

---

## **COMUNE DI GENOVA**

---

***Demolizione e ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di levante dell'Imbocco Canale Nuovo Waterfront di Levante***

***Lotto 2- Ricostruzione nuovo scivolo di alaggio e risistemazione banchina di Levante***

---

**Progetto Definitivo**

---

*Progettazione*

# **SEM**

SIGNORELLI EVASO MONCALVO  
INGEGNERI ASSOCIATI GENOVA

Via Garibaldi 8 - 16124 - GENOVA  
e-mail: [info@studiosignorelli.com](mailto:info@studiosignorelli.com)  
Tel. 010/5701737 - [www.sem-ingegneria.com](http://www.sem-ingegneria.com)

---

*Committente*

Comune di Genova, Direzione Area delle Risorse Tecnico Operative  
Via di Francia 3

## **Relazione di calcolo e geotecnica**

[C20019 SS REL E STR 2 003 A]

Genova, 29.01.2020

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

|        |                                                                                                                        |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Premesse .....                                                                                                         | 3  |
| 2.     | Normative di riferimento .....                                                                                         | 6  |
| 3.     | Caratteristiche dei materiali .....                                                                                    | 7  |
| 4.     | Analisi e verifica intervento 1 – Scivolo di alaggio.....                                                              | 9  |
| 4.1.   | Analisi dei carichi .....                                                                                              | 9  |
| 4.2.   | Sollecitazioni agenti.....                                                                                             | 10 |
| 4.3.   | Verifica a taglio .....                                                                                                | 10 |
| 4.4.   | Verifica a flessione .....                                                                                             | 11 |
| 4.5.   | Verifica a capacità portante alle estremità.....                                                                       | 13 |
| 4.6.   | Verifica del muro di sostegno laterale allo scivolo .....                                                              | 14 |
| 5.     | Analisi e verifica intervento 2 – Risistemazione della banchina est e predisposizione<br>delle bitte di ormeggio ..... | 17 |
| 5.1.   | Verifica a taglio-trazione dei tirafondi .....                                                                         | 18 |
| 5.2.   | Verifica della lunghezza di ancoraggio dei tirafondi .....                                                             | 21 |
| 5.3.   | Verifica della sezione in calcestruzzo della banchina Est.....                                                         | 23 |
| 5.3.1. | Verifica a taglio: .....                                                                                               | 23 |
| 5.3.2. | Verifica a flessione sulla mensola in c.a. retrostante la banchina est .....                                           | 25 |
| 5.3.3. | Verifica a taglio sulla mensola in c.a. retrostante la banchina est .....                                              | 27 |
| 5.4.   | Verifica della sezione a sbalzo in calcestruzzo della banchina.....                                                    | 29 |
| 5.4.1. | Verifica a flessione dovuta al carico di folla compatta .....                                                          | 29 |
| 5.4.2. | Verifica a flessione dovuta al tiro nominale della bitta .....                                                         | 32 |
| 5.4.3. | Verifica a taglio dovuto al carico da folla compatta .....                                                             | 34 |
| 5.4.4. | Verifica a taglio dovuto al tiro nominale agente sulla bitta .....                                                     | 35 |
| 6.     | Analisi e verifica intervento 3 – Realizzazione nuova gru .....                                                        | 37 |
| 6.1.   | Casi di carico del braccio della gru .....                                                                             | 38 |
| 6.2.   | Verifiche sui micropali .....                                                                                          | 43 |
| 6.2.1. | Verifica a trazione e compressione della matrice lapidea.....                                                          | 43 |
| 6.2.2. | Verifica a sforzo assiale del tubolare .....                                                                           | 45 |
| 6.2.3. | Verifica a trazione sulla barra di armatura di collegamento del plinto .....                                           | 46 |
| 6.3.   | Verifiche del plinto di fondazione in c.a. ....                                                                        | 47 |
| 6.3.1. | Verifica a flessione del plinto .....                                                                                  | 47 |
| 6.3.1. | Verifica a taglio del plinto .....                                                                                     | 49 |
| 6.3.2. | Verifica a torsione del plinto .....                                                                                   | 51 |
| 6.3.3. | Verifica a punzonamento del plinto.....                                                                                | 54 |

# Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante Area Ex Fiera del Mare Genova

Progetto definitivo

Relazione di calcolo

## 1. Premesse

La presente relazione, redatta ai sensi del D.lgs 50/2016, ha come oggetto il dimensionamento e la verifica delle opere strutturali inerenti l'intervento di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e di risistemazione della banchina situata nell'area portuale in corrispondenza del lato di levante del canale navigabile del Nuovo Waterfront di Levante. In particolare gli interventi sono ricompresi nel "Lotto 2" del progetto generale "Waterfront di Genova" approvato nella conferenza servizi del Comune di Genova a seguito dei pareri favorevoli degli enti coinvolti.

Nello specifico gli interventi riguarderanno:

1. La messa in opera del nuovo scivolo di alaggio realizzato con soletta in calcestruzzo armato di spessore pari a 30 cm vincolata alle pareti laterali anch'esse in calcestruzzo armato con spessore 30 cm.

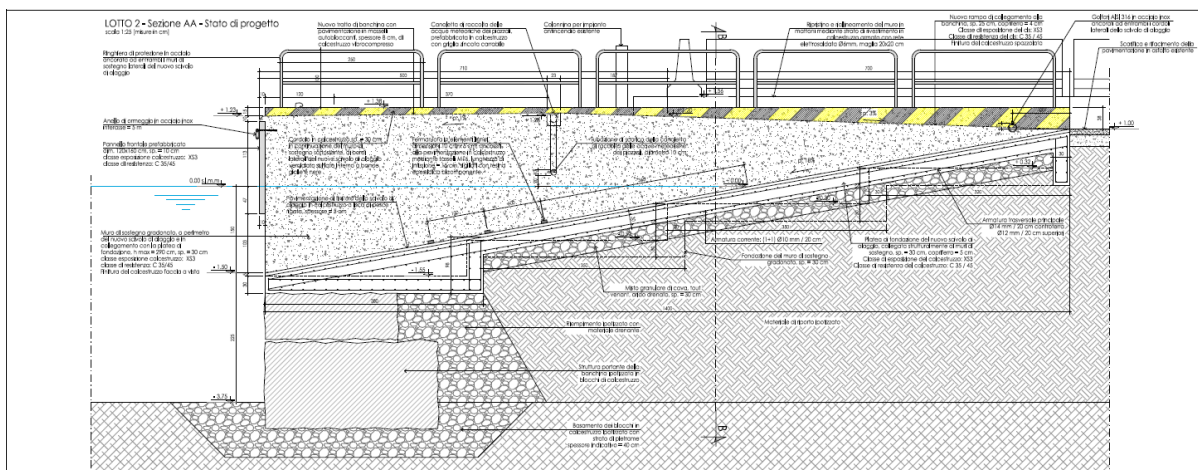


Figura 1 - sezione longitudinale stralcia nuovo scivolo di alaggio





# Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante Area Ex Fiera del Mare Genova

Progetto definitivo

Relazione di calcolo

## LOTTO 2 - Sezione XX

scala 1:25 [misure in cm]

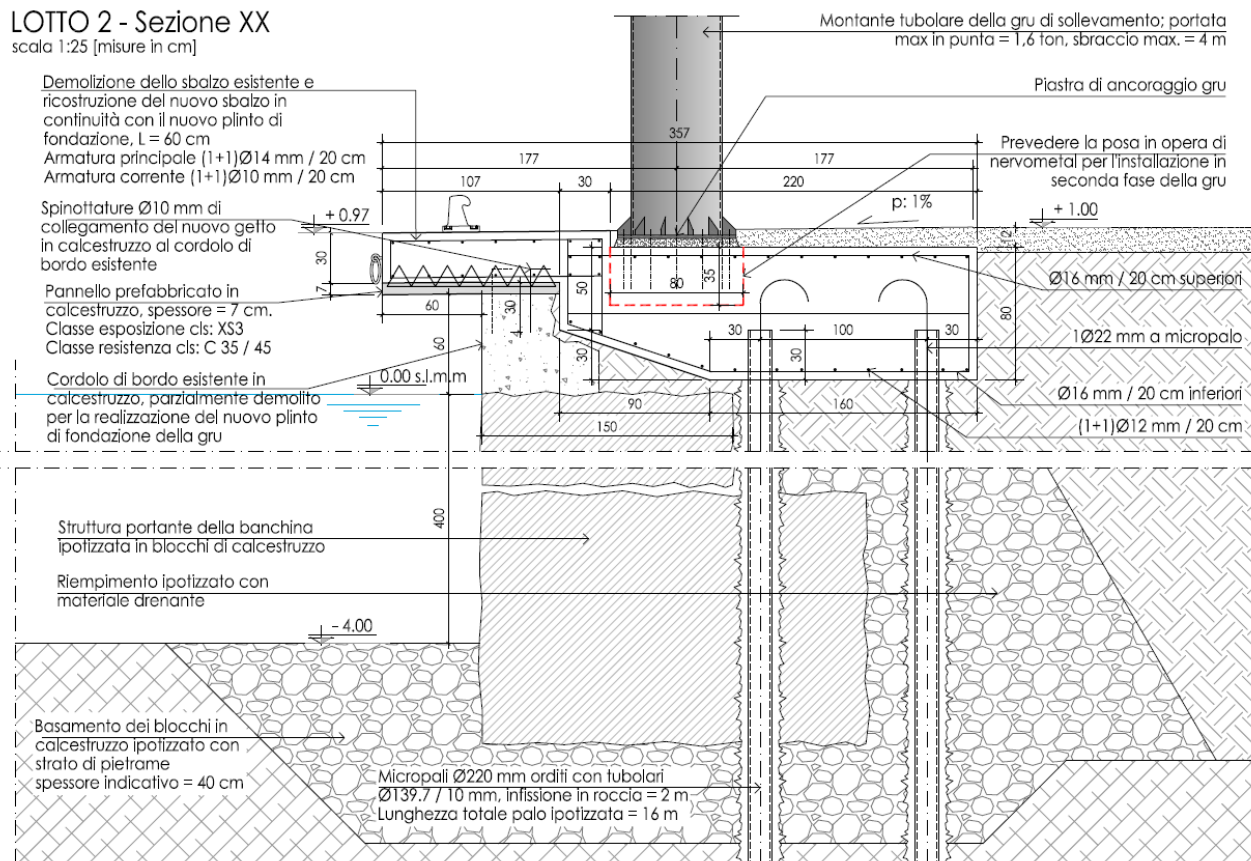


Figura 3 - sezione trasversale stralcia del sistema di fondazione della nuova gru

