
 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Data Doc.	Revisione
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	<b>29/12/2023</b>	<b>1.0</b>

<b>Proponente</b>	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola
<b>Progetto</b>	Costruzione fabbricati uso porcilaia e di servizio, costruzione vasche liquami e manufatti di servizio
<b>Cantiere</b>	via Ronchi n. 12 (loc. Fosdondo) – Correggio (RE)
<b>Oggetto del documento</b>	Relazione Tecnica ("presismica")



Timbro e Firma del Progettista  <b>Ing. Matteo Mainetti</b> (F.to digitalmente)	Progetto Costruzione fabbricati uso porcilaia e di servizio, costruzione vasche liquami e manufatti di servizio		
	Pagine	70	Proponente Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## **INDICE**

<b>INDICE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1. INDICAZIONI COMMITTENTE</b>	<b>5</b>
<b>2. PROGETTISTI</b>	<b>5</b>
<b>3. INDIVIDUAZIONE DEL SITO</b>	<b>6</b>
<b>4. DOCUMENTI TECNICI AD INTEGRAZIONE</b>	<b>7</b>
<b>5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO</b>	<b>7</b>
<b>6. SISTEMA DI FONDAZIONI ADOTTATO</b>	<b>7</b>
<b>7. DESTINAZIONE D'USO</b>	<b>8</b>
<b>8. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO</b>	<b>8</b>
<b>9. TIPOLOGIA STRUTTURALE</b>	<b>8</b>
<b>10. MATERIALI ADOTTATI</b>	<b>9</b>
<b>11. PARAMETRI AZIONE SISMICA</b>	<b>9</b>
<b>12. INTERAZIONI ARCHITETTONICO-STRUTTURALI</b>	<b>9</b>
<b>13. REGOLARITÀ</b>	<b>10</b>
<b>14. DIMENSIONAMENTI CAPANNONE A</b>	<b>11</b>
<b>15. DIMENSIONAMENTI CAPANNONI B</b>	<b>23</b>
<b>16. DIMENSIONAMENTI CAPANNONE C</b>	<b>35</b>
<b>17. DIMENSIONAMENTI CAPANNONE D</b>	<b>37</b>
<b>18. DIMENSIONAMENTI CAPANNONI E</b>	<b>48</b>
<b>19. DIMENSIONAMENTO VASCHE DI STOCCAGGIO</b>	<b>59</b>




## **INTRODUZIONE**

L'opera in oggetto consiste nell'esecuzione di un nuovo centro suinicolo per l'allevamento formato da diversi capannoni di differenti dimensioni e da tre vasche circolari per lo stoccaggio dei liquami di diametro circa 32 m e altezza interna circa 6.00 m. Si riportano le differenti dimensioni delle strutture a capannone analizzate, seguendo la numerazione della Figura 1:

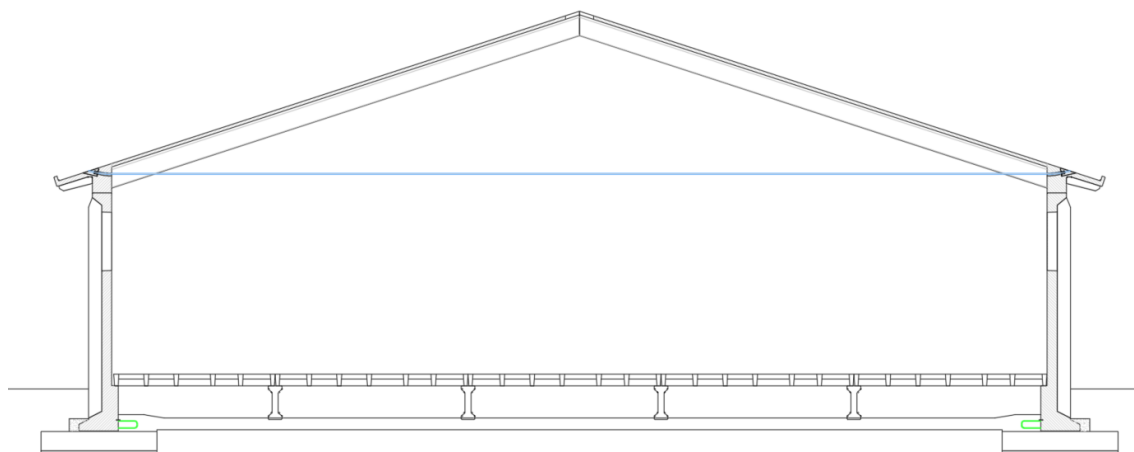
- Unità Strutturale 1 (US1): Luce interna 20 m (Capannone tipo **A**);
- Unità Strutturale 2 (US2): Luce interna 28.73 m (Capannone tipo **B**);
- Unità Strutturale 3 (US3): Luce interna 28.73 m (Capannone tipo **B**);
- Unità Strutturale 4 (US4): Luce interna 26.70 m (Capannone tipo **C**);
- Unità Strutturale 5 (US5): Luce interna 15.60 m (Capannone tipo **D**);
- Unità Strutturale 6 (US6): Luce interna 10 m (Capannone tipo **E**);
- Unità Strutturale 7 (US7): Luce interna 10 m (Capannone tipo **E**).



**Fig. 1** – Planimetria nuovi capannoni e vasche di stoccaggio

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Segue la sezione-tipo del capannone (inclinazione della falda e luce interna potrebbero variare).




**Fig. 2** – Sezione tipo dei capannoni

Con riferimento alla sezione, si noti che la struttura portante consiste in moduli-pareti prefabbricate in cemento armato (larghezza 250 cm), su cui poggiano due falde di tegoli TT con tirante in acciaio armonico (un tegolo su ogni modulo). I moduli sono appoggiati e ammorsati ad una fondazione nastriforme ("slitta") gettata in opera. Al di sopra della slitta viene gettata una platea che funge poi da cunicolo trasporto liquami, sulla quale poggiano i muretti di sostegno dei grigliati. L'opera è da realizzarsi a Correggio (RE), che appartiene alla Zona 3 secondo la classificazione sismica attuale. L'altitudine sul livello del mare è inferiore ai 200 metri.

Nella direzione trasversale, con riferimento alla Figura 2, lo schema statico prevede cerniera in sommità (mezzeria), e cerniere nel punto "triplo" di collegamento tra i tegoli, la parete sottostante, ed il tirante orizzontale.

Nella direzione longitudinale si ha una serie di telai affiancati. In quella direzione la struttura resistente è rappresentata da pannelli realizzati con due pilastri, collegati tra loro da delle pareti-sandwich (due strati di c.a. collegati da spille che

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

racchiudono uno strato isolante in poliuretano) nonché da una trave in sommità. I moduli parete-tegolo-parete sono poi collegati l'uno con l'altro sia a livello di parete che a livello di copertura, per evitare i martellamenti e garantire una trasmissione uniforme delle forze sismiche. In ciò che segue si riportano (e seguono) uno ad uno i punti esplicitamente richiesti dalla delibera di Giunta Regionale dell'Emilia, n° 1373 del 26-09-2011 per una più facile lettura e controllo dei risultati.

## **1. INDICAZIONI COMMITTENTE**

Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola, con sede in Via Volta n. 24, Roncoferraro (MN).

## **2. PROGETTISTI**

### Progettista architettonico:

Per. Agr. Corrado Fantuzzi, residente a Vezzano sul Crostolo (RE), via Caduti della Bettola n. 115, iscritto all'albo dei Periti Agrari di Reggio Emilia e Parma, numero 34. Cellulare: 3355611660. Email: corrado.fantuzzi@peritiagrari.pro.

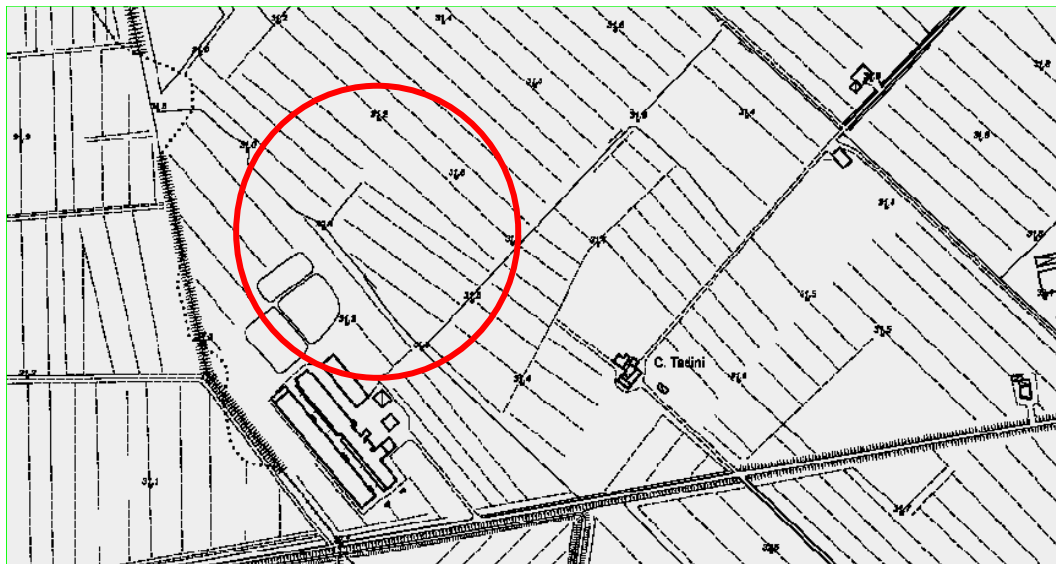
### Progettista strutturale:

Ing. Matteo Mainetti, con studio in Montichiari (BS), via Venzaga 1, iscritto all'ordine degli Ingegneri della provincia di Brescia, numero 5416. Telefono: 0302050490. Email: matteo.mainetti2@ingpec.eu.






### 3. INDIVIDUAZIONE DEL SITO



**Fig. 3** – Stralcio Carta Tecnica Regionale



**Fig. 4** – Fotorilievo della zona di studio

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## 4. DOCUMENTI TECNICI AD INTEGRAZIONE

( - nessuno - )

## 5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Caratteristiche del terreno: Come da relazione geologica a cura del dott. Geol. Rita Ballista, per il piano di posa interessato dall'intervento (da 0 a -1.60 metri) si ha una stratigrafia che evidenzia "*Terreni argillosi e limo argillosi da impermeabili a poco permeabili*".

Il modello geotecnico individuato dalle indagini è sintetizzato di seguito:

$$c'_k = 8 - 10 \text{ kPa}$$

$$\phi'_k = 17 - 19^\circ$$


$$C_{uk} = 78 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 1'700 \text{ kg/m}^3$$

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione si è eseguita una campagna geognostica consistita in tre prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) a cui si aggiunge una prova effettuata nel 2019 e una prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU).

## 6. SISTEMA DI FONDAZIONI ADOTTATO

Per i capannoni si ipotizza un sistema di fondazioni superficiali nastriformi lungo il perimetro dei fabbricati, sia a sostegno dei moduli-parete prefabbricati (portanti la copertura), sia alla base delle testate del capannone. I due lati del capannone verranno poi collegati da cordoli in c.a.

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Per le vasche circolari si ipotizzano fondazioni nastriformi collegate ad una platea di fondazione a sostegno delle pareti prefabbricate, mentre il pilastro al centro della vasca sarà sostenuto da un plinto in cemento armato.

## **7. DESTINAZIONE D'USO**

I capannoni in oggetto sono destinati all'allevamento suinicolo. Le azioni permanenti sono date dal peso proprio della copertura. Le azioni variabili dal vento, sisma e neve ( $1.20 \text{ kN/m}^2$ ). Il carico sul piano terra grava direttamente sul terreno o su grigliati che trasferiscono il carico alla platea sottostante tramite muretti in calcestruzzo armato.

Per le vasche di stoccaggio le azioni permanenti sono date dal peso proprio delle strutture e le azioni variabili dal sisma. Il carico sul piano terra grava sul terreno per mezzo della platea di fondazione.

## **8. VITA NOMINALE E CLASSE D'USO**


Data la presenza occasionale dell'uomo si prevede un'opera di tipo 2 ed una classe d'uso I. La vita nominale è pari a 50 anni.

## **9. TIPOLOGIA STRUTTURALE**

La tipologia strutturale adottata per i capannoni è quella di un sistema a pilastri isostatici con incastro al piede. Nella fattispecie trattasi di moduli nervati con due pilastri laterali; tra questi si ha una zona con alleggerimento centrale. Per ogni modulo (ai lati opposti del capannone) è prevista una copertura a doppia falda con tegoli TT in precompresso e tirante in acciaio armonico, incernierata al modulo.

La tipologia strutturale adottata per le vasche è quella di un sistema a pareti con incastro al piede.



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## **10. MATERIALI ADOTTATI**


La struttura portante è realizzata con calcestruzzo armato (moduli-parete, pareti vasche e fondazioni) e calcestruzzo armato precompresso (tegoli di copertura). La classe di resistenza scelta è abbastanza elevata (C35/45 per i tegoli e fondazioni e per le pareti delle vasche, C32/40 per i moduli) sia per garantire una classe di esposizione XA3 (soprattutto per le fondazioni e le pareti delle vasche, a causa della presenza di liquami aggressivi), sia per offrire una resistenza adeguata agli elementi in precompresso. Tale scelta ha il vantaggio di ridurre l'eventualità di interventi futuri di manutenzioni straordinarie.

## **11. PARAMETRI AZIONE SISMICA**

La struttura in oggetto viene progettata adottando un fattore di struttura pari a  $q=1.5$  per i capannoni con pilastri da 15 cm, data la natura pressoché isostatica dei pilastri (ad unico piano). Il valore del coefficiente  $S_s$  ammonta a 1.50 (categoria "C" del sottosuolo). L'amplificazione topografica è pari a 1. L'accelerazione sismica al suolo risulta quindi essere pari a  $a_g = 0.197$  g, il valore massimo (tratto ad accelerazione costante) pari a 0.329 g per  $q = 1.5$ . Per i capannoni con le luci maggiori è stato utilizzato un fattore di struttura di 2.5 in quanto sono stati utilizzati dei moduli con pilastri da 25 cm e accelerazione sismica pari a 0.198 g.

## **12. INTERAZIONI ARCHITETTONICO-STRUTTURALI**

La natura rurale della struttura (capannoni e vasche per allevamento suinicolo) fa sì che la parte strutturale coincida tutto sommato con la parte architettonica. Non sono state rilevate particolari problematiche di interazione tra (i modesti) impianti e le strutture portanti.

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

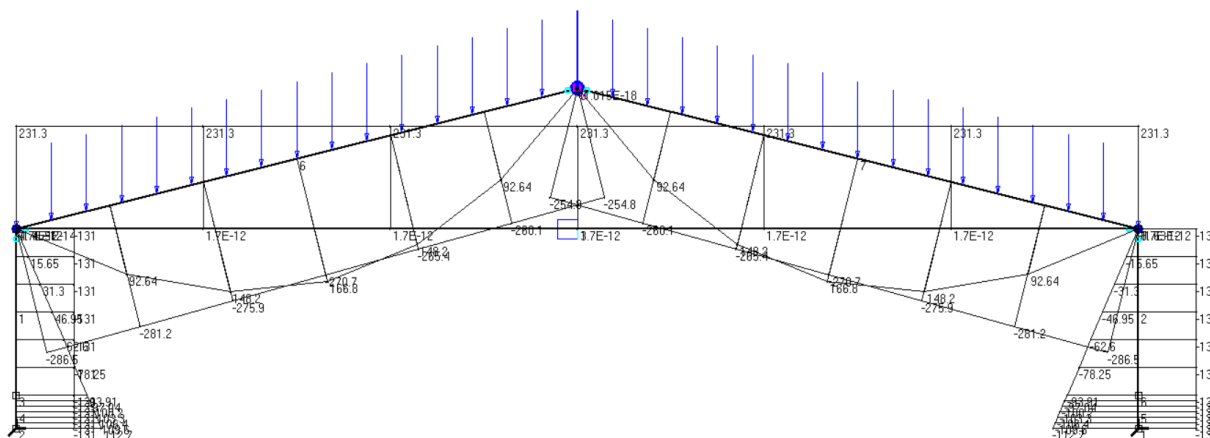
### **13. REGOLARITÀ**

Le strutture, avendo un solo piano fuori terra a pianta rettangolare sono pressoché regolari in pianta ed in altezza, anche in considerazione del fatto che siano realizzate con elementi identici posti ad interasse costante e collegati tra loro con collegamenti in acciaio posti a trasferire e re-distribuire le azioni sismiche su tutto il fabbricato.

Per quanto riguarda le vasche, essendo strutture con un solo piano fuori terra (o parzialmente interrato) a pianta circolare, la regolarità in pianta ed in altezza è garantita, anche in considerazione del fatto che siano realizzate con elementi prefabbricati modulari collegati tra loro con collegamenti in acciaio posti a trasferire e re-distribuire le azioni sismiche su tutta la struttura.

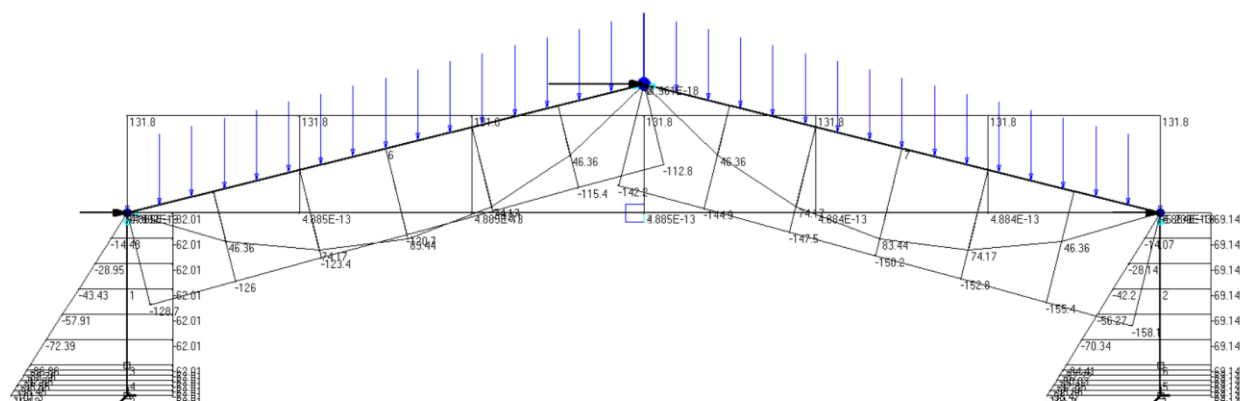
# A

## Calcolo sollecitazioni

$$q_{ult} = \underbrace{(1.20 \times 1.5)}_{\text{neve}} + \underbrace{(190+60)}_{\text{proprio + tegole + FV}} / \cos 14^\circ \times 1.3) \times 2.5 = 12.87 \text{ kN/m}$$


**Fig. 5** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, a pieno carico (neve)

In Figura 6 si illustrano inoltre le sollecitazioni in combinazione sismica, per effettuare poi le verifiche delle strutture verticali e delle fondazioni.



