

Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile  
**Servizio Area Reno e Po di Volano**  
**Sede di Ferrara**

**ACCORDO DI PROGRAMMA PER INTERVENTI URGENTI E PRIORITARI  
PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO**

(art. 2, comma 240, della Legge 23 dicembre 2009, n. 191)

Provincia di Ferrara

Comune di Ferrara

**Cod. 2ER1091 - Interventi urgenti di adeguamento e sistemazione del complesso di Valpagliaro per la regolazione dei deflussi del sistema idraulico del Po di Volano in comune di Ferrara (FE).**  
**CUP: E64H17000100001**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Codice RENDIS: 08IR244/G1

Importo €. 1.000.000,00

**CALCOLI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI**

**DOC. N.  
5.02**

- Relazione di calcolo Gargami - Panconi
- Relazione dei materiali



*Ferrara, .....*

**Il Responsabile del Procedimento:**  
*Dott. Claudio Miccoli*

**Progettisti:**

*Ing. Alessandro Buzzoni*

**Collaboratori:**

*Ing. Riccardo Battaglia*

*Geom. Giovanni Babbi*

*Geom. Giorgio Bettini*



# RELAZIONE DI CALCOLO GARGAMI PANCONI

## SOMMARIO

<b>1. DOCUMENTI DI SINTESI.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>1.1. SINTESI DEL PERCORSO PROGETTUALE.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>1.2. CONDIZIONI D'USO E LIVELLI DI SICUREZZA DELLA COSTRUZIONE.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>1.3. PREMESSA.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1.4. ANALISI STORICO-CRITICA ED ESITO DEL RILIEVO GEOMETRICO-STRUTTURALE .....</b>	<b>- 3 -</b>
<i>1.4.1. Analisi storico-critica .....</i>	<i>- 3 -</i>
<i>1.4.2. Esito del rilievo geometrico-strutturale .....</i>	<i>- 3 -</i>
<b>1.5. DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE, ANALISI E VERIFICA.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1.6. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO ADOTTATO .....</b>	<b>- 3 -</b>
<i>1.6.1. Norme di riferimento cogenti .....</i>	<i>- 3 -</i>
<i>1.6.2. Altre norme e documenti tecnici integrativi.....</i>	<i>- 3 -</i>
<b>1.7. LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>1.8. AZIONI DI PROGETTO SULLA COSTRUZIONE.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>1.9. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2. DIMENSIONAMENTO PANCONI .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2.1. MODELLO/I NUMERICO/I.....</b>	<b>- 5 -</b>
<i>2.1.1. Metodologia di modellazione ed analisi .....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>2.1.1. Modellazione dei vincoli interni ed esterni .....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>2.1.5. Modellazione delle azioni .....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>2.1.6. Combinazioni e/o percorsi di carico.....</i>	<i>- 5 -</i>
<b>2.2. PRINCIPALI RISULTATI.....</b>	<b>- 6 -</b>
<i>2.2.1. Risultati dell'analisi statica .....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>2.2.2. Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico .....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>2.2.3. Inviluppo delle sollecitazioni maggiormente significative .....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>2.2.4. Reazioni vincolari .....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>2.2.5. Altri risultati significativi.....</i>	<i>- 7 -</i>
<b>2.3. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....</b>	<b>- 7 -</b>
<i>2.3.1. Verifiche allo SLU - panconi .....</i>	<i>- 7 -</i>
<b>2.4. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>3. DIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO DEI PANCONI.....</b>	<b>- 11 -</b>
<b>3.1. MODELLO/I NUMERICO/I.....</b>	<b>- 11 -</b>
<i>3.1.1. Metodologia di modellazione ed analisi .....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>3.1.2. Informazioni sul codice di calcolo .....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>3.1.3. Modellazione della geometria.....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>3.1.4. Modellazione dei vincoli interni ed esterni.....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>3.1.5. Modellazione delle azioni .....</i>	<i>- 12 -</i>
<i>3.1.6. Combinazioni e/o percorsi di carico.....</i>	<i>- 12 -</i>
<b>3.2. PRINCIPALI RISULTATI.....</b>	<b>- 13 -</b>
<i>3.2.1. Risultati dell'analisi statica .....</i>	<i>- 13 -</i>
<i>3.2.2. Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico .....</i>	<i>- 14 -</i>
<i>3.2.3. Inviluppo delle sollecitazioni maggiormente significative .....</i>	<i>- 15 -</i>
<i>3.2.4. Reazioni vincolari .....</i>	<i>- 15 -</i>

---

3.2.5. Altri risultati significativi.....	- 15 -
3.3. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	- 16 -
3.3.1. Verifiche allo SLU - solette in c.a. ....	- 16 -
3.4. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	- 17 -
4. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI.....	- 20 -
4.1. VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE.....	- 20 -
4.2. VERIFICA DEI CEDIMENTI .....	- 20 -
4.3. VERIFICA STRUTTURALE DEI PALI.....	- 21 -

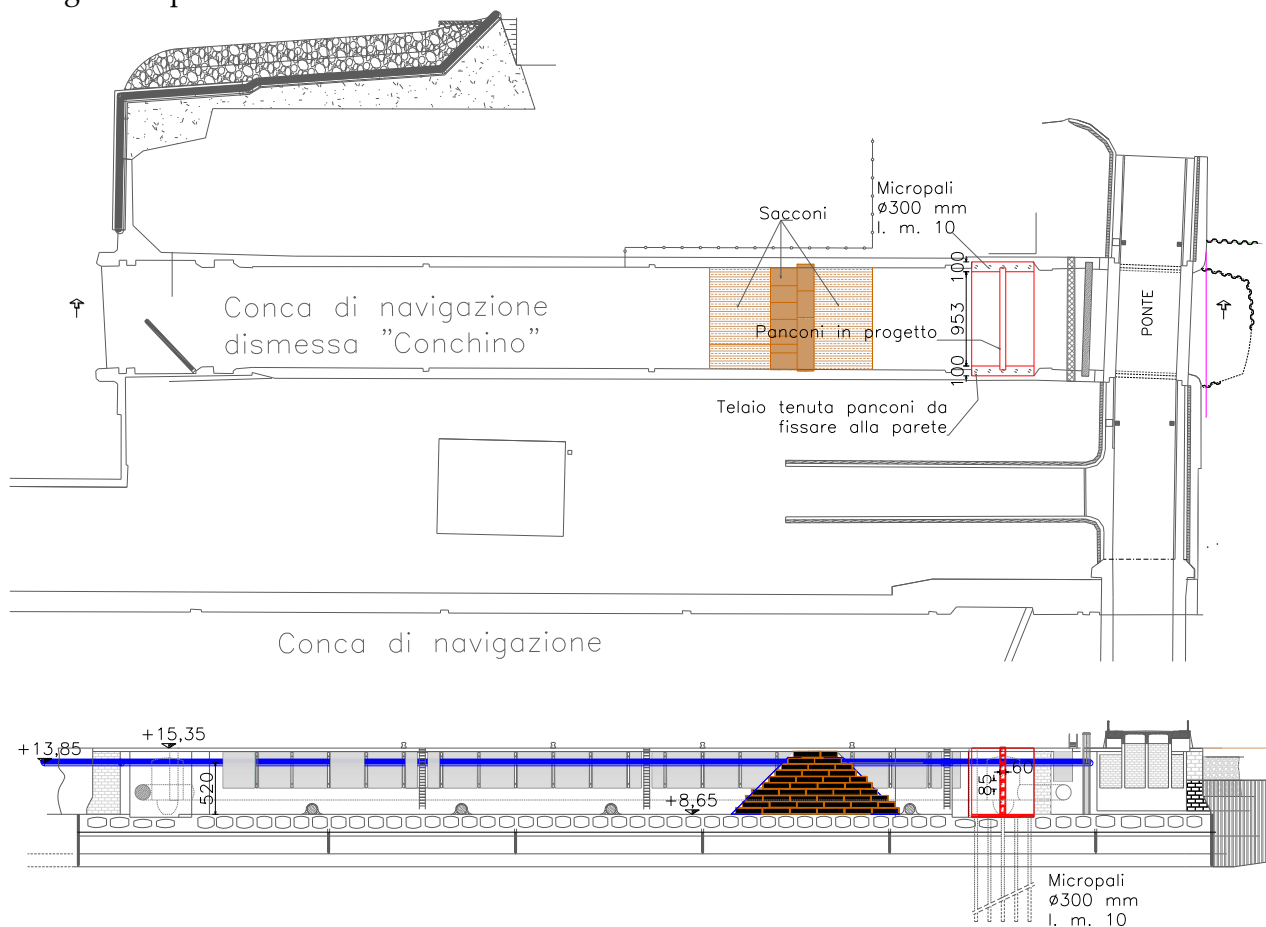
## 1. DOCUMENTI DI SINTESI

### 1.1. Sintesi del percorso progettuale

La presente relazione ha per oggetto il calcolo dei panconi di servizio in c.a. a servizio della vecchia conca di navigazione di Valpagliaro sul Po di Volano in Comune di Formignana, Provincia di Ferrara, località Valpagliaro. Le verifiche delle strutture sono condotte in base al D.M. 17/01/2018 e, ove non in contrasto, alla circolare n 617 dello 02/02/2009 ed in particolare secondo il metodo degli Stati Limite. I panconi sono opere provvisorie o temporanee (per la manutenzione) e quindi non soggetti all'azione sismica. Nel seguito vengono verificate le sole strutture dei panconi e dei relativi gargami con riferimento alle seguenti quote assolute e relative:

- Livello massimo regolato  $Q_{\max\_reg} = +13,85$  m. s.l.m.
- Quota bordo conca di rif.  $Q_{bordo\_conca} = +15,35$  m. s.l.m.
- Profondità conca  $\Delta H_{conca} = 6,70$  m.
- Quota fondo conca  $Q_{conca\_fondo} = +8,65$  m. s.l.m.

