

COMUNE di TORINO

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DEL TEATRO NUOVO

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione di calcolo – Altri interventi

Allegato 1

Vasca interrata

Tabella di revisione

Revisione	Data	Descrizione	Eseguito da	Controllato da	Approvato da
R00	22/05/2025	Emissione Progetto Esecutivo a seguito dei pareri espressi dagli Enti preposti in CdS	M. Fabbri	M.Fabbri	M. Majowiecki

Sommario

1	PREMESSA.....	Error! Bookmark not defined.
1.1	Scopo del progetto.....	Error! Bookmark not defined.
1.2	Descrizione del progetto.....	Error! Bookmark not defined.
1.3	Normativa di riferimento	Error! Bookmark not defined.
2	ANALISI DEI CARICHI	Error! Bookmark not defined.
2.1	Peso proprio strutturale	Error! Bookmark not defined.
2.2	Azioni verticali interne e sul coperto del manufatto	Error! Bookmark not defined.
2.3	Mezzi dei Vigili del Fuoco.....	Error! Bookmark not defined.
2.4	Neve.....	Error! Bookmark not defined.
2.5	Azione sismica	Error! Bookmark not defined.
2.6	Spinte del terreno.....	Error! Bookmark not defined.
2.6.1	Determinazione dei parametri geotecnici	Error! Bookmark not defined.
2.6.2	Criteri generali valutazione delle spinte	Error! Bookmark not defined.
2.6.2.1	Legenda tabelle spinte delle terre	Error! Bookmark not defined.
2.6.3	Tabella spinta orizzontale delle terre statica e sismica	Error! Bookmark not defined.
2.6.4	Tabella spinta orizzontale dell'acqua statica e sismica	Error! Bookmark not defined.
2.7	Coefficienti di suolo elastico	Error! Bookmark not defined.
2.8	Azione sismica dall'impalcato.....	Error! Bookmark not defined.
2.9	Condizioni di carico elementari	Error! Bookmark not defined.
2.10	Combinazioni di carico – Involuppi di progetto.....	Error! Bookmark not defined.
3	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	Error! Bookmark not defined.
3.1	Prestazioni	Error! Bookmark not defined.
3.2	Strutture in c.a.: Conglomerato Cementizio.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	Strutture in c.a.: Barre d'armatura	Error! Bookmark not defined.
4	ANALISI DELLA STRUTTURA	Error! Bookmark not defined.
4.1	Criteri e Modello di calcolo	Error! Bookmark not defined.
4.1.1	Modellazione Mesh FEM	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	Vincoli esterni	Error! Bookmark not defined.
4.2	Applicazione dei carichi sulla mesh.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Analisi della struttura	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	Sollecitazioni: platea.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.1	Platea: SLU e SLV	Error! Bookmark not defined.

4.3.1.2	Platea: SLER	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.3	Pareti: SLU e SLV.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.4	Pareti: SLER.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.5	Soletta superiore: SLU, SLV, SLA	Error! Bookmark not defined.
4.3.1.6	Soletta superiore: SLER	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	Deformazioni	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.1	Platea spostamenti verticali SLER.....	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.2	Pareti spostamenti orizzontali	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.3	Soletta di copertura spostamenti verticali SLER – frecce di impalcato	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.4	Effetti della viscosità	Error! Bookmark not defined.
5	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA.....	Error! Bookmark not defined.
5.1	Tabella tipi armatura shell	Error! Bookmark not defined.
5.2	Criteri di verifica	Error! Bookmark not defined.
5.3	Platea.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.1	armatura di progetto della platea	Error! Bookmark not defined.
5.3.2	Verifiche SLU della platea	Error! Bookmark not defined.
5.3.3	Verifiche SLE platea	Error! Bookmark not defined.
5.3.3.1	Verifiche SLE R platea.....	Error! Bookmark not defined.
5.3.3.2	Verifiche SLQP e SLF platea	Error! Bookmark not defined.
5.3.4	Verifiche di Deformabilità.....	Error! Bookmark not defined.
5.4	Soletta di copertura	Error! Bookmark not defined.
5.4.1	armatura di progetto della soletta	Error! Bookmark not defined.
5.4.2	Verifiche SLU ed SLEA della soletta	Error! Bookmark not defined.
5.4.3	Verifiche SLE soletta	Error! Bookmark not defined.
5.4.3.1	Verifiche SLE R soletta	Error! Bookmark not defined.
5.4.3.2	Verifiche SLQP e SLF soletta	Error! Bookmark not defined.
5.4.4	Verifiche di Deformabilità.....	Error! Bookmark not defined.
5.5	Pareti esterne ed interne	Error! Bookmark not defined.
5.5.1	armatura di progetto della soletta	Error! Bookmark not defined.
5.5.2	Verifiche SLU delle pareti	Error! Bookmark not defined.
5.5.3	Verifiche SLE PARETI.....	Error! Bookmark not defined.
5.5.3.1	Verifiche SLE R Pareti	Error! Bookmark not defined.
5.5.3.2	Verifiche SLQP e SLF pareti.....	Error! Bookmark not defined.