**Fig. 6** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, in combinazione sismica

### Verifica tegoli

Il tegolo è soggetto a pressoflessione. Oltre al valore di precompressione dovuta ai cavi pre-tesi interni al tegolo (1 per ogni nervatura, da 139 mm<sup>2</sup>, per un tiro totale di circa 360 kN), nel caso di carico massimo si deve aggiungere un valore di compressione che varia da 255 kN (colmo) a 287 kN (gronda) dati dallo schema iperstatico in cui i due cavi esterni vengono messi in tensione. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle verifiche eseguite sul tegolo.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

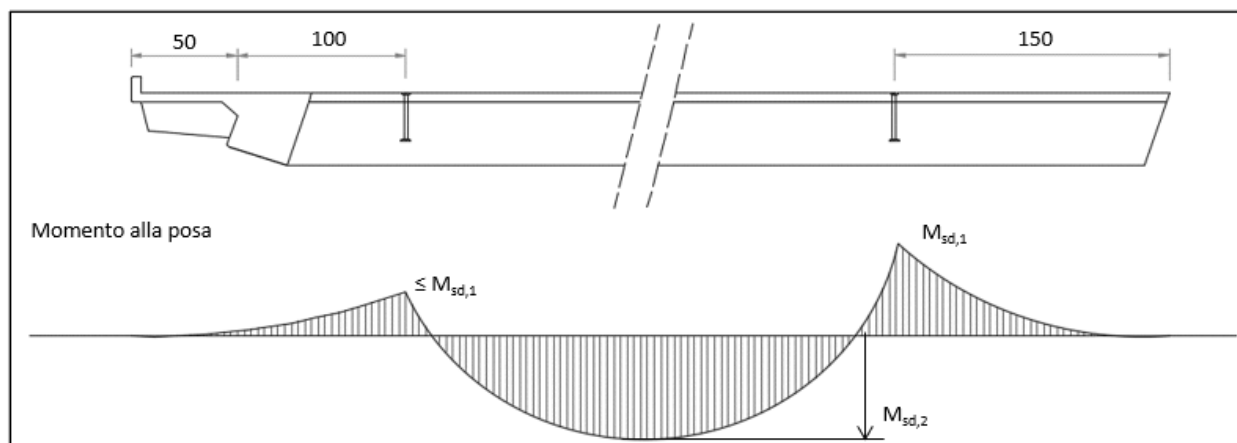
Progetto  
Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami


Proponente  
Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola

LUCE [m] = luce interna	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		1		Sollecitazioni calcestruzzo in zona tesa	$> f_{ctmj} \cdot 1.2$	Sollecitazioni calcestruzzo in zona compressa	$< 0.7 f_{ckj}$
Sollevamento (in mezzeria)		2			$> 0$		$< 0.45 f_{ck}$
Combinazione q.p.		3			$> f_{ctm} / 1.2$		Non richiesta
Combinazione frequente		4					$< 0.60 f_{ck}$
Combinazione rara		5					
Combinazione ultima		6			$M_{rd} > M_{sd}$		

LUCE [m]=	20.00	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		-6.95	1		-1.61	> -3.07	13.12	< 17.43
Sollevamento (in mezzeria)		45.41	2		0.56	> -3.07	6.32	< 17.43
Combinazione q.p.		83.44	3	135.40	0.22	> 0.00	2.67	< 16.81
Combinazione frequente		91.19	4	148.00	-0.57	> -2.79		
Combinazione rara		122.30	5	198.50			4.35	< 22.41
Combinazione ultima		166.80	6	270.70		$M_{rd} = 228.20$ kNm		Verificato


\* combinazioni in cui la zona superiore della sezione verificata risulta essere tesa



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Note sulle verifiche:			
Verifiche in esercizio	1	Verifica al momento agente sulla sezione in corrispondenza della boccola in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	Stato limite di fessurazione in fase di scassero e verifica alla compressione calcestruzzo
	2	Verifica al momento agente in mezzeria in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	
	3	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando i carichi permanenti al valore caratteristico e i carichi variabili con coefficiente $\Psi_{2,j}$ .	Stato limite di decompressione in combinazione quasi permanente e verifica alla compressione calcestruzzo
	4	Verifica al momento in mezzeria considerando la neve con coefficiente $\Psi_{1,j}$ e i permanenti a valore caratteristico.	Stato limite di fessurazione in combinazione frequente calcestruzzo
	5	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando variabili e permanenti con valore caratteristico.	Verifica solo a compressione in combinazione rara calcestruzzo
Verifiche SLU	6	Verifica a pressoflessione in mezzeria con carichi permanenti e variabili moltiplicati per coefficienti di amplificazione SLU.	Verifica allo stato limite ultimo



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcellaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Di seguito si riporta la verifica agli SLU, significativa del modus operandi tenuto nelle varie verifiche del tegolo.

Verifica C.A. S.L.U. - File: A Tegolo 36cm 7 Mezzeria\_SLU

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N° figure elementari 2 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	5
2	20	31

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3.14	3
2	2.35	3
3	1.57	33

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

Armatura Precompressione  
 N° strati cavi 2 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	1.39	29	1002
2	1.39	29	1002

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N	Ed	0	kN
270.70			

M	xEd	0	kNm
166.80			

M	yEd	0	

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

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Materiali  
 B450C C35/45

$\epsilon_{su}$	67.5	$\epsilon_{c2}$	2
$f_{yd}$	1409	$\epsilon_{cu}$	3.5
$E_s$	200'000	$f_{cd}$	19.83
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	7.045	$\sigma_{c,adm}$	13.5
$\sigma_{s,adm}$	255	$\tau_{co}$	0.8
		$\tau_{cl}$	2.257

M xRd 228.2 kN m

$\sigma_c$  -19.83 N/mm²

$\sigma_s$  1'409 N/mm²

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  44.19 ‰

d 33 cm

x 2.422 x/d 0.07339

$\delta$  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<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

M-curvatura

☒ Precompresso

Tegolo

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰

$f_{yd}$  1'409 N/mm²

$E_s/E_c$  6

$\epsilon_{syd}$  7.045 ‰

$\sigma_{s,adm}$  1'080 N/mm²

$\sigma_{sp}$  1'409 N/mm²


$\epsilon_{sp}$  43.42 ‰ compressa predef.

Fig. 7 – Verifica SLU in mezzeria

### Verifica moduli

I tegoli TT da 250 cm poggiano sui moduli laterali, anch'essi da 250 cm di lato. In pratica, ai fini della verifica trasversale ogni nervatura della parete (sezione quasi rettangolare da 14->18 cm x 26 cm, armata con 2+2  $\phi 16$  e 1+1 $\phi 18$ ) riceve le forze calcolate per ogni portale (Fig. 5 e Fig. 6).

La combinazione più onerosa è quella a neve, mostrata in Figura 5, dove si legge sia il valore del momento flettente nel modulo in corrispondenza delle fondazioni (112.70 kNm), sia nel nodo che corrisponde al punto in cui le nervature fuoriescono

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcellaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

dalla sezione di base (molto più larga), corrispondente al punto maggiormente sollecitato ( $M=93.91$  kNm,  $N=131.00$  kN). Nella verifica che segue si mostra il momento resistente a pressoflessione in combinazione neve e il dominio di resistenza nelle combinazioni neve, sisma, vento. Le sollecitazioni sopra indicate vanno dimezzate, dato che per ogni parete-modulo sono presenti due pilastri resistenti.

Verifica C.A. S.L.U. - File: A Modulo Nervato 15

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

N°	sup [cm]	inf [cm]	h [cm]
1	18	14	26

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4.02	4
2	4.02	21
3	2.54	4
4	2.54	21

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

Sollecitazioni  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub> 65.50 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 46.95 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

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

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

M-curvatura

☐ Precompresso


Materiali

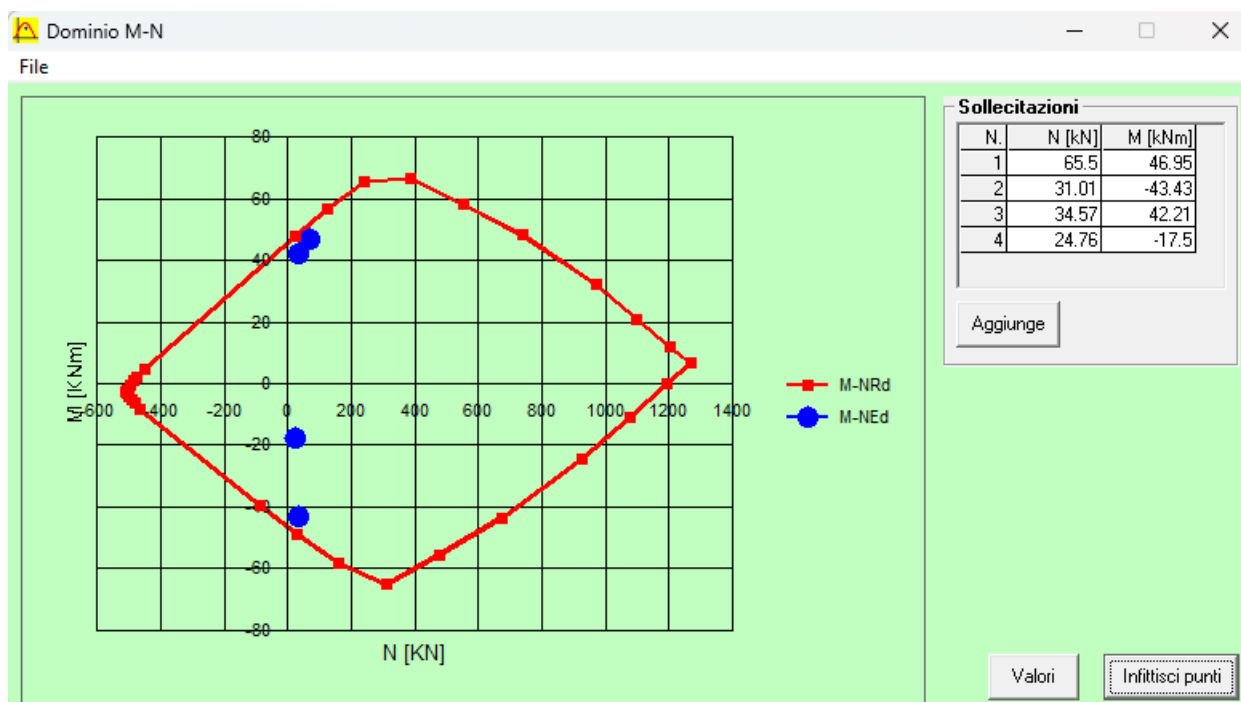
B450C C32/40

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> 18.13  
 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> 12.25  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
 τ<sub>c1</sub> 2.114

M<sub>xRd</sub> -51.77 kN m  
 σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 6.557 ‰  
 d 22 cm  
 x 7.657 x/d 0.348  
 δ 0.875

**Fig. 8** - Verifica nervature a pressoflessione in combinazione sisma

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola



**Fig. 9** - Dominio di resistenza nervature moduli


Entrambi i **cavi in acciaio armonico** (da 139 mm<sup>2</sup>) vanno tesati alla posa a 5'500 kg, successivamente con l'applicazione dei carichi il tiro aumenta. A pieno carico (SLU) i cavi saranno soggetti alla seguente forza di trazione, inferiore a quella resistente:

$$N_{sd} = 231.30 \text{ kN} < 442.15 \text{ kN} = 2 \times 139 \times 1'670 / 1.05 = N_{rd}$$

#### Verifica sollecitazione terreno:

Dalla relazione geologica-geotecnica si può dedurre una portata del terreno per fondazioni nastriformi pari a 109 kPa (agli stati limiti ultimi).

In Figura 10 si riassume il calcolo di verifica del terreno per le varie combinazioni di carico, riferite alla lunghezza di competenza di un tegolo (250 cm). Ovvero la sezione di verifica ammonta a 250x230x30 cm. Ai carichi verticali, al carico proveniente dalla copertura si è aggiunto il peso proprio dei moduli-parete, il peso

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

proprio del terreno e dei grigliati, eventuali sovraccarichi, il tutto moltiplicato per gli opportuni coefficienti.


Larghezza fondazione	b =	230
Lunghezza fondazione	h =	250
Distanza centro pilastro da filo fondazione	c =	115
Altezza fondazione	H =	30

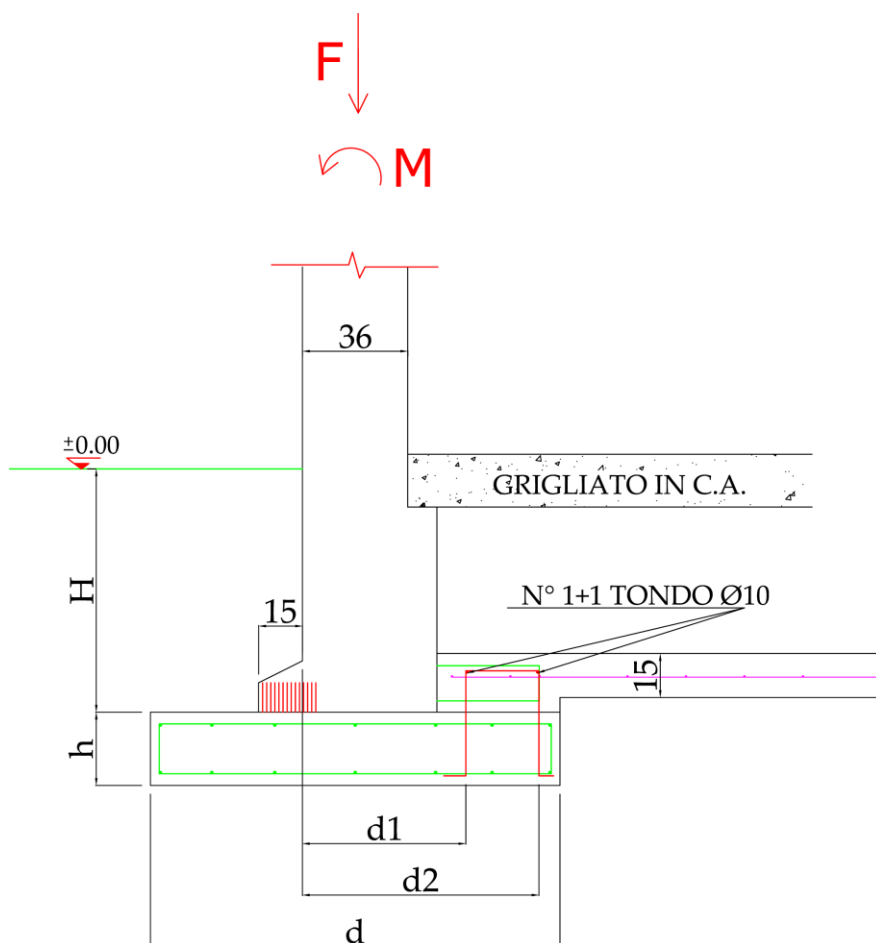
Combinazione		Sisma	Neve	Vento	Eserc	
Carico verticale	N =	62	131	50	66	kN
Carico verticale corretto	N =	142	257	144	145	kN
Momento agente	M =	104	113	44	1	kNm
Eccentricita carico	e =	56	37	24	1	cm
Sollecitazione "media" sul terreno		32	52	32	33	kPa
Sollecitazione minima sul terreno	$\sigma_{\min} =$	0	1	12	32	kPa
Sollecitazione massima sul terreno	$\sigma_{\max} =$	84	103	53	33	kPa

**Fig. 10** – Verifica sollecitazione terreno nelle varie combinazioni di carico

#### Verifica collegamento fondazione-modulo:

Il modulo è collegato alla fondazione sottostante tramite spinotti nella misura di  $\phi 8/50''$ , come da Figura 11. Nel caso di momento flettente verso l'esterno del capannone (Figura 5), il sistema modulo-fondazione è soggetto a compressione nella zona di sinistra (all'incirca in corrispondenza delle linee rosse), che per semplicità di calcolo si modella puntiforme in corrispondenza del filo del modulo (ai fini del calcolo del braccio).

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola



**Fig. 11** - Collegamento modulo-fondazione con momento in senso antiorario (la sezione è solo indicativa)


In trazione si hanno i ferri delle moiette, con una distanza media\* dal punto di compressione pari a  $(d_1 + d_2) / 2 = 85$  cm. Queste quindi devono essere in grado di assorbire una forza di trazione pari a<sup>†</sup>:

$$F_{sd} = M_{sd} / 0.85 = 113 / 0.85 = 133 \text{ kN}$$

L'armatura totale per 2.5 metri di capannone ammonta a:

\* Dato che la verifica agli SLU si effettua con condizioni di acciaio snervato, si può utilizzare il braccio di lavoro medio delle due armature.

† Trascurando a favore di sicurezza l'effetto benefico della forza normale, riequilibrante.