A seguire la planimetria e la sezione della conca in esame:



*Planimetria e sezione longitudinale*

Lo schema statico prevede panconi vincolati inferiormente alla sola traslazione verticale mentre e lateralmente vengono impedito le traslazioni orizzontali, il lato superiore è considerato libero. Seguono le analisi e le verifiche di ogni elemento strutturale costituente le sopraindicate opere.

### 1.2. Condizioni d'uso e livelli di sicurezza della costruzione

Le condizioni d'uso corrispondono a quelle di opera provvisoria ( $V_N < 2$  anni) e pertanto non si assumerà nessuna classe d'uso in quanto non è prevista l'azione sismica.

### **1.3. Premessa**

Scopo della seguente relazione di calcolo è dimensionare/verificare le membrature (elementi monodimensionali) di un pancone in c.a. con relative opere di gargamitura di servizio alla conca di navigazione dismessa sita in località Valpagliaro. Nello specifico si considereranno come criteri di progetto/verifica del manufatto le prescrizioni riportate nelle NTC 2018 e, ove non in contrasto con le nuove NTC, circ. 617/2009 utilizzando un approccio agli stati limite (SLU e SLE) per le verifiche.

### **1.4. Analisi storico-critica ed esito del rilievo geometrico-strutturale**

#### *1.4.1. Analisi storico-critica*

Omissis: si tratta di opera nuova.

#### *1.4.2. Esito del rilievo geometrico-strutturale*

Omissis: si tratta di opera nuova.

Sono note le dimensioni della conca già esistente.

### **1.5. Descrizione generale dell'opera e criteri generali di progettazione, analisi e verifica**

La paratoia è composta da 8 panconi di servizio realizzati in c.a.

Le dimensioni prospettiche del singolo pancone sono 1030 cm di lunghezza per 85 cm di altezza e 60 cm di spessore.

La presente relazione sarà relativa al solo pancone inferiore in quanto soggetto alla spinta idrostatica maggiore e al carico derivante dal peso dei 7 panconi superiori.

### **1.6. Quadro normativo di riferimento adottato**

#### *1.6.1. Norme di riferimento cogenti*

- Strutture in c.a. (panconi, gargami, pali): NTC 17/01/2018.

#### *1.6.2. Altre norme e documenti tecnici integrativi*

- Strutture in c.a. (panconi, gargami, pali): ove non in contrasto con le NTC 2018 circolare n. 617 dello 02/02/2009.

### **1.7. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza**

Omissis: si tratta di opera nuova.

### 1.8. Azioni di progetto sulla costruzione

<u>Azioni sul pancone:</u>		
peso proprio pancone	13.130	daN
peso proprio dei 7 panconi superiori	91.910	daN
spinta idrostatica a sul fondo conca	5.200	daN/m <sup>2</sup>
spinta idrostatica in testa al pancone	4.350	daN/m <sup>2</sup>
<hr/>		
Totale permanenti strutturali ( $G_1$ )	105.040	daN
Totale permanenti strutturali ( $G_2$ )	0	daN/m <sup>2</sup>
Carico accidentale ( $Q_{k1}$ )	- spinta idrostatica max -	5.200 daN/m <sup>2</sup>
Carico accidentale ( $Q_{k1}$ )	- spinta idrostatica min -	4.350 daN/m <sup>2</sup>

### 1.9. Caratteristiche meccaniche dei materiali

Le caratteristiche meccaniche dei materiali di progetto sono:

*Strutture fondazione (getto per gargami, platea e pali):*

Calcestruzzo di classe C28/35

Acciaio B450C

*Strutture in elevazione (panconi):*

Calcestruzzo di classe C28/35

Acciaio B450C

<u>Calcestruzzo classe C28/35:</u> $f_{ck} = 280 \text{ daN/cm}^2$ ; $\gamma_c = 1,5$ ; $\alpha_{cc} = 0,85$ ; $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 158,7 \text{ daN/cm}^2$ ; $f_{ctd} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_c = 12,9 \text{ daN/cm}^2$ ; $E = 22.000 \cdot [(f_{ck} + 8)/10]^{0,3} = 32.308 \text{ MPa}$ ; classe di esp. XC2 (alternativamente bagnato/asciutto).	<u>Acciaio B450C:</u> $\gamma_a = 1,15$ ; $f_y = 4500 \text{ daN/cm}^2$ ; $f_t = 5400 \text{ daN/cm}^2$ ; $f_{yd} = f_y / \gamma_a = 3913 \text{ daN/cm}^2$ ; copriferro 50 mm (opere idrauliche).
--	---

## 2. DIMENSIONAMENTO PANCONI

### 2.1. Modello/i numerico/i

#### 2.1.1. Metodologia di modellazione ed analisi

La modellazione della struttura è stata fatta manualmente determinando le azioni sollecitanti di progetto ( $E_d$ ) da comparare, secondo le indicazioni riportate al punto §2.3 delle NTC 2018, con le sollecitazioni resistenti ( $R_d$ ) degli elementi.

#### 2.1.1.1. Modellazione dei vincoli interni ed esterni

L'ipotesi di vincolo per il generico pancone sono quelle di trave appoggiata in cui risultano vincolate le sole traslazioni sulle direzioni Y (trasversale al pancone) ed X (nel piano del pancone) in quanto si vuole simulare l'appoggio del pancone sui gargami.

#### 2.1.5. Modellazione delle azioni

Le azioni che si sono considerate sono:

Azioni permanenti strutturali ( $G_1$ )	Pesi propri delle strutture conteggiati da progettista in base al peso specifico dei materiali.
Azioni permanenti portate ( $G_2$ )	Pesi permanenti sulle strutture conteggiati dal progettista per aree di influenza e immessi come carico sulle membrature che li portano direttamente come carichi distribuiti uniformemente.
Azioni accidentali ( $Q_{ki}$ )	Azione della spinta idrostatica considerata dal progettista e immessa sulle strutture che la sopportano.
Azioni sismiche ( $E$ )	L'azione sismica non è stata conteggiata in quanto l'opera è provvisoria.

#### 2.1.6. Combinazioni e/o percorsi di carico

Le combinazioni di carico per il calcolo delle membrature, in base a quanto disposto al paragrafo §2.5.3 delle NTC 17/01/2018, sono le seguenti:

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| a) SLU:                  | $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\psi_{03}Q_{k3} + \dots$ |
| b) SLE rara:             | $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \psi_{03}Q_{k3} + \dots$   |
| c) SLE frequente:        | $G_1 + G_2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$  |
| d) SLE quasi permanente: | $G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$  |
| e) SLU sismica:          | $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$  |

In base a quanto specificato in precedenza le combinazioni indagate nel seguito saranno le a) e b).  
I coefficienti moltiplicativi che si sono considerati sono riportati nelle seguenti tabelle:



Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

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

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

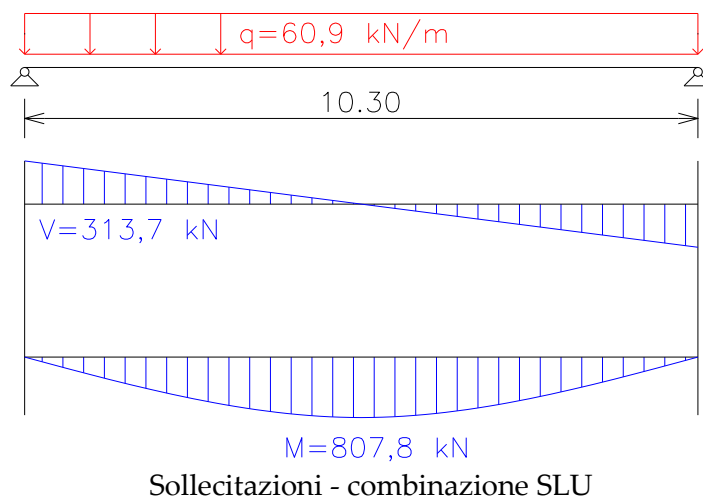
Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

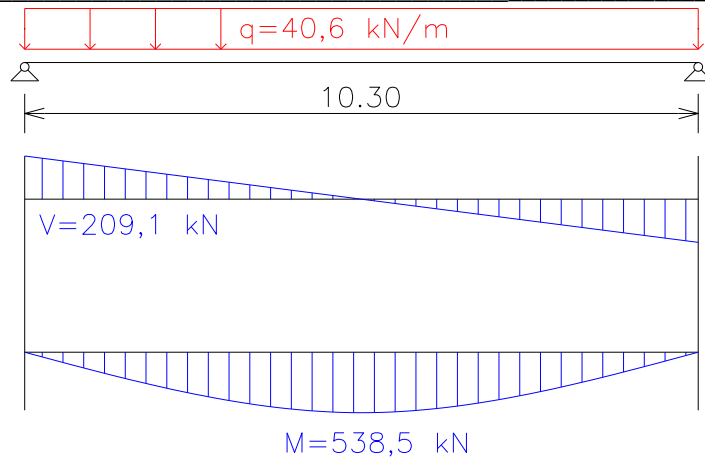
Categoria/Azione variabile	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,0
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,0
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,0
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

## 2.2. Principali risultati

### 2.2.1. Risultati dell'analisi statica

A seguire si riportano i principali risultati dell'analisi statica eseguite in termini di diagrammi dell'azione interna.





Sollecitazioni - combinazione SLE-rara

#### 2.2.2. Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico

Si rimanda a quanto specificato al punto 2.2.1.

