------------------|
| Lamiere per piastra di base e nervature | S355 J2G3 EN10025 |
| 16<t≤40 | f _y = 345 MPa |
| | f _d = 328 MPa |
| 40<t≤63 | f _y = 335 Mpa |
| | f _d = 319 MPa |
| 63<t≤80 | f _y = 325 Mpa |
| | f _d = 309 MPa |
| Perno verticale inferiore | 1.4462 UNI 10088 |
| | f _y = 460 MPa |
| | f _d = 400 MPa |
| Snodo inferiore – snodo assiale tipo Deva autolubrificante | Capacità di carico |
| | Carico statico max: |
| | L ₀ = 3200 kN |
| | Carico dinamico max: L = 1600 kN |


| Supporto cuscinetto inferiore – supporto orizzontale | |
|--|---------------------------------|
| descrizione | materiale |
| Tirafondi, dadi, rondelle sferiche | 1.4462 UNI 10088 |
| | f _y = 460 MPa |
| | f _d = 400 MPa |
| piastra di ripartizione su piastra di base | 1.4462 UNI 10088 |
| | f _y = 460 MPa |
| | f _d = 400 MPa |
| Lamiere, piatti per piastra di base supporto del cuscinetto orizzontale inferiore | S355 J2G3 EN10025 |
| | f _y = 345 MPa |
| | f _d = 328 MPa |
| 16<t≤40 | f _y = 335 Mpa |
| | f _d = 319 MPa |
| 40<t≤63 | f _y = 325 Mpa |
| | f _d = 309 MPa |
| 63<t≤80 | f _y = 325 Mpa |
| | f _d = 309 MPa |
| Sede per il contenimento del cuscinetto superiore e relativi accessori | 1.4462 UNI 10088 |
| | f _y = 460 MPa |
| | f _d = 400 MPa |
| Snodo inferiore – Deva.glide – Floating gearing: $\phi_l = 260$ mm - $\phi_e = 400$ mm | Capacità di carico |
| | Carico statico: |
| | L ₀ = 7327 kN |
| | Carico dinamico: L = 4397 kN |
| Perno inferiore | 1.4462 UNI 10088 |
| | f _y = 460 MPa |
| | f _d = 400 MPa |

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  CONSORZIO VENEZIA NUOVA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 12 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

5. DISEGNI DI RIFERIMENTO

Le strutture di cui vengono eseguite le verifiche, sono rappresentate sui disegni, qui di seguito elencati:

- elaborato n. MV048P-PE-CAD-6060-C0
- elaborato n. MV048P-PE-CAD-6061-C0
- elaborato n. MV048P-PE-CAD-6062-C0

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 13 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

6. CODICI DI CALCOLO

I modelli numerici descritti nella presente relazione sono stati analizzati con il seguente codice di calcolo automatico:


ANSYS MECHANICAL:

autore: ANSYS Inc.

release: 11.0

ANSYS è un programma di calcolo automatico in grado di eseguire analisi strutturali e termiche mediante il metodo degli elementi finiti (E.F.), sia in campo lineare che non-lineare.

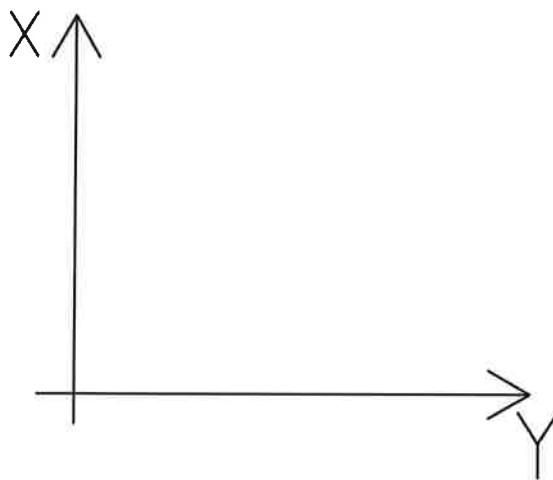
Nel maggio 1995 il programma di calcolo ANSYS ha ottenuto la certificazione di qualità ISO-9001 dalla Underwriters Laboratories Inc.

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 14 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

7. CARICHI

I carichi considerati agenti sugli elementi strutturali di seguito verificati, sono le reazioni massime agli appoggi, calcolate allo stato limite ultimo, derivanti dall'analisi strutturale eseguita per il dimensionamento degli elementi strutturali delle porte (relazione di calcolo MV048P-PE-CAR-4024).

Le reazioni sono calcolate utilizzando lo schema degli assi di riferimento qui di seguito riportato.



Il sistema di riferimento è completato dall'asse Z, ortogonale al piano X-Y rappresentato e diretto verso l'alto.

Le azioni massime agenti sui perni, risultano essere:

SUPPORTO INFERIORE

Per il perno di sostegno verticale, la forza di compressione massima, è:

$$N_z = -605 \text{ kN}$$

Per il sostegno orizzontale, risultano significative le due situazione di carico di seguito riportate:


| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  REGIONE | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 15 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

- 1) $F_x = -1750 \text{ kN};$ $F_y = -1685 \text{ kN}$
- 2) $F_x = +1140 \text{ kN};$ $F_y = +1165 \text{ kN}$

SUPPORTO SUPERIORE

Le forze massime agenti sul supporto superiore, risultano essere:

$$F_x = -1285 \text{ kN}; \quad F_y = -1225 \text{ kN}$$

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  TECNITAL | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 16 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

8. VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

8.1. Supporto inferiore

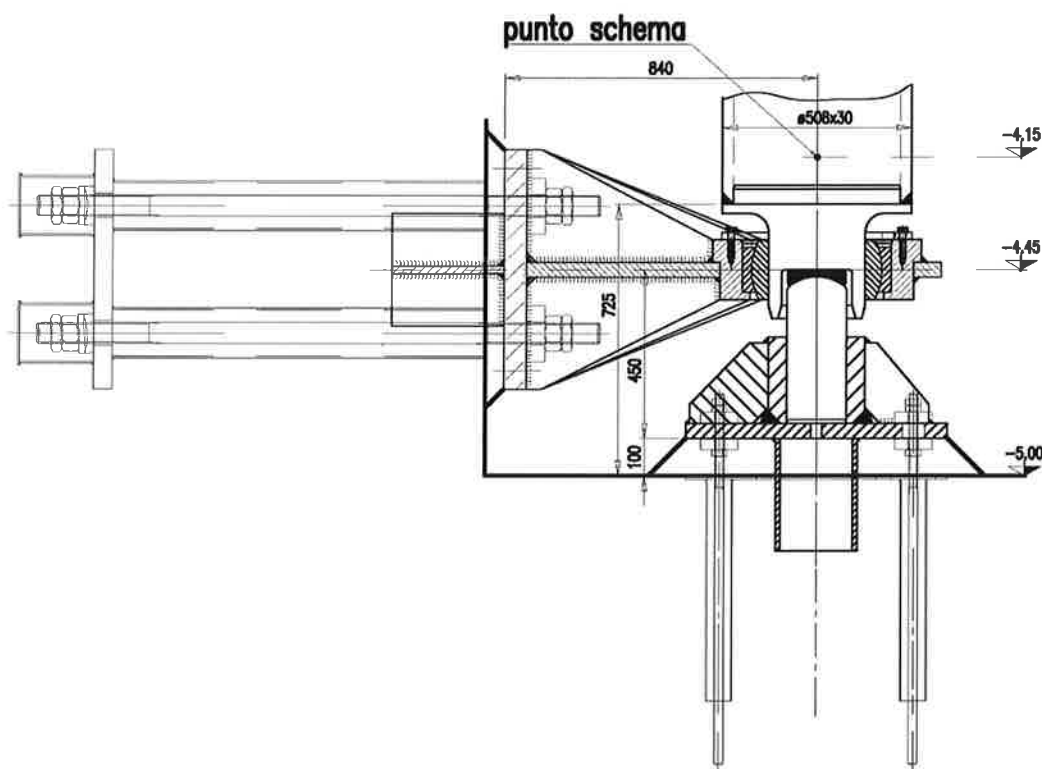



FIG. 8.1 - SNODO INFERIORE - ASSIEME

Il supporto inferiore risulta composto da due elementi tra loro distinti. Un elemento verticale, su cui grava direttamente il carico verticale ed un elemento orizzontale su cui agiscono i soli carichi orizzontali. Il supporto è illustrato nello schema sopra riportato.

Le verifiche vengono eseguite separatamente per le due parti del supporto.

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  FEGINFRA | Rev. | Data: | EI. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 17 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

8.1.1. Perno verticale

Sul perno verticale, per effetto della rotazione della porta, si suppone che il perno della porta stessa possa avere dei piccoli spostamenti orizzontali rispetto all'asse del perno di supporto e di conseguenza, si suppone che in testa al perno di supporto possa agire una forza orizzontale oltre alla forza N_z prima evidenziata. Considerando, a favore di sicurezza, un coefficiente di attrito:

$\mu = 0.18$ in testa al perno di supporto verticale, si ha:

$$N_z = -605 \text{ kN}$$


$$F_h = 0.18 \times 605 = 109.0 \text{ kN}$$

Al filo inferiore della piastra di base, si ha:

$$N_z = -605 \text{ kN}$$

$$M = 109.0 \times 0.45 = 49.0 \text{ kNm}$$

$$F_h = 109.0 \text{ kN}$$

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  TECNITALIA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 18 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

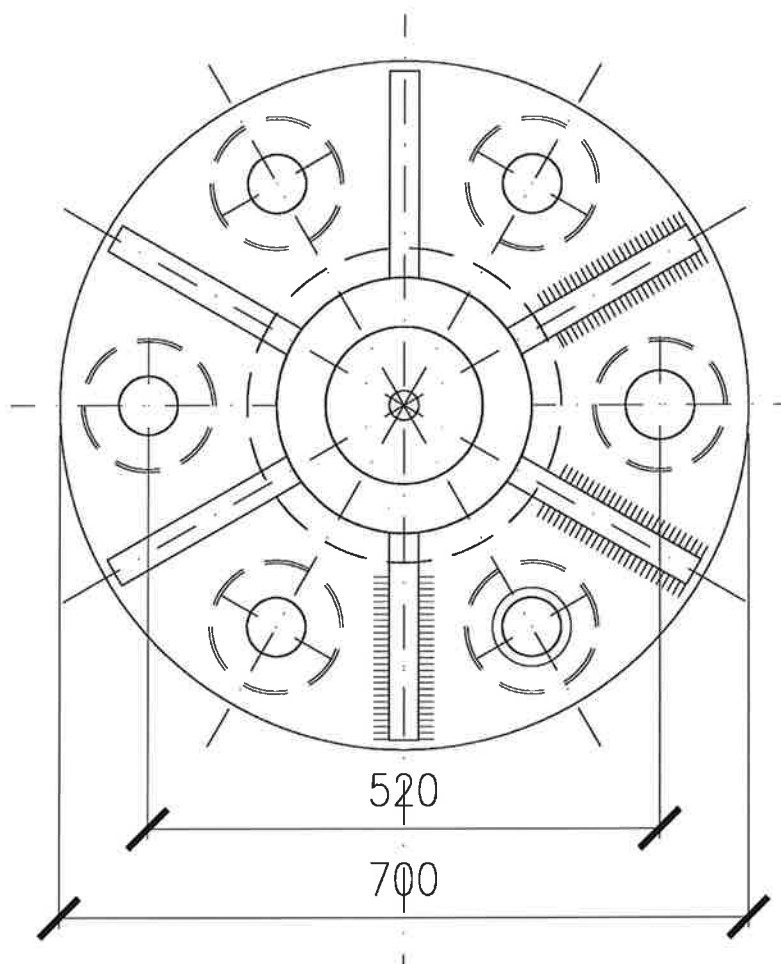
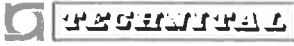


FIG. 8.2 - SNODO INFERIORE – PIASTRA DI BASE

Con le dimensioni della piastra a fianco rappresentata, affidando l'azione tagliente all'apparecchio di taglio allo scopo previsto, dalle analisi eseguite, la compressione massima sulla malta di sigillatura, risulta essere:

$$f_{s,c} = 2.7 \text{ N/mm}^2 < f_d = 44 \text{ MPa}$$

I tirafondi risultano sempre compressi.