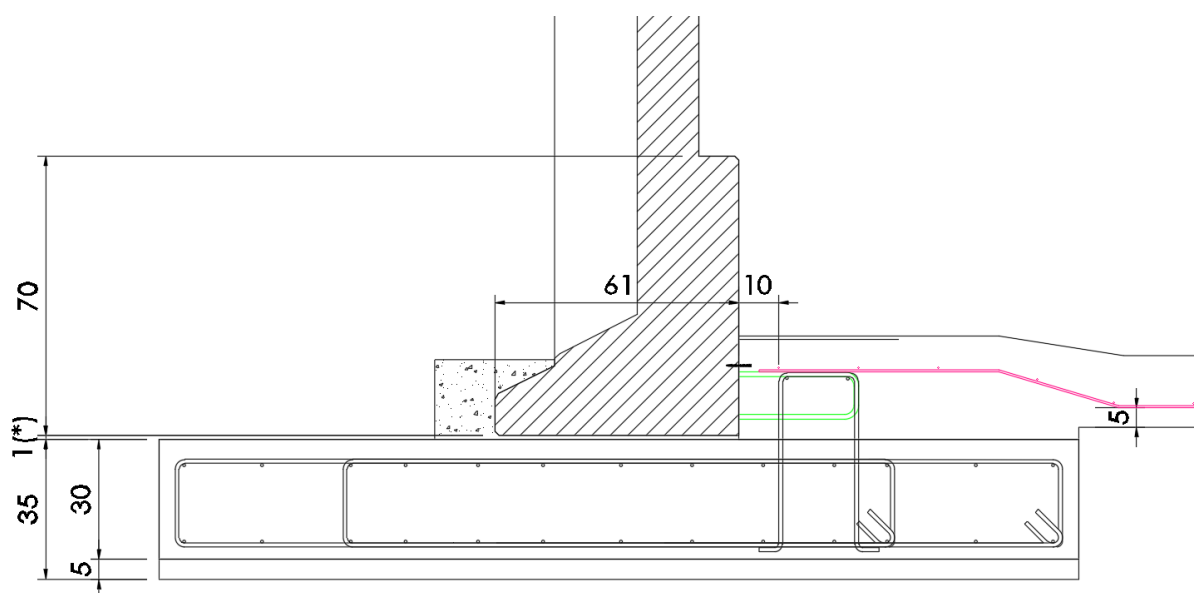
 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

$$A_s = 0.50 \times 2 \times 2.5 / 0.5 = 5.0 \text{ cm}^2$$

che offre quindi una resistenza in trazione pari a:


$$F_{rd} = 430 / 1.15 \times 500 / 1'000 = 187 \text{ kN} > 133 \text{ kN} = F_{sd}$$

Nel caso di momento flettente in verso opposto la verifica a ribaltamento si esplicita nel seguente modo: si consideri l'elemento "pannello + getto integrativo" (al di sopra della slitta di fondazione, evidenziato in Figura 12). La "base" su cui si distribuiscono le pressioni ha una larghezza di 145 cm, tuttavia il centro di sollecitazione rimane comunque a 115 cm dal filo destro dell'elemento in analisi, poiché il carico viene portato in mezzzeria della slitta. La sezione quindi si parzializza ma non si ribalta, e imprime una pressione massima (sulla slitta sottostante) pari a 97 kPa, come riportato in Figura 13.



**Fig. 12** - Geometria della fondazione



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Lato plinto ortogonale al confine	b =	145
Lato plinto parallelo al confine	h =	250
Distanza centro pilastro da filo plinto	c =	115
Altezza plinto	H =	30

Combinazione		Sisma	
Carico verticale	N =	142	kN
Momento agente	M <sub>sis</sub> =	104	kNm
Eccentricità carico	e =	26	cm
Sollecitazione "media" sul terreno		47	kPa
Sollecitazione minima sul terreno	σ <sub>min</sub> =	0	kPa
Sollecitazione massima sul terreno	σ <sub>max</sub> =	97	kPa

**Fig. 13** - Verifica sisma verso interno fabbricato

#### Verifica fondazione:

A favore di sicurezza, e per semplicità di calcolo supponiamo la reazione del terreno costante pari al suo valore massimo\* (103 kPa circa) lungo la fondazione. Il momento sollecitante sulla trave di fondazione, a filo modulo (80 cm di sbalzo), ammonta quindi a (sempre per ogni 250 cm di capannone):

$$M_{sd} = 0.80 \times 103 \times 2.5 \times 0.80/2 = 82.40 \text{ kNm}$$

La sezione (spessore 30 cm) armata con staffe 2ϕ10/20" offre un momento resistente pari a:

$$M_{R,d} = 185.20 \text{ kNm} > 82.40 \text{ kNm} = M_{s,d}$$

\* In realtà in combinazione sismica la pressione ha un andamento triangolare con un calo rapido.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto

Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

Proponente

Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

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

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18.85	5
2	18.85	25

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

Materiali

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200000 N/mm²	$f_{cd}$	14.17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.6
		$\tau_{c1}$	1.829

M<sub>xRd</sub>  kN m

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

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

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

Fig. 14 - Verifica fondazione



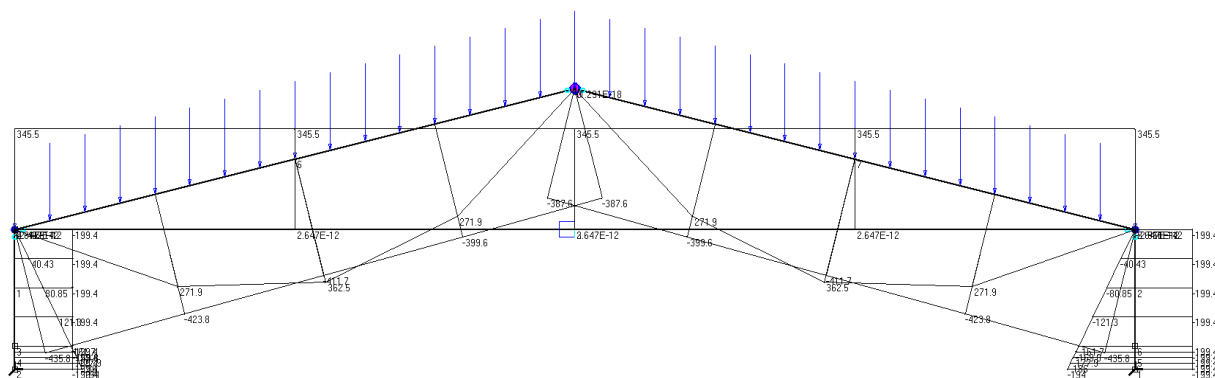
## 15. DIMENSIONAMENTI CAPANNONI **B**

Segue un dettaglio dei primi dimensionamenti di massima degli elementi strutturali principali, ovvero tegoli H49.5 cm, moduli (pilastrino da 25 cm) e fondazioni.

### Calcolo sollecitazioni

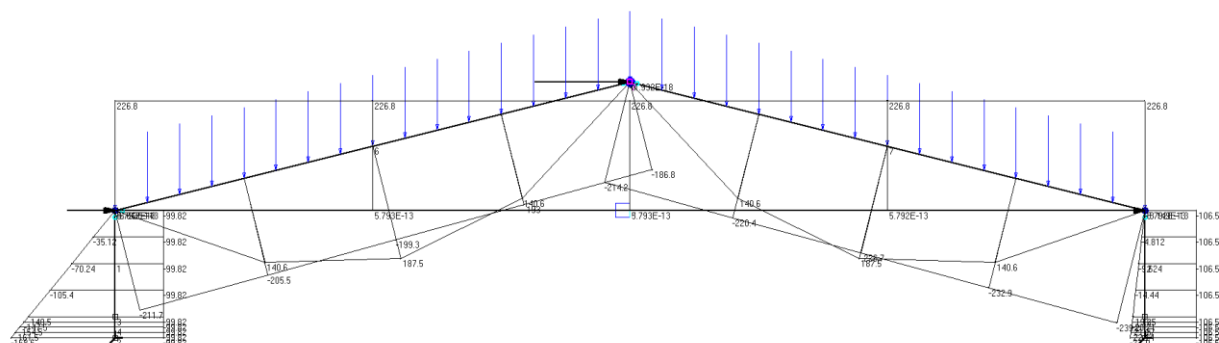
Un volta assemblato sul portale, col tegolo opposto e il doppio tirante, il tegolo sarà soggetto ad un momento (esterno) come mostrato in Figura 15 in combinazione ultima (neve, la più gravosa per i tegoli). Il momento è calcolato ponendo come carico distribuito, agli stati limite, il seguente valore:

$$q_{ult} = \underbrace{(1.20 \times 1.5)}_{\text{neve}} + \underbrace{(215+60)}_{\text{proprio + tegole + FV}} / \cos 14^\circ \times 1.3) \times 2.5 = 13.71 \text{ kN/m}$$



**Fig. 15** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, a pieno carico (neve)

In Figura 16 si illustrano inoltre le sollecitazioni in combinazione sismica, per effettuare poi le verifiche delle strutture verticali e delle fondazioni.



**Fig. 16** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, in combinazione sismica

### Verifica tegoli

Il tegolo è soggetto a pressoflessione. Oltre al valore di precompressione dovuta ai cavi pre-tesi interni al tegolo (2 per ogni nervatura, uno da  $139 \text{ mm}^2$  in basso e uno da  $93 \text{ mm}^2$  sopra il primo), nel caso di carico massimo si deve aggiungere un valore di compressione che varia da 388 kN (colmo) a 436 kN (gronda) dati dallo schema iperstatico in cui i due cavi esterni vengono messi in tensione. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle verifiche eseguite sul tegolo.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto  
Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

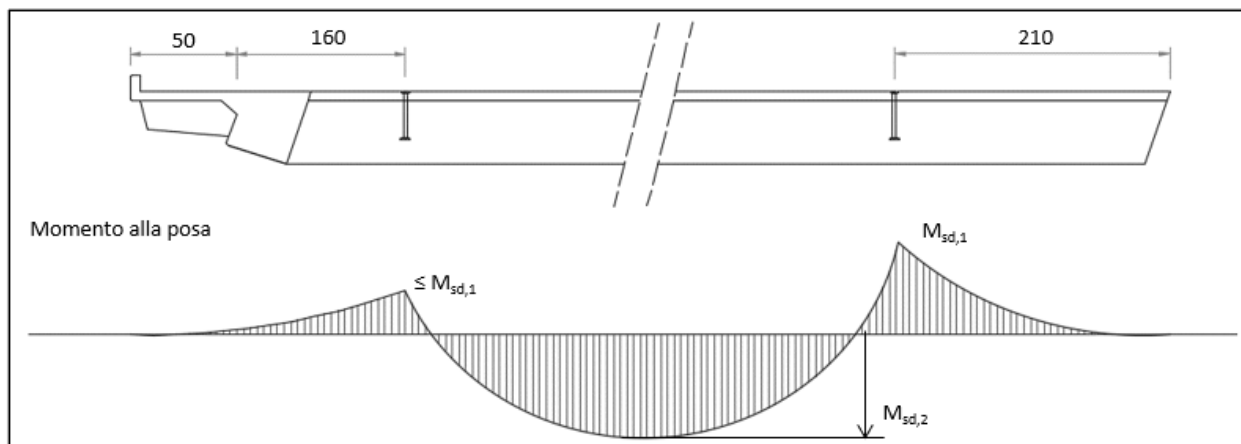
Proponente  
Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola


$R_{ck}$	$f_{ck}$	$f_{ctm}$	$R_{ckj}$	$f_{ckj}$	$f_{ctmj}$	$f_{ptk}$	$f_{p1k}$	$\sigma_{a0,amm}$	$\sigma_{e,amm}$	$\sigma_{a0,eff}$	$\sigma_{e,eff}$	$f_{yk}$
45	37.35	3.35	25	20.75	2.27	1860	1670	1503	1002	1400	1002	450

LUCE [m] = luce interna	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		1		Sollecitazioni calcestruzzo in zona tesa	$> f_{ctmj} \cdot 1.2$	Sollecitazioni calcestruzzo in zona compressa	$< 0.7 f_{ckj}$
Sollevamento (in mezzeria)		2			$> 0$		$< 0.45 f_{ck}$
Combinazione q.p.		3			$> f_{ctm} / 1.2$		Non richiesta
Combinazione frequente		4					
Combinazione rara		5					$< 0.60 f_{ck}$
Combinazione ultima		6			$M_{rd} > M_{sd}$		

LUCE [m]=	28.73	M <sub>sd,v</sub> [kNm]	[V] Verifica	N <sub>sd</sub> [kN]	σ <sub>tesa</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa		σ <sub>comp</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa	
Sollevamento (alle boccole) *		-15.41	1		-1.88	>	-3.07	16.66	<	17.43
Sollevamento (in mezzeria)		101.08	2		1.03	>	-3.07	8.38	<	17.43
Combinazione q.p.		187.50	3	213.00	0.56	>	0.00	3.95	<	16.81
Combinazione frequente		203.30	4	230.90	-0.34	>	-2.79			
Combinazione rara		266.80	5	303.10				6.71	<	22.41
Combinazione ultima		362.50	6	411.70		M <sub>rd</sub> = 421.40 kNm			Verificato	


\* combinazioni in cui la zona superiore della sezione verificata risulta essere tesa



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Note sulle verifiche:			
Verifiche in esercizio	1	Verifica al momento agente sulla sezione in corrispondenza della boccola in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	Stato limite di fessurazione in fase di scassero e verifica alla compressione calcestruzzo
	2	Verifica al momento agente in mezzeria in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	
	3	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando i carichi permanenti al valore caratteristico e i carichi variabili con coefficiente $\Psi_{2,j}$ .	Stato limite di decompressione in combinazione quasi permanente e verifica alla compressione calcestruzzo
	4	Verifica al momento in mezzeria considerando la neve con coefficiente $\Psi_{1,j}$ e i permanenti a valore caratteristico.	Stato limite di fessurazione in combinazione frequente calcestruzzo
	5	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando variabili e permanenti con valore caratteristico.	Verifica solo a compressione in combinazione rara calcestruzzo
Verifiche SLU	6	Verifica a pressoflessione in mezzeria con carichi permanenti e variabili moltiplicati per coefficienti di amplificazione SLU.	Verifica allo stato limite ultimo



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Di seguito si riporta la verifica agli SLU, significativa del modus operandi tenuto nelle varie verifiche del tegolo.

Verifica C.A. S.L.U. - File: B Tegolo 49.50cm 7 Mezzeria\_SLU

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N° figure elementari 2 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	5
2	18	44.5

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3.14	3
2	3.08	46
3	2.35	3

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

Armatura Precompressione  
 N° strati cavi 4 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	1.39	42	1002
2	1.39	42	1002
3	0.93	37.5	1002
4	0.93	37.5	1002

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N° 411.70 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 362.50 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 - Cavo snervato

Materiali  
 B450C C35/45  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

M<sub>xRd</sub> 421.4 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  49.53 ‰  
 d 46 cm  
 x 3.036 x/d 0.066  
 $\delta$  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<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura

Precompresso ☒


Tipo cavo  
 Trefolo  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  
 $f_{yd}$  1'500 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  7.5 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm²  
 $\sigma_{sp}$  1'500 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$  49.93 ‰ compressa predef.

Fig. 17 – Verifica SLU in mezzeria

## Verifica moduli

I tegoli TT da 250 cm poggiano sui moduli laterali, anch'essi da 250 cm di lato. In pratica, ai fini della verifica trasversale ogni nervatura della parete (sezione quasi rettangolare da 26->28 cm x 26 cm, armata con 3+3  $\phi 20$ ) riceve le forze calcolate per ogni portale (Fig. 15 e Fig. 16).

La combinazione più onerosa è quella a neve, mostrata in Figura 15, dove si legge sia il valore del momento flettente nel modulo in corrispondenza delle fondazioni (194 kNm), sia nel nodo che corrisponde al punto in cui le nervature fuoriescono

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

dalla sezione di base (molto più larga), corrispondente al punto maggiormente sollecitato ( $M=161.70$  kNm,  $N=199.40$  kN). Nella verifica che segue si mostra il momento resistente a pressoflessione in combinazione neve e il dominio di resistenza nelle combinazioni neve, sisma, vento. Le sollecitazioni sopra indicate vanno dimezzate, dato che per ogni parete-modulo sono presenti due pilastri resistenti.

Verifica C.A. S.L.U. - File: B Modulo Nervato 25

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

TITOLO :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

N°	sup [cm]	inf [cm]	h [cm]
1	28	26	26

N°	As [cm²]	d [cm]
1	6.28	3
2	6.28	23
3	3.14	3
4	3.14	23

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

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 99.70 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 80.85 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 C32/40  
 E<sub>su</sub> 67.5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18.13 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
 E<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12.25  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333  
 τ<sub>c1</sub> 2.114

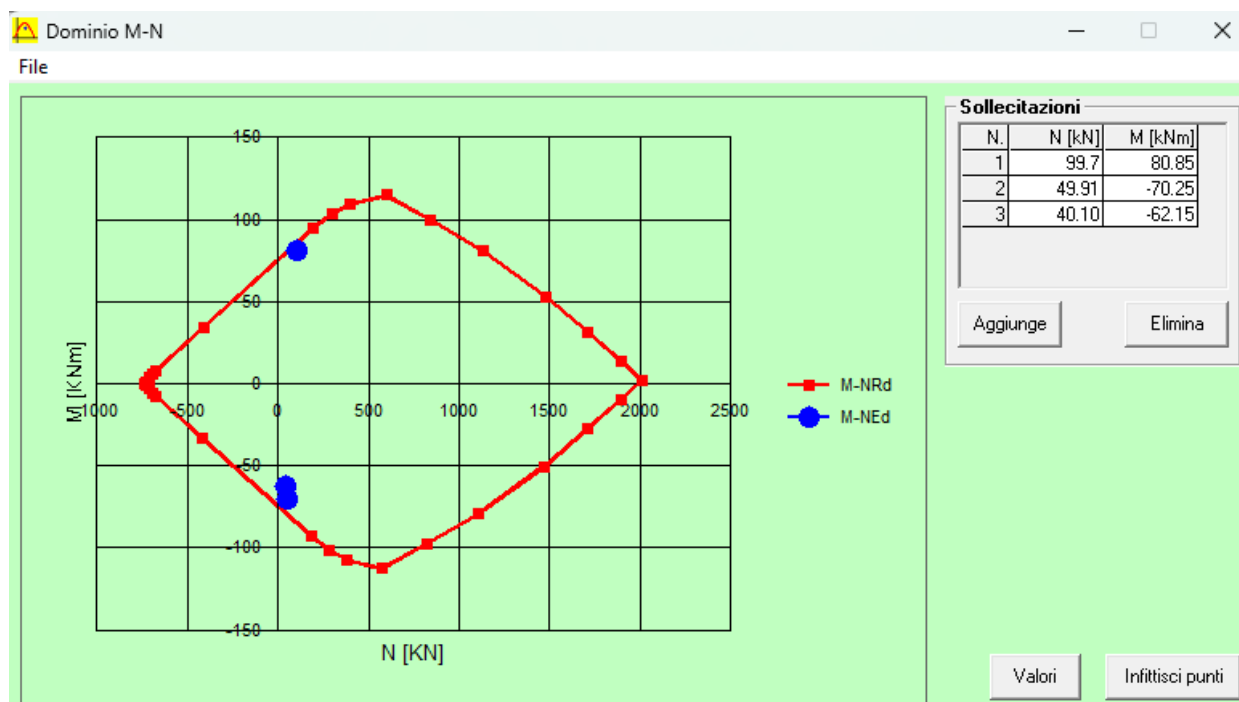
M<sub>xRd</sub> -85.4 kN m  
 σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 E<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 12.26 ‰  
 d 23 cm  
 x 5.108 x/d 0.2221  
 δ 0.7176

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  
 M-curvatura  
☐ Precompresso

**Fig. 18** - Verifica nervature a pressoflessione in combinazione sisma



**Fig. 19** - Dominio di resistenza nervature moduli


Entrambi i **cavi in acciaio armonico** (da 139 mm<sup>2</sup>) vanno tesati alla posa a 10'000 kg, successivamente con l'applicazione dei carichi il tiro aumenta. A pieno carico (SLU) i cavi saranno soggetti alla seguente forza di trazione, inferiore a quella resistente:

$$N_{sd} = 345.50 \text{ kN} < 442.15 \text{ kN} = 2 \times 139 \times 1'670 / 1.05 = N_{rd}$$

#### Verifica sollecitazione terreno:

Dalla relazione geologica-geotecnica si può dedurre una portata del terreno per fondazioni nastriformi pari a 109 kPa (agli stati limiti ultimi).