#### 2.2.3. Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative

Gli involuppi delle sollecitazioni di calcolo per le diverse membrature sono già stati riportati al punto 2.2.1.

#### 2.2.4. Reazioni vincolari

Le massime reazioni vincolari esibite dalla struttura sono:

La massima azione tagliante in corrispondenza dei gargami, pari a **313,7 kN**, corrisponde alla massima azione vincolare agente.

#### 2.2.5. Altri risultati significativi

Non vi sono ulteriori risultati di rilievo da evidenziare.

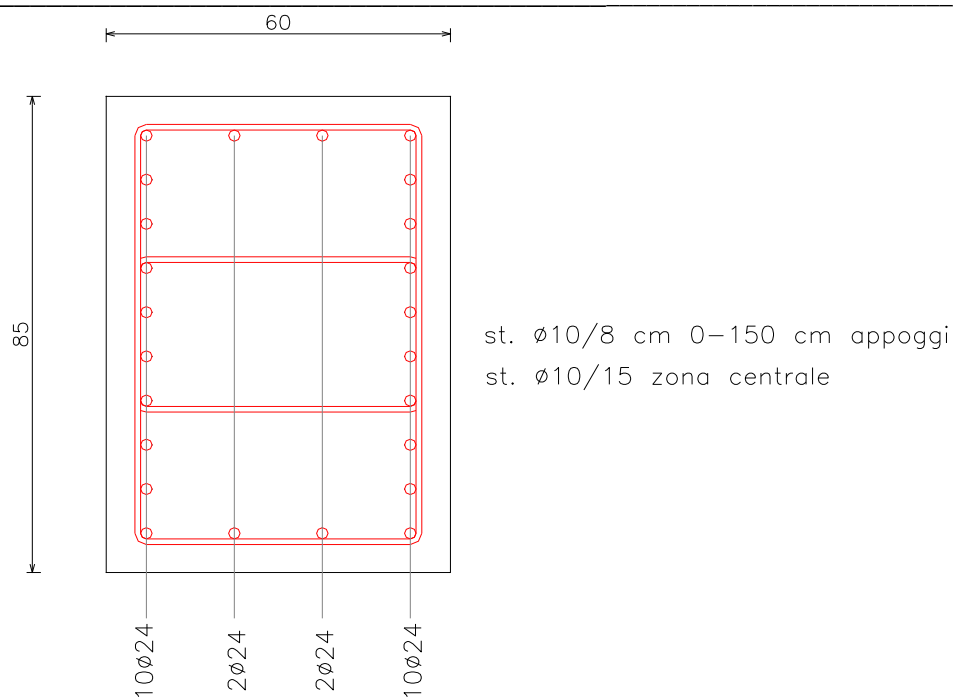
### 2.3. Verifiche agli stati limite ultimi

Mediante il programma Gelfi si sono svolte le verifiche. Come dimostrato nel seguito tutte le membrature sono verificate.

#### 2.3.1. Verifiche allo SLU - panconi

I panconi presentano una sezione rettangolare di dimensioni 60x85, saranno armati con 10 $\Phi$ 24 sui due lati lunghi 85 cm mentre si posizioneranno ulteriori 2 $\Phi$ 24 su ciascuno dei lati corti; la staffatura sarà  $\Phi$ 10 a passo 8 cm agli estremi per un'estensione di 150 cm da ciascun lato e  $\Phi$ 10 a passo 15 cm nella zona centrale. I materiali di progetto/verifica sono il calcestruzzo di classe C28/35 e l'acciaio da armatura B450C.

L'armatura e le dimensioni del pancone sono riportati nello schema seguente:



A seguire le verifiche delle sezioni a flessione retta e a taglio:

**Verifica N/M**

**TITOLO :** panconi

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

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	85	0
3	85	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	4,52	7	7
2	4,52	14,9	7
3	4,52	22,8	7
4	4,52	30,7	7
5	4,52	38,6	7
6	4,52	46,4	7

**Sollecitazioni**

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

**N**   kN

**M**   kNm

**M**

**P.to applicazione N**

☒ Centro ☐ Baricentro cls

☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C

C28/35

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰

$f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰

$E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰

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

$\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$

$\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$

$\tau_{c1}$

**M**  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**

$L_o$   cm **Col. modello**

☐ Precompresso

**Verifica V/T**

**RESISTENZA LATO ACCIAIO**

passo staffe	s	<input type="text" value="80"/>	mm
inclinazione staffe/ferri piegati	$\alpha$	<input type="text" value="90"/>	°
diametro staffe	$\phi_{st}$	<input type="text" value="10"/>	mm
n° braccia staffe		<input type="text" value="4"/>	-
Area staffe	$A_{sw}$	<input type="text" value="314,16"/>	mm²
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot (\cotg \alpha + \cotg \theta) \cdot \sin \alpha \cdot A_{sw} / s$		<input type="text" value="1832,5"/>	kN

**RESISTENZA LATO CALCESTRUZZO**

valore di calcolo dello sforzo normale agente	$N_{Ed}$	<input type="text" value="0"/>	kN
tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ )	$\sigma_{cp}$	<input type="text" value="0"/>	MPa
$\alpha_c$		<input type="text" value="1"/>	-
inclinazione staffe/ferri piegati	$\alpha$	<input type="text" value="90"/>	°
$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \theta)$		<input type="text" value="1109,2"/>	kN

**Resistenza a taglio elemento**

$V_{Rd}$   kN

$M_{Ed} = 807,8 \text{ kNm} < M_{Rd} = 1004 \text{ kNm}$

**VERIFICATO**

$V_{Ed} = 313,7 \text{ kNm} < V_{Rd} = 1109,2 \text{ kNm}$

**VERIFICATO**

I panconi risultano verificati alle combinazioni SLU => => => => => => => => => **VERIFICATO.**

## 2.4. Verifiche agli stati limite di esercizio

Mediante il programma Gelfi si sono svolte le verifiche alle tensioni mentre la deformata è stata determinata manualmente. Come dimostrato nel seguito tutte le membrature esistenti e di progetto sono verificate.

A seguire le verifiche delle tensioni a flessione retta:

Verifica tensioni SLE-rara

**Titolo :** panconi

**N° Vertici** 4 **Zoom** **N° barre** 24 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	85	0
3	85	60
4	0	60

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	4,52	7	7
2	4,52	14,9	7
3	4,52	22,8	7
4	4,52	30,7	7
5	4,52	38,6	7
6	4,52	46,4	7

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

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

**Materiali**  
B450C C28/35  
ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 15,87 N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 11 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,6667  
τ<sub>c1</sub> 1,971

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

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

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

σ<sub>c</sub> -9,488 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 239 N/mm²  
ε<sub>s</sub> 1,195 ‰  
d 53 cm  
x 19,78 x/d 0,3732  
δ 0,9065

**Verifica**  
N° iterazioni: 4  
☐ Precompresso

σ<sub>c</sub> = 9,5 MPa < 0,6 · f<sub>cd</sub> ⇒ VERIFICATO

σ<sub>s</sub> = 239 MPa < 0,8 · f<sub>yk</sub> ⇒ VERIFICATO

Dal programma Gelfi è possibile determinare il momento d'inerzia della sezione parzializzata pari a J = 1.122.631 cm<sup>4</sup> mediante il quale si procede alla verifica di deformabilità:

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{SLE} \cdot L^4}{E_{cls} \cdot J} \approx 1,64 \text{ cm} \approx \frac{L}{628} < \frac{L}{300} = 3,43 \text{ cm} \rightarrow \text{VERIFICATO}$$

### 3. DIMENSIONAMENTO OPERE DI SOSTEGNO DEI PANCONI

#### 3.1. Modello/i numerico/i

##### 3.1.1. Metodologia di modellazione ed analisi

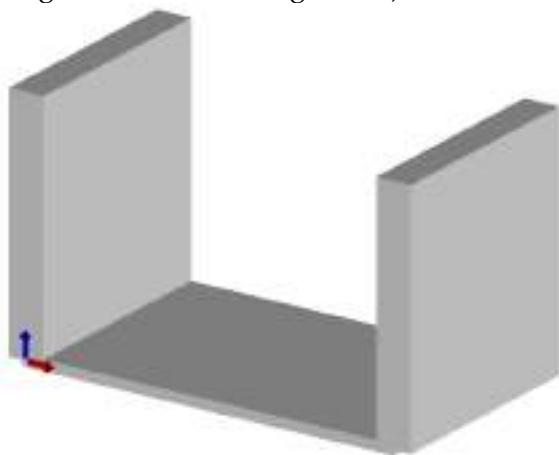
La modellazione della struttura è stata fatta tramite il programma ProSap della 2S.i tramite il quale è stato possibile determinare le azioni sollecitanti di progetto ( $E_d$ ) da comparare, secondo le indicazioni riportate al punto §2.3 delle NTC 2018, con le sollecitazioni resistenti ( $R_d$ ) degli elementi determinate mediante il programma ProSap applicando le formulazioni specifiche riportate al paragrafo §4.1 e sottopunti delle NCT 2018.

##### 3.1.2. Informazioni sul codice di calcolo

La modellazione della struttura e le analisi statiche e dinamiche sono state svolte tramite il programma ProSap della 2S.i.