5.5.4	Verifiche di Deformabilità.....	Error! Bookmark not defined.
5.6	Verifica SLV della struttura.....	Error! Bookmark not defined.
6	VERIFICHE GEO.....	Error! Bookmark not defined.
6.1	Portanza della fondazione.....	Error! Bookmark not defined.
6.2	Verifiche GEO: cedimenti della fondazione	Error! Bookmark not defined.

1 Premessa

Il presente documento contiene la sintesi dei risultati delle analisi su altri interventi previsti.

L'analisi e le verifiche di dettaglio delle seguenti sottostrutture sono riportati negli elaborati elencati nella tabella:

Sottostruttura	Elaborato
Vasca interrata	22044D02_3_0_E_ST_00_CD__510 – All. 1

COMUNE di TORINO

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DEL TEATRO NUOVO

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione di calcolo – Altri interventi

Allegato 1

Vasca interrata

Tabella di revisione

Revisione	Data	Descrizione	Eseguito da	Controllato da	Approvato da
R00	22/05/2025	Emissione Progetto Esecutivo a seguito dei pareri espressi dagli Enti preposti in CdS	M. Fabbri	M.Fabbri	M. Majowiecki

Sommario

1	PREMESSA.....	7
1.1	Scopo del progetto.....	7
1.2	Descrizione del progetto.....	7
1.3	Normativa di riferimento	8
2	ANALISI DEI CARICHI	9
2.1	Peso proprio strutturale.....	9
2.2	Azioni verticali interne e sul coperto del manufatto	9
2.3	Mezzi dei Vigili del Fuoco.....	10
2.4	Neve.....	11
2.5	Azione sismica	11
2.6	Spinte del terreno.....	12
2.6.1	Determinazione dei parametri geotecnici	12
2.6.2	Criteri generali valutazione delle spinte	13
2.6.2.1	Legenda tabelle spinte delle terre	14
2.6.3	Tabella spinta orizzontale delle terre statica e sismica	14
2.6.4	Tabella spinta orizzontale dell'acqua statica e sismica.....	15
2.7	Coefficienti di suolo elastico	16
2.8	Azione sismica dall'impalcato.....	16
2.9	Condizioni di carico elementari	17
2.10	Combinazioni di carico – Involuppi di progetto.....	17
3	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	21
3.1	Prestazioni	21
3.2	Strutture in c.a.: Conglomerato Cementizio.....	21
3.2.1	Strutture in c.a.: Barre d'armatura	22
4	ANALISI DELLA STRUTTURA	23
4.1	Criteri e Modello di calcolo	23
4.1.1	Modellazione Mesh FEM	24
4.1.2	Vincoli esterni	27
4.2	Applicazione dei carichi sulla mesh.....	28
4.3	Analisi della struttura.....	35
4.3.1	Sollecitazioni: platea.....	35