In Figura 20 si riassume il calcolo di verifica del terreno per le varie combinazioni di carico, riferite alla lunghezza di competenza di un tegolo (250 cm). Ovvero la sezione di verifica ammonta a 250x300x30 cm. Ai carichi verticali, al carico proveniente dalla copertura si è aggiunto il peso proprio dei moduli-parete, il peso

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

proprio del terreno e dei grigliati, eventuali sovraccarichi, il tutto moltiplicato per gli opportuni coefficienti.


Larghezza fondazione	b =	300
Lunghezza fondazione	h =	250
Distanza centro pilastro da filo fondazione	c =	150
Altezza fondazione	H =	30

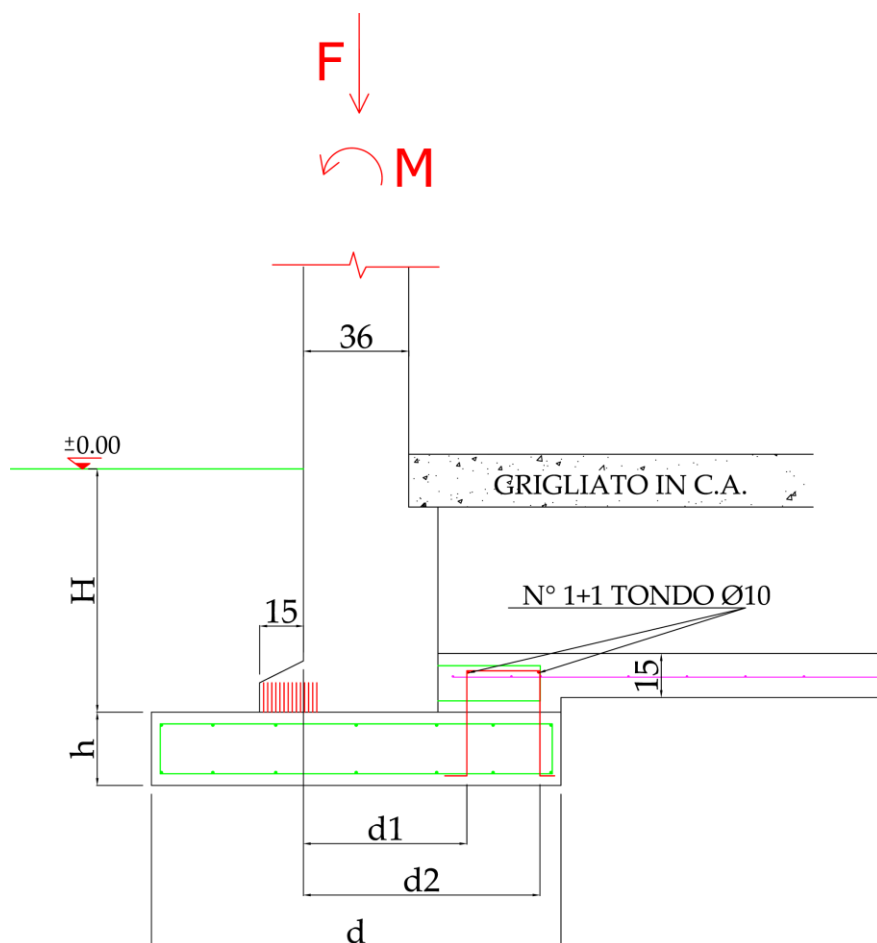
Combinazione		Sisma	Neve	Vento	Eserc	
Carico verticale	N =	99.82	199	80	103	kN
Carico verticale corretto	N =	185	333	180	188	kN
Momento agente	M =	169	194	152	73	kNm
Eccentricita carico	e =	70	50	64	30	cm
Sollecitazione "media" sul terreno		32	52	31	33	kPa
Sollecitazione minima sul terreno	$\sigma_{\min}$ =	0	0	0	13	kPa
Sollecitazione massima sul terreno	$\sigma_{\max}$ =	80	104	73	52	kPa

**Fig. 20** – Verifica sollecitazione terreno nelle varie combinazioni di carico

#### Verifica collegamento fondazione-modulo:

Il modulo è collegato alla fondazione sottostante tramite spinotti nella misura di  $\phi 10/40''$ , come da Figura 21. Nel caso di momento flettente verso l'esterno del capannone (Figura 15), il sistema modulo-fondazione è soggetto a compressione nella zona di sinistra (all'incirca in corrispondenza delle linee rosse), che per semplicità di calcolo si modella puntiforme in corrispondenza del filo del modulo (ai fini del calcolo del braccio).

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola



**Fig. 21** - Collegamento modulo-fondazione con momento in senso antiorario (la sezione è solo indicativa)


In trazione si hanno i ferri delle moiette, con una distanza media\* dal punto di compressione pari a  $(d_1 + d_2) / 2 = 85$  cm. Queste quindi devono essere in grado di assorbire una forza di trazione pari a<sup>†</sup>:

$$F_{sd} = M_{sd} / 0.85 = 194 / 0.85 = 228 \text{ kN}$$

L'armatura totale per 2.5 metri di capannone ammonta a:

\* Dato che la verifica agli SLU si effettua con condizioni di acciaio snervato, si può utilizzare il braccio di lavoro medio delle due armature.

† Trascurando a favore di sicurezza l'effetto benefico della forza normale, riequilibrante.

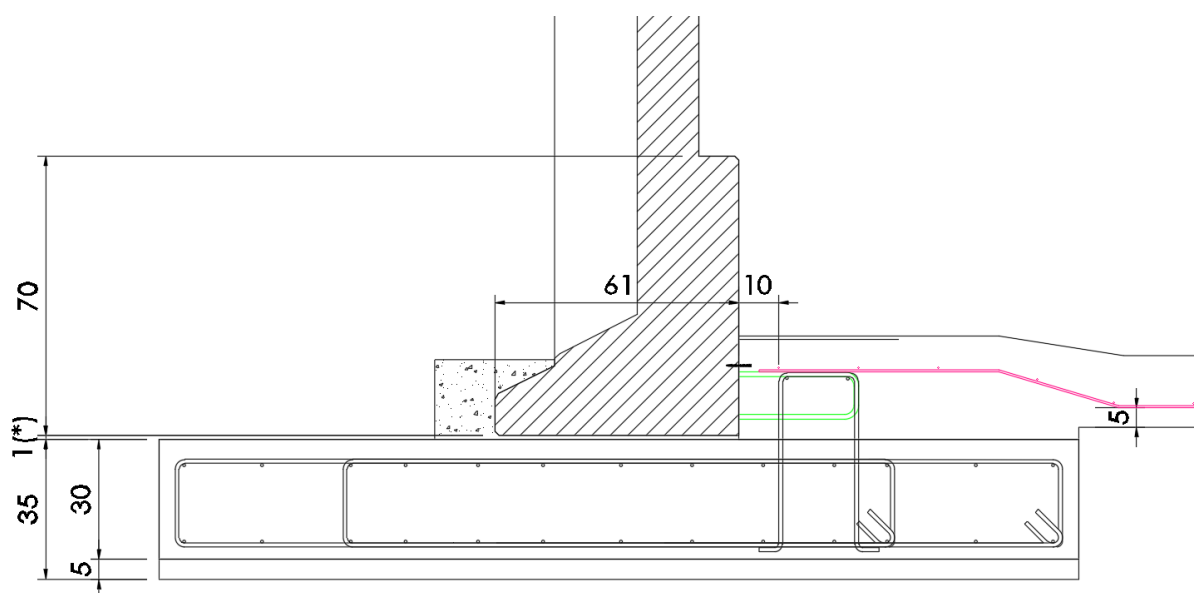
 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

$$A_s = 0.79 \times 2 \times 2.5 / 0.4 = 9.87 \text{ cm}^2$$

che offre quindi una resistenza in trazione pari a:


$$F_{rd} = 430 / 1.15 \times 987.5 / 1'000 = 369 \text{ kN} > 228 \text{ kN} = F_{sd}$$

Nel caso di momento flettente in verso opposto la verifica a ribaltamento si esplicita nel seguente modo: si consideri l'elemento "pannello + getto integrativo" (al di sopra della slitta di fondazione, evidenziato in Figura 22). La "base" su cui si distribuiscono le pressioni ha una larghezza di 180 cm, tuttavia il centro di sollecitazione rimane comunque a 150 cm dal filo destro dell'elemento in analisi, poiché il carico viene portato in mezzzeria della slitta. La sezione quindi si parzializza ma non si ribalta, e imprime una pressione massima (sulla slitta sottostante) pari a 92 kPa, come riportato in Figura 23.



**Fig. 22** - Geometria della fondazione



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Lato plinto ortogonale al confine	b =	180
Lato plinto parallelo al confine	h =	250
Distanza centro pilastro da filo plinto	c =	150
Altezza plinto	H =	30

Combinazione		Sisma	
Carico verticale	N =	185	kN
Momento agente	M <sub>sis</sub> =	169	kNm
Eccentricità carico	e =	27	cm
Sollecitazione "media" sul terreno		49	kPa
Sollecitazione minima sul terreno	σ <sub>min</sub> =	6	kPa
Sollecitazione massima sul terreno	σ <sub>max</sub> =	92	kPa

**Fig. 23** - Verifica sisma verso interno fabbricato

#### Verifica fondazione:

A favore di sicurezza, e per semplicità di calcolo supponiamo la reazione del terreno costante pari al suo valore massimo\* (104 kPa circa) lungo la fondazione. Il momento sollecitante sulla trave di fondazione, a filo modulo (120 cm di sbalzo), ammonta quindi a (sempre per ogni 250 cm di capannone):

$$M_{sd} = 1.20 \times 104 \times 2.5 \times 1.20/2 = 187.20 \text{ kNm}$$

La sezione (spessore 30 cm) armata con staffe 2φ12/20" offre un momento resistente pari a:

$$M_{R,d} = 252.70 \text{ kNm} > 187.20 \text{ kNm} = M_{s,d}$$

\* In realtà in combinazione sismica la pressione ha un andamento triangolare con un calo rapido.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto

Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

Proponente

Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola

Verifica C.A. S.L.U. - File: File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018

Titolo:

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	27.14	5
2	27.14	25

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

Sollecitazioni  
S.L.U. ☒ Metodo n ☐

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

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali  
B450C C25/30  
E<sub>su</sub>  ‰ E<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² E<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² 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>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kN m  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

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  
M-curvatura  
☐ Precompresso

Fig. 24 - Verifica fondazione



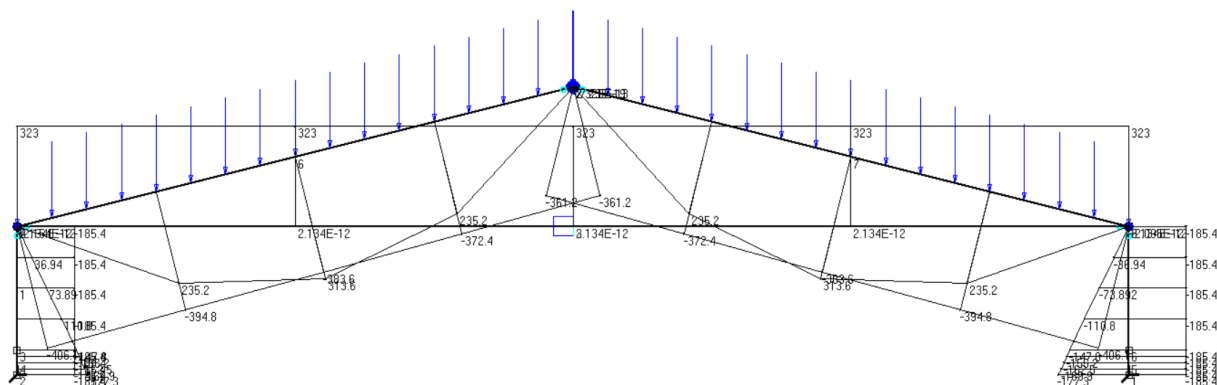
## 16. DIMENSIONAMENTI CAPANNONE C

Segue un dettaglio dei primi dimensionamenti di massima degli elementi strutturali principali, ovvero tegoli H49.5 cm, moduli (pilastrino da 25 cm) e fondazioni.

### Calcolo sollecitazioni

Un volta assemblato sul portale, col tegolo opposto e il doppio tirante, il tegolo sarà soggetto ad un momento (esterno) come mostrato in Figura 25 in combinazione ultima (neve, la più gravosa per i tegoli). Il momento è calcolato ponendo come carico distribuito, agli stati limite, il seguente valore:

$$q_{ult} = \underbrace{(1.20 \times 1.5)}_{\text{neve}} + \underbrace{(215+60)}_{\text{proprio + tegole + FV}} / \cos 14^\circ \times 1.3) \times 2.5 = 13.71 \text{ kN/m}$$



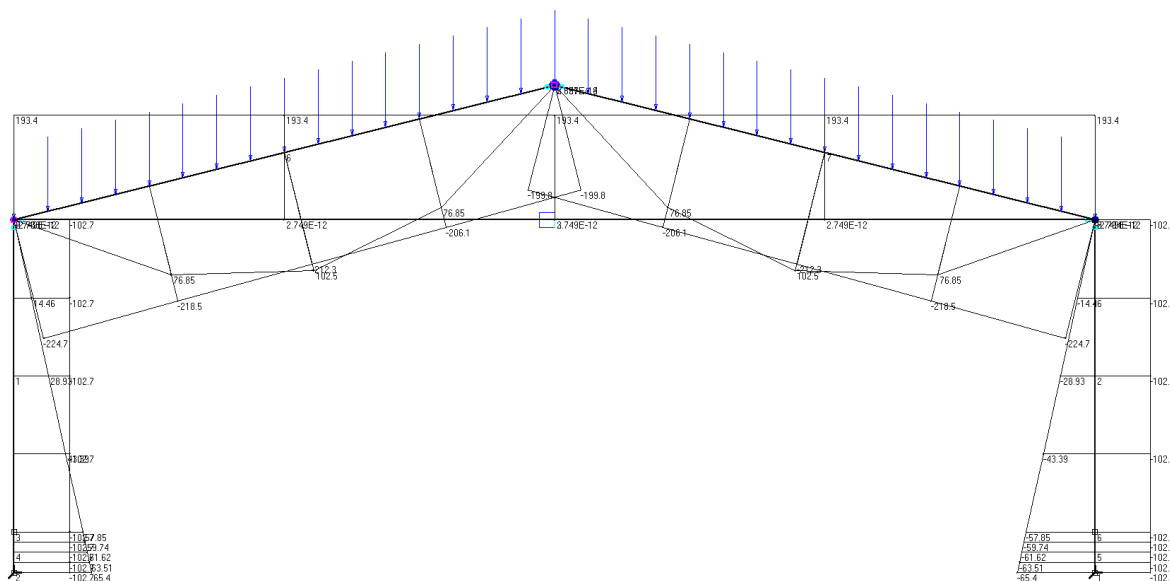
**Fig. 25** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, a pieno carico (neve)

In Figura 16 si illustrano inoltre le sollecitazioni in combinazione sismica, per effettuare poi le verifiche delle strutture verticali e delle fondazioni.



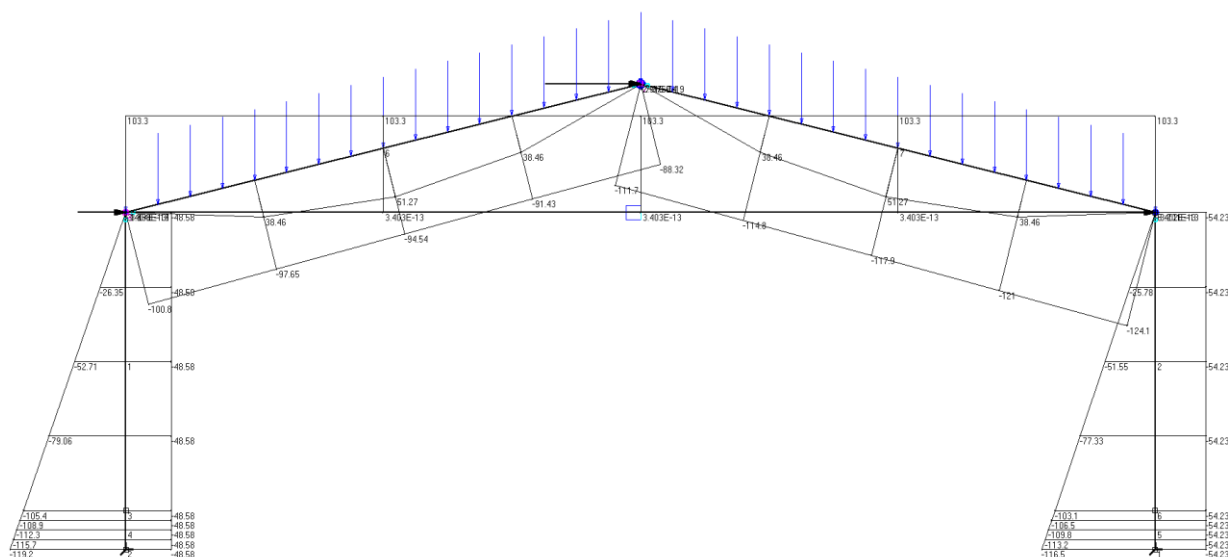
D

### Calcolo sollecitazioni

$$q_{ult} = \underbrace{(1.20 \times 1.5)}_{\text{neve}} + \underbrace{(190+60)}_{\text{proprio + tegole + FV}} / \cos 14^\circ \times 1.3) \times 2.5 = 12.87 \text{ kN/m}$$


**Fig. 27** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, a pieno carico (neve)

In Figura 28 si illustrano inoltre le sollecitazioni in combinazione sismica, per effettuare poi le verifiche delle strutture verticali e delle fondazioni.