##### 3.1.3. Modellazione della geometria

Le membrature (elementi di sostegno dei panconi/gargami) sono schematizzate con elementi tipo lastra/piastra (plate&shell) che consentono di modellare il comportamento sia flessionale che assiale/di lastra dell'elemento. Gli elementi finiti di tipo plate&shell hanno 5 gradi di libertà per ogni nodo e consentono di valutare tutti gli spostamenti e le rotazioni attorno agli assi del piano medio dell'elemento (e.g. i 3 spostamenti rispetto agli assi coordinati e le 2 rotazioni attorno agli assi che generano il piano medio dell'elemento). Il problema del *drilling* viene risolto, dal codice di calcolo, mediante una procedura di scomposizione della rotazione attorno all'asse normale al piano medio dell'elemento che lo traduce in una serie di spostamenti nodali nel piano stesso. La tipologia di struttura e l'elevata snellezza degli elementi utilizzati consente di utilizzare elementi finiti plate&shell conformi al modello strutturale di Love-Kirchhoff. Ad ogni elemento finito, così descritto, è associata una matrice detta elementare ( $K_e$ ) di dimensione 15x15 ovvero 20x20 per gli elementi plate&shell a seconda che si tratti di elementi a triangolari a 3 nodi o quadrilateri a 4 nodi. Tale matrice viene calcolata dal solutore tramite una procedura di integrazione ridotta sui punti di Gauss. La matrice  $K_e$  è riferita al sistema di assi locali ( $xyz$ ) dell'elemento e per passare al sistema di riferimento globale ( $XYZ$ ) è implementata una procedura di algebra lineare che, in base al vettore delle coordinate nodali, definisce una matrice di rotazione elementare che consente di riferire al sistema  $XYZ$  la matrice  $K_e$ . A questo punto tramite l'ausilio della matrice topologica (matrice che consente di definire l'ordine delle incognite nodali) è possibile collocare, con una procedura di somma algebrica, la matrice elementare ruotata nella matrice globale che costituisce una volta assemblata completamente, assieme al vettore dei carichi nodali (compilato in modo del tutto analogo alla matrice di rigidezza) il modello numerico della struttura che risulta:



Dati modello:

Numero nodi: 512

Numero elementi lastra-piastra (D3): 396

#### 3.1.4. Modellazione dei vincoli interni ed esterni

L'ipotesi di vincolo per le opere a sostegno dei panconi (gargamature e relative fondazioni) sono quelle di telaio a mensola appoggiato rigidamente sui micropali di fondazione.

#### 3.1.5. Modellazione delle azioni

Le azioni che si sono considerate sono:

Azioni permanenti strutturali ( $G_1$ )	Pesi propri delle strutture conteggiati da progettista in base al peso specifico dei materiali.
Azioni permanenti portate ( $G_2$ )	Pesi permanenti sulle strutture conteggiati dal progettista per aree di influenza e immessi come carico sulle membrature che li portano direttamente come carichi distribuiti uniformemente.
Azioni accidentali ( $Q_{ki}$ )	Azione della spinta idrostatica considerata dal progettista e immessa sulle strutture che la sopportano.
Azioni sismiche ( $E$ )	L'azione sismica non è stata conteggiata in quanto l'opera, sebbene fissa, ha di fatto un utilizzo provvisorio.

#### 3.1.6. Combinazioni e/o percorsi di carico

Le combinazioni di carico per il calcolo delle membrature, in base a quanto disposto al paragrafo §2.5.3 delle NTC 17/01/2018, sono le seguenti:

- f) SLU:  $\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\psi_{03}Q_{k3} + \dots$
- g) SLE rara:  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \psi_{03}Q_{k3} + \dots$
- h) SLE frequente:  $G_1 + G_2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$
- i) SLE quasi permanente:  $G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$
- j) SLU sismica:  $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$

In base a quanto specificato in precedenza le combinazioni indagate nel seguito saranno le a) e b).

I coefficienti moltiplicativi che si sono considerati sono riportati nelle seguenti tabelle:

**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili $Q$	Favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

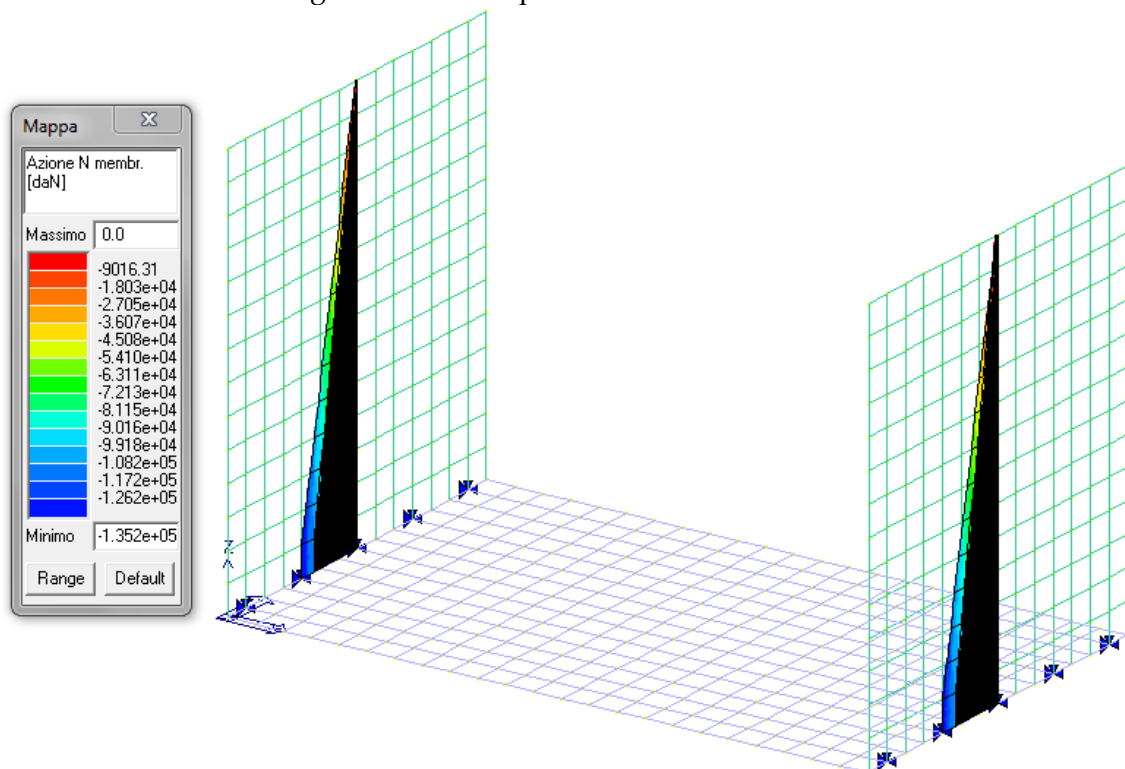
Tab. 2.5.1 – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\psi_1$	$\psi_2$	$\psi_3$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

## 3.2. Principali risultati

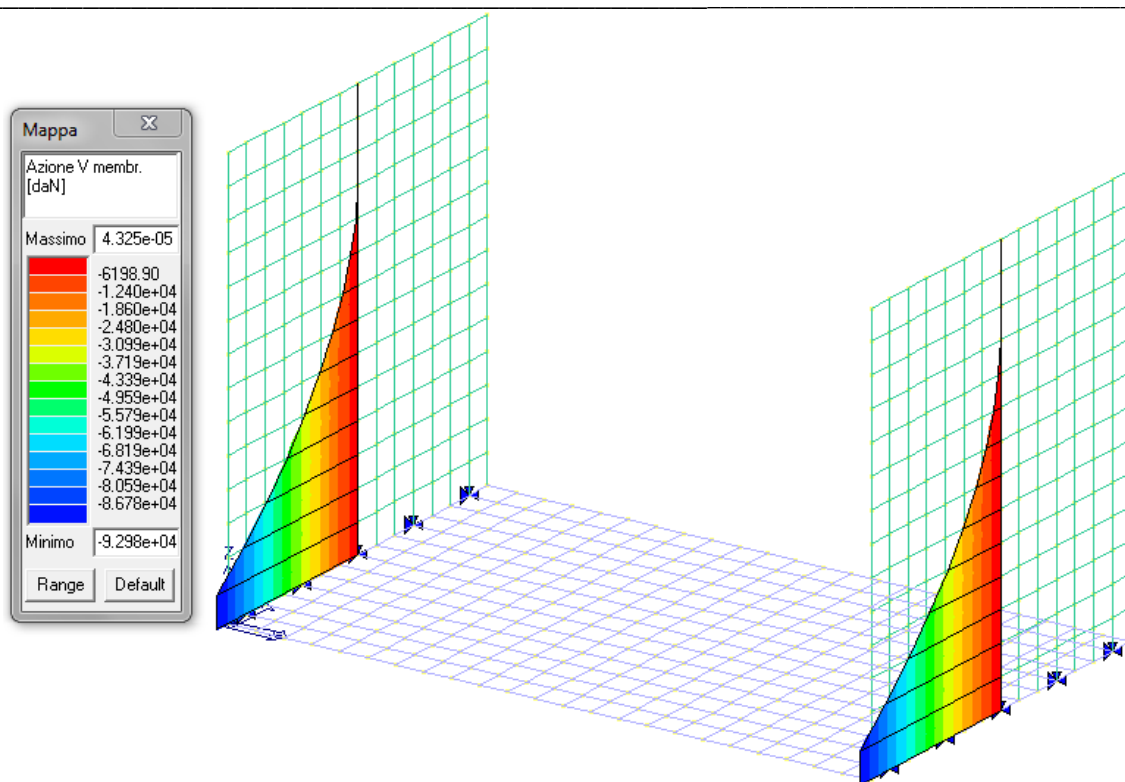
### 3.2.1. Risultati dell'analisi statica

A seguire si riportano i principali risultati dell'analisi statica eseguite in termini di diagrammi dell'azione interna e di sforzi generalizzati di piastra.