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

---

**2. Normative di riferimento**

- UNI ENV 1992-1-1 Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings
- UNI ENV 1993-1-1 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings
- BS6349: Part 6: 1989 Maritime structures – Design of inshore moorings and floating structures
- Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – DM 17 gennaio 2018

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

### **3. Caratteristiche dei materiali**

#### **- Calcestruzzo C35/45:**

|                                                                  |               |       |
|------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| Resistenza caratteristica a rottura cubica del calcestruzzo:     | $R_{ck} = 45$ | [MPa] |
| Resistenza caratteristica a rottura cilindrica del calcestruzzo: | $f_{ck} = 35$ | [MPa] |
| Modulo di elasticità normale del calcestruzzo                    | $E = 31736$   | [MPa] |
| Modulo di elasticità tangenziale del calcestruzzo:               | $G = 12106$   | [MPa] |
| Coefficiente di Poisson:                                         | $\nu = 0.3$   |       |

#### **- Acciaio da armatura B450C:**

|                                                |                                           |         |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| Resistenza a rottura dell'acciaio:             | $f_{uk} = 510$                            | [MPa]   |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio:         | $f_{yk} = 450$                            | [MPa]   |
| Modulo di elasticità normale dell'acciaio:     | $E = 210000$                              | [MPa]   |
| Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio: | $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 80770$ | [MPa]   |
| Coefficiente di Poisson:                       | $\nu = 0.3$                               | [ - ]   |
| Coefficiente di espansione termica             | $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$               | [C°]    |
| Densità:                                       | $\rho = 7850$                             | [kg/m³] |

#### **- Acciaio da profili EN10025 S275 JR:**

|                                                |                                           |         |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| Resistenza a rottura dell'acciaio:             | $f_u = 430$                               | [MPa]   |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio:         | $f_y = 275$                               | [MPa]   |
| Modulo di elasticità normale dell'acciaio:     | $E = 210000$                              | [MPa]   |
| Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio: | $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 80770$ | [MPa]   |
| Coefficiente di Poisson:                       | $\nu = 0.3$                               | [ - ]   |
| Coefficiente di espansione termica             | $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$               | [C°]    |
| Densità:                                       | $\rho = 7850$                             | [kg/m³] |

#### **- Acciaio da profili EN10025 S355 JR:**

|                                                |                                           |       |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------|
| Resistenza a rottura dell'acciaio:             | $f_u = 510$                               | [MPa] |
| Resistenza a snervamento dell'acciaio:         | $f_y = 355$                               | [MPa] |
| Modulo di elasticità normale dell'acciaio      | $E = 210000$                              | [MPa] |
| Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio: | $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 80770$ | [MPa] |

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

---

Coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.3 \quad [-]$$

Coefficiente di espansione termica:

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \quad [C^{\circ}]$$

Densità:

$$\rho = 7850 \quad [kg/m^3]$$





**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

#### **4.2. Sollecitazioni agenti**

Si procede al calcolo delle sollecitazioni di progetto agenti su un metro lineare della struttura.

Lo scivolo di alaggio è stato schematizzato con una schema statico a trave doppiamente incastrata ai bordi. La lunghezza complessiva dell'elemento risulta pari ad  $l = 5$  m.

Il momento flettente massimo sollecitante risulta quindi pari a:

$$M^- = \frac{q * l^2}{12} = \frac{41,35 * 5^2}{12} = 86,1 \text{ kN} * m$$

Il taglio massimo sollecitante risulta quindi pari a:

$$V_{Ed} = \frac{q * l}{2} = \frac{41,35 * 5}{2} = 103,4 \text{ kN}$$

#### **4.3. Verifica a taglio**

Si procede ad effettuare la verifica a taglio della sezione trasversale dello scivolo di alaggio.

E' stata considerata come una sezione rettangolare di larghezza unitaria pari a 100 cm e con altezza 30 cm. Le armature longitudinali presenti nell'intera sezione sono pari a (1+1)  $\varnothing 14$  a passo 15 cm. Per la verifica la sezione è stata considerata come elemento non armato trasversalmente a taglio.

##### Geometria:

Base = 100 cm

Altezza = 30 cm

##### Armatura longitudinale:

Ferri superiori = n.6  $\varnothing 14$

Ferri inferiori = n.6  $\varnothing 14$

##### Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45

$R_{ck} = 45$  MPa

$f_{ck} = 35$  MPa

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Acciaio B450 C

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Verifica

Il taglio resistente è descritto dalla formula 4.1.2.3.5.1 delle NTC2018 e di seguito riportata

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

Dove:

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{0.5} = 1 + \left( \frac{200}{240} \right)^{0.5} = 1,9$$

$$\rho_1 = \left( \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \right) = 0,0039$$

$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

$$V_{Rd} = \left[ \frac{0,18 \cdot 1,9}{1,5} (100 \cdot 0,0039 \cdot 35)^{1/3} \right] \cdot 1000 \cdot 300 = 130,8 \text{ kN}$$

$IR = 130,8 / 103,4 = 1,26 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**4.4. Verifica a flessione**

Anche in questo caso è stata considerata una sezione rettangolare di larghezza unitaria pari a 100 cm ed altezza pari a 30 cm. Le armature longitudinali presenti all'interno sezione sono pari a (1+1)  $\varnothing 14$  a passo 15 cm.

Geometria:

Base = 100 cm

Altezza = 30 cm

Armatura longitudinale:

Ferri superiori = n.6  $\varnothing 14$

Ferri inferiori = n.6  $\varnothing 14$

Materiali

# Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante Area Ex Fiera del Mare Genova

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$        $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$   
Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Si riporta di seguito il calcolo del momento resistente eseguito con il software di  
comprovata validità VCASLU

## Verifica

**Titolo:** Soletta scivolo di alaggio

N° strati barre: 2    Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 30     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 9.24     | 6      |
| 2  | 9.24     | 24     |

**Sollecitazioni**  
S.L.U.    Metodo n

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

**P.to applicazione N**  
☒ Centro    ☐ Baricentro cls  
☐ Coord. [cm]    xN 0    yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C    C35/45  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  409.1 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm²     $f_{cd}$  19.83  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  2.046 ‰     $\sigma_{c,adm}$  13.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+    ☒ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta    ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd    Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello

☐ Precompresso

M<sub>xRd</sub> -96.51 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  409.1 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  16.75 ‰  
d 24 cm  
x 4.149    x/d 0.1729  
 $\delta$  0.7

$IR = 96,51 / 86,10 = 1,12 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**4.5. Verifica a capacità portante alle estremità**

Si effettua la verifica a capacità portante del terreno sottostante il cordolo di fondazione dello scivolo di alaggio.

Si considera un'impronta di carico del cordolo di fondazione di lunghezza unitaria pari a 100 cm e larghezza di progetto pari a 80 cm.

$$V_{ed} = 103,4 \text{ kN}$$

La tensione di compressione al suolo risulta pari a

$$\sigma_c = 103,4 / (1 * 0,8) = 129,25 \text{ kN/m}^2 = 1,29 \text{ kg / m}^2$$

Le caratteristiche del terreno sono state assunte dall'analisi dei dati presenti all'interno della relazione geologica preliminare redatta a corredo del progetto di fattibilità tecnico economica per i lavori inerenti la sistemazione del nuovo Waterfront di Levante della città di Genova.

Parametri geotecnici:

Angolo di attrito  $\varphi' = 27,3^\circ$

Coesione  $c' = 0 \text{ kPa}$

Peso specifico  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

Il carico limite del terreno si calcola tramite la formula trinomia del carico limite per una fondazione con forma in pianta di striscia indefinita.

Dal libro di testo di comprovata validità "Fondazioni" di C. Viaggiani si ricavano i valori  $N_q$ ,  $N_c$  e  $N_\gamma$ , per un angolo di resistenza al taglio di  $27^\circ$ .

$$\begin{aligned} q_{lim} &= N_q * \gamma_1 * D + N_c * c + N_\gamma * \gamma_2 * \frac{\beta}{2} = 13,2 * 19 * 1 + 0 + 14,47 * 19 * 0,8/2 = 361 \text{ kN/m}^2 \\ &= 3,61 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$q_{lim,d} = \frac{q_{lim}}{R_3} = \frac{3,61}{2,3} = 1,57 \text{ kg/m}^2$$

$IR = 1,57 > 1,29 = 1,22 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**





**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Il sovraccarico accidentale rappresentato da una folla compatta e schematizzato come un carico uniformemente distribuito risulta pari a:

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$

Al sovraccarico accidentale vengono sommate le tensioni con andamento trapezoidale prodotte dal terreno a tergo del muro.

$$\text{Tensione massima (base del muro): } \sigma_2 = q * Ka * \cos\delta = 5 * 0,33 * \cos(18,2^\circ) = 1,57 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tensione minima (sommità del muro): } \sigma_1 = (q + \gamma_1 * h) * Ka * \cos\delta = (5 + 19 * 2,8) * 0,33 * \cos(18,2) = 18,24 \text{ kN/m}$$

Le verifiche strutturali di opere di sostegno sono condotte mediante l'approccio 2 descritto paragrafo 6.5.3.1.1 delle NTC2018 secondo la combinazione di seguito riportata:

$$A1 + M1 + R3$$

Il massimo momento sollecitante sul muro di sostegno è pari a:

$$M_{Ed} = \frac{1,5 * (\sigma_2 - \sigma_1) * l^2}{6} + \frac{1,5 * \sigma_1 * l^2}{2} = \frac{1,5 * 16,67 * 2,8^2}{6} + \frac{1,5 * 1,57 * 2,8^2}{2} = 42 \text{ kNm}$$

E' stata considerata una sezione rettangolare di larghezza unitaria pari a 100 cm ed uno spessore pari a 30 cm.

L'armatura principale della sezione è composta da  $\varnothing 14$  mm a passo 15 cm contro terra e da  $\varnothing 12$  mm a passo 15 cm sul fronte.

Le armature controterra hanno un diametro a 14 mm disposte con un passo pari a 15 cm; le armature anteriori hanno un diametro pari a 12 mm disposte con un passo pari a 15 cm.