**Fig. 28** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, in combinazione sismica

### Verifica tegoli

Il tegolo è soggetto a pressoflessione. Oltre al valore di precompressione dovuta ai cavi pre-tesi interni al tegolo (1 per ogni nervatura, da 93 mm<sup>2</sup>, per un tiro totale di circa 250 kN), nel caso di carico massimo si deve aggiungere un valore di compressione che varia da 200 kN (colmo) a 225 kN (gronda) dati dallo schema iperstatico in cui i due cavi esterni vengono messi in tensione. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle verifiche eseguite sul tegolo.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto  
Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

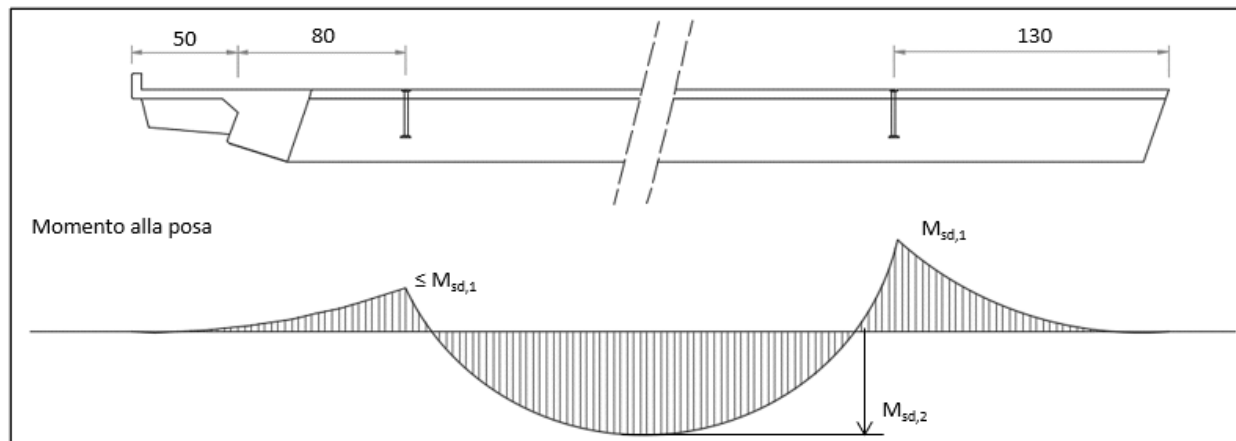
Proponente  
Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola


$R_{ck}$	$f_{ck}$	$f_{ctm}$	$R_{ckj}$	$f_{ckj}$	$f_{ctmj}$	$f_{ptk}$	$f_{p1k}$	$\sigma_{a0,amm}$	$\sigma_{e,amm}$	$\sigma_{a0,eff}$	$\sigma_{e,eff}$	$f_{yk}$
45	37.35	3.35	25	20.75	2.27	1860	1670	1503	1002	1400	1002	450

LUCE [m] = luce interna	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		1		Sollecitazioni calcestruzzo in zona tesa	$> f_{ctmj} \cdot 1.2$	Sollecitazioni calcestruzzo in zona compressa	$< 0.7 f_{ckj}$
Sollevamento (in mezzeria)		2			$> 0$		$< 0.45 f_{ck}$
Combinazione q.p.		3			$> f_{ctm} / 1.2$		Non richiesta
Combinazione frequente		4					
Combinazione rara		5					$< 0.60 f_{ck}$
Combinazione ultima		6			$M_{rd} > M_{sd}$		

LUCE [m]=	15.60	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		-5.22	1		-1.11	> -3.07	8.97	< 17.43
Sollevamento (in mezzeria)		26.15	2		0.19	> -3.07	4.84	< 17.43
Combinazione q.p.		51.27	3	106.20	1.02	> 0.00	1.61	< 16.81
Combinazione frequente		56.03	4	116.10	0.57	> -2.79		
Combinazione rara		75.15	5	155.70			2.66	< 22.41
Combinazione ultima		102.50	6	212.30		$M_{rd} = 184.40$ kNm		Verificato


\* combinazioni in cui la zona superiore della sezione verificata risulta essere tesa



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Note sulle verifiche:			
Verifiche in esercizio	1	Verifica al momento agente sulla sezione in corrispondenza della boccola in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	Stato limite di fessurazione in fase di scassero e verifica alla compressione calcestruzzo
	2	Verifica al momento agente in mezzeria in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	
	3	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando i carichi permanenti al valore caratteristico e i carichi variabili con coefficiente $\Psi_{2,j}$ .	Stato limite di decompressione in combinazione quasi permanente e verifica alla compressione calcestruzzo
	4	Verifica al momento in mezzeria considerando la neve con coefficiente $\Psi_{1,j}$ e i permanenti a valore caratteristico.	Stato limite di fessurazione in combinazione frequente calcestruzzo
	5	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando variabili e permanenti con valore caratteristico.	Verifica solo a compressione in combinazione rara calcestruzzo
Verifiche SLU	6	Verifica a pressoflessione in mezzeria con carichi permanenti e variabili moltiplicati per coefficienti di amplificazione SLU.	Verifica allo stato limite ultimo



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcellaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Di seguito si riporta la verifica agli SLU, significativa del modus operandi tenuto nelle varie verifiche del tegolo.

Verifica C.A. S.L.U. - File: D Tegolo 36cm 7 Mezzeria\_SLU

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N° figure elementari 2 Zoom N° strati barre 3 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	5
2	20	31

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3.14	3
2	2.35	3
3	1.57	33

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

Armatura Precompressione  
 N° strati cavi 2 Zoom

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	0.93	29	1002
2	0.93	29	1002

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N	Ed	0	kN
212.30			

M	Ed	0	kNm
102.50			

M	Ed	0	
0			

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

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

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

Tipo flessione  
☒ Retta ☐ Deviata

Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura

Precompresso

Materiali  
 B450C C35/45  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  1409 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  7.045 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

M xRd 184.4 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  1'409 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  50.97 ‰  
 d 33 cm  
 x 2.12 x/d 0.06425  
 $\delta$  0.7


Tegolo  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  
 $f_{yd}$  1'409 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  7.045 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1'080 N/mm²  
 $\sigma_{sp}$  1'409 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$  49.38 ‰ compressa predef.

Fig. 29 – Verifica SLU in mezzeria

## Verifica moduli

I tegoli TT da 250 cm poggiano sui moduli laterali, anch'essi da 250 cm di lato. In pratica, ai fini della verifica trasversale ogni nervatura della parete (sezione quasi rettangolare da 14->18 cm x 26 cm, armata con 3+3  $\phi 18$ ) riceve le forze calcolate per ogni portale (Fig. 27 e Fig. 28).

La combinazione più onerosa è quella del sisma, mostrata in Figura 28, dove si legge sia il valore del momento flettente nel modulo in corrispondenza delle fondazioni (119.20 kNm), sia nel nodo che corrisponde al punto in cui le nervature fuoriescono dalla sezione di base (molto più larga), corrispondente al punto

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

maggiormente sollecitato ( $M=105.40$  kNm,  $N=48.58$  kN). Nella verifica che segue si mostra il momento resistente a pressoflessione in combinazione sisma e il dominio di resistenza nelle combinazioni neve, sisma, vento. Le sollecitazioni sopra indicate vanno dimezzate, dato che per ogni parete-modulo sono presenti due pilastrini resistenti.

Verifica C.A. S.L.U. - File: D Modulo Nervato 15

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

N°	sup [cm]	b inf [cm]	h [cm]
1	18	14	26

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.09	4
2	5.09	21
3	2.54	4
4	2.54	21

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 24.29 0 kN

M<sub>xEd</sub> -52.70 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

M<sub>xRd</sub> 55.33 kN m

σ<sub>c</sub> -18.13 N/mm²

σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²

ε<sub>c</sub> 3.5 ‰

ε<sub>s</sub> 9.001 ‰

d 21 cm

x 5.879 x/d 0.28

δ 0.79

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

DXF

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

M-curvatura

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

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> 18.13

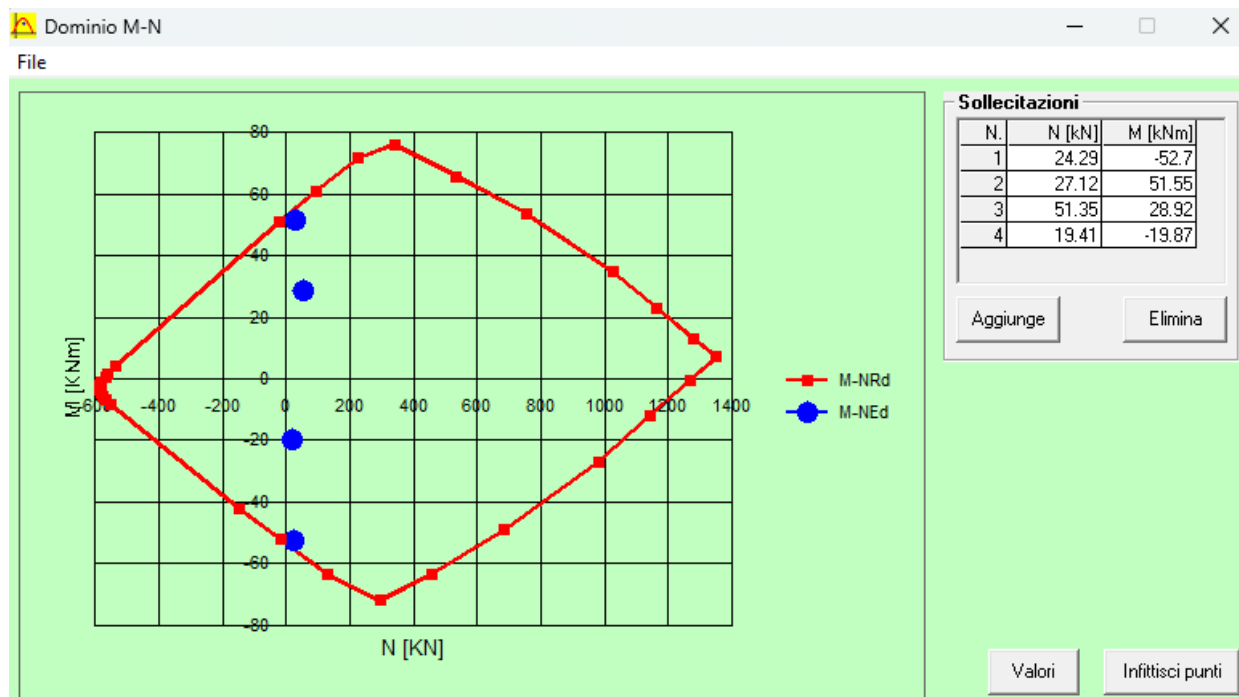
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8

ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12.25

σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.7333

τ<sub>c1</sub> 2.114

**Fig. 30** - Verifica nervature a pressoflessione in combinazione sisma



**Fig. 31** - Dominio di resistenza nervature moduli


Il **cavo in acciaio armonico** (da 139 mm<sup>2</sup>) va tesato alla posa a 8'100 kg, successivamente con l'applicazione dei carichi il tiro aumenta. A pieno carico (SLU) i cavi saranno soggetti alla seguente forza di trazione, inferiore a quella resistente:

$$N_{sd} = 195.30 \text{ kN} < 221.07 \text{ kN} = 139 \times 1'670 / 1.05 = N_{rd}$$

#### Verifica sollecitazione terreno:

Dalla relazione geologica-geotecnica si può dedurre una portata del terreno per fondazioni nastriformi pari a 109 kPa (agli stati limiti ultimi).

In Figura 32 si riassume il calcolo di verifica del terreno per le varie combinazioni di carico, riferite alla lunghezza di competenza di un tegolo (250 cm). Ovvero la sezione di verifica ammonta a 250x250x30 cm. Ai carichi verticali, al carico proveniente dalla copertura si è aggiunto il peso proprio dei moduli-parete, il peso

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

proprio del terreno e della pavimentazione, eventuali sovraccarichi, il tutto moltiplicato per gli opportuni coefficienti.


Larghezza fondazione	b =	230
Lunghezza fondazione	h =	250
Distanza centro pilastro da filo fondazione	c =	115
Altezza fondazione	H =	30

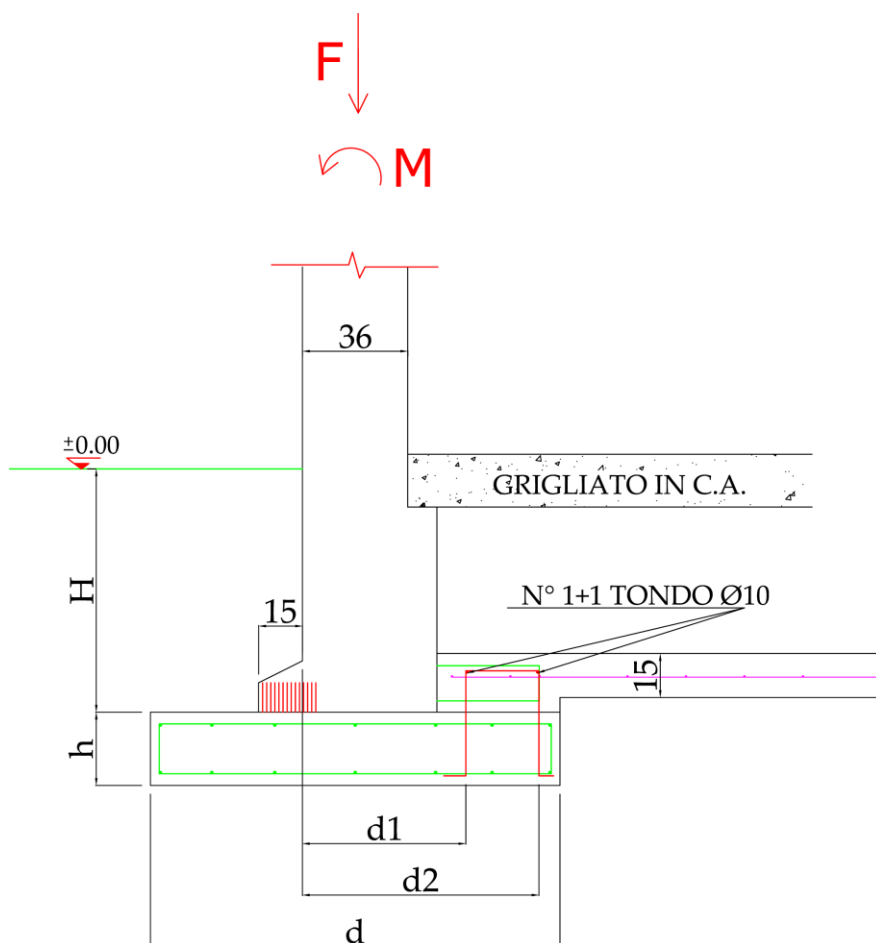
Combinazione		Sisma	Neve	Vento	Eserc	
Carico verticale	N =	49	103	39	51	kN
Carico verticale corretto	N =	114	192	107	117	kN
Momento agente	M =	119	65	49	1	kNm
Eccentricita carico	e =	76	28	32	1	cm
Sollecitazione "media" sul terreno		27	41	26	28	kPa
Sollecitazione minima sul terreno	$\sigma_{\min} =$	0	11	4	27	kPa
Sollecitazione massima sul terreno	$\sigma_{\max} =$	107	70	48	28	kPa
Totale aggiuntivi	=	65	89	68	65	kN

**Fig. 32** – Verifica sollecitazione terreno nelle varie combinazioni di carico

#### Verifica collegamento fondazione-modulo:

Il modulo è collegato alla fondazione sottostante tramite spinotti nella misura di  $\phi 8/50''$ , come da Figura 33. Nel caso di momento flettente verso l'esterno del capannone (Figura 27), il sistema modulo-fondazione è soggetto a compressione nella zona di sinistra (all'incirca in corrispondenza delle linee rosse), che per semplicità di calcolo si modella puntiforme in corrispondenza del filo del modulo (ai fini del calcolo del braccio).

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola



**Fig. 33** - Collegamento modulo-fondazione con momento in senso antiorario (la sezione è solo indicativa)


In trazione si hanno i ferri delle moiette, con una distanza media\* dal punto di compressione pari a  $(d_1 + d_2) / 2 = 85$  cm. Queste quindi devono essere in grado di assorbire una forza di trazione pari a<sup>†</sup>:

$$F_{sd} = M_{sd} / 0.85 = 119 / 0.85 = 140 \text{ kN}$$

L'armatura totale per 2.5 metri di capannone ammonta a:

\* Dato che la verifica agli SLU si effettua con condizioni di acciaio snervato, si può utilizzare il braccio di lavoro medio delle due armature.

† Trascurando a favore di sicurezza l'effetto benefico della forza normale, riequilibrante.