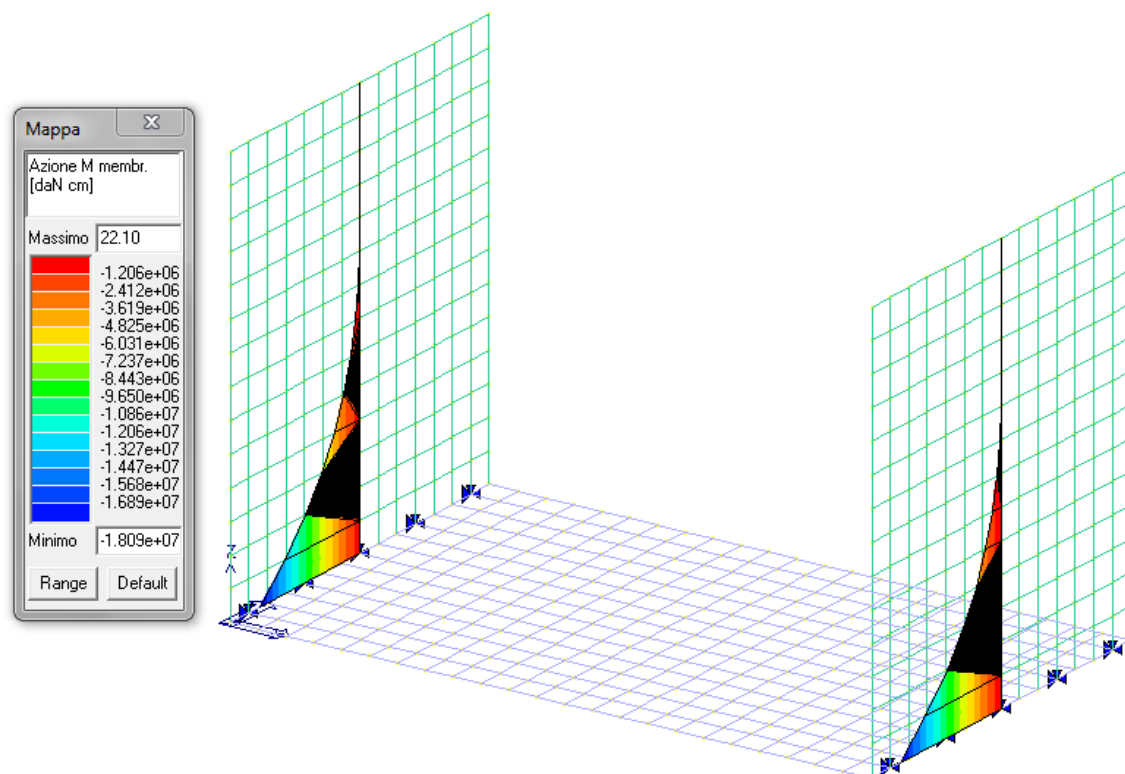


Azione N membranale (daN)





Azione V membranale (daN)



Azione M membranale (daNcm)

### 3.2.2. Deformate e sollecitazioni per condizioni di carico

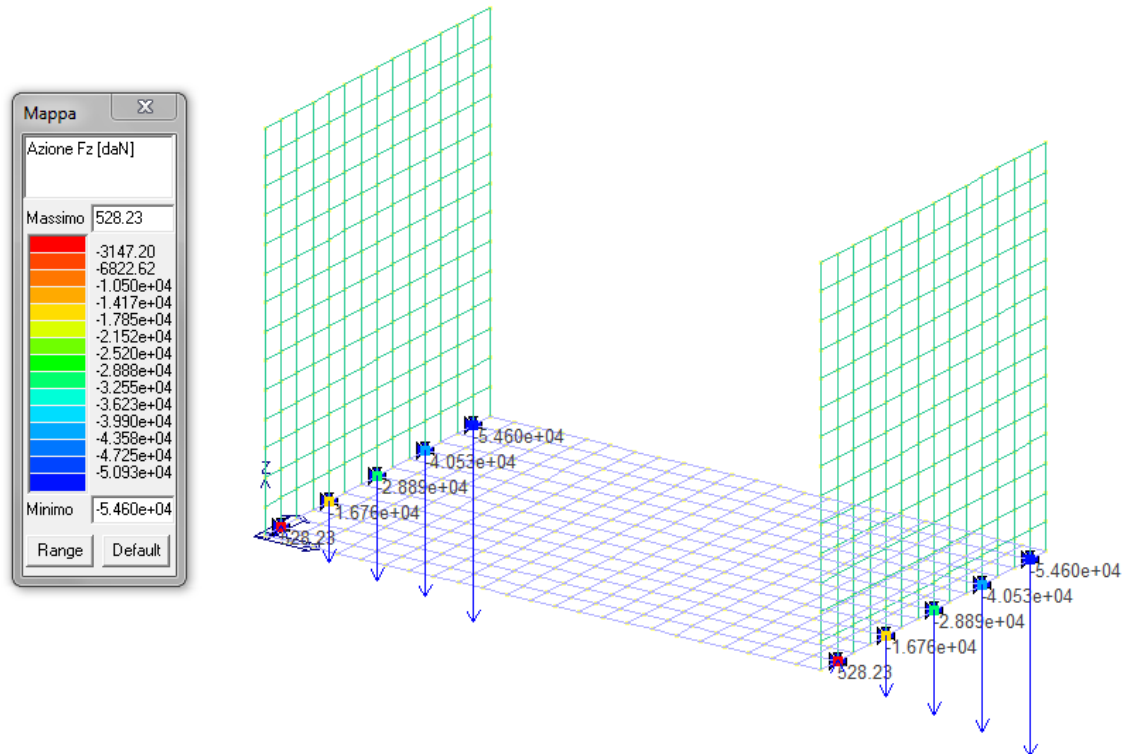
Si rimanda a quanto specificato al punto 3.2.1.

### 3.2.3. Involuppo delle sollecitazioni maggiormente significative

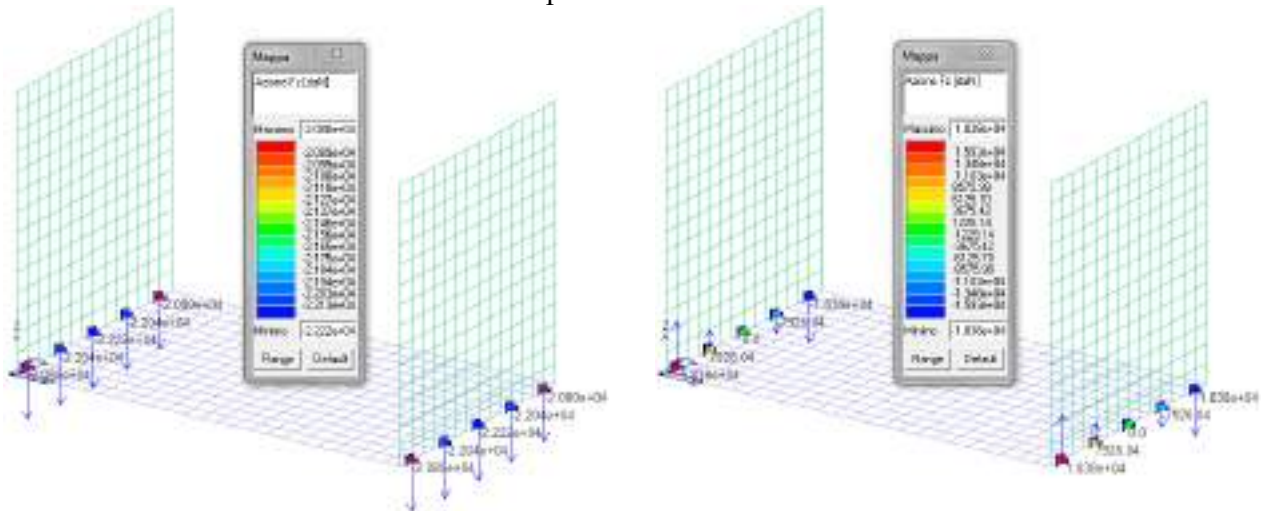
Gli involuppi delle sollecitazioni di calcolo per le diverse membrature sono già stati riportati al punto 3.2.1.

### 3.2.4. Reazioni vincolari

Le massime reazioni vincolari in combinazione SLU cui attingono i micropali sono:



Mentre le azioni non fattorizzate sui micropali risultano invece:



Scarichi da azioni  $G_1 = 222,2$  kN

Scarichi da azioni  $Q_k = 183,8$  kN (idrostatica)

### 3.2.5. Altri risultati significativi

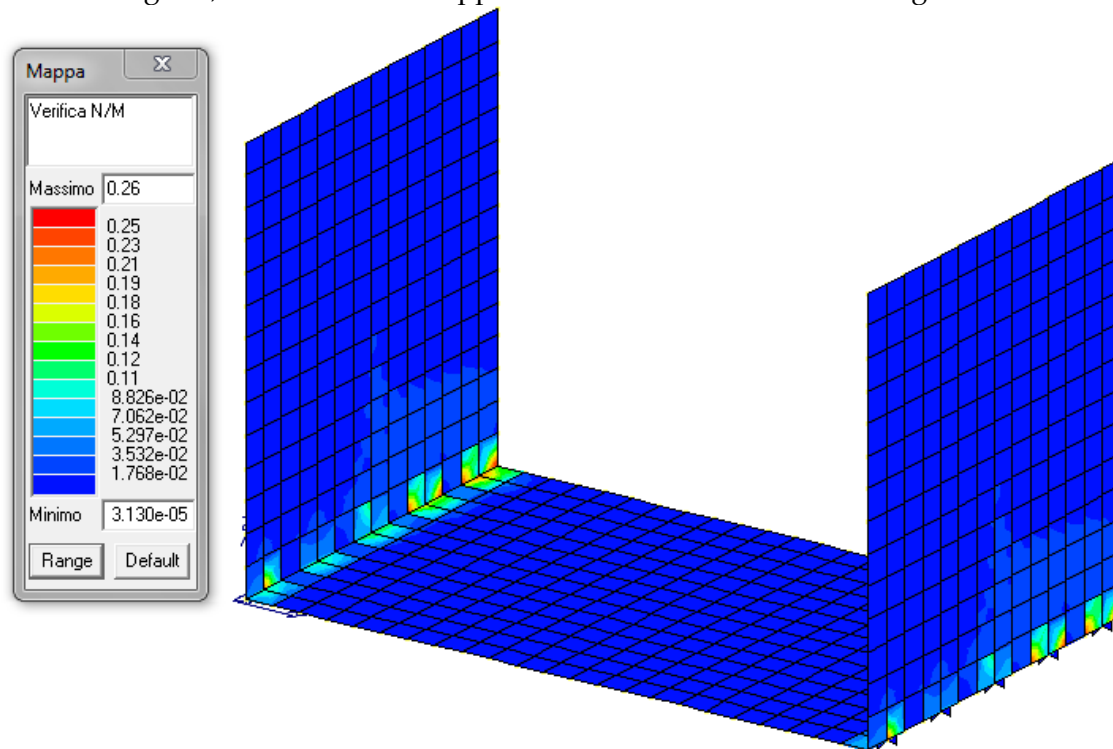
Non vi sono ulteriori risultati di rilievo da evidenziare.