Geometria della sezione resistente del muro:

Base = 100 cm

Altezza = 30 cm

Armatura:

Controterra: n.6  $\varnothing 14$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Anteriore: n.6 Ø12

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$        $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Si riporta di seguito il calcolo del momento resistente eseguito con il software di  
comprovata validità VCASLU

Verifica:

**Titolo:** Muro di sostegno

**N° strati barre:** 2 **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 30     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 9.24     | 6      |
| 2  | 6.79     | 24     |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re   ☐ Trapezi  
☐ a T   ☐ Circolare  
☐ Rettangoli   ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.**   **Metodo n**

**N** Ed 0   **M** xEd 0   **M** yEd 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro   ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm]   xN 0   yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+   ☒ S.L.U.-   ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta   ☐ Deviata

**Materiali**  
**B450C**   **C35/45**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰    $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  409.1 N/mm²    $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²    $f_{cd}$  19.83  
 $E_s/E_c$  15    $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  2.046 ‰    $\sigma_{c,adm}$  13.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²    $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

**M** xRd -95.55 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  409.1 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  17.92 ‰  
d 24 cm  
x 3.921   x/d 0.1634  
 $\delta$  0.7

**Calcola MRd**   **Dominio M-N**  
**N° rett.** 100  
**L<sub>0</sub>** 0 cm   **Col. modello**  
☐ Precompresso

$IR = 95,55 / 40,00 = 2,39 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

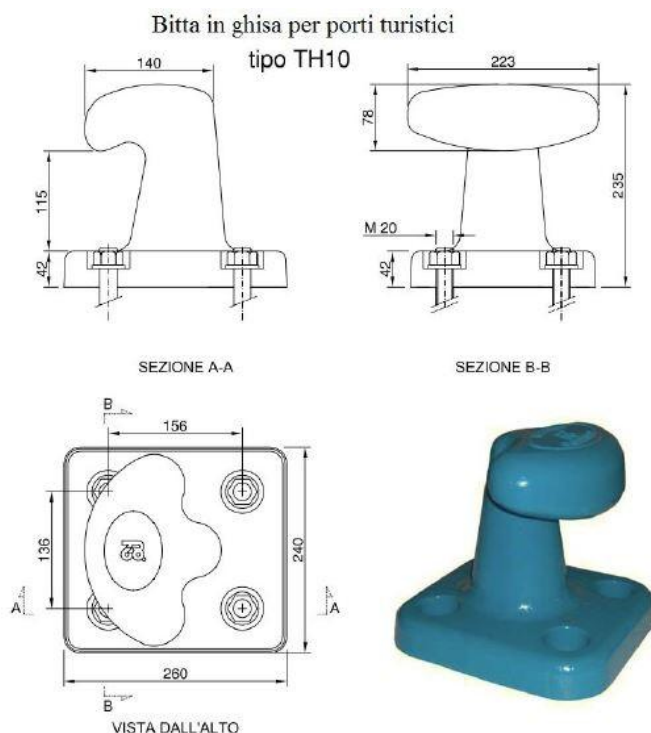
**Relazione di calcolo**

**5. Analisi e verifica intervento 2 – Risistemazione della banchina est e predisposizione delle bitte di ormeggio**

Sulla banchina di levante, già oggetto di interventi di ripristino, saranno inserite, ad interasse di 5m, le bitte di ormeggio soggette ad un tiro nominale pari a 10 tonnellate.

Le bitte utilizzate e già inserite nel precedente intervento di imbocco del canale sono prodotte dalla fonderia Galliatesi.

La bitta presenta alla base una piastra di dimensioni pari a (240x260) mm con n.4 tirafondi in acciaio aventi diametro pari a 20 mm, distanziati di 136 mm in direzione verticale(direzione longitudinale alla banchina) e 156 mm in direzione orizzontale (perpendicolare alla banchina). La figura sottostante rappresenta la geometria appena descritta.



**Figura 6 - Bitta di ormeggio**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.1. Verifica a taglio-trazione dei tirafondi**

Il tiro nominale della singola bitta di ormeggio è pari a  $T = 10000 \text{ kg} = 10 \text{ tonn}$

Altezza di applicazione del tiro =  $h_u = 155 \text{ mm}$ .

A seguito delle iterazioni è stato individuato l'angolo di inclinazione, rispetto all'allineamento della banchina, che produce il massimo sforzo di trazione agente sui tirafondi. L'angolo di inclinazione risulta pari a  $35^\circ$ .

La forza di tiro viene scomposta quindi nelle due direzioni principali

$$T_{Ed,normale} = \left(10 \text{ tonn} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^{1,5} * \sin(35^\circ) = 84,4 \text{ kN}$$

$$T_{Ed,parallela} = \left(10 \text{ tonn} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^{1,5} * \cos(35^\circ) = 120,5 \text{ kN}$$

Il massimo momento flettente agente sulla bitta risulta pari a:

$$M_{Ed,normale} = 84,4 * 0,115 = 9,71 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{Ed,parallela} = 120,5 * 0,115 = 13,86 \text{ kN} * \text{m}$$

Utilizzando il software VCASLU si calcola la massima tensione di trazione agente sui tirafondi.

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**Titolo :** Bitta tiro nominale 10 ton

**N° Vertici**  **Zoom** **N° barre**  **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 0      | 0      |
| 2  | 24     | 0      |
| 3  | 24     | 26     |
| 4  | 0      | 26     |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1  | 2.45     | 5.2    | 5.2    |
| 2  | 2.45     | 18     | 5.2    |
| 3  | 2.45     | 5.2    | 20.8   |
| 4  | 2.45     | 18.8   | 20.8   |

**Sollecitazioni** **S.L.U.** **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>**  **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>**  **-9.71** kNm  
**M<sub>yEd</sub>**  **-13.86** kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo Sezione**  
☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☒ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
**B450C** **C35/45**  
**E<sub>su</sub>**  **E<sub>c2</sub>**   
**f<sub>yd</sub>**  **E<sub>cu</sub>**   
**E<sub>s</sub>**  **f<sub>cd</sub>**   
**E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>**  **f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>**   
**E<sub>syd</sub>**  **σ<sub>c,adm</sub>**   
**σ<sub>s,adm</sub>**  **τ<sub>co</sub>**   
**τ<sub>c1</sub>**

**σ<sub>c</sub>**  N/mm²  
**σ<sub>s</sub>**  N/mm²  
**ε<sub>s</sub>**  ‰  
**d**  cm  
**x**  **x/d**   
**ξ**

**Verifica**  
**N° iterazioni:**   
☐ Precompresso

La tensione di trazione massima agente sui tirafondi risulta pari a:

$$f_{Ed} = 253,1 \text{ MPa.}$$

Si eseguono prima le singole verifiche a trazione e taglio previste, per le unioni in acciaio, dopodichè si esegue la verifica combinata a taglio-trazione prevista al capitolo 4.2.8.1.1 dalla normativa vigente e di seguito riportata.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.71]$$

Dove

F<sub>v,Ed</sub> è il massimo sforzo di taglio sul singolo tirafondo

F<sub>t,Ed</sub> è il massimo sforzo di trazione sul singolo tirafondo

F<sub>v,Rd</sub> è resistenza a taglio del singolo tirafondo

F<sub>t,Rd</sub> è resistenza a trazione del singolo tirafondo

Caratteristiche tirafondi

Signorelli – Evaso – Moncalvo Ingegneri Associati

pagina 19

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Numero tirafondi su ogni bitta =  $N_T = 4$

Diametro =  $d = 20 \text{ mm}$

Sezione trasversale lorda =  $A_L = 3,14 \text{ cm}^2$

Sezione trasversale netta =  $A_{res} = 2,45 \text{ cm}^2$

Tensione di rottura =  $f_{tbk} = 860 \text{ MPa}$

Si calcolano i singoli contributi per effettuare la verifica a taglio, la verifica a trazione e la verificata combinata taglio-trazione

$$F_{V,Ed} = \frac{T_{Ed}}{N_T} = \frac{\left(10 \text{ tonn} * 9,81 \frac{m}{s^2}\right) * 1,5}{4} = 36,79 \text{ kN}$$

$$F_{T,Ed} = f_{Ed} * A_{res} = 253 * 245 = 61,99 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_b * f_{tbk} * A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 * 860 * 245}{1,25} = 84,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * f_{tbk} * A_{res}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 860 * 245}{1,25} = 151,7 \text{ kN}$$

Verifica a trazione:

$F_{t,Rd} / F_{t,Ed} > 1$

$IR = 151,7 / 61,99 = 2,5 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

Verifica a taglio:

$F_{v,Rd} / F_{v,Ed} < 1$

$IR = 84,3 / 36,79 = 2,27 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

Verifica combinata a taglio-trazione:



**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.71]$$

$$IR = \frac{36,79}{84,28} + \frac{61,99}{1,4 * 151,7} = 0,73 < 1$$

**VERIFICA SODDISFATTA**

### **5.2. Verifica della lunghezza di ancoraggio dei tirafondi**

Si valuta la lunghezza di ancoraggio dei tirafondi affinché non si verifichi lo sfilamento dal blocco di calcestruzzo di base.

La verifica consiste nel confrontare la lunghezza di ancoraggio di progetto con una lunghezza minima imposta dall'Eurocodice 2.

Il calcestruzzo utilizzato per l'intervento di risistemazione della banchina Est e del nuovo sbalzo è di classe C35/45.

Caratteristiche di resistenza del calcestruzzo:

Resistenza caratteristica cubica a compressione =  $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione =  $f_{ck} = 0,83 * R_{ck} = 37,35 \text{ MPa}$

Resistenza media trazione =  $f_{ctm} = 0,3 * (f_{ck})^{2/3} = 3,35 \text{ MPa}$

Resistenza caratteristica a trazione =  $f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} = 2,35 \text{ MPa}$

Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza =  $f_{bk}$

$$f_{bk} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctk} = 2,25 * 1 * 1 * 2,35 = 5,29 \text{ MPa}$$

Resistenza tangenziale di aderenza di progetto =  $f_{bd}$

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 5,29 / 1,5 = 3,53 \text{ MPa}$$

Si calcola la lunghezza di ancoraggio minima richiesta dall'Eurocodice 2:

$$l_{b,rqd} = \frac{\Phi}{4} * \frac{F_{t,Ed} / A_{res}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} * \frac{61,99 / 245}{3,53} = 358 \text{ mm}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

---

$$l_{b,min} = \max(0,3 * l_{b,rqd}, 10 * \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(107,4 \text{ mm}; 200 \text{ mm}; 100 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

Si calcola la lunghezza di ancoraggio di progetto:

$$l_b = \alpha * l_{b,rqd} = 0,7 * 358 = 250,6 \text{ mm} > l_{b,min}$$

Per tanto si assume per la fase esecutiva una lunghezza di ancoraggio pari a 300mm.

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.3. Verifica della sezione in calcestruzzo della banchina Est**

Si effettua la verifica della sezione della banchina in calcestruzzo armato dove saranno alloggiare le bitte sottoposte ad un tiro nominale pari a 10 ton come descritto nel paragrafo 7.1.