Vasca interrata

4.3.1.1	Platea: SLU e SLV	35
4.3.1.2	Platea: SLER	38
4.3.1.3	Pareti: SLU e SLV	39
4.3.1.4	Pareti: SLER	43
4.3.1.5	Soletta superiore: SLU, SLV, SLA	45
4.3.1.6	Soletta superiore: SLER	47
4.3.2	Deformazioni	49
4.3.2.1	Platea spostamenti verticali SLER	49
4.3.2.2	Pareti spostamenti orizzontali	50
4.3.2.3	Soletta di copertura spostamenti verticali SLER – frecce di impalcato	52
4.3.2.4	Effetti della viscosità	52
5	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA	54
5.1	Tabella tipi armatura shell	54
5.2	Criteri di verifica	55
5.3	Platea	56
5.3.1	armatura di progetto della platea	56
5.3.2	Verifiche SLU della platea	59
5.3.3	Verifiche SLE platea	61
5.3.3.1	Verifiche SLE R platea	61
5.3.3.2	Verifiche SLQP e SLF platea	64
5.3.4	Verifiche di Deformabilità	64
5.4	Soletta di copertura	66
5.4.1	armatura di progetto della soletta	66
5.4.2	Verifiche SLU ed SLEA della soletta	70
5.4.3	Verifiche SLE soletta	74
5.4.3.1	Verifiche SLE R soletta	74
5.4.3.2	Verifiche SLQP e SLF soletta	77
5.4.4	Verifiche di Deformabilità	78
5.5	Pareti esterne ed interne	80
5.5.1	armatura di progetto della soletta	80
5.5.2	Verifiche SLU delle pareti	88
5.5.3	Verifiche SLE PARETI	92
5.5.3.1	Verifiche SLE R Pareti	92

Vasca interrata

5.5.3.2	Verifiche SLQP e SLF pareti.....	96
5.5.4	Verifiche di Deformabilità.....	98
5.6	Verifica SLV della struttura.....	98
6	VERIFICHE GEO.....	102
6.1	Portanza della fondazione.....	102
6.2	Verifiche GEO: cedimenti della fondazione	103

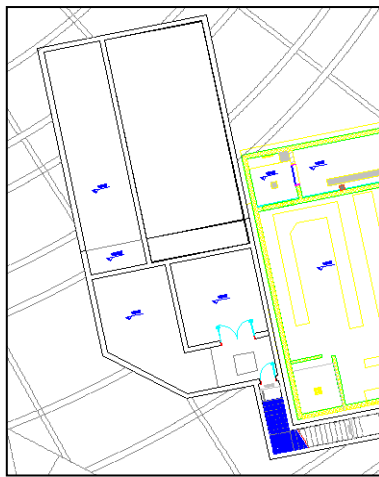
1 PREMESSA

1.1 Scopo del progetto

Scopo della presente Relazione di calcolo è il dimensionamento della nuova vasca interrata antincendio, così come previsto nel PFTE all'interno degli Interventi di nuova realizzazione. La vasca è a servizio della Biblioteca e del Teatro Nuovo ed è situata in prossimità di tali edifici in aderenza alla cabina elettrica interrata esistente.