### 3.3. Verifiche agli stati limite ultimi

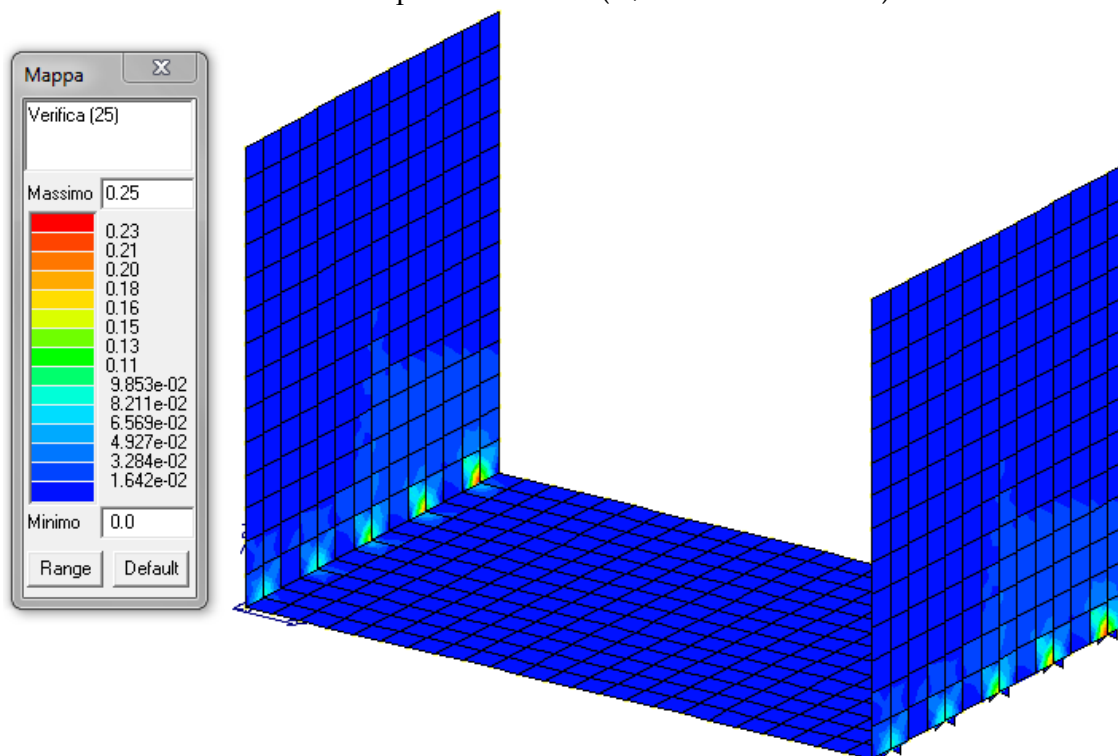
Mediante il programma ProSap si sono svolte le verifiche. L'armatura corrente delle diverse solette è composta da doppia rete  $\Phi 12$  maglia  $20 \times 20$  cm con ferri  $\Phi 16$  di bordo.

#### 3.3.1. Verifiche allo SLU - solette in c.a.

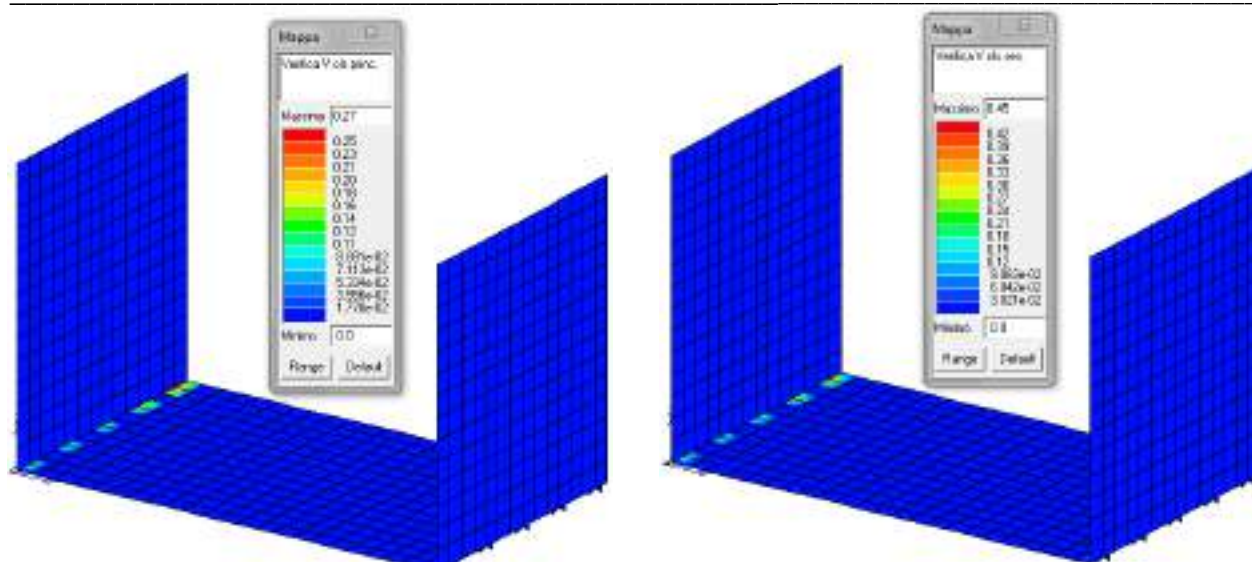
Si riportano di seguito, sotto forma di mappe cromatiche le verifiche SLU degli elementi:



Verifiche a pressoflessione ( $N/M < 1 \rightarrow$  **verificato**)



Verifica "25" - con decurtazione del 25% di  $f_{cd}$  ( $V < 1 \rightarrow$  **verificato**)

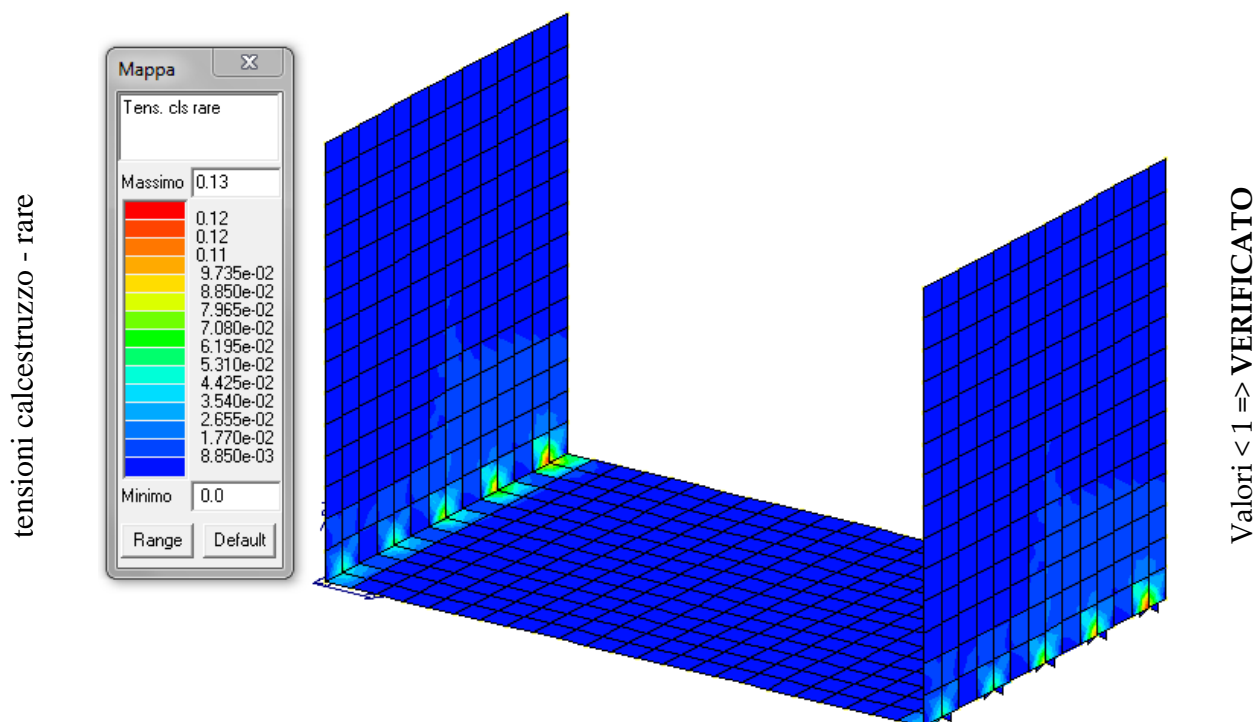


Verifica a taglio ( $V < 1 \rightarrow$  **verificato**)