**5.3.1. Verifica a taglio:**

Il massimo sforzo di taglio alla quale è soggetta la sezione della banchina è pari a  $F_v, Ed$ .

$$F_v, Ed = T_{ed} = \left(10 \text{ tonn} * 9,81 \frac{m}{s^2}\right) * 1,5 = 147,15 \text{ kN}$$

Geometria della sezione:

Base = 30 cm

Altezza = 120 cm

Armatura trasversale:

staffe (1+1)  $\varnothing 14$

Passo 20 cm

Armatura longitudinale:

(1+1)  $\varnothing 12$  passo 20 cm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45

$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Le vigenti Norme prevedono per gli elementi con armatura trasversale resistente a taglio di verificare sia la resistenza dell'armatura trasversale attraverso la verifica "taglio-trazione" sia la resistenza della biella di calcestruzzo compressa mediante la verifica a

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di allaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

“taglio-compressione”. Di seguito si riportano le rispettive formule descritte nel paragrafo 4.1.2.3.5.2 delle NTC2018.

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

Per il calcolo della resistenza a taglio dell'armatura

Si assume  $\alpha = 90^\circ$  perché si hanno solo staffe come armatura trasversale

Si assume  $\operatorname{ctg}(\theta) = 1$ , assunto in favore di sicurezza

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot 1140 \cdot \frac{308}{200} \cdot 391,3 \cdot (0 + 1) \cdot 1 = 618,3 \text{ kN}$$

Per il calcolo della resistenza a taglio della sezione in calcestruzzo

Si assume  $\alpha = 90^\circ$  perché si hanno solo staffe come armatura trasversale

Si assume  $\operatorname{ctg}(\theta) = 2,5$  assunto in favore di sicurezza

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot 1140 \cdot 300 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 19,83 \cdot \frac{2,5}{1 + 2,5^2} = 1052 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = (618,3; 1052) = 618,3 \text{ kN}$$

Verifica:

$V_{Rd} / V_{Ed} > 1$

$IR = 618,3 / 147,15 = 4,21 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

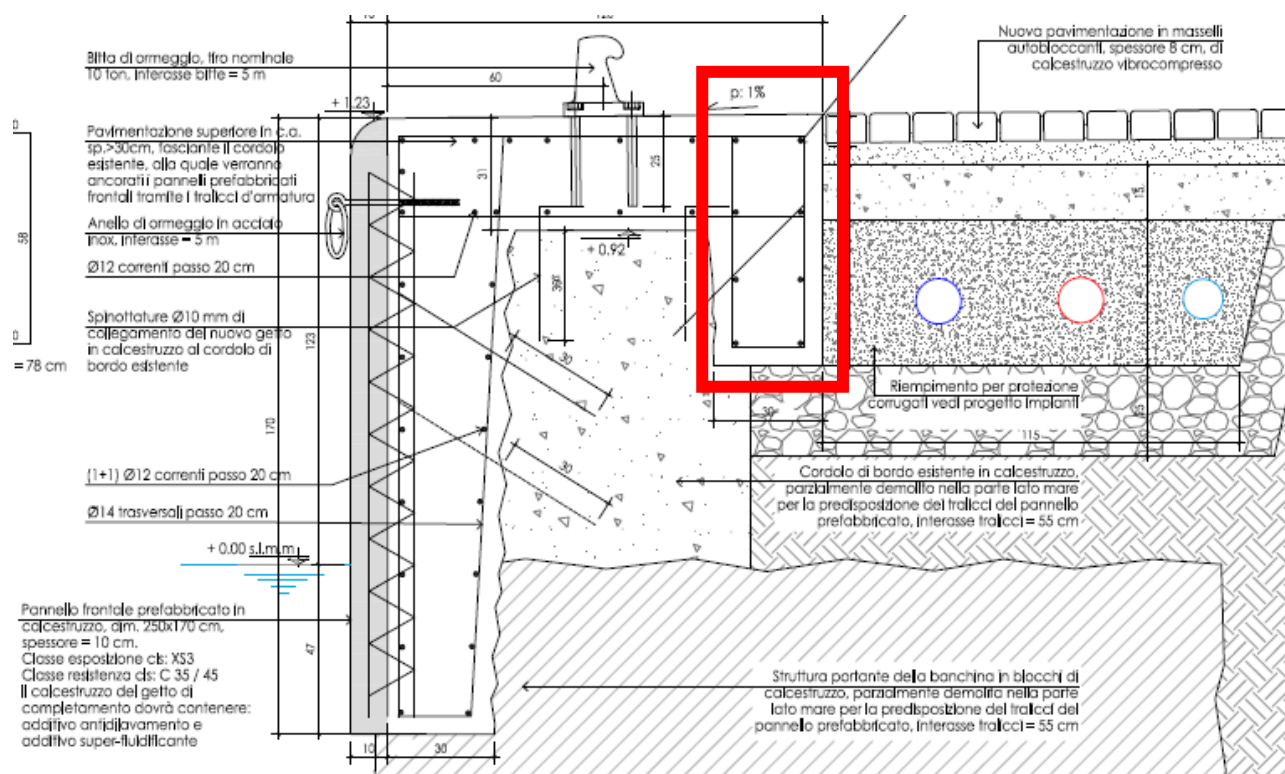
**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.3.2. Verifica a flessione sulla mensola in c.a. retrostante la banchina est**

L'azione del taglio causata dal tiro nominale sulla bitta genera una sollecitazione a flessione sull'elemento a mensola in c.a. retrostante. Nell'immagine 7 si evidenzia la sezione a mensola in c.a. da verificare.



**Figura 7 - Sezione retrostante la banchina est da verificare a flessione e taglio**

Il taglio sollecitante è pari al massimo taglio agente sulla bitta e risulta pari a:

$$V_{Ed} = 147,15 \text{ kN}$$

Tale sforzo è applicato con un'eccentricità rispetto al vincolo pari a:

$$l = 350 \text{ mm}$$

Il momento flettente agente risulta pari a:

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot l = 147,15 \cdot 0,35 = 51,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La verifica viene condotta su una sezione di lunghezza unitaria pari ad 1 m e spessore pari a 30 cm.

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Geometria della sezione trasversale

Base = 100 cm

Altezza = 30 cm

Armatura longitudinale

(1+1) Ø14 con passo 200 mm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$        $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Verifica

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 30     | 1  | 7.70     | 6      |
|    |        |        | 2  | 7.70     | 24     |

**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.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Tipo Sezione**

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Materiali**

**B450C**

$\epsilon_{su}$   ‰

$f_{yd}$   N/mm²

$E_s$   N/mm²

$E_s/E_c$

$\epsilon_{syd}$   ‰

$\sigma_{s,adm}$   N/mm²

**C35/45**

$\epsilon_{c2}$   ‰

$\epsilon_{cu}$   ‰

$f_{cd}$   N/mm²

$f_{cc}/f_{cd}$   ?

$\sigma_{c,adm}$   N/mm²

$\tau_{co}$   N/mm²

$\tau_{c1}$   N/mm²

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm²

$\sigma_s$   N/mm²

$\epsilon_c$   ‰

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d   $\delta$

**Metodo di calcolo**

☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-

☐ Metodo n

**Tipo flessione**

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

**Calcola MRd** **Dominio M-N**

L<sub>0</sub>  cm **Col. modello**

☐ Precompresso

$IR = (-83,9) / (-51,5) = 1,65 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**



**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.3.3. Verifica a taglio sulla mensola in c.a. retrostante la banchina est**

Si effettua la verifica a taglio sulla sezione a mensola in c.a. retrostante la banchina est. La sezione è tratta come elemento con armatura trasversale armata a taglio e quindi soggetta alle verifiche descritte nel paragrafo 4.1.2.3.5.2 delle NTC2018.

Geometria della sezione trasversale

Base = 100 cm

Altezza = 30 cm

Armatura trasversale

(1+1) Ø14 con passo 150 mm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$        $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Per il calcolo della resistenza a taglio dell'armatura

Si assume  $\alpha = 90^\circ$  perché si hanno solo staffe come armatura trasversale

Si assume  $\cotg(\theta) = 1$  assunto in favore di sicurezza

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cotg \alpha + \cotg \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot 250 \cdot \frac{308}{150} \cdot 391,3 \cdot (0 + 1) \cdot 1 = 180,78 \text{ kN}$$

Per il calcolo della resistenza a taglio della sezione in calcestruzzo

Si assume  $\alpha = 90^\circ$  perché si hanno solo staffe come armatura trasversale

Si assume  $\cotg(\theta) = 2,5$  assunto in favore di sicurezza

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot 250 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 19,83 \cdot \frac{2,5}{1 + 2,5^2} = 769,3 \text{ kN}$$

Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova

Progetto definitivo

Relazione di calcolo

---

$$V_{Rd} = \min(V_{R,cd}; V_{R,sd}) = (180,78; 769,3) = 180,78 \text{ kN}$$

Verifica:

$V_{Rd} / V_{Ed} > 1$

$IR = 180,78 / 147,15 = 1,23 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**



**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

---

la lunghezza dello sbalzo è pari ad  $l = 60\text{cm}$ . Lo spessore della sezione in c.a. è pari  $30\text{ cm}$ .  
Il massimo momento flettente agente sulla sezione è pari a:

$$M_{Ed} = -(q \cdot l^2) / 2 = (5 \cdot 0,6^2) / 2 = -0,9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Geometria della sezione trasversale

Base =  $100\text{ cm}$

Altezza =  $30\text{ cm}$

Armatura longitudinale

Armatura inferiore  $\varnothing 14$  con passo  $200\text{ mm}$

Armatura superiore  $\varnothing 12$  con passo  $200\text{ mm}$

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45

$R_{ck} = 45\text{ MPa}$

$f_{ck} = 35\text{ MPa}$

Acciaio B450 C

$f_{yk} = 450\text{ MPa}$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Verifica:

**Titolo :** Sbalzo in c.a.

**N° strati barre** 2 **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 30     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 5.65     | 6      |
| 2  | 7.70     | 24     |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.** **Metodo n**  
**N<sub>Ed</sub>** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>** 0 **0**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U. + ☒ S.L.U. - ☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**  
**B450C** **C35/45**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  409.1 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  2.046 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

**M<sub>xRd</sub>** -66.63 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  409.1 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  21.22 ‰  
 d 24 cm  
 x 3.398 x/d 0.1416  
 $\delta$  0.7

**N° rett.** 100  
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>** 0 cm **Col. modello**  
☐ Precompresso

$IR = (-66,6) / (-0,9) = 74 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.4.2. Verifica a flessione dovuta al tiro nominale della bitta**

Come per la banchina est è stato considerato un tiro nominale agente sulla bitta di ormeggio pari a 10 ton applicato ad un'altezza di 115 mm rispetto al vincolo.