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 19 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

8.1.2. Supporto orizzontale

Per la situazione di carico 1), si ha:

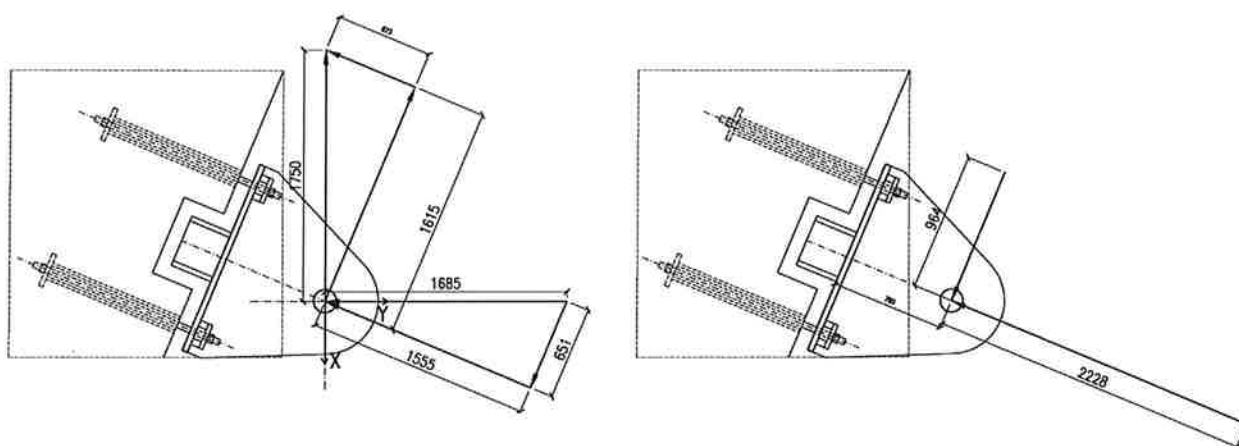


FIG. 8.3 - SNODO INFERIORE – SCHEMA AZIONI MASSIMA COMPRESSIONE

Dalla scomposizione delle forze agenti sul perno, si hanno le forze, parallela e perpendicolare alla piastra di base, rappresentate nello schema riportato a destra, con:


$$F_n = 2228 \text{ kN};$$

$$F_h = 964 \text{ kN}$$

Al filo inferiore della piastra di base, si ha:

$$F_n = 2228 \text{ kN};$$

$$M = 964 \times 0.84 = 810.0 \text{ kNm}; F_h = 964 \text{ kN}$$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  TEGENITAL | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 20 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

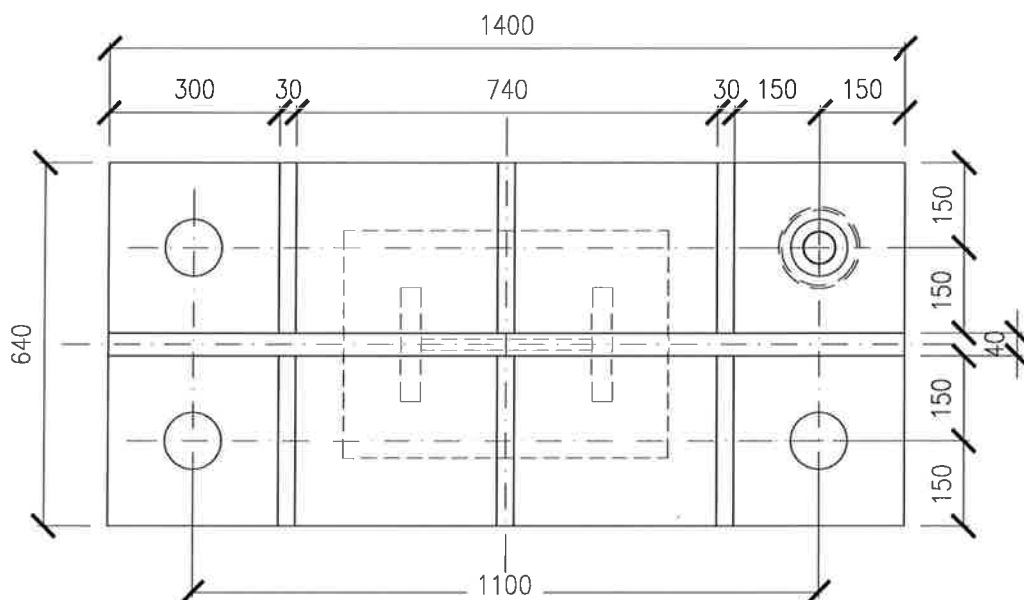


FIG. 8.4 - SNODO INFERIORE – VISTA PIASTRA DI ANCORAGGIO SNODO RADIALE

Con le dimensioni geometriche della piastra di base qui a fianco rappresentata, affidando l'azione tagliante all'apparecchio di taglio allo scopo previsto, la compressione massima sulla malta di sigillatura, risulta essere:

$$f_{s,c} = 7.6 \text{ N/mm}^2 < f_d = 44 \text{ MPa}$$

la trazione massima nei tirafondi, risulta essere:

$$f_{s,f} = 33 \text{ N/mm}^2 < f_d/\gamma_{M0} = 381 \text{ MPa}$$


Avendo i tirafondi impiegati diametro ϕ 56 ed area $A = 20.41 \text{ cm}^2$, la forza massima di trazione, risulta essere:

$$N = 33 \times 20.41 = 6735 \text{ daN} = 67.4 \text{ kN}$$

Per effetto del tiro nei tirafondi, nella piastra di base si ha:

$$M = 67.40 \times 15.0 = 1011.0 \text{ kNcm}$$

Con spessore 60.0 mm, la piastra di base è sicuramente verificata per questa condizione di carico.