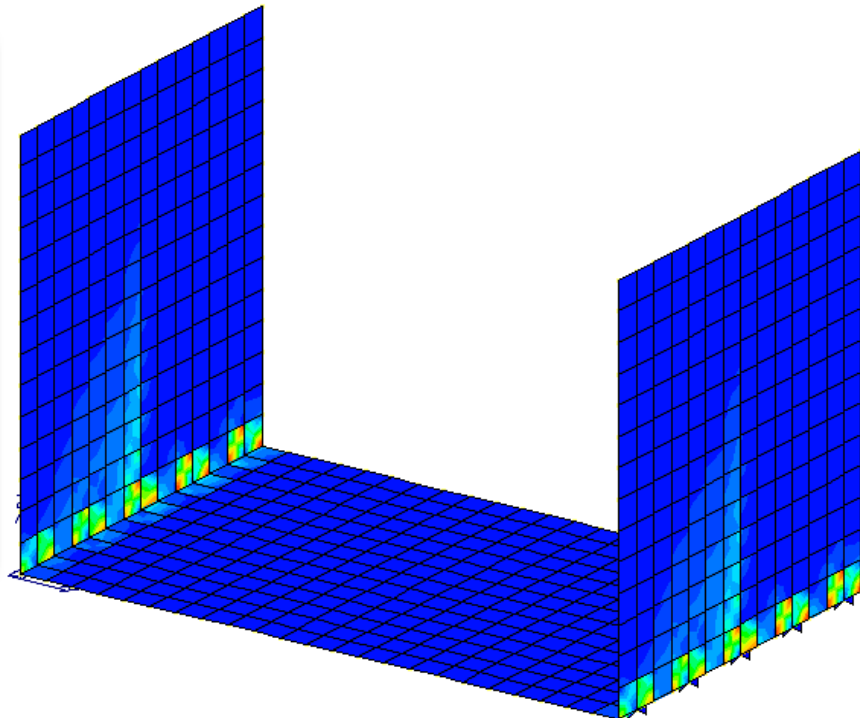
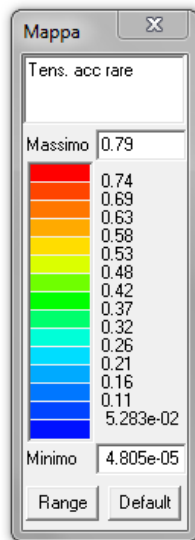
Dalle immagini sopra riportate si può notare come il rapporto tra la sollecitazione di calcolo agente  $E_d$  e l'azione resistente  $R_d$ , nelle combinazioni di carico "fondamentali" (in assenza di sisma) sia sempre minore di uno e pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

### 3.4. Verifiche agli stati limite di esercizio

Mediante il programma ProSap si sono svolte le verifiche alle tensioni riportate nel seguito mediante mappe cromatiche:

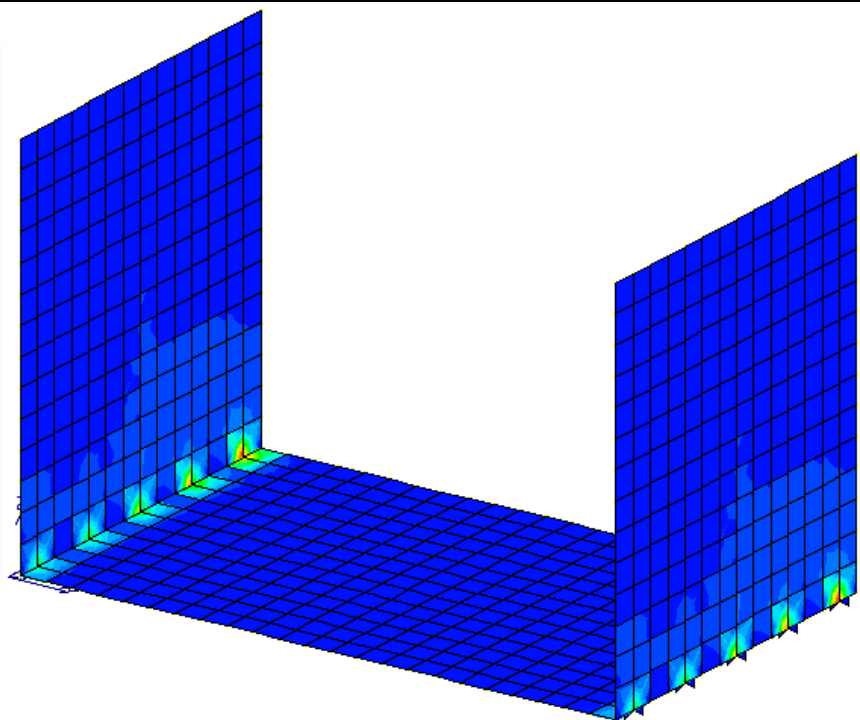
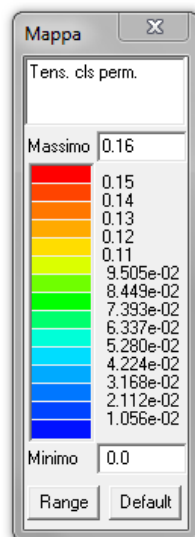


tensioni acciaio - rare



Valori  $< 1 \Rightarrow$  VERIFICATO

tensioni calcestruzzo - quasi permanenti



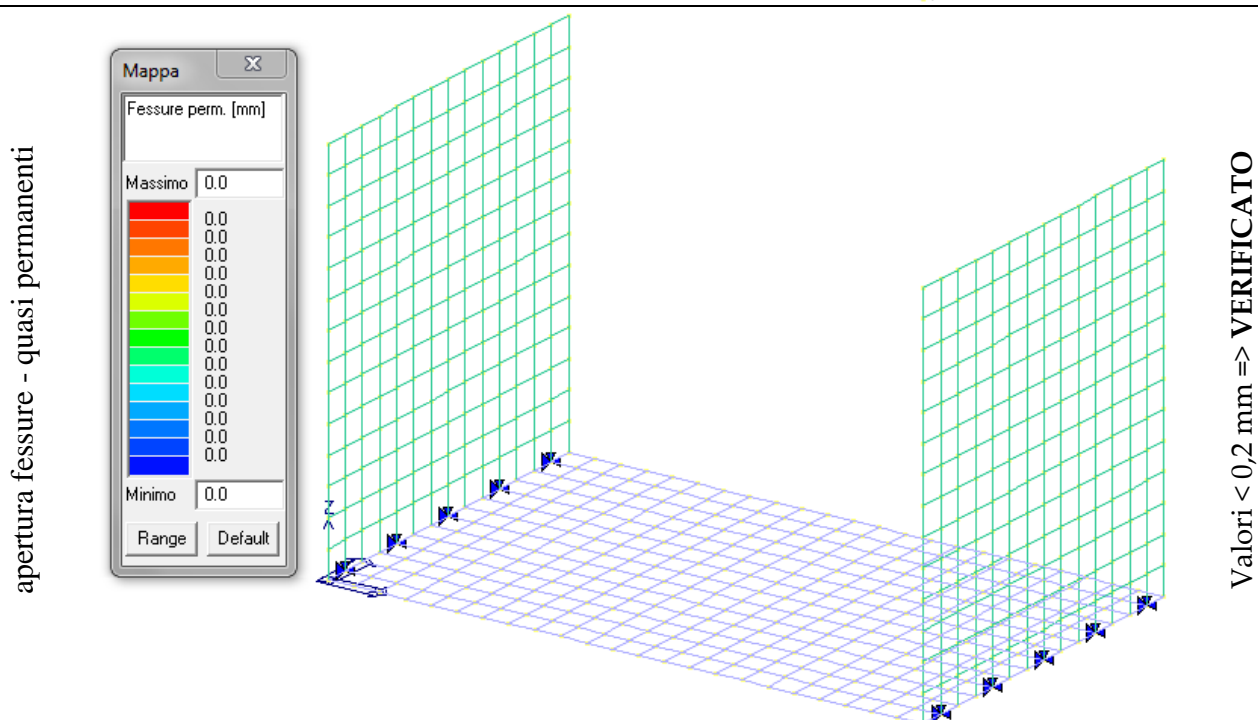
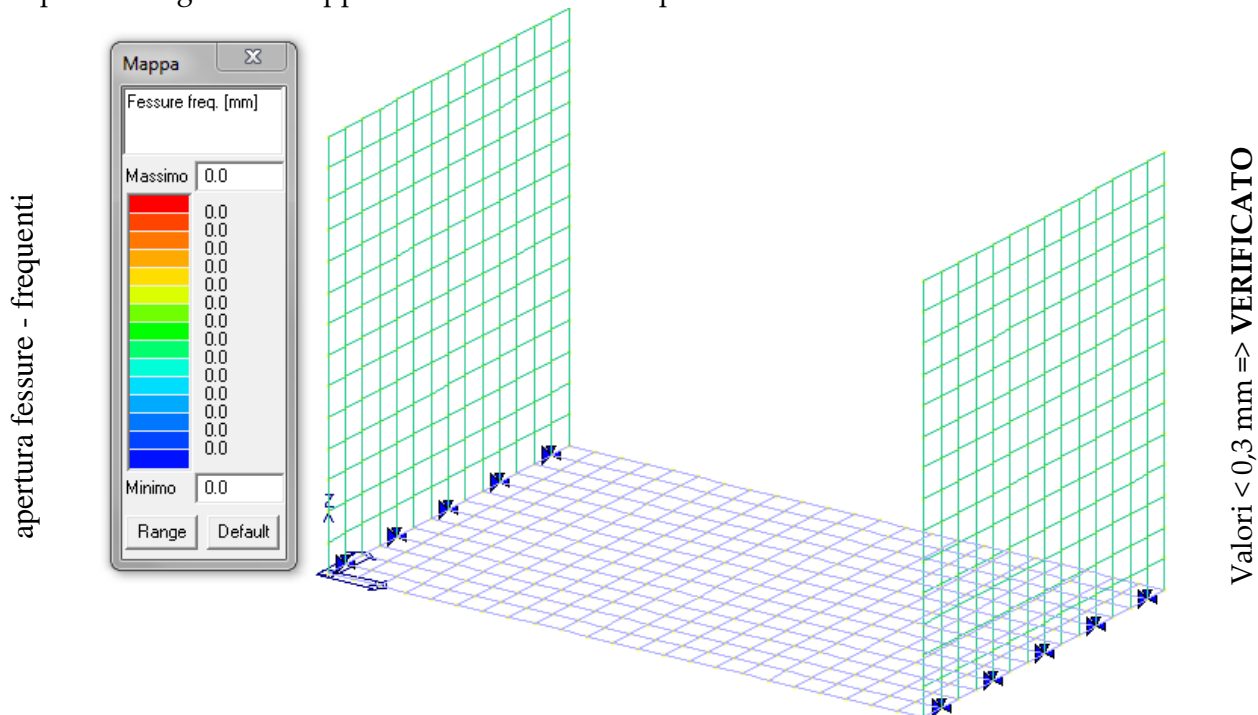
Valori  $< 1 \Rightarrow$  VERIFICATO