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

$$A_s = 0.50 \times 2 \times 2.5 / 0.5 = 5.0 \text{ cm}^2$$

che offre quindi una resistenza in trazione pari a:

$$F_{rd} = 430 / 1.15 \times 500 / 1'000 = 187 \text{ kN} > 140 \text{ kN} = F_{sd}$$

#### Verifica fondazione:

A favore di sicurezza, e per semplicità di calcolo supponiamo la reazione del terreno costante pari al suo valore massimo\* (107 kPa circa) lungo la fondazione. Il momento sollecitante sulla trave di fondazione, a filo modulo (80 cm di sbalzo), ammonta quindi a (sempre per ogni 250 cm di capannone):

$$M_{sd} = 0.80 \times 107 \times 2.5 \times 0.80/2 = 85.60 \text{ kNm}$$

La sezione (spessore 30 cm) armata con staffe  $2\phi 10/20''$  offre un momento resistente pari a:

$$M_{R,d} = 185.20 \text{ kNm} > 85.60 \text{ kNm} = M_{s,d}$$

---

\* In realtà in combinazione sismica la pressione ha un andamento triangolare con un calo rapido.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto

Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

Proponente

Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

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

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	18.85	5
2	18.85	25

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

Materiali

B450C		C25/30	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200000 N/mm²	$f_{cd}$	14.17
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.6
		$\tau_{c1}$	1.829

M<sub>xRd</sub>  kN m

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

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

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

Fig. 34 - Verifica fondazione



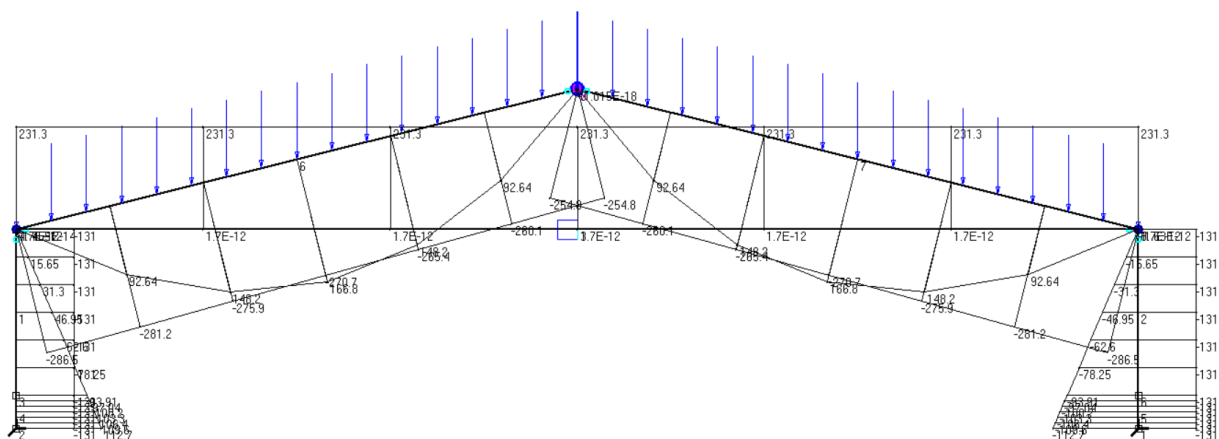
## 18. DIMENSIONAMENTI CAPANNONI E

Segue un dettaglio dei primi dimensionamenti di massima degli elementi strutturali principali, ovvero tegoli H36, moduli (pilastrini da 15 cm) e fondazioni.

### Calcolo sollecitazioni

Un volta assemblato sul portale, col tegolo opposto e il doppio tirante, il tegolo sarà soggetto ad un momento (esterno) come mostrato in Figura 35 in combinazione ultima (neve, la più gravosa per i tegoli). Il momento è calcolato ponendo come carico distribuito, agli stati limite, il seguente valore:

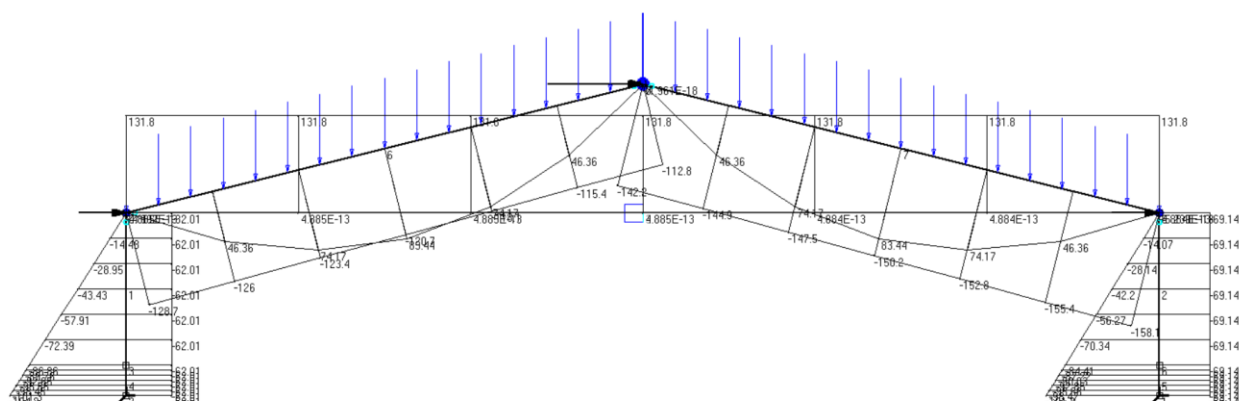
$$q_{ult} = \underbrace{(1.20 \times 1.5)}_{\text{neve}} + \underbrace{(190+60)}_{\text{proprio + tegole + FV}} / \cos 14^\circ \times 1.3 \times 2.5 = 12.87 \text{ kN/m}$$



**Fig. 35** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, a pieno carico (neve)

In Figura 36 si illustrano inoltre le sollecitazioni in combinazione sismica, per effettuare poi le verifiche delle strutture verticali e delle fondazioni.





**Fig. 36** – Momento flettente SLU per ogni tegolo TT, in combinazione sismica

## Verifica tegoli

Il tegolo è soggetto a pressoflessione. Oltre al valore di precompressione dovuta ai cavi pre-tesi interni al tegolo (1 per ogni nervatura, da 93 mm<sup>2</sup>, per un tiro totale di circa 250 kN), nel caso di carico massimo si deve aggiungere un valore di compressione che varia da 57 kN (colmo) a 65 kN (gronda) dati dallo schema iperstatico in cui i due cavi esterni vengono messi in tensione. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle verifiche eseguite sul tegolo.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto  
Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

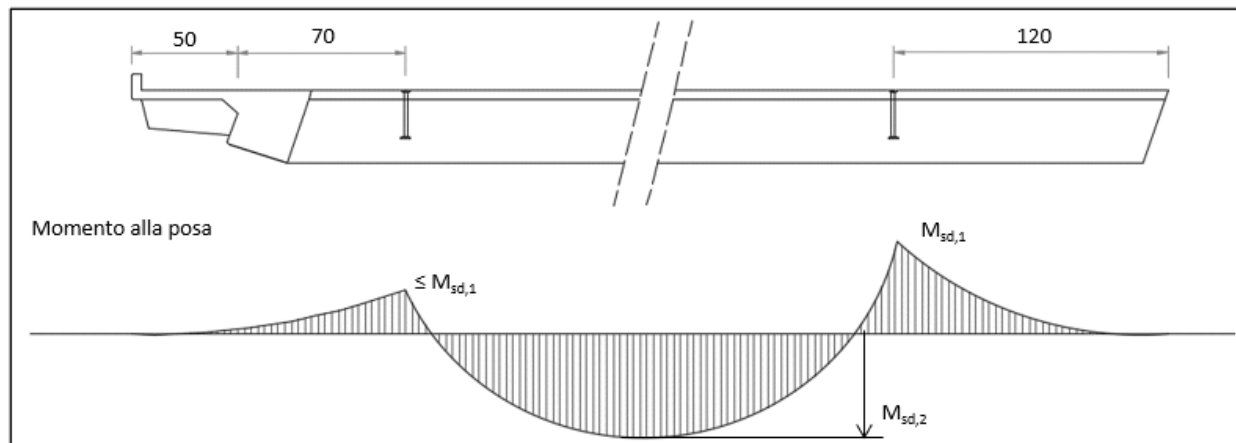
Proponente  
Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola


$R_{ck}$	$f_{ck}$	$f_{ctm}$	$R_{ckj}$	$f_{ckj}$	$f_{ctmj}$	$f_{ptk}$	$f_{p1k}$	$\sigma_{a0,amm}$	$\sigma_{e,amm}$	$\sigma_{a0,eff}$	$\sigma_{e,eff}$	$f_{yk}$
45	37.35	3.35	25	20.75	2.27	1860	1670	1503	1002	1400	1002	450

LUCE [m] = luce interna	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		1		Sollecitazioni calcestruzzo in zona tesa	$> f_{ctmj} \cdot 1.2$	Sollecitazioni calcestruzzo in zona compressa	$< 0.7 f_{ckj}$
Sollevamento (in mezzeria)		2			$> 0$		$< 0.45 f_{ck}$
Combinazione q.p.		3			$> f_{ctm} / 1.2$		Non richiesta
Combinazione frequente		4					
Combinazione rara		5					$< 0.60 f_{ck}$
Combinazione ultima		6			$M_{rd} > M_{sd}$		


LUCE [m]=	10.00	$M_{sd,v}$ [kNm]	[V] Verifica	$N_{sd}$ [kN]	$\sigma_{tesa}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona tesa	$\sigma_{comp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Verifica zona compressa
Sollevamento (alle boccole) *		-4.45	1		-1.08	> -3.07	8.87	< 17.43
Sollevamento (in mezzeria)		6.31	2		-0.63	> -3.07	7.46	< 17.43
Combinazione q.p.		21.60	3	69.03	0.33	> 0.00	4.29	< 16.81
Combinazione frequente		23.61	4	75.44	0.43	> -2.79		
Combinazione rara		31.66	5	101.20			3.52	< 22.41
Combinazione ultima		43.17	6	138.00		$M_{rd} = 172.70$ kNm		Verificato

\* combinazioni in cui la zona superiore della sezione verificata risulta essere tesa

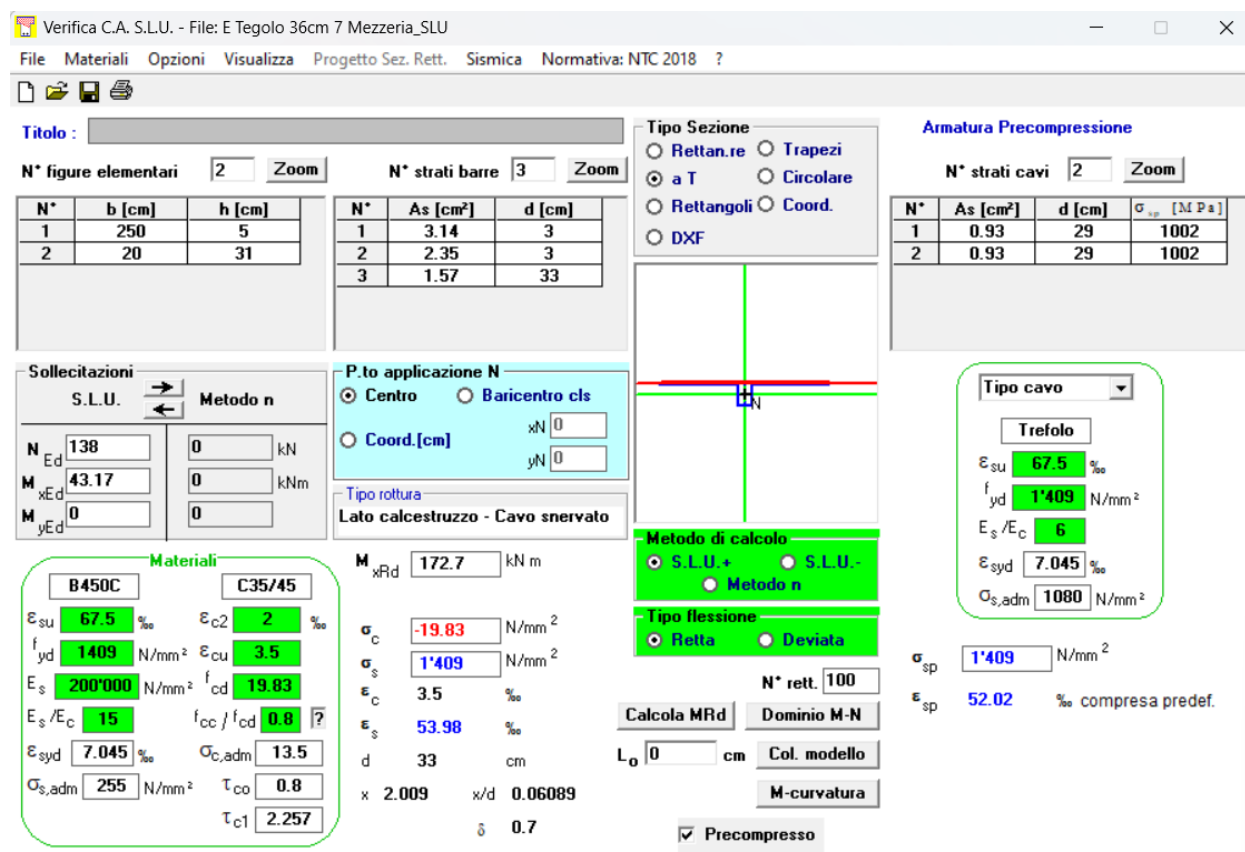


 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Note sulle verifiche:			
Verifiche in esercizio	1	Verifica al momento agente sulla sezione in corrispondenza della boccola in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	Stato limite di fessurazione in fase di scassero e verifica alla compressione calcestruzzo
	2	Verifica al momento agente in mezzeria in fase di sollevamento, incrementato di 1.30 per effetti dinamici.	
	3	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando i carichi permanenti al valore caratteristico e i carichi variabili con coefficiente $\Psi_{2,j}$ .	Stato limite di decompressione in combinazione quasi permanente e verifica alla compressione calcestruzzo
	4	Verifica al momento in mezzeria considerando la neve con coefficiente $\Psi_{1,j}$ e i permanenti a valore caratteristico.	Stato limite di fessurazione in combinazione frequente calcestruzzo
	5	Verifica a pressoflessione in mezzeria considerando variabili e permanenti con valore caratteristico.	Verifica solo a compressione in combinazione rara calcestruzzo
Verifiche SLU	6	Verifica a pressoflessione in mezzeria con carichi permanenti e variabili moltiplicati per coefficienti di amplificazione SLU.	Verifica allo stato limite ultimo

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Di seguito si riporta la verifica agli SLU, significativa del modus operandi tenuto nelle varie verifiche del tegolo.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: E Tegolo 36cm 7 Mezzeria\_SLU**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

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

**N° figure elementari:** 2 **Zoom** **N° strati barre:** 3 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	5
2	20	31

N°	As [cm²]	d [cm]
1	3.14	3
2	2.35	3
3	1.57	33

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

**Armatura Precompressione**  
**N° strati cavi:** 2 **Zoom**

N°	As [cm²]	d [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	0.93	29	1002
2	0.93	29	1002

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 N<sub>Ed</sub> 138 0 kN  
 M<sub>Ed</sub> 43.17 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 - Cavo snervato

**Materiali:**  
 B450C C35/45  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  1409 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  
 $\epsilon_{syd}$  7.045 ‰  $\sigma_{c,adm}$  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**  
**Col. modello** **M-curvatura**  
☒ Precompresso

**Tipo cavo:** Trefolo  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  
 $f_{yd}$  1'409 N/mm²  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  7.045 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm²  
 $\sigma_{sp}$  1'409 N/mm²  
 $\epsilon_{sp}$  52.02 ‰ compresa predef.


**Calcoli:**  
 M<sub>xRd</sub> 172.7 kN m  
 $\sigma_c$  -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$  1'409 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  53.98 ‰  
 d 33 cm  
 x 2.009 x/d 0.06089  
 $\delta$  0.7

**Fig. 37** – Verifica SLU in mezzeria

## Verifica moduli

I tegoli TT da 250 cm poggiano sui moduli laterali, anch'essi da 250 cm di lato. In pratica, ai fini della verifica trasversale ogni nervatura della parete (sezione quasi rettangolare da 14->18 cm x 26 cm, armata con 2+2  $\phi 16$  e 1+1 $\phi 10$ ) riceve le forze calcolate per ogni portale (Fig. 35 e Fig. 36).

La combinazione più onerosa è quella del sisma, mostrata in Figura 36, dove si legge sia il valore del momento flettente nel modulo in corrispondenza delle fondazioni (69.58 kNm), sia nel nodo che corrisponde al punto in cui le nervature fuoriescono dalla sezione di base (molto più larga), corrispondente al punto

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

maggiormente sollecitato ( $M=60.51$  kNm,  $N=31.47$  kN). Nella verifica che segue si mostra il momento resistente a pressoflessione in combinazione neve e il dominio di resistenza nelle combinazioni neve, sisma, vento. Le sollecitazioni sopra indicate vanno dimezzate, dato che per ogni parete-modulo sono presenti due pilastrini resistenti.