Il tiro agente sulla bitta è pari a:

$$T_{ed} = \left( 10 \text{ ton} * 9,81 \frac{m}{s^2} \right) * 1,5 = 147,15 \text{ kN}$$

Il massimo momento flettente agente sulla sezione in c.a. risulta pari a:

$$M_{Ed} = T_{ed} * h_s = 147,15 * 0,115 = 16,9 \text{ kN*m}$$

Geometria della sezione trasversale

Base = 100 cm

Altezza = 30 cm

Armatura longitudinale

Armatura inferiore Ø14 con passo 200 mm

Armatura superiore Ø12 con passo 200 mm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45

$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Verifica



**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**Titolo :** Sbalzo in c.a.

**N° strati barre** 2 **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 30     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 5.65     | 6      |
| 2  | 7.70     | 24     |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. -  
☒ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**  
**B450C** **C35/45**  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 409.1 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200,000 N/mm² f<sub>cd</sub> 19.83 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
 ε<sub>syd</sub> 2.046 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 13.5 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.8  
 τ<sub>c1</sub> 2.257

**M** xRd 81.73 kN m  
 σ<sub>c</sub> -19.83 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 409.1 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 21.22 ‰  
 d 24 cm  
 x 3.398 x/d 0.1416  
 δ 0.7

**N° rett.** 100  
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 L<sub>0</sub> 0 cm **Col. modello**  
☐ Precompresso

IR = 81,7 / 16,9 = 4,83 > 1 **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di allaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.4.3. Verifica a taglio dovuto al carico da folla compatta**

Si procede alla verifica a taglio dovuto alla presenza del carico uniformemente distribuito rappresentante una folla compatta di persone disposte lungo tutto lo sbalzo della banchina.

Agendo in favore di sicurezza la sezione in c.a. verrà trattata come un elemento privo di armature trasversali resistenti a taglio e quindi soggetta alla verifiche descritte nel paragrafo 4.1.2.3.5.1 delle NTC2018 di cui si riporta la formula.

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

$f_{ck}$  espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{bd} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{bd}$  è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

Il massimo taglio agente sulla sezione in c.a. è pari a:

$$V_{Ed} = q \cdot l = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ KN}$$

$$d = 240 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{0,5} = 1 + \left( \frac{200}{240} \right)^{0,5} = 1,9$$

$$\rho_1 = \left( \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \right) = \left( \frac{5,65}{100 \cdot 24} \right) = 0,0024$$

$$V_{Rd} = \left[ \frac{0,18 \cdot 1,9}{1,5} (100 \cdot 0,0024 \cdot 35)^{1/3} \right] \cdot 1000 \cdot 240 = 111,2 \text{ kN}$$

$$IR = 111,2 / 3 = 37 > 1 \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**5.4.4. Verifica a taglio dovuta al tiro nominale agente sulla bitta**

Si procede alla verifica a taglio dovuto alla forza di tiro nominale alla quale sono soggette le bitte. La sezione viene trattata come elemento con armature trasversali resistenti a taglio.

Il tiro agente sulla bitta è pari a:

$$T_{ed} = \left( 10 \text{ ton} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * 1,5 = 147,15 \text{ kN}$$

Geometria della sezione trasversale

Base = 30 cm

Altezza = 60 cm

Armatura trasversale

Armatura inferiore  $\varnothing 14$  con passo 200 mm

Armatura superiore  $\varnothing 12$  con passo 200 mm

Armatura longitudinale

(1+1)  $\varnothing 14$  con passo 200 mm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$        $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Per il calcolo del taglio resistente delle armature:

Si assume  $\alpha = 90^\circ$  perché si hanno solo staffe come armatura trasversale

Si assume  $\cotg(\theta) = 1$  assunto in favore di sicurezza

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cotg \alpha + \cotg \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

$$V_{Rsd} = 0,9 * 540 * \frac{267}{200} * 391,3 * (0 + 1) * 1 = 253,9 \text{ kN}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Per il calcolo del taglio resistente della sezione in calcestruzzo

Si assume  $\alpha = 90^\circ$  perché si hanno solo staffe come armatura trasversale

Si assume  $\cotg(\theta) = 2,5$ , in favore di sicurezza

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot 540 \cdot 300 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 19,83 \cdot \frac{2,5}{1 + 2,5^2} = 498,5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}; V_{Rsd}) = (253,9; 498,5) = 253,9 \text{ kN}$$

Verifica:

$$V_{Rd} / V_{Ed} > 1$$

$$I.R. = 253,9 / 147,15 = 1,73 > 1 \quad \textbf{VERIFICA SODDISFATTA}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

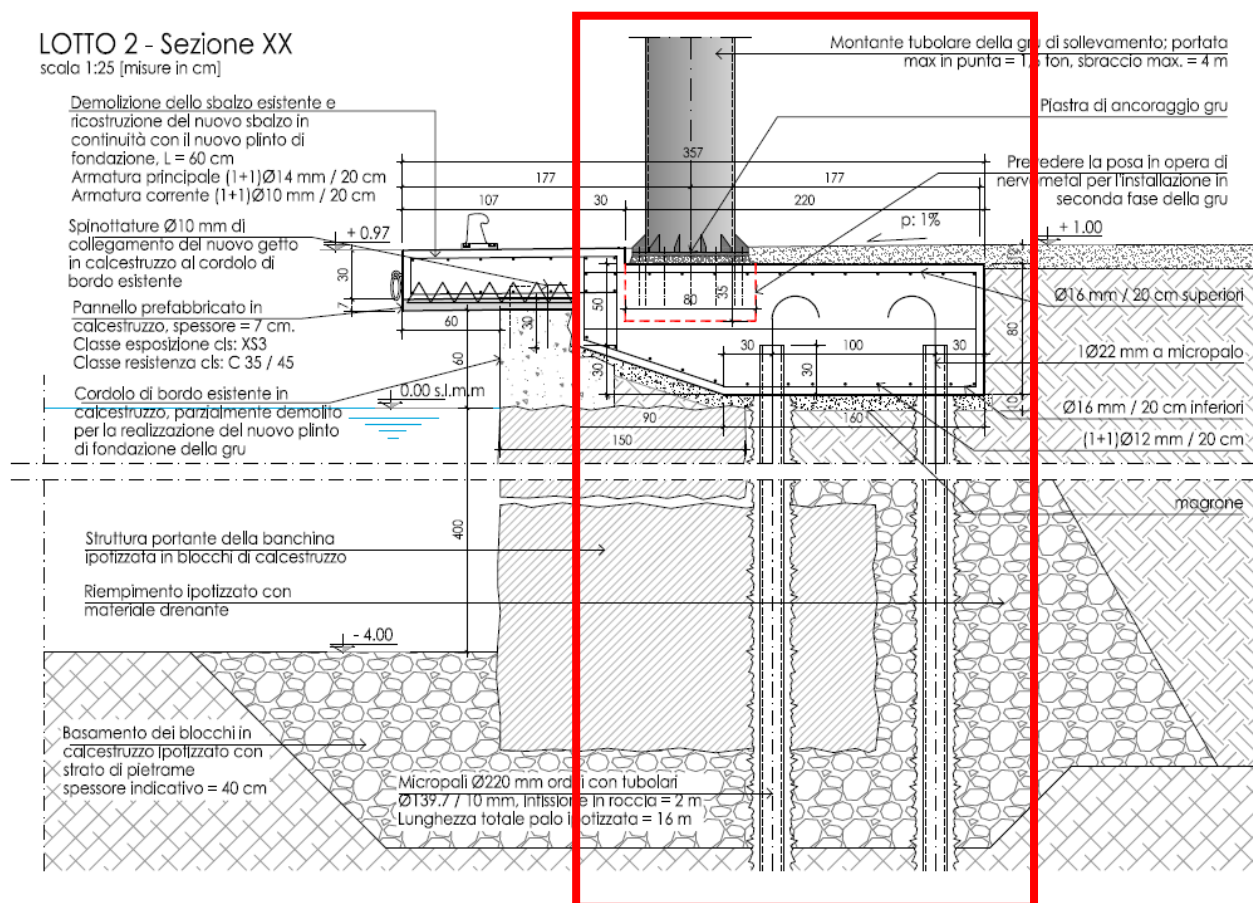
**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

## 6. Analisi e verifica intervento 3 – Realizzazione nuova gru

Nel progetto generale inerente le opere di realizzazione del nuovo Waterfront di Genova è presente anche la messa in opera di una nuova gru.

La gru verrà installata di tipologia AS con un fusto tubolare, un massimo braccio di apertura pari a 4 m e massima capacità di sollevamento in punta pari a 1600 kg. Alla base della gru verrà realizzato un plinto di fondazione in cemento armato con n. 4 micropali di diametro 220 mm. La posizione del fusto della gru risulta eccentrica rispetto alla disposizione dei n. 4 micropali di fondazione come si può vedere dall'immagine sottostante presa da uno stralcio della tavola del progetto definitivo n. 006.



**Figura 9 – Disassamento dell'asse baricentrico del fusto della gru rispetto al baricentro dei micropali di fondazione**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

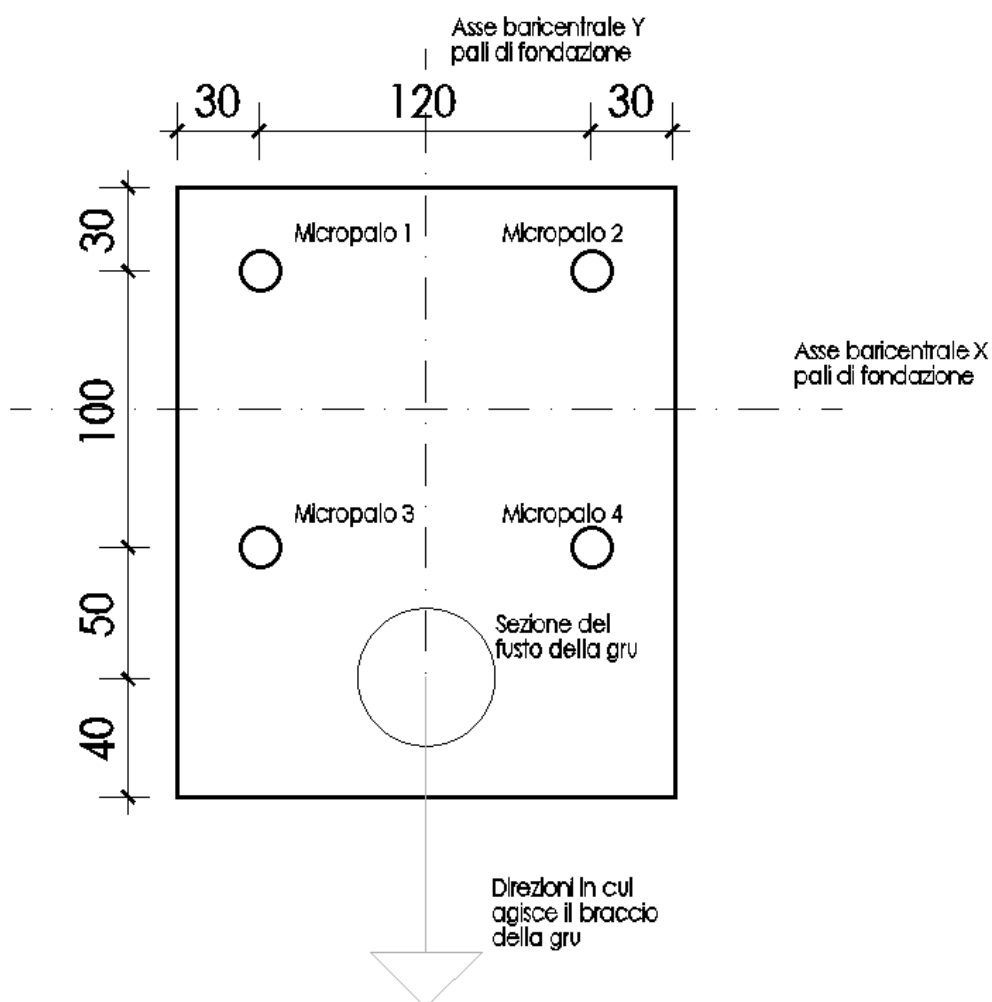
**Relazione di calcolo**

**6.1. Casi di carico del braccio della gru**

Sono state individuate due condizioni limite che generano i massimi sforzi di trazione e/o compressione sui micropali di fondazione:

Caso 1: il braccio della gru agisce lungo l'asse baricentrale Y del sistema di micropali fondazione (figura 10)

Caso 2: il braccio della gru agisce ortogonalmente all'asse baricentrale Y del sistema di micropali di fondazione (figura 11)

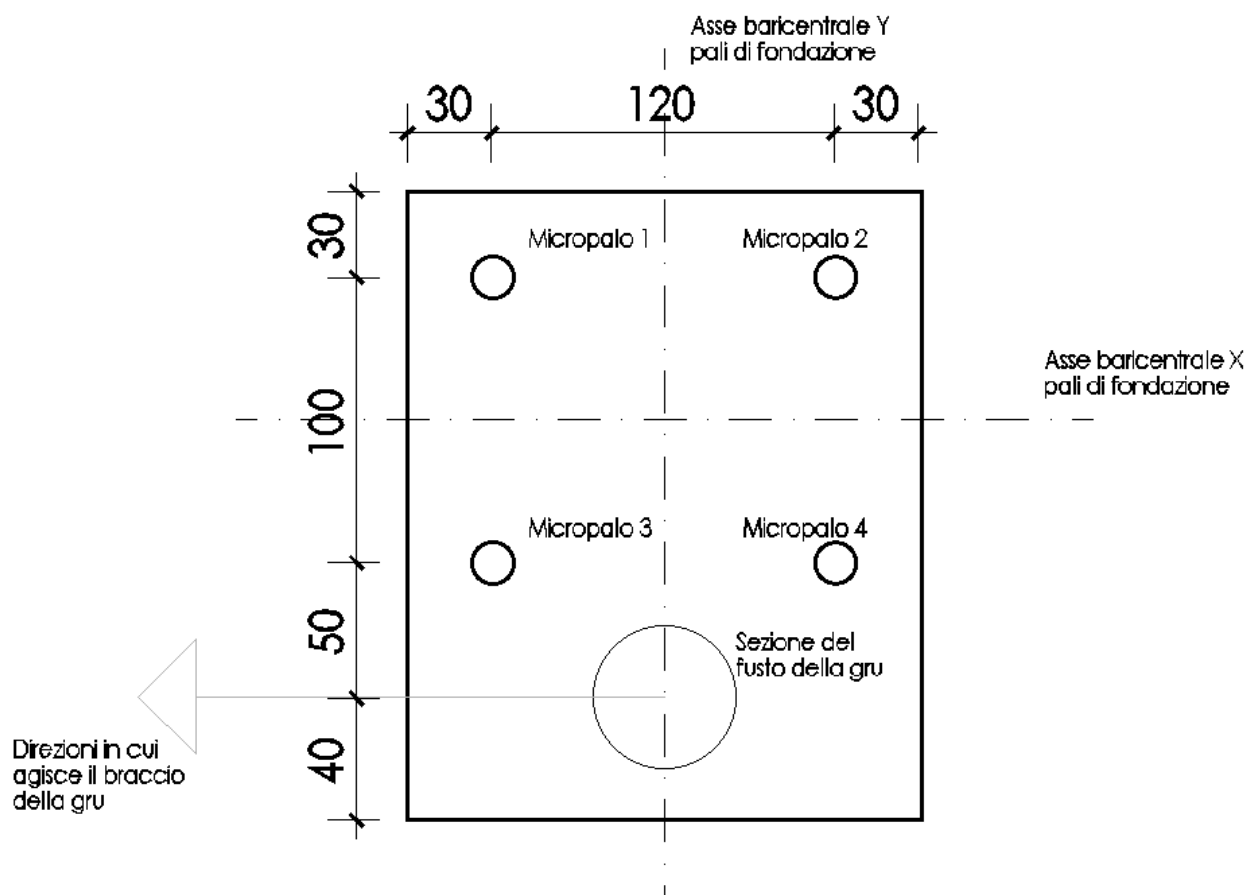


**Figura 10 - Immagine esplicativa caso di carico 1**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**



**Figura 11 - Immagine esplicativa caso di carico 2**

Il massimo carico verticale agente sulla gru è pari a:

$$P = 1600 \text{ kg} * 1,5 = 2400 \text{ kg}$$

Attraverso il software Ftool sono stati modellati i due casi di carico sopra citati e sono state calcolate le reazioni vincolari ovvero le azioni assiali massime agenti sui micropali di fondazione.

Caso 1

Signorelli – Evaso – Moncalvo Ingegneri Associati

pagina 39

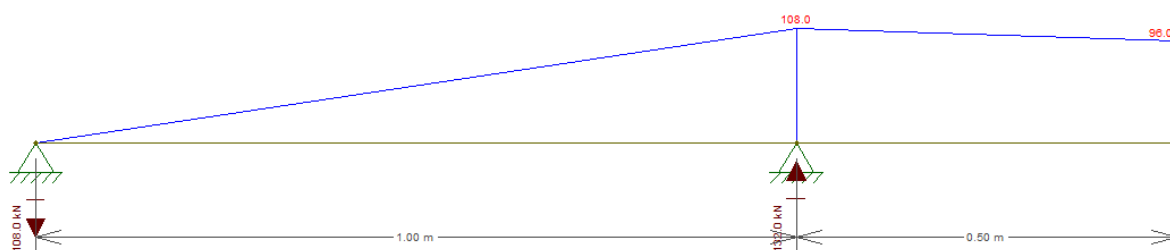
**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

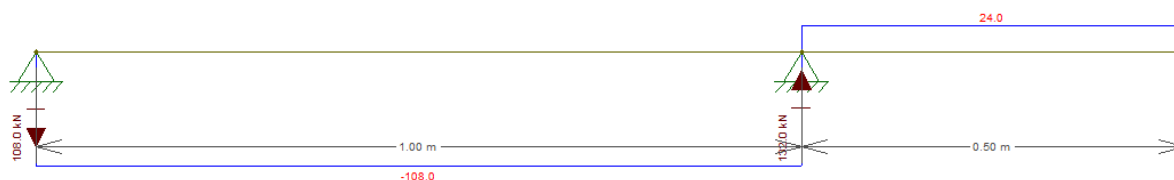
**Relazione di calcolo**



**Figura 12 - Schema statico sistema gru + micropali di fondazione - CASO 1**



**Figura 13 - Momento flettente - CASO 1**



**Figura 14 - Sforzo di taglio - CASO 1**

Il caso di carico 1 produce sui micropali i seguenti sforzi assiali:

- Palo 3 e palo 4 = -132 kN (compressione) quindi  $132 / 2 = 66$  kN a palo
- Palo 1 e palo 2 = 108 kN (trazione) quindi  $108 / 2 = 54$  kN a palo

Il caso 2 è stato suddiviso a sua volta in due schemi:

- Caso 2A – azione dovuta al carico di punta sul braccio della gru
- Caso 2B – azione dovuta al momento flettente di trasporto del carico di punta sul braccio della gru

Si riportano di seguito gli schemi statici ed i diagrammi qualitativi di sollecitazione dovuti ai due suddetti casi di carico



Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova

Progetto definitivo

Relazione di calcolo



Figura 15 - Schema statico sistema gru + micropali di fondazione - CASO 2A

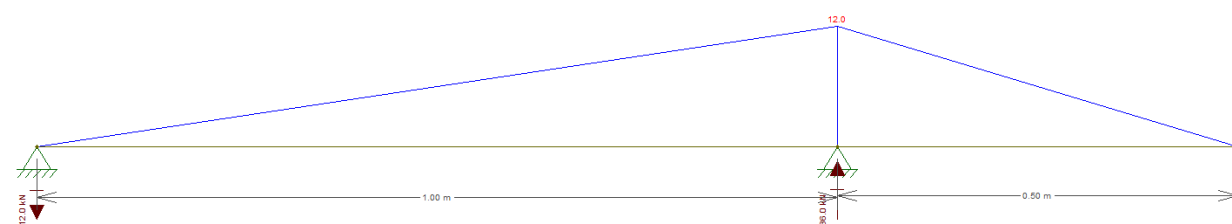


Figura 16 - Momento flettente - CASO 2A

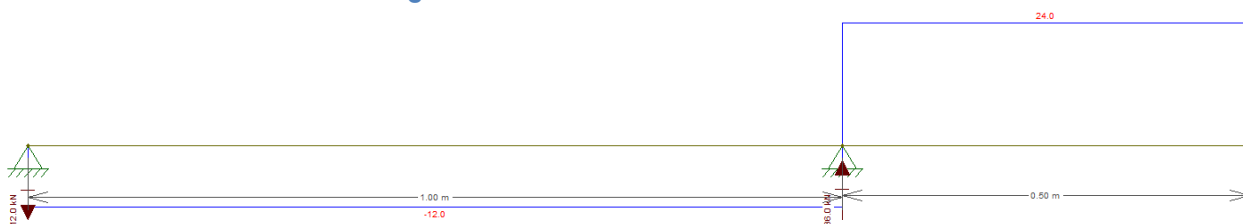


Figura 17 - Taglio sollecitante - CASO 2A

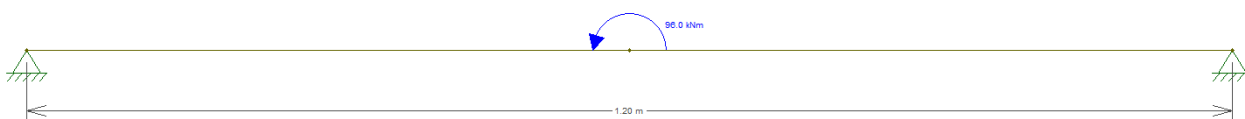


Figura 18 - Schema statico sistema gru + pali di fondazione - CASO 2B

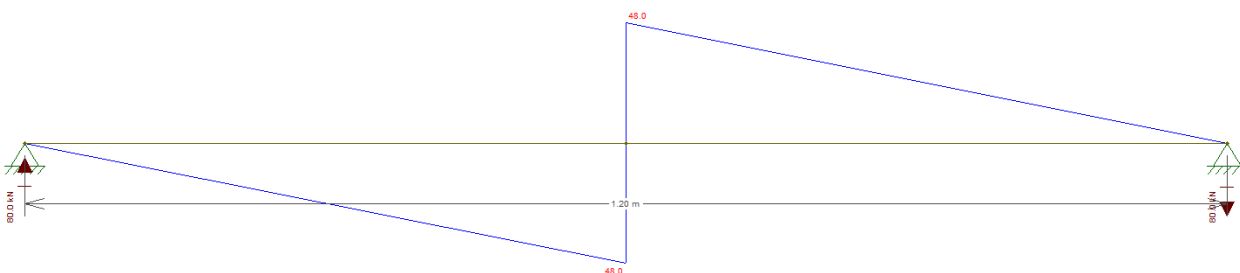
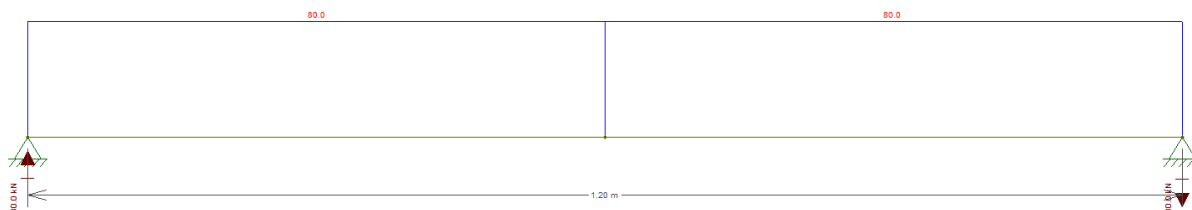


Figura 19 - Momento flettente - CASO 2B

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**



**Figura 20 Sforzo di taglio - CASO 2B**

Dalla somma algebrica delle reazioni vincolari del caso 2A e 2B risulta che i pali sono sollecitati assialmente con i seguenti valori:

- Palo 3 =  $-32 \text{ kN} - 80 \text{ kN} = -112 \text{ kN}$  (compressione)
- Palo 4 =  $-32 \text{ kN} + 80 \text{ kN} = +48 \text{ kN}$  (trazione)
- Palo 1 =  $+12 \text{ kN} - 80 \text{ kN} = -68 \text{ kN}$  (compressione)
- Palo 2 =  $+12 \text{ kN} + 80 \text{ kN} = 92 \text{ kN}$  (trazione)

Nel complesso il caso di carico 2 produce il massimo sforzo di compressione e trazione. Risultata che:

Sforzo massimo di compressione =  $N_{C \max} = 112 \text{ kN}$

Sforzo massimo di trazione =  $N_{T \max} = 92 \text{ kN}$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

## **6.2. Verifiche sui micropali**

Calcolate le massime azioni sollecitanti si procede ad effettuare le verifiche di resistenza del sistema di fondazione composto dai n. 4 micropali.

I micropali avranno una lunghezza totale di 16 m, un diametro  $\Phi = 220$  mm ordito con un profilo tubolare 139,7/10. La lunghezza di infissione nella roccia è pari a 2 m..

### **6.2.1. Verifica a trazione e compressione della matrice lapidea**

Si procede alla verifica a trazione e compressione della matrice lapidea dei micropali. La verifica consiste nel verifica che la tensione agente sulla superficie laterale del micropalo non superi il valore limite della tensione tangenziale della roccia in cui è infisso il micropalo

$$q_{u,min} = 5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{lim} = 6,656 * (q_{u,min})^{(0,5)} = 6,656 * (5000)^{(0,5)} = 470 \text{ kPa}$$

Si calcola la resistenza laterale in compressione:

$$T_{Rd,c} = \frac{\frac{\tau_{lim}}{\xi_4}}{\gamma_{R3}} = \frac{\frac{470}{1,7}}{1,15} = 240 \text{ kPa}$$

Si calcola la resistenza laterale in trazione:

$$T_{Rd,t} = \frac{\frac{\tau_{lim}}{\xi_4}}{\gamma_{R3}} = \frac{\frac{470}{1,7}}{1,125} = 221 \text{ kPa}$$

Si calcola la resistenza in compressione a metro lineare:

$$q_{lim,c} = \pi * \Phi * T_{Rd,c} = \pi * 220 * 240 = 165,9 \text{ kPa/m}$$

Si calcola la resistenza in trazione a metro lineare:

$$q_{lim,t} = \pi * \Phi * T_{Rd,t} = \pi * 220 * 221 = 152,7 \text{ kPa/m}$$

Considerando che la lunghezza di infissione su roccia è pari a 2metri si calcola la resistenza a compressione e trazione del micropalo.

Resistenza a compressione:

$$N_{Rd,c} = q_{lim,c} * l_{infissione} = 165,9 * 2 = 332 \text{ kN}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

---

Resistenza a trazione:

$$N_{Rd,c} = q_{lim,t} * l_{infissione} = 152,7 * 2 = 305 \text{ kN}$$

Verifica:

Sforzo massimo di compressione =  $N_{C \max} = 112 \text{ kN}$

Sforzo massimo di trazione =  $N_{T \max} = 92 \text{ kN}$

$$N_{Rd,c} / N_{Ed,c} > 1$$

$$IR = 112 / 332 = 0,34 < 1 \text{ **VERIFICA SODDISFATTA**}$$

$$N_{Rd,t} / N_{Ed,t} > 1$$

$$IR = 92 / 305 = 0,30 < 1 \text{ **VERIFICA SODDISFATTA**}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**6.2.2. Verifica a sforzo assiale del tubolare**

Effettuata la verifica della matrice lapidea del micropalo si procede a verificare l'armatura interna dello stesso rispetto allo sforzo assiale.

L'armatura interna del micropalo è costituita da un profilo tubolare in acciaio tipo S355 avente diametro  $\Phi = 139,7$  mm e spessore  $s = 10$  mm.

La resistenza assiale risulta pari a:

$$N_{Rd} = \frac{\Phi * s * f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{139,7 * 10 * \pi * 355}{1,05} = 1484 \text{ kN}$$

Sforzo massimo di compressione =  $N_{C \max} = 112$  kN

Sforzo massimo di trazione =  $N_{T \max} = 92$  kN

Verifica:

$N_{Rd} / N_{Ed} > 1$

$IR = 1484 / 112 = 13,25 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**6.2.3. Verifica a trazione sulla barra di armatura di collegamento del  
plinto**

In sommità ai micropali è inserita una barra di armatura di collegamento di quest'ultimi alla sezione del plinto. Si procede a verificare che la sezione di tale barra non superi la propria resistenza a trazione .

La barra presenta un diametro  $d = 22$  mm ed è realizzata con l'acciaio B450C avente tensione caratteristica di snervamento pari a  $f_{yk} = 450$  Mpa.

Sforzo massimo di trazione =  $N_{T\max} = 92$  kN

$$N_{Rd} = \frac{A * f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{22^2 * \pi}{4} * \frac{450}{1,15}}{1,05} = 141,6 \text{ kN}$$

Verifica

$N_{Rd} / N_{T\max} > 1$

$IR = 141,6 / 92 = 1,54 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

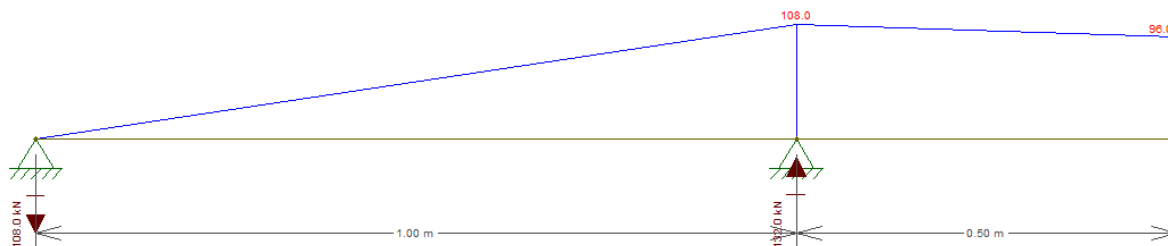
### **6.3. Verifiche del plinto di fondazione in c.a.**

Si procede ad effettuare le verifiche di resistenza per il plinto di fondazione in calcestruzzo armato della gru.

#### **6.3.1. Verifica a flessione del plinto**

Il massimo sforzo flettente sul plinto si genera quando il braccio della gru agisce in direzione perpendicolare alla banchina ovvero nel caso di carico 1 descritto precedentemente nel paragrafo 8.1.

Di seguito si riporta lo schema del momento flettente agente nello schema di carico 1



**Figura 21 - Momento flettente - CASO 1**

Il massimo momento flettente risulta quindi

$$M_{ed} = -108 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

#### Geometria della sezione trasversale

Base = 180 cm

Altezza = 80 cm

#### Armatura longitudinale

(1+1)  $\varnothing 16$  con passo 200 mm

#### Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45

$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Signorelli – Evaso – Moncalvo Ingegneri Associati

pagina 47

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Verifica

**Titolo :** Plinto fondazione gru

**N° strati barre** 2 **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 180    | 80     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 20.11    | 6      |
| 2  | 20.11    | 74     |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.** **Metodo n**  
**N** Ed 0 0 kN  
**M** xEd 0 0 kNm  
**M** yEd 0 0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C35/45**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  409.1 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  2.046 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

**M** xRd -613 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  409.1 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  54.33 ‰  
 $d$  74 cm  
 $x$  4.478  $x/d$  0.06052  
 $\delta$  0.7

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**N° rett.** 100  
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 $L_0$  0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso

$$IR = (-613) / (-108) = 5,55 > 1 \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$



**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

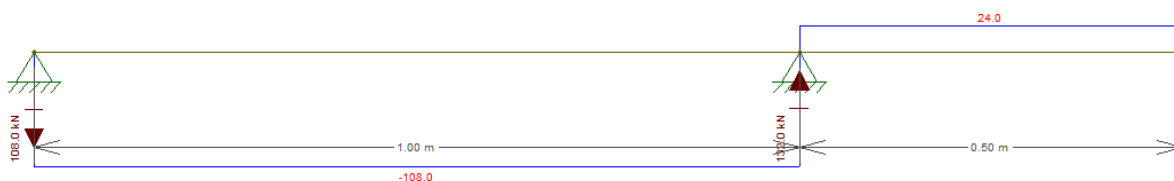
**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

### **6.3.1. Verifica a taglio del plinto**

Il massimo sforzo tagliante sul plinto si genera quando il braccio della gru agisce in direzione perpendicolare alla banchina ovvero nel caso di carico 1 descritto precedentemente nel paragrafo 8.1.