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  REGISTRATI | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 21 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

Per la situazione di carico 2), si ha:

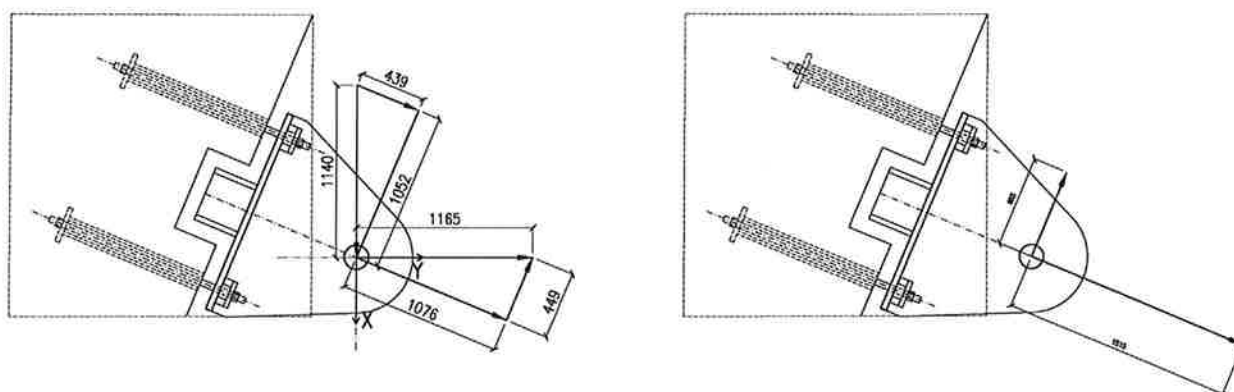


FIG. 8.5 - SNODO INFERIORE – SCHEMA AZIONI MASSIMA TRAZIONE

Dalla scomposizione delle forze agenti sul perno, si hanno le forze, parallela e perpendicolare alla piastra di base, rappresentate nello schema riportato a destra, con:

$$F_n = -1515 \text{ kN}; \quad F_h = 603 \text{ kN}$$

Al filo inferiore della piastra di base, si ha:

$$F_n = -1515 \text{ kN}; \quad M = 603 \times 0.84 = 507.0 \text{ kNm}; \quad F_h = 603 \text{ kN}$$

Con le dimensioni geometriche della piastra di base, affidando l'azione tagliente all'apparecchio di taglio allo scopo previsto, risulta che sezione è interamente tesa con una sollecitazione massima nei bulloni di ancoraggio pari a:


$$f_{s,f} = 300 \text{ N/mm}^2 < f_d/\gamma_{M0} = 381 \text{ MPa}$$

Avendo i tirafondi impiegati diametro $\phi 56$ ed area $A = 20.41 \text{ cm}^2$, la forza massima di trazione, risulta essere:

$$N = 3000 \times 20.41 = 61230 \text{ daN} = 612.3 \text{ kN}$$

Per effetto del tiro nel tirafondi, nella piastra di base si ha:

$$M = 612.3 \times 15.0 = 9185.0 \text{ kNcm}$$

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  REGIONAL | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 22 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

Con piastra spessore 60.0 mm, e considerando una larghezza di diffusione pari al campo di piastra compresa tra le nervature, la sollecitazione massima risulta essere:

$$f_f = 918500000 \times 6 / 2 \times 300 \times 60^2 = 255 \text{ N/mm}^2 < f_d / \gamma_{M0} = 304 \text{ MPa}$$

8.1.3. Verifica saldatura tubolare – perno dello snodo

In corrispondenza delle saldatura del perno al tubo verticale del telaio della porta, il momento flettente risulta essere:

$$M = 2430 \times 17.5 = 42525.0 \text{ kNcm}$$

La sollecitazione massima nella saldatura di collegamento tra il perno ed il mantello del tubo, saldatura a completa penetrazione di spessore 25 mm, risulta essere:

$$J = (25.4^4 - 22.9^4) \times \pi / 4 = 110918.31 \text{ cm}^4$$

$$W = 110918.31 / 25.4 = 4366.86 \text{ cm}^3$$


$$\sigma = 425250000 / 4366860 = 97.4 \text{ N/mm}^2 < \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = 262 \text{ MPa}$$

8.1.4. Perni di rotazione

Le azioni orizzontali massime, si hanno in corrispondenza del perno inferiore, dove per la prima condizione di carico, si ha:

$$F_x = -1750 \text{ kN}; \quad F_y = -1685 \text{ kN}$$

$$\text{La forza risultante sul perno, è:} \quad V_{Ed} = 2430 \text{ kN}$$

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 23 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

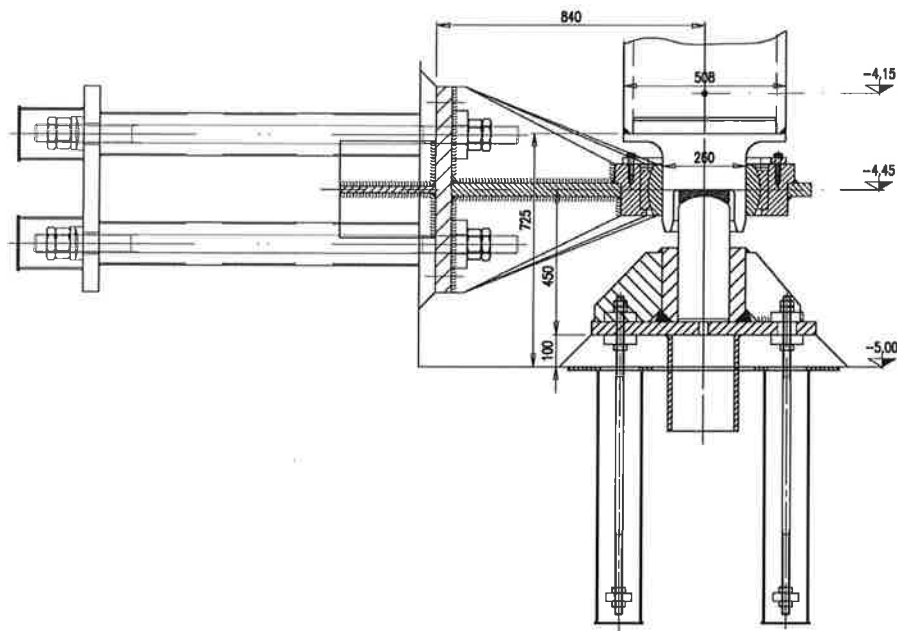


FIG. 8.6 - SNODO INFERIORE – ASSIEME

la flessione massima, nella sezione a diametro minimo, è:

$$M_{Ed} = 2430 \times 0.01 = 243 \text{ kNm}$$

Con diametro 260 mm, si ha:


$$A_v = 3/4A = 398 \text{ cm}^2$$

$$W_{pl} = 2929 \text{ cm}^3$$

Si ha pertanto:

$$M_{V,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = 1115 \text{ kNm} > M_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = 8754 \text{ kN} > V_{Ed}$$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  TECNITALIA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 24 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

8.2. Supporto superiore

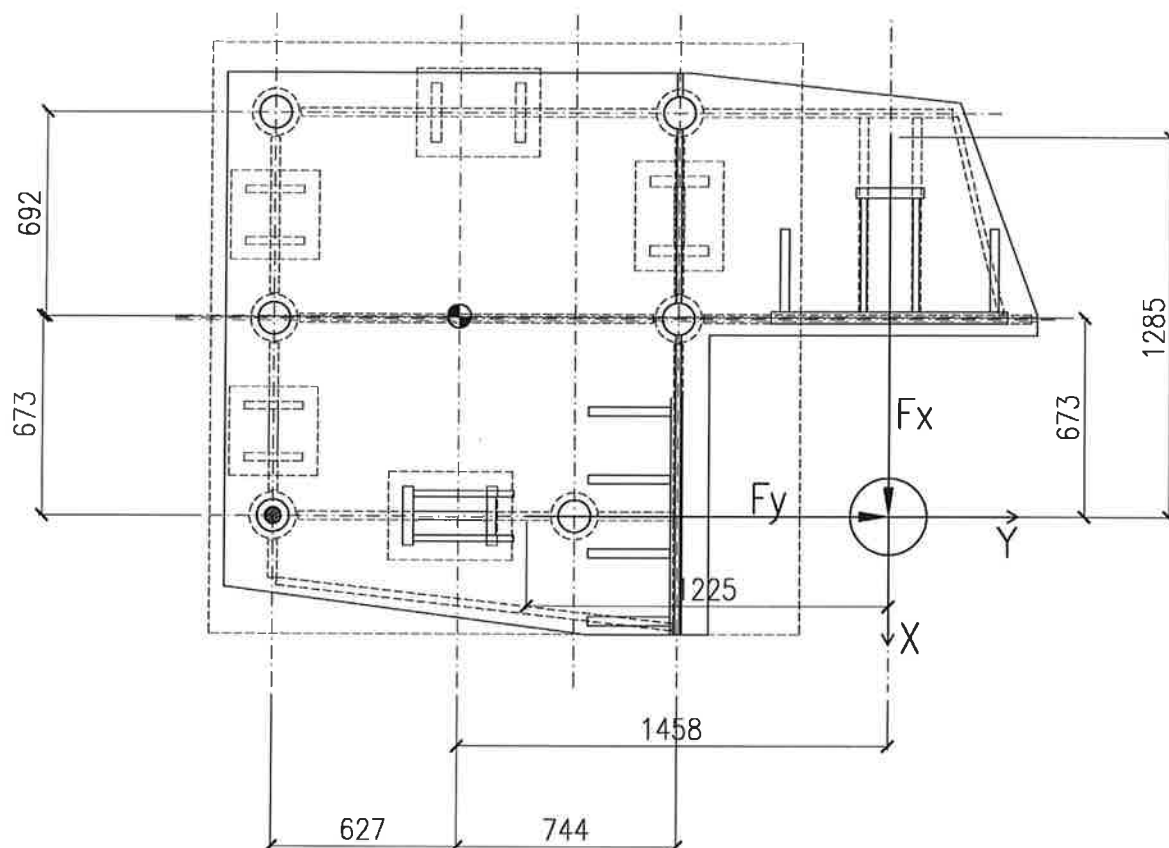


FIG. 8.7 - SNODO SUPERIORE – PIANTA COMPOSTO SALDATO DI COLLEGAMENTO

Le reazioni massime agenti in corrispondenza del cuscinetto superiore, sono:


$$F_x = 1285 \text{ kN}; \quad F_y = 1225 \text{ kN}$$

Rispetto al baricentro dei tirafondi, si ha:

$$F_x = 1285 \text{ kN};$$

$$F_y = 1225 \text{ kN};$$

$$M = 1285 \times 1.458 - 1225 \times 0.673 = 1049 \text{ kNm}$$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  TECNITALIA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 25 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

Per gli apparecchi a taglio, supposti in prima approssimazione di area uguale, si ha:

$$\begin{aligned}
 J_p &= 69.2^2 + 67.3^2 + 74.4^2 &= 14853.3 \text{ cm}^4 \\
 &2 \times 62.7^2 &= 7862.6 \text{ cm}^4 \\
 &&----- \\
 &&22715.9 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

In direzione Y, sul singolo apparecchio di taglio, la forza di taglio massima, risulta essere:

$$H_y = 1225/2 + 1049 \times 69.2/22715.9 = 612.5 + 3.2 = 616 \text{ kN}$$

Sul singolo apparecchio di taglio in direzione x, si ha:

$$H_x = 1285/2 + 1049 \times 74.4/22715.9 = 642.5 + 3.4 = 646 \text{ kN}$$

In corrispondenza dell'apparecchio di taglio, si ha una pressione massima sulla malta d'inghisaggio pari a:

$$f_{s,c} = H_x / (h \times b \times 2) = 646000 / (340 \times 180 \times 2) = 5.28 \text{ N/mm}^2 < f_d = 44 \text{ MPa}$$

dove $h = 34 \text{ cm}$ è l'affondamento dell'apparecchio di taglio nel calcestruzzo e $b = 18 \text{ cm}$.