Verifica C.A. S.L.U. - File: E Modulo Nervato 15

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 4 Zoom

N°	sup [cm]	b inf [cm]	h [cm]
1	18	14	26

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4.02	4
2	4.02	21
3	0.79	4
4	0.79	21

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 15.74 0 kN

M<sub>xEd</sub> -30.26 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 C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰

$E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  18.13

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8

$\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333

$\tau_{c1}$  2.114

M<sub>xRd</sub> 35.92 kN m

$\sigma_c$  -18.13 N/mm²

$\sigma_s$  391.3 N/mm²

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  10.95 ‰

d 21 cm

x 5.087 x/d 0.2422

$\delta$  0.7428

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

DXF

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett. 100

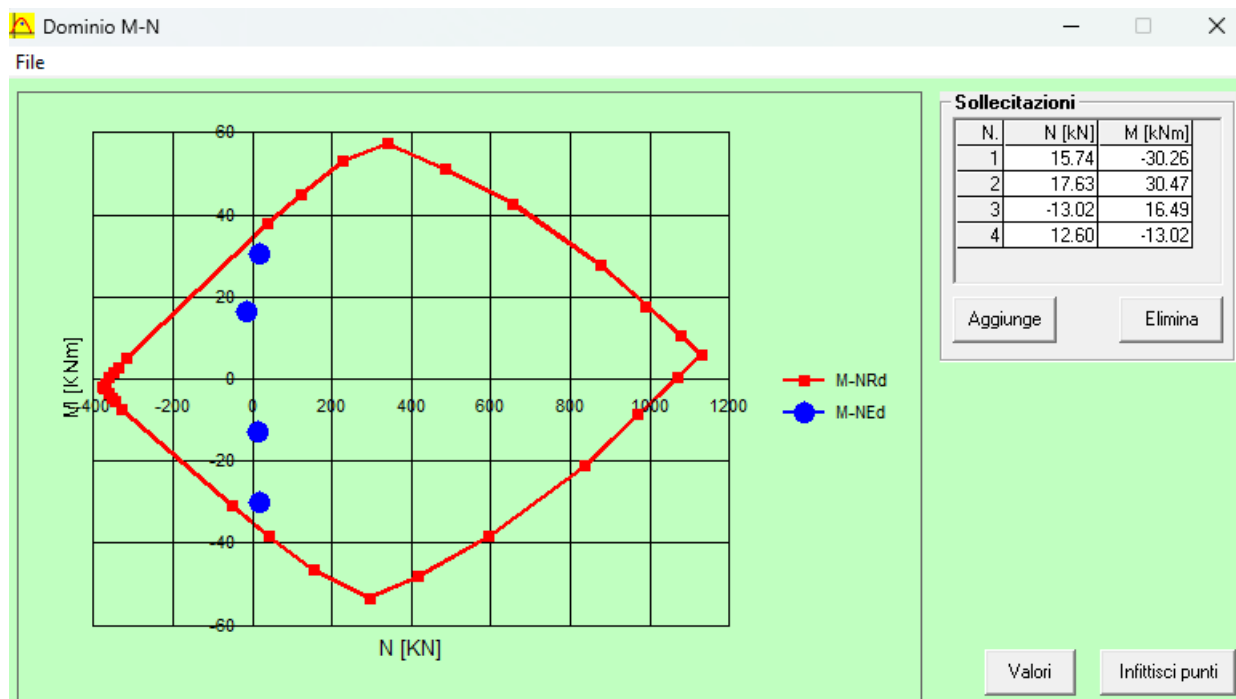
Calcola MRd Dominio M-N

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

M-curvatura

Precompresso

**Fig. 38** - Verifica nervature a pressoflessione in combinazione sisma



**Fig. 39** - Dominio di resistenza nervature moduli


Il **cavo in acciaio armonico** (da 139 mm<sup>2</sup>) va tesato alla posa a 5'500 kg, successivamente con l'applicazione dei carichi il tiro aumenta. A pieno carico (SLU) i cavi saranno soggetti alla seguente forza di trazione, inferiore a quella resistente:

$$N_{sd} = 125.60 \text{ kN} < 221.07 \text{ kN} = 139 \times 1'670 / 1.05 = N_{rd}$$

#### Verifica sollecitazione terreno:

Dalla relazione geologica-geotecnica si può dedurre una portata del terreno per fondazioni nastriformi pari a 109 kPa (agli stati limiti ultimi).

In Figura 40 si riassume il calcolo di verifica del terreno per le varie combinazioni di carico, riferite alla lunghezza di competenza di un tegolo (250 cm). Ovvero la sezione di verifica ammonta a 250x180x30 cm. Ai carichi verticali, al carico proveniente dalla copertura si è aggiunto il peso proprio dei moduli-parete, il peso

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

proprio del terreno e della pavimentazione, eventuali sovraccarichi, il tutto moltiplicato per gli opportuni coefficienti.


Larghezza fondazione	b =	180
Lunghezza fondazione	h =	250
Distanza centro pilastro da filo fondazione	c =	90
Altezza fondazione	H =	30

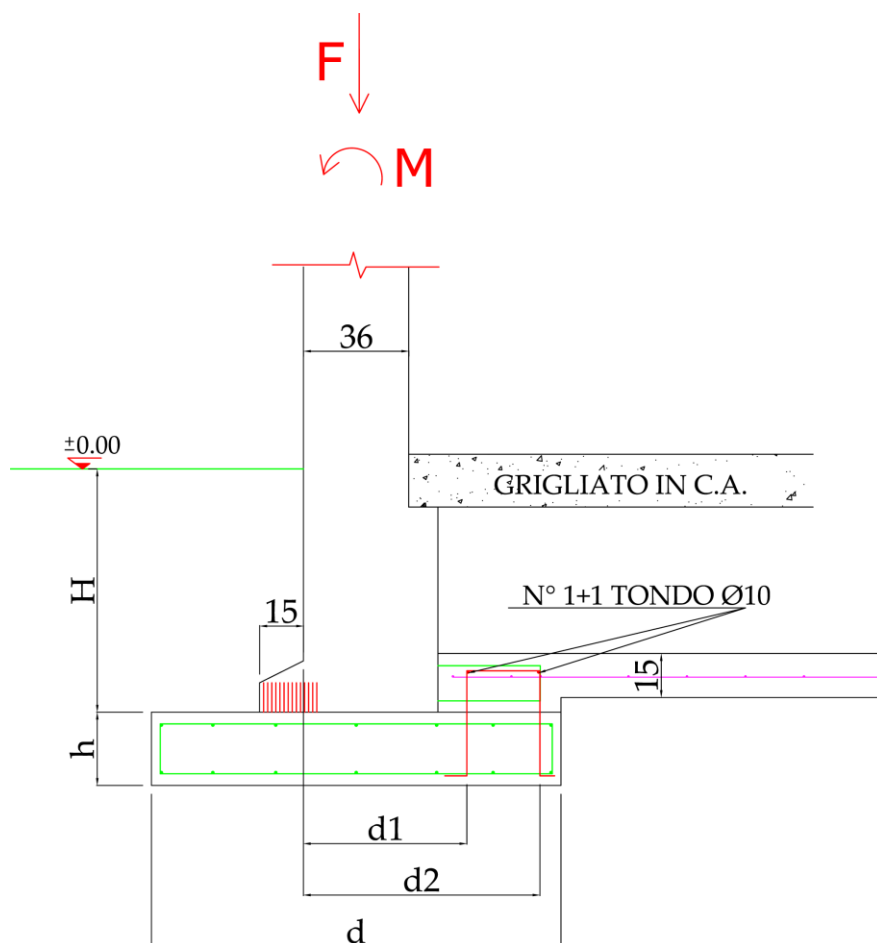
Combinazione		Sisma	Neve	Vento	Eserc	
Carico verticale	N =	31	67	25	33	kN
Carico verticale corretto	N =	97	156	93	99	kN
Momento agente	M =	70	38	33	0	kNm
Eccentricita carico	e =	53	20	26	0	cm
Sollecitazione "media" sul terreno		29	42	28	29	kPa
Sollecitazione minima sul terreno	$\sigma_{\min}$ =	0	14	4	29	kPa
Sollecitazione massima sul terreno	$\sigma_{\max}$ =	95	70	53	30	kPa

**Fig. 40** – Verifica sollecitazione terreno nelle varie combinazioni di carico

#### Verifica collegamento fondazione-modulo:

Il modulo è collegato alla fondazione sottostante tramite spinotti nella misura di  $\phi 8/50''$ , come da Figura 41. Nel caso di momento flettente verso l'esterno del capannone (Figura 35), il sistema modulo-fondazione è soggetto a compressione nella zona di sinistra (all'incirca in corrispondenza delle linee rosse), che per semplicità di calcolo si modella puntiforme in corrispondenza del filo del modulo (ai fini del calcolo del braccio).

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola



**Fig. 41** - Collegamento modulo-fondazione con momento in senso antiorario (la sezione è solo indicativa)

In trazione si hanno i ferri delle moiette, con una distanza media\* dal punto di compressione pari a  $(d_1 + d_2) / 2 = 85$  cm. Queste quindi devono essere in grado di assorbire una forza di trazione pari a<sup>†</sup>:


$$F_{sd} = M_{sd} / 0.85 = 70 / 0.85 = 82 \text{ kN}$$

L'armatura totale per 2.5 metri di capannone ammonta a:

\* Dato che la verifica agli SLU si effettua con condizioni di acciaio snervato, si può utilizzare il braccio di lavoro medio delle due armature.

† Trascurando a favore di sicurezza l'effetto benefico della forza normale, riequilibrante.



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

$$A_s = 0.50 \times 2 \times 2.5 / 0.5 = 5.0 \text{ cm}^2$$

che offre quindi una resistenza in trazione pari a:

$$F_{rd} = 430 / 1.15 \times 500 / 1'000 = 187 \text{ kN} > 82 \text{ kN} = F_{sd}$$

#### Verifica fondazione:

A favore di sicurezza, e per semplicità di calcolo supponiamo la reazione del terreno costante pari al suo valore massimo\* (95 kPa circa) lungo la fondazione. Il momento sollecitante sulla trave di fondazione, a filo modulo (60 cm di sbalzo), ammonta quindi a (sempre per ogni 250 cm di capannone):

$$M_{sd} = 0.60 \times 95 \times 2.5 \times 0.60/2 = 42.75 \text{ kNm}$$

La sezione (spessore 30 cm) armata con staffe 2 $\phi$ 8/20" offre un momento resistente pari a:

$$M_{R,d} = 128.30 \text{ kNm} > 42.75 \text{ kNm} = M_{s,d}$$

---

\* In realtà in combinazione sismica la pressione ha un andamento triangolare con un calo rapido.



Ing. Matteo Mainetti  
Via Venzaga 1 Montichiari (BS)  
030-2050490 matteo@mainetti.net

Progetto

Capannoni uso porcilaia  
e servizio e vasche  
liquami

Proponente

Pig Green Italia S.r.l.  
Società Agricola

Verifica C.A. S.L.U. - File: [ ] [ ] [X]

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : [ ]

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	250	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	12.06	5
2	12.06	25

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

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

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

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali  
B450C C25/30

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  14.17 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  9.75 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.6  
 $\tau_{c1}$  1.829


M<sub>xRd</sub> 128.3 kN m  
 $\sigma_c$  -14.17 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  23.51 ‰  
d 25 cm  
x 3.24 x/d 0.1296  
 $\delta$  0.7

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

Tipo flessione  
☒ Retta ☐ Deviata

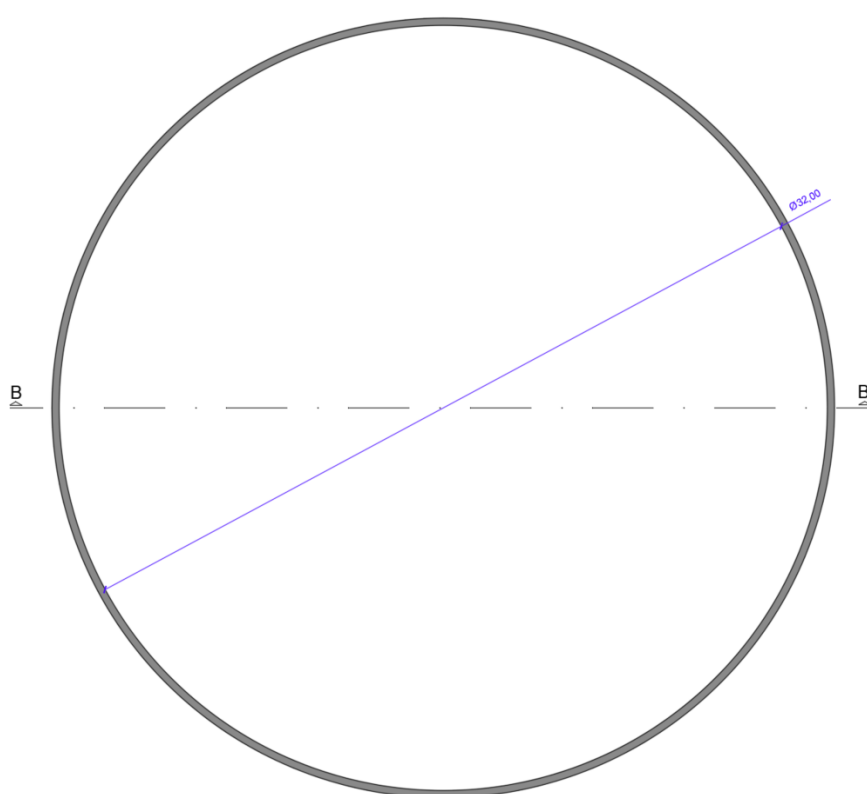
N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
M-curvatura  
☐ Precompresso

Fig. 42 - Verifica fondazione

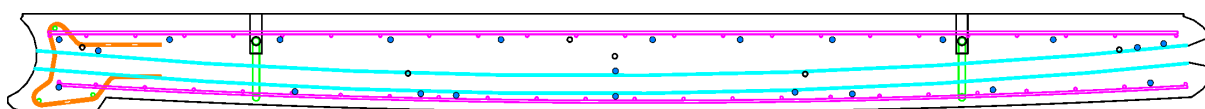
 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## 19. DIMENSIONAMENTO VASCHE DI STOCCAGGIO


Ogni vasca di stoccaggio è realizzata con 40 moduli prefabbricati in c.a.p. (cemento armato precompresso) da 2.40 x 6.20 metri l'uno (oltre a 2 moduli "speciali") affiancati l'uno all'altro secondo un profilo circolare, e quindi posti in compressione tramite n. **20** trefoli in acciaio armonico, tipo T15 (area nominale 139 mm<sup>2</sup>).



**Fig. 43** – Planimetria con vasca circolare per stoccaggio liquami.



**Fig. 44** – Sezione tipo modulo componente digestore e vasca stoccaggio.

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## **VERIFICA PARETI**

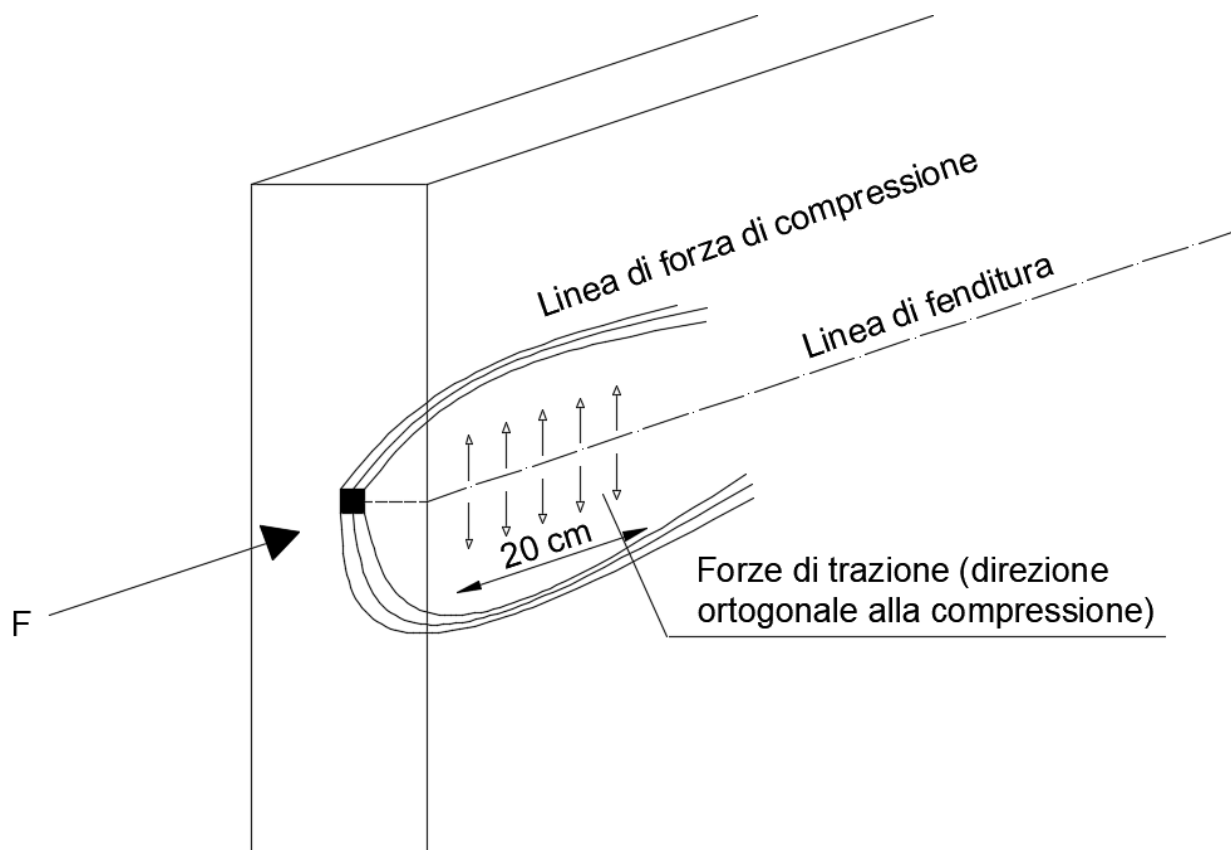
In ogni modulo prefabbricato "standard" sono presenti 23 trefolini da 3/8", pre-tesi a 65 kN ognuno (valore di progetto). Per le verifiche successive si assume che la precompressione nei trefolini sia scesa del 25%, calo dovuto a: ritiro calcestruzzo, rilassamento calcestruzzo (creep), rilassamento acciaio. Il valore di compressione di progetto di ogni trefolino verticale in fase di montaggio ed utilizzo vasca ammonta quindi a:

$$N_{pre,\infty} = 65 \times 0.9 \times 0.75 = 43.90 \text{ kN.}$$

Per la vasca in oggetto si predispongono **20** trefoli T15 (area nominale 139 mm<sup>2</sup>) posti in modo tale che il baricentro delle forze sia a circa 190 cm di altezza, quota del baricentro della forza del liquame nel caso di vasca piena (si assume che a pieno carico arriva a un'altezza di 580 cm). Ogni trefolo viene quindi preteso a  $F=159.20\text{kN}$  (400 bar in centralina trefoli). La forza concentrata in compressione sul lato della parete fa insorgere una forza di trazione ortogonale ("forza di fenditura") come illustrato in Figura 45. Tale forza è funzione della forza di compressione e della geometria della parete e dei carichi. Seguendo i calcoli secondo le indicazioni di *"Fritz Leonhardt, C.a. & C.a.p. calcolo di progetto e tecniche costruttive – Volume II"* si ottiene una forza di fenditura pari a  $F/4$ , ovvero 40 kN, su una zona di circa 20 cm in prossimità del bordo della parete. Per contro in tale sezione del modulo sussiste una forza di precompressione esercitata dai trefolini verticali pretesi pari a:

$$N = 23 \times 43.90 \times 20 / 240 = 84.14 \text{ kN,}$$

quindi la sezione risulta comunque sempre compressa nonostante la forza di fenditura.