Di seguito si riporta lo schema del taglio sollecitante agente nello schema di carico 1



**Figura 22 - Sforzo di taglio - CASO 1**

Il massimo sforzo di taglio risulta pari a:

$$V_{Ed} = 108 \text{ kN}$$

La sezione del plinto viene verificata come elemento senza armature trasversali resistenti a taglio.

#### Geometria della sezione trasversale

Base = 180 cm

Altezza = 80 cm

#### Armatura longitudinale

(1+1)  $\varnothing 16$  con passo 200 mm

#### Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45

$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

#### Verifica

Il taglio resistente è descritto dalla formula 4.1.2.3.5.1 delle NTC2018 e di seguito riportata

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

Dove:

$$k = 1 + \left( \frac{200}{d} \right)^{0.5} = 1 + \left( \frac{200}{740} \right)^{0.5} = 1,5$$

$$\rho_1 = \left( \frac{A_{sl}}{b_w * d} \right) = 0,0015$$

$b_w = 1800 \text{ mm}$

$d = 740 \text{ mm}$

$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

$$V_{Rd} = \left[ \frac{0,18 * 1,5}{1,5} (100 * 0,0015 * 35)^{1/3} \right] * 1800 * 740 = 416,7 \text{ kN}$$

$IR = 416,7 / 108 = 3,85 > 1$  **VERIFICA SODDISFATTA**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**6.3.2. Verifica a torsione del plinto**

Quando il braccio della gru risulta orientato parallelo allo sviluppo della banchina (caso di carico 2) si ottiene un momento torcente agente sulla sezione del plinto dato dal carico massimo applicabile moltiplicato per la lunghezza del braccio della gru.

$$M_T = (P \cdot 1,5) \cdot L = (16 \cdot 1,5) \cdot 4 = 96 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Geometria della sezione trasversale

Base = 180 cm

Altezza = 80 cm

Armatura longitudinale

(1+1) Ø16 con passo 200 mm

Armatura trasversale

Staffe Ø12 con passo 200 mm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45 \text{ MPa}$        $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

Il momento torcente resistente è dato dall'espressione contenuta nel paragrafo 4.1.2.3.6 delle NTC 2018 e di seguito riportata:

$$T_{Rd} = \min(T_{R,cd}; T_{R,sd}; T_{R,ld})$$

Si procede al calcolo dei singoli contributi del momento torcente resistente

**Contributo della sezione in calcestruzzo**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \operatorname{ctg} \theta / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.35]$$

dove  $t$  è lo spessore della sezione cava; per sezioni piene  $t = A_c/u$  dove  $A_c$  è l'area della sezione ed  $u$  è il suo perimetro;  $t$  deve essere assunta comunque  $\geq 2$  volte la distanza fra il bordo e il centro dell'armatura longitudinale.

Le armature longitudinali e trasversali del traliccio resistente devono essere poste entro lo spessore  $t$  del profilo periferico. Le barre longitudinali possono essere distribuite lungo detto profilo, ma comunque una barra deve essere presente su tutti i suoi spigoli.

$A$  = area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico =  $[65 - (12 \cdot 2)] \cdot [180 - (12 \cdot 2)] = 6396 \text{ cm}^2$

$t = A_c / u = (180 \cdot 65) / [2 \cdot (180 + 65)] = 24 \text{ cm}$

$f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd} / \gamma_c = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 35 / 1,5 = 9,91 \text{ MPa}$

Si assume in favore di sicurezza  $\operatorname{ctg}(\theta) = 2,5$

Il momento torcente resistente dovuto alla sezione in calcestruzzo risulta pari a:

$$T_{Rcd} = 2 \cdot 639600 \cdot 240 \cdot 9,91 \cdot 2,5 / (1 + 2,5) = 1049 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Contributo dato dalle staffe**

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot \operatorname{ctg} \theta \quad [4.1.36]$$

$A_s$  = area staffe =  $2 \cdot [12^2 \cdot \pi / 4] = 226 \text{ mm}^2$

$s$  = passo delle staffe = 200 mm

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1,15 = 391 \text{ MPa}$

Il momento torcente resistente dato dalle staffe risulta pari a

$$T_{Rsd} = 2 \cdot 639600 \cdot (226 / 200) \cdot 391 \cdot 1 = 565,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Contributo dato dalle armature longitudinali**

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

$$T_{Rld} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_1}{u_m} \cdot f_{yd} / \cotg\theta \quad [4.1.37]$$

dove si è posto

A      area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

A<sub>s</sub>    area delle staffe;

u<sub>m</sub>    perimetro medio del nucleo resistente

s      passo delle staffe;

$\sum A_1$  area complessiva delle barre longitudinali.

U<sub>m</sub> è il perimetro medio della sezione resistente e risulta pari a

$$U_m = [65 - (12 \cdot 2)] \cdot 2 + [180 - (12 \cdot 2)] \cdot 2 = 394 \text{ cm}$$

Le armature longitudinali presenti nella sezione hanno un diametro  $\varnothing 16$  con passo 20 cm. Essendo la sezione di larghezza pari a 180 cm si potranno inserire complessivamente n. 10  $\varnothing 16$  superiormente e n.10  $\varnothing 16$  inferiormente.

L'area complessiva delle barre longitudinali risulta quindi pari a:

$$\sum A_1 = 20 \cdot (16^2 \cdot \pi / 4) = 40,2 \text{ cm}^2$$

Si assume in favore di sicurezza  $\cotg(\theta) = 2,5$

Il momento torcente resistente dato dalle armature longitudinali risulta pari a:

$$T_{Rld} = 2 \cdot 639600 \cdot (4020 / 3940) \cdot 391 / 2,5 = 204 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Il momento torcente resistente risulta pari a

$$T_{Rd} = \min(T_{R,cd}; T_{Rsd}; T_{Rld}) = \min(1049; 565,6; 204) = 204 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Verifica

$$T_{Rd} / M_T > 1$$

$$IR = 204 / 96 = 2,12 > 1 \quad \textbf{VERIFICA SODDISFATTA}$$

**Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova**

**Progetto definitivo**

**Relazione di calcolo**

**6.3.3. Verifica a punzonamento del plinto**

Lo sforzo di compressione assiale agente sui micropali di fondazione genera un'azione di punzonamento sul plinto in calcestruzzo armato.

Si procede alla verifica a punzonamento del plinto di fondazione.

Lo sforzo massimo di compressione risulta pari a  $N_{C\ max} = 112\text{ kN}$

Geometria della sezione trasversale

Base = 180 cm

Altezza = 80 cm

Materiali

Calcestruzzo Classe C35/45       $R_{ck} = 45\text{ MPa}$        $f_{ck} = 35\text{ MPa}$

Acciaio B450 C       $f_{yk} = 450\text{ MPa}$

La tensione tangenziale agente sul calcestruzzo data dallo sforzo di compressione massimo risulta pari a

$$\tau = \frac{N_{C,max}}{d * \rho}$$

Dove:

- $d$  = altezza utile della sezione =  $80 - 6 = 74\text{ cm}$
- $\rho$  = perimetro di verifica di base =  $30 + 30 + 58 = 118\text{ cm}$

Nell'immagine 23 è riportato un semplice schema illustrativo dove si identifica il perimetro di verifica di base del singolo micropalo.

Lavori di ricostruzione del nuovo scivolo di alaggio e risistemazione della banchina di  
levante dell'imbocco canale – Nuovo Waterfront di Levante  
Area Ex Fiera del Mare Genova

Progetto definitivo

Relazione di calcolo

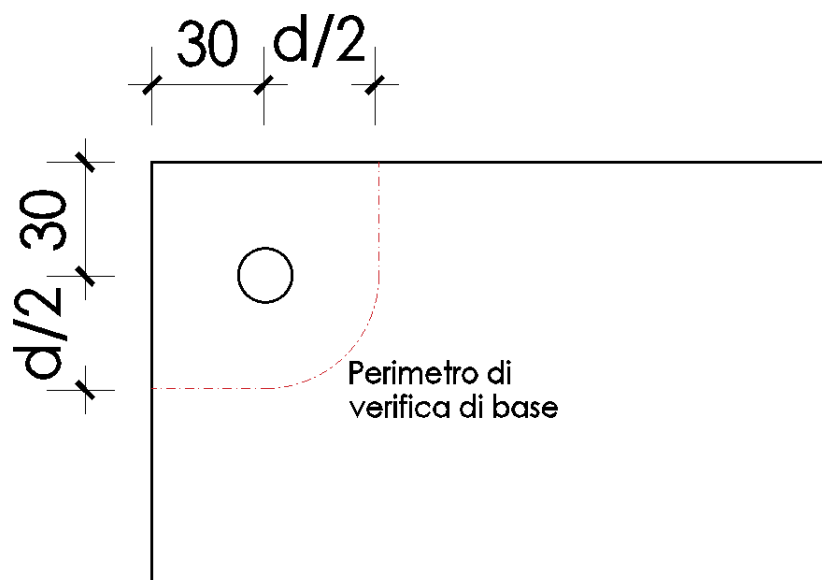


Figura 23 - identificazione del perimetro di verifica di base per la verifica a punzonamento

La tensione tangenziale agente sul calcestruzzo risulta pari a

$$\tau = \frac{N_{c,max}}{d * \rho} = \frac{112000}{740 * 1180} = 0,128 \text{ MPa}$$

Si calcola adesso la resistenza media a trazione del calcestruzzo

$$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 * 35^{2/3} = 3,21 \text{ MPa}$$

Si procede al calcolo della resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo

$$f_{ctk} = 0,7 * f_{ctm} = 0,3 * 3,21 = 2,25 \text{ MPa}$$

Si calcola infine la resistenza di progetto trazione del calcestruzzo

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{2,25}{1,5} = 1,5 \text{ MPa}$$

#### Verifica

$$f_{ctd} / \tau > 1$$

$$IR = 1,5 / 0,128 = 11,7 > 1 \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$$