Il cuscinetto superiore è posizionato ad un'altezza di circa 740 mm rispetto al filo inferiore della piastra di base del supporto.

Riportando le forze nel piano della piastra di base, si ha pertanto:


$$M_x = F_y \times 0.74 = 1225 \times 0.74 = 906.5 \text{ kNm}$$

$$M_y = F_x \times 0.74 = 1285 \times 0.74 = 950.9 \text{ kNm}$$

Dall'analisi eseguita, risulta:

compressione massima sulla malta di sigillatura: $f_{s,c} = 5.0 \text{ N/mm}^2 < f_d = 44 \text{ MPa}$

trazione massima nei tiranti di ancoraggio: $f_{s,t} = 135.7 \text{ N/mm}^2 < f_d / \gamma_{M0} = 381 \text{ MPa}$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 26 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

Avendo i tirafondi impiegati diametro $\phi 56$ ed area $A = 30.6 \text{ cm}^2$, la forza massima di trazione, risulta essere:

$$N = 135.7 \times 3060.0 = 415242 \text{ N} = 415.24 \text{ KN}$$

8.2.1. Piastra di sostegno supporto superiore

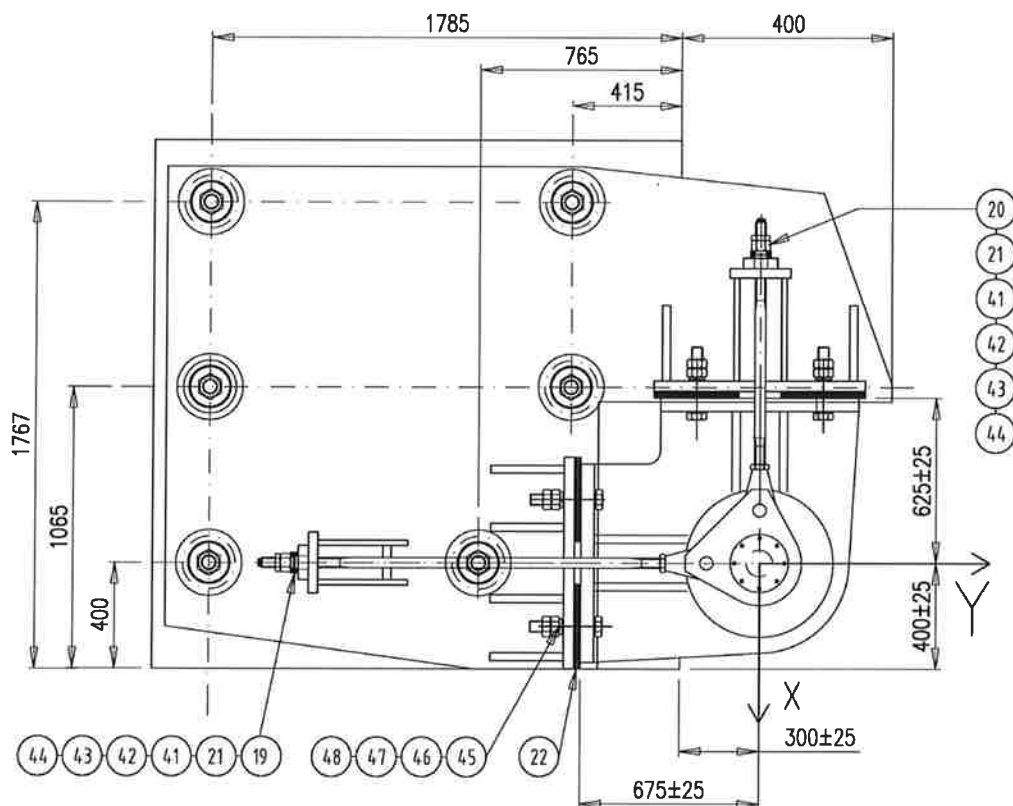
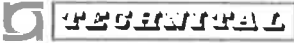


FIG. 8.8 - SNODO SUPERIORE – PIANTA ASSIEME SNODO

Il cuscinetto superiore è ancorato al supporto scatolare mediante un piatto orizzontale nervato con due piastre tra loro ortogonali e con quattro bulloni per ogni piastra. Alle piastre così disposte vengono affidate le azioni agenti nelle direzioni X e Y rispettivamente.

Per la forza in direzione X che risulta essere la maggiore, si ha:

$$F_x = 1285 \text{ kN};$$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 27 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

Sul singolo bullone M42 di collegamento della piastra al supporto, si ha:

$$N_b = 1285/4 = 321.3 \text{ kN}$$

$$f_{s,f} = 321300/1120 = 286.8 \text{ kN/cm}^2 < f_d/\gamma_{M2} = 320 \text{ MPa}$$

Sulla piastra di collegamento considerata come una mensola a cavallo della piastra orizzontale, per effetto del tiro nel bullone, si ha un momento flettente:

$$M = 321.3 \times 0.08 = 25.7 \text{ kNm}$$

Con piastra spessore 50 mm e considerando una larghezza di diffusione di 25 cm, si ha:

$$f_{s,f} = 25700000 \times 6 / (300 \times 50^2) = 205.6 \text{ N/mm}^2 < f_d/\gamma_{M0} = 304 \text{ MPa}$$


Sulla piastra di contrasto, fissata al supporto scatolare e dotata di quattro nervature verticali a cavallo del bullone di ancoraggio, si ha un momento flettente:

$$M = 321.3 \times (0.255 - 0.072)/4 = 14.7 \text{ kNm}$$

Considerando il momento di trave in semplice appoggio.