**Fig. 45** – Illustrazione della *forza di fenditura*

### **Verifica "a botte"**


Si divida il cilindro in due semicilindri (con un piano verticale passante per il centro, per esempio parallelo all'asse Y, di cui in Figura 46 è mostrata la pianta). La superficie laterale di ognuno di questi riceve una spinta in direzione ortogonale ad Y (quindi lungo X) pari a:

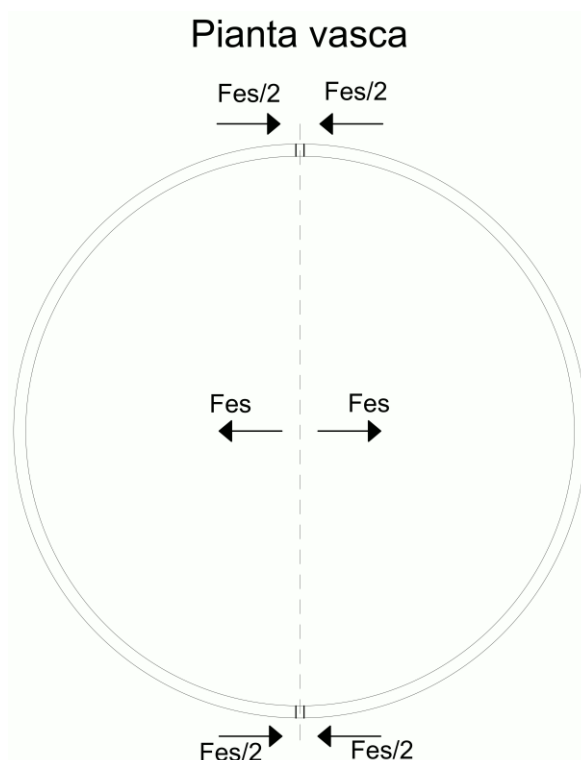
$$F_{es} = 2r \rho h^2/2 = 31.53 \times 10 \times 5.80^2/2 = 5'303 \text{ kN}$$

in esercizio, valore che va moltiplicato per il fattore 1.3 e quindi ammonta a

$$F_{SLU} = 6'894 \text{ kN}$$

per le verifiche agli Stati Limite Ultimi.

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola



**Fig. 46** – Divisione della vasca in due semicilindri

La platea di fondazione (si veda in seguito) è stata dimensionata in modo da offrire una reazione (lavorando a trazione) almeno pari a 10 kN/m, per cui la forza che tende a separare i due semicilindri ammonta a:


$$F_{TOT} = F_{SLU} - 10 \times 31.53 = 6'579 \text{ kN}$$

e si applica ai due gusci (metà per ogni lato di ogni guscio, vedere sempre Figura 46). I 20 trefoli predisposti lungo il perimetro vanno in tensione con una forza che si contrappone a quella sopra calcolata, per soddisfare l'equilibrio. Ogni trefolo si trova quindi sollecitato a:

$$N_{tre} = (6'579/2) / 20 = 165 \text{ kN}$$

che corrisponde ad una sollecitazione di:

$$\sigma_{tre} = 165 / 139 = 1'183 \text{ MPa,}$$

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

valore inferiore alla resistenza di calcolo che è pari a:

$$f_{yd} = f_{p(1)k} / \gamma_s = 1'670 / 1.15 = 1'452 \text{ MPa} > 1'183 \text{ MPa}$$


### **Pretensionamento**

Onde evitare infiltrazioni di liquame dovute a possibile separazione dei moduli (causata dall'allungamento elastico subito dai trefoli per via di una variazione della loro tensione) si pre-tendono i trefoli ad un valore prossimo a quello di progetto (a vasca piena). A vasca vuota (o non completamente piena) la forza di compressione tra i due semigusci sarà (in parte) equilibrata dalla compressione nel calcestruzzo che si esercita tra un modulo e l'altro. A tal proposito si può supporre una perdita di pretensione nei cavi dovuta a perdite al tiro, per attrito e per rilassamento pari a circa il 20%, quindi ogni trefolo è teso (a vasca vuota, a tempo infinito) a circa  $0.8 \times 159.20 = 127.36 \text{ kN}$ .

In esercizio, ovvero senza amplificare i carichi e con un'altezza del liquame pari a 570 cm si ha una forza netta di separazione tra i due semicilindri al più pari a:

$$F_{esn} = 31.53 \times 10 \times 5.70^2 / 2 - 10 \times 31.53 = 4'807 \text{ kN}$$

ovvero pari a 120 kN per trefolo. Tale valore risulta inferiore al valore di pretensione (pari a 127.36 kN, qualora tenuto conto del rilassamento), il che significa che i moduli rimangono compressi tra loro e non si rischia il passaggio del liquido.

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## **Verifica verticale**

Il liquido esercita una pressione contro le pareti della vasca che a fondo vasca, supponendo una vasca colma, agli stati limite ultimi ammonta a:

$$P_{sd} = 5.80 \times 10 \times 1.3 = 75.40 \text{ kN/m}^2$$

coeff. sic.

I cavi orizzontali forniscono i ritegni che fanno da vincoli per il calcolo del momento flettente su ogni striscia verticale di parete. In prossimità del fondo vasca il momento flettente massimo segue la formula,


$$M_{sd} = \alpha P_{sd} d^2$$

dove d è la distanza tra due cavi consecutivi, e  $\alpha$  può essere assunto pari a 1/12 se le spazature sono uniformi, o 1/8 facendo un modello semplificato a semplice appoggio. Il momento può assumere segno positivo o negativo, ma la geometria pressoché simmetrica della sezione, dell'armatura, e della precompressione rendono la verifica unica.

Il momento resistente della sezione (ove questa è più sottile) per unità di larghezza è calcolato in Figura 47 ed ammonta a 45.51 kNm. Per ottenere tale momento sollecitante d dovrebbe valere:

$$d = (45.51 \times 8 / 75.40)^{1/2} = 2.20 \text{ m}$$



 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcellaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Verifica C.A. S.L.U. - File: [ ] [ ] [X]

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: [ ]

N° strati barre [2] Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	19

N°	As [cm²]	d [cm]
1	1.96	4.50
2	1.96	14.5

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

Sollecitazioni  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub> [421] [0] kN  
 M<sub>xEd</sub> [0] [0] kNm  
 M<sub>yEd</sub> [0] [0] kNm

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

N° rett. [100]

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> [0] cm Col. modello

M-curvatura

☐ Precompresso

Materiali

B450C	C35/45
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> [19.83] 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> [13.5] N/mm²
σ <sub>s,adm</sub> [255] N/mm²	τ <sub>co</sub> [0.8]
	τ <sub>c1</sub> [2.257]

M<sub>xRd</sub> [45.51] kNm

σ<sub>c</sub> [-19.83] N/mm²

σ<sub>s</sub> [391.3] N/mm²

ε<sub>c</sub> [3.5] ‰

ε<sub>s</sub> [11.51] ‰

d [14.5] cm

x [3.381] x/d [0.2332]


δ [0.7315]

**Fig. 47** – Momento resistente moduli (striscia orizzontale unitaria)

I cavi orizzontali hanno spaziatura non superiore a 60 cm alla base, valore che può aumentare salendo verso il bordo superiore, ma mantenendo comunque la proporzione spaziatura-massima / pressione. Con una spaziatura di 60 cm alla base il momento sollecitante (stati limite di esercizio) ammonta a (sempre nell'ipotesi conservativa di  $\alpha = 1/8$ ):

$$M_{sd} = 1/8 \times 58.00 \times 0.60^2 = 2.61 \text{ kNm.}$$

Tale valore mantiene il calcestruzzo interamente compresso, impedendo quindi l'insorgere di microfessure, come si vede in Figura 48 (il momento di prima fessurazione è largamente superiore a 10.00 kNm).

	Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
		Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Verifica C.A. S.L.U. - File: \_ □ ×

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	19

N°	As [cm²]	d [cm]
1	1.96	4.50
2	1.96	14.5

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

Sollecitazioni  
S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  421 kN  
M<sub>xEd</sub>  2.61 kNm  
M<sub>yEd</sub>  0

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

Materiali  
B450C C35/45  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  19.83 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13.5 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8  
 $\tau_{c1}$  2.257

$\sigma_c$  -2.572 N/mm²  
 $\epsilon_s$  -0.1445 ‰


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

Verifica

N° iterazioni:

☐ Precompresso

**Fig. 48** – Sollecitazione modulo in esercizio

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

## **VERIFICA SISMICA**

L'accelerazione al suolo  $a_g$  ammonta a 0.197g, per il sito in questione, terreno tipo "C" come da relazione geologica.

### **Pressione rigido-impulsiva**

Si ha una snellezza

$$\gamma = H/R = 5.80/16.08 = 0.36$$

La pressione rigido-impulsiva aumenta con la profondità secondo il grafico di Figura 49 (da EC8, parte 4, A.2.1.1). Per il caso in questione:

$$\gamma = 0.36$$

$$R = 15.77 \text{ m}$$

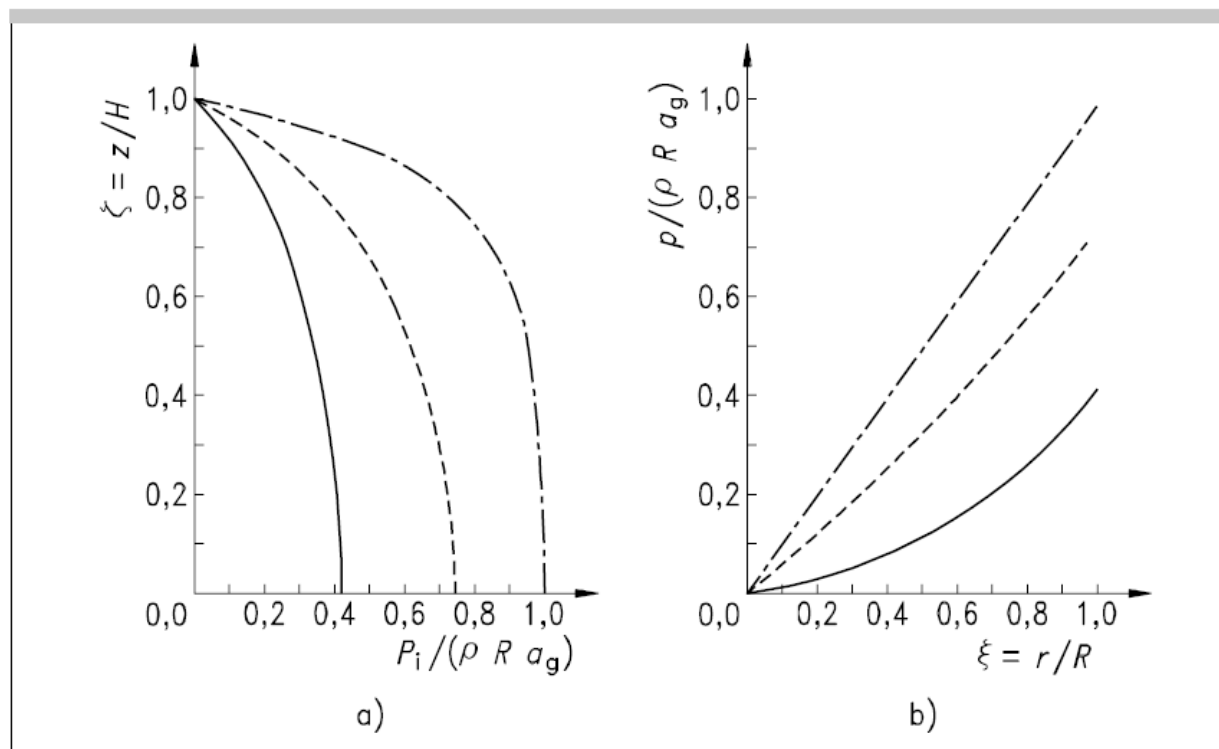
$$a_g = 0.197 \text{ g}$$

la sovrappressione rigido-impulsiva alla base delle pareti non supera:

$$P_{ri} = 0.40 \times 15.77 \times 10.00 \times 0.197 = 12.43 \text{ kN/m}^2$$



—  $\gamma = 0,5$   
- - -  $\gamma = 1,0$   
- · -  $\gamma = 3,0$



**Fig. 49** – Variazione pressione rigido-impulsiva sul perimetro

A questa vanno sommati (EC8.4, A.2.1.5) gli effetti dell'inerzia delle pareti, che ammonta a:

$$P_w = 25 \times 0.20 \times 0.197 = 0.99 \text{ kN/m}^2$$

### **Pressione convettiva**

La frequenza del primo modo di vibrare si calcola secondo A.9 di EC8.4:

$$\omega_1 = [g \lambda_1 / R \times \tanh(\lambda_1 \gamma)]^{1/2} = 0.81$$

(dove  $\lambda_1 = 1.811$ )



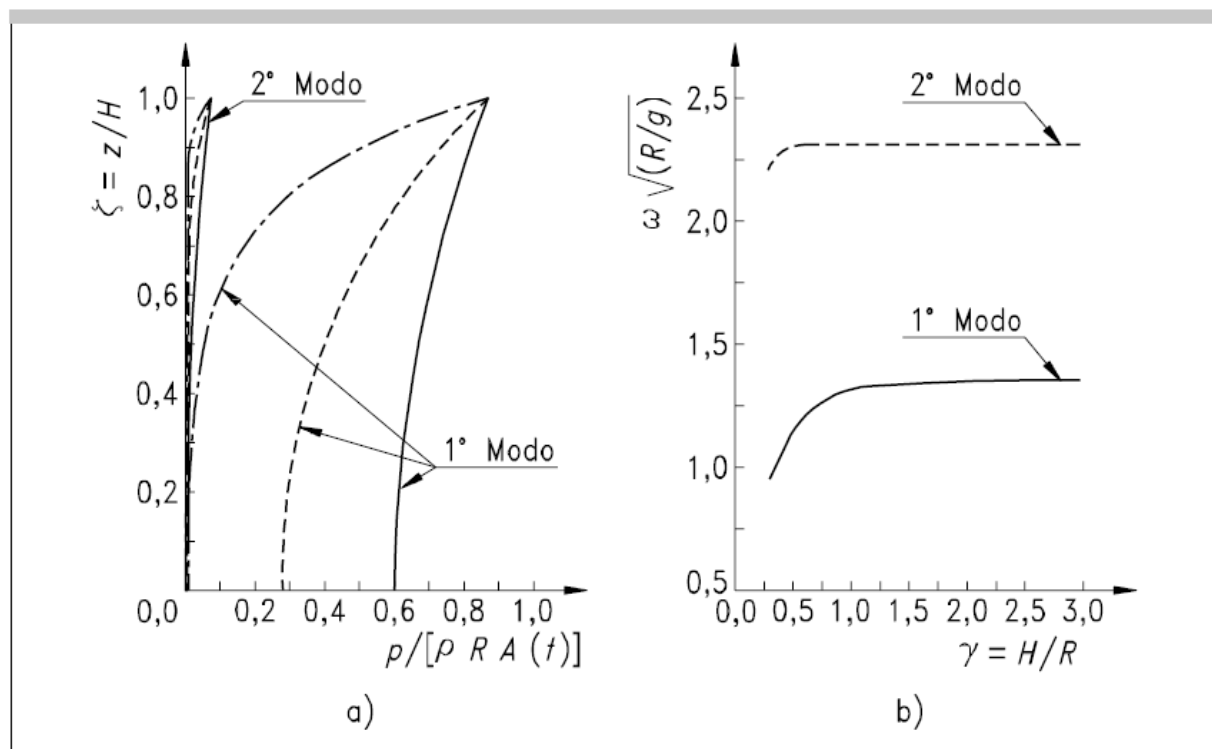
a cui corrisponde un periodo pari a:

$$T_1 = 2\pi / \omega_1 = 7.75 \text{ s}$$


L'accelerazione di risposta per tale periodo ammonta a 0.02 g (essendo  $T_1 > T_D$ ). Si ha quindi, secondo la Figura A.3 di EC8.4, riportata in Figura 50, una sovrappressione convettiva quasi costante lungo l'altezza che ammonta al massimo a:

$$P_{con} = 0.90 \times 10 \times 15.77 \times 0.02 = 2.84 \text{ kN/m}^2$$

—  $\gamma = 0,5$   
- - -  $\gamma = 1,0$   
- · -  $\gamma = 3,0$



**Fig. 50** – Variazione pressione convettiva lungo l'altezza

 Ing. Matteo Mainetti Via Venzaga 1 Montichiari (BS) 030-2050490 matteo@mainetti.net	Progetto	Proponente
	Capannoni uso porcilaia e servizio e vasche liquami	Pig Green Italia S.r.l. Società Agricola

Come suggerito in EC8.4, A.2.1.4, è cautelativo sommare i massimi delle sovrappressioni. Si ha quindi una sovrappressione sismica massima (alla base delle pareti) pari a:

$$P_{\text{sis}} = P_{\text{ri}} + P_{\text{w}} + P_{\text{con}} = 12.43 + 0.99 + 2.84 = 16.26 \text{ kN/m}^2$$

Ovvero l'evento sismico causa un aumento di pressione pari, in percentuale, a  $16.55 / 58.00 = 28\%$  rispetto al carico statico. Dato che la verifica statica viene eseguita con un incremento del 30% dei carichi (mentre la verifica sismica richiede i carichi al loro valore caratteristico), la verifica sismica è implicitamente soddisfatta.

## **VERIFICA FONDAZIONI**

La platea viene ammorsata alle staffe di ripresa che escono dai moduli ( $\phi 8/15$ ). Quindi questa è armata con una rete del tipo  $\phi 5/20 \times 20$  superiormente, mentre inferiormente con una del tipo  $\phi 6/20 \times 20$ . La forza di trazione radiale alla base della vasca è comunque contrastata dal trefolo più basso, e dal cordolo esterno alla vasca. In ogni caso la doppia rete offre comunque una resistenza a trazione (unitaria) pari a (SLU):

$$(0.283 + 0.196) \times 5 \times 391.3 = 93.72 \text{ kN},$$

valore largamente superiore a quanto assunto alla base dei calcoli.

La pressione sul terreno a vasca piena esercitata dal liquido ammonta (agli stati limite ultimi) a 75 kPa. Valori leggermente superiori (attorno a 90 kPa) si hanno in corrispondenza dei moduli laterali. Tali valori sono compatibili con la resistenza del terreno in un modello a fondazione nastriforme di larghezza 100 cm.