Come si evidenzia dai risultati ottenuti tutte le verifiche risultano soddisfatte.

In virtù di tali risultati si può affermare che gli elementi in c.a. della struttura sono verificati alle tensioni di esercizio indotte dalle azioni di progetto  $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$  **VERIFICATO**.



Si riporta di seguito la mappa di colore relativa all'apertura delle fessure:



Come si evidenzia dai risultati ottenuti tutte le verifiche risultano soddisfatte.

In virtù di tali risultati si può affermare che gli elementi in c.a. della struttura sono verificati per l'apertura delle fessure indotta dalle azioni di progetto => => => => => => => **VERIFICATO**.

#### 4. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI

##### 4.1. Verifica di capacità portante

La fondazione è composta dai 10 micropali  $\Phi 300$  mm aventi lunghezza complessiva di 1000 cm di cui 850 cm infisso nel terreno di fondazione.

Dal modello numerico risulta che il palo più sollecitato presenta le seguenti azioni non fattorizzate:

$$G_k = 222,2 \text{ kN}; \quad Q_k = 183,8 \text{ kN}$$

In accordo con quanto determinato nella relazione geologica-geotecnica del 19/12/2017 a firma del Dott. Geol. Paolo Chiarion dalle due verticali indagata mediante prova SCPTu si determinano le capacità portanti di punta e laterale dei pali di fondazione:

n. verticali indagate	2	n. prove CPT
tipo di palo	infisso	(infisso, trivellato)
materiale del palo	cls	(acciaio, cls)
lunghezza infissa palo	min. 8,5	m
diametro palo	0,300	m
L/D <sub>med</sub>	28,3	-
Conicità palo	0%	-
carico su palo $G_k$ (kN)	222,2	non fattorizzato
carico su palo $Q_k$ (kN)	183,8	non fattorizzato
$\Psi$ (Jambu)	75°	deg -> rad 1,30900
profondità falda	0,0	m

Sintesi dei dati ottenuti dalle prove CPTu fino alla quota di imposta del palo:

strato	Z <sub>iniziale</sub> (m)	Z <sub>finale</sub> (m)	c <sub>u</sub> (kPa)	$\phi'$ (°)	$\gamma_{\text{terreno}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_{\text{terreno}}$ (kN/m <sup>3</sup> )
<b>n. 1</b>	0,0	2,8	0	28	18,0	18,0
<b>n. 2</b>	2,8	4,9	30	0	18,0	18,0
<b>n. 3</b>	4,9	5,6	0	29	19,0	19,0
<b>n. 4</b>	5,6	16,2	0	28	18,0	18,0

Risultati delle verifiche in accordo con quanto disposto in §6.4.3.1 NTC 2018:

Approccio - Combinazione	Ed (kN)	Rd (kN)	Verifica
Approccio 1 - combinazione 1 (STR)	564,3	814,0	<b>VERIFICATO</b>
Approccio 1 - combinazione 2 (GEO)	460,9	561,4	<b>VERIFICATO</b>
Approccio 2	564,3	707,9	<b>VERIFICATO</b>

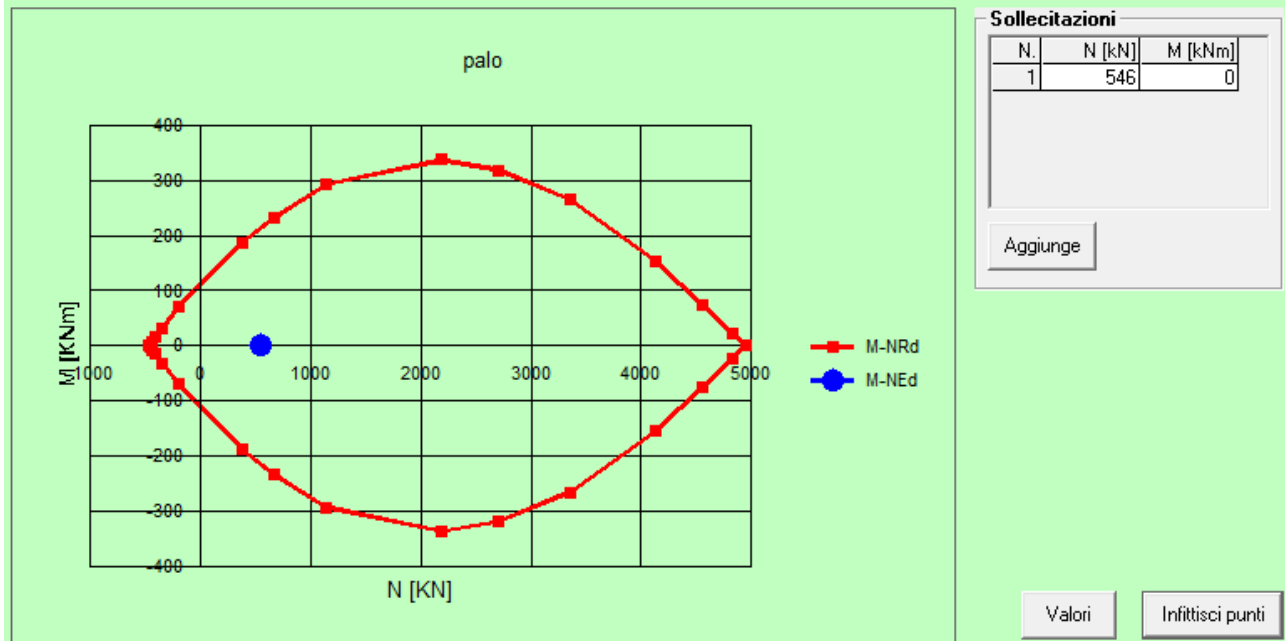
##### 4.2. Verifica dei cedimenti

La presenza dei micropali garantisce cedimenti pressoché irrilevanti.

#### 4.3. Verifica strutturale dei pali

I pali sono sollecitati soltanto a sforzi centrati di compressione in quanto l'azione sismica non risulta dimensionante per opere di questo tipo. Lo sforzo normale massimo in combinazione SLU risulta essere di 546 kN. Risulta sufficiente un'armatura longitudinale composta da 6 $\Phi$ 16 e trasversale da staffe a spirale  $\Phi$ 8 passo 5 cm per i primi 2 m dalla testa del palo e a passo 10 cm nella restante parte inferiore.

A seguire il dominio di resistenza della sezione del palo con l'indicazione dello stato di verifica:



**VERIFICATO**



**SOMMARIO**

**1. RELAZIONE DEI MATERIALI..... - 1 -**

## 1. RELAZIONE DEI MATERIALI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali di progetto sono:

*Strutture fondazione (getto per gargami, platea e pali):*

Calcestruzzo di classe C28/35

Acciaio B450C

*Strutture in elevazione (panconi):*

Calcestruzzo di classe C28/35

Acciaio B450C

<p><u>Calcestruzzo classe C28/35:</u></p> <p><math>f_{ck} = 280 \text{ daN/cm}^2</math>;  <math>\gamma_c = 1,5</math>; <math>\alpha_{cc} = 0,85</math>;  <math>f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 158,7 \text{ daN/cm}^2</math>;  <math>f_{ctd} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_c = 12,9 \text{ daN/cm}^2</math>;  <math>E = 22.000 \cdot [(f_{ck} + 8)/10]^{0,3} = 32.308 \text{ MPa}</math>;                      classe di esp. XC2 (alternativamente bagnato/asciutto).</p>	<p><u>Acciaio B450C:</u></p> <p><math>\gamma_a = 1,15</math>;  <math>f_y = 4500 \text{ daN/cm}^2</math>;  <math>f_t = 5400 \text{ daN/cm}^2</math>;  <math>f_{yd} = f_y / \gamma_a = 3913 \text{ daN/cm}^2</math>;                      copriferro 50 mm (opere idrauliche).</p>
---	--