Con piastra spessore 40 mm e larghezza di diffusione di 190 mm, si ha una sollecitazione massima:

$$f_{s,f} = 14700000 \times 6 / (190 \times 40^2) = 290.1 \text{ N/mm}^2 < f_d/\gamma_{M0} = 304 \text{ MPa}$$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  TECINTAL | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 28 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

8.2.2. Sistema di regolazione superiore

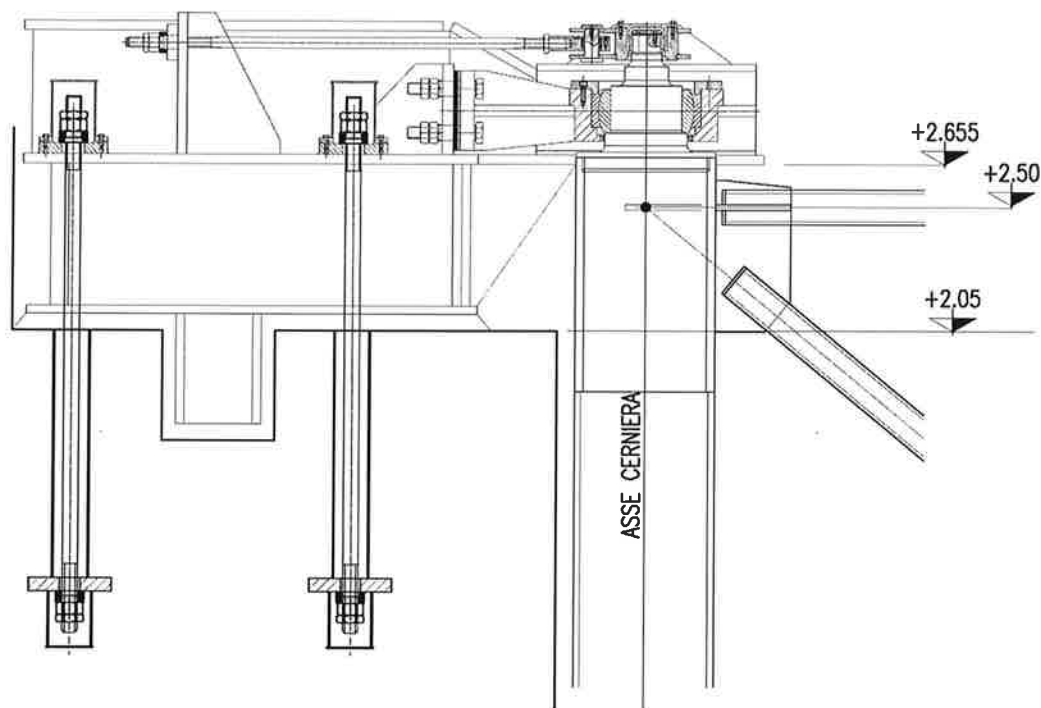


FIG. 8.9 - SNODO SUPERIORE – SEZIONE SNODO CON SISTEMA DI REGOLAZIONE

Il sistema di regolazione dell'asse verticale della porta, è realizzato con due tiranti tra loro ortogonali ed incernierati al perno di intorno a cui ruota la porta stessa.


I due tiranti sono soggetti alle forze del solo peso proprio della porta e degli eventuali effetti dello sporco nelle parti meccaniche (fouling). In questa analisi viene trascurato, a favore della sicurezza, l'effetto della sottospinta dell'acqua.

Le forze agenti nei due tiranti, risultano pertanto essere:

$$F_x = 204.3 + 9.6 = 213.9 \text{ kN}$$

$$F_y = 180.2 + 9.6 = 189.8 \text{ kN}$$

I tiranti di regolazione sono realizzati con barre filettate M39 ($A=976 \text{ mm}^2$).

| | | | | |
|---|---------|------------------|---|------------|
|  TRENTINO SÜDTIROL | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 29 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

La sollecitazione massima risulta pertanto essere:

$$N_{Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 371.8 \text{ MPa} > F_x$$

Sulla mensola di ancoraggio, poiché il tirante è applicato a 41 cm dal cassone saldato, si ha:

$$M = 213.9 \times 0.41 = 87.7 \text{ kNm}$$

Con le dimensioni geometriche della sezione alla base della mensola, si ha:

$$J_x = 83548.0 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 3978 \text{ cm}^3$$

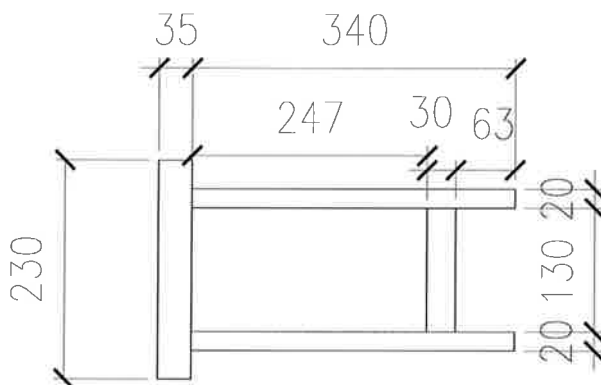
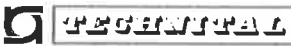


FIG. 8.10 -SNODO SUPERIORE – SEZIONE ALLA BASE DELLA MENSOLA DI COLLEGAMENTO TIRANTE-CASSONE SALDATO

e pertanto :

$$f_{s,f} = 87700000/3978000 = 22.1 \text{ N/mm}^2 < f_d/\gamma_{M0} = 312 \text{ MPa}$$

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 30 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

8.2.3. Analisi FEM

Lo stato di sforzo nelle lamiere che compongono il cassone del supporto superiore, vincolato al calcestruzzo ed al quale è fissato lo snodo superiore, è stato valutato anche con l'ausilio di un modello ad elementi finiti elastico lineare (fig. 7.11).

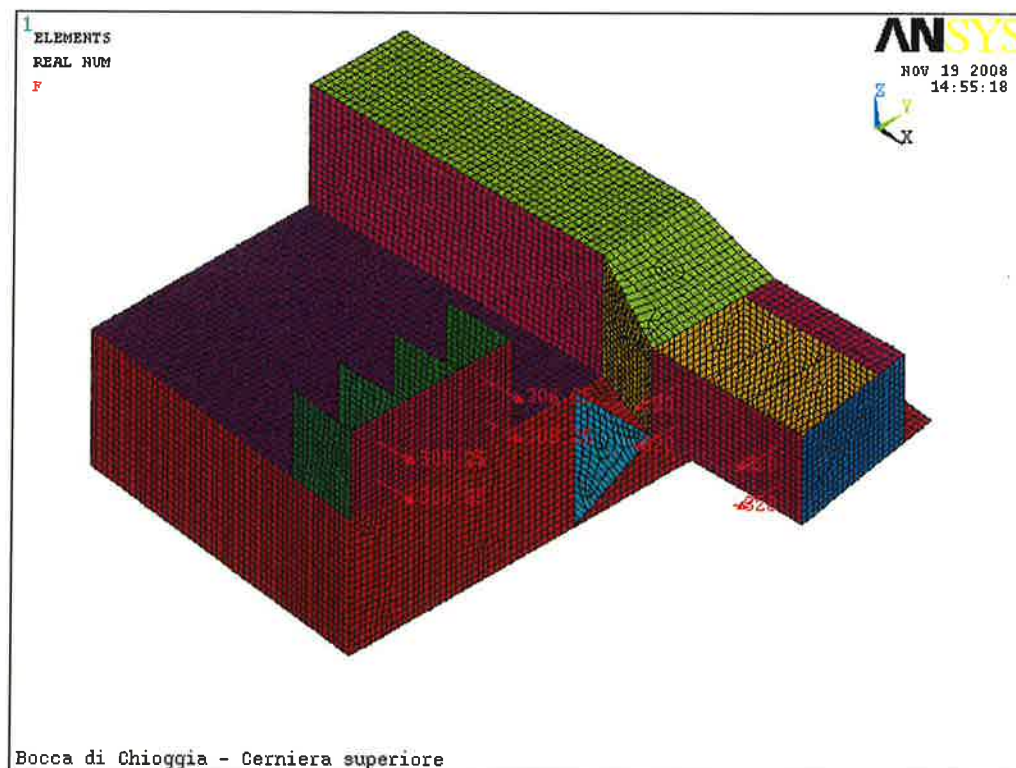



FIG. 8.11 -SNODO SUPERIORE – MODELLO FEM - MESH

Il carichi orizzontali trasmessi dallo snodo ($F_x = 1285 \text{ kN}$; $F_y = 1225 \text{ kN}$; valori agli SLU), sono stati applicati ai nodi delle flange in corrispondenza dei bulloni di fissaggio dello snodo.

L'immagine seguente mostra lo stato di sforzo nelle lamiere del cassone. Come si può osservare lo stato di sforzo è sempre inferiore al valore massimo di progetto ($f_d=328 \text{ MPa}$) ad eccezione di picchi locali ad elevato gradiente di sforzo. In particolare tali concentrazioni si verificano:

- in corrispondenza dei nodi di applicazione dei carichi o dei vincoli, ove, per semplicità di modellazione, è stata trascurata la presenza degli appositi elementi di diffusione del carico (p.e. rondelle);

| | | | | |
|--|---------|------------------|---|------------|
|  TECNITALIA | Rev. | Data: | El. MV048P-PE-CAR-6026 | Pag. n. 31 |
| | Rev. C0 | Data: 04/09/2014 | RELAZIONE DI CALCOLO SNODI E PARTI MECCANICHE | |

- in corrispondenza di punti angolosi nella modellazione.

Si tratta, in entrambi i casi, di punti singolari della modellazione ove lo stato di sforzo è poco significativo.

Pertanto l'analisi svolta conferma che la verifica di resistenza del cassone è soddisfatta.

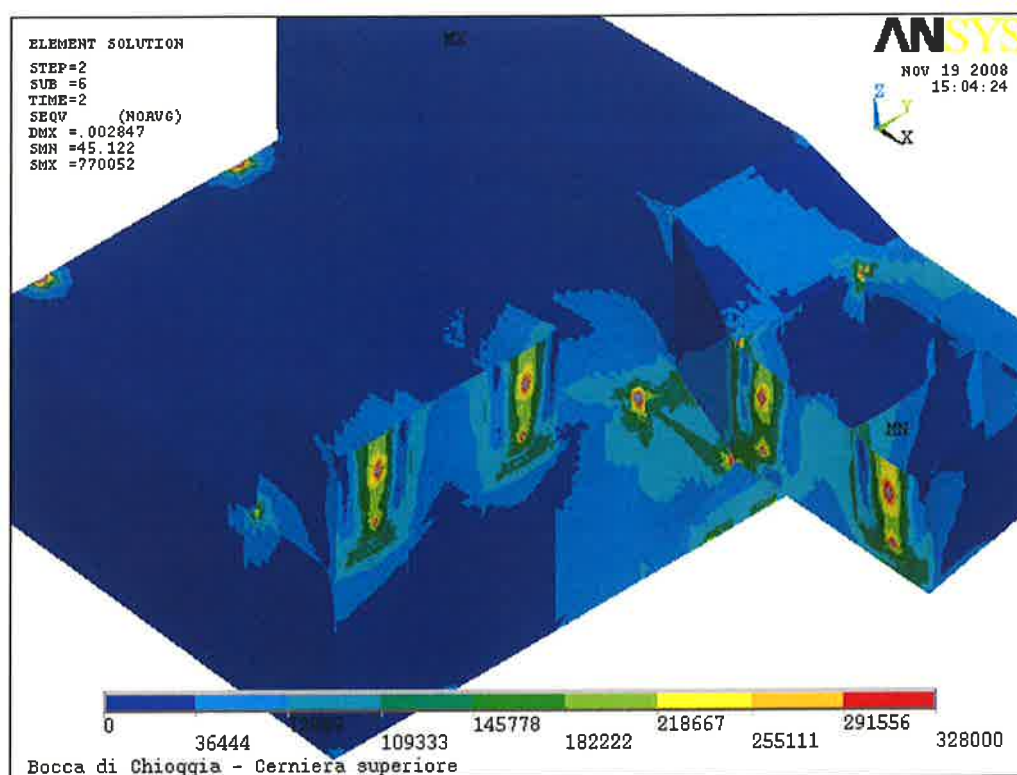


FIG. 8.12 -SNODO SUPERIORE – MODELLO FEM – SFORZI EQUIV. DI VON MISES [kN/m²]