Ubicazione planimetrica della galleria



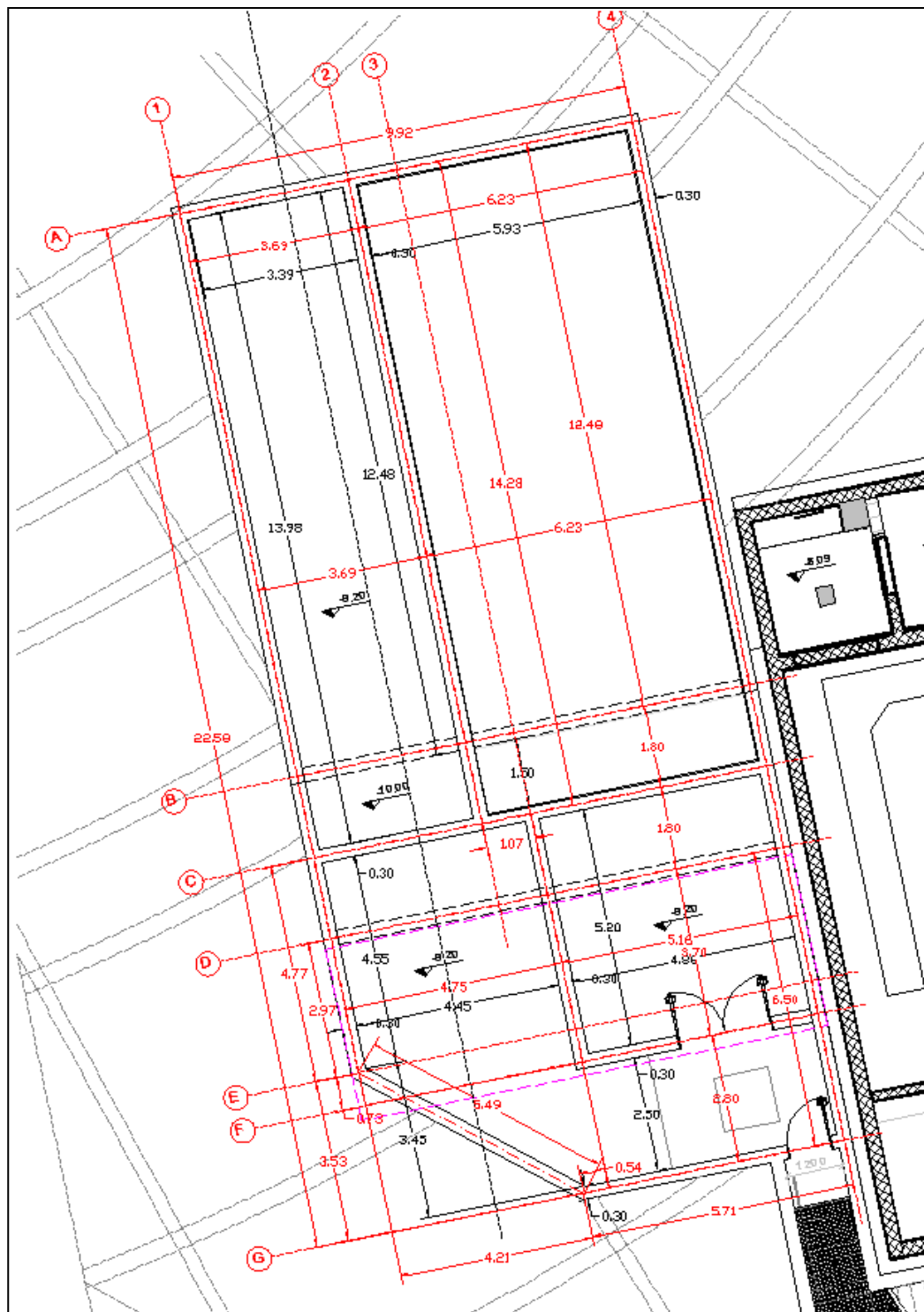
Pianta della vasca

1.2 Descrizione del progetto

Il progetto prevede la costruzione di un manufatto interrato, con ricoprimento variabile da 0.5 m a 1.5 m circa. L'opera, pressoché rettangolare, ha dimensione in pianta di 22.9 m x 10.2 m. E' suddivisa in una zona vasche di 14.6 m x 10.2 m ed una zona impianti/servizi di 8.3 m x 10.2 m; la prima zona ha altezza interna di 4.0 m, la seconda ha altezza interna di 4.0 nella fascia in prossimità delle vasche e di 3.05 m altrove.

Il manufatto è chiuso superiormente da soletta piena di 30 cm di spessore poggiante sulle pareti esterne ed i setti interni in c.a. di 30 cm di spessore.

Il manufatto è chiuso inferiormente da platea continua di 40 cm di spessore, con fossa trasversale di scolo di profondità 80 cm dall'estradosso della platea.



1.3 Normativa di riferimento

- NTC 2018, DM 17/01/2018
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019 n.7 C.S.LL. PP

Vasca interrata

- UNI EN 1992 1-1: 2015” Eurocodice 2 progettazione delle strutture in calcestruzzo – parte 1-1 Regole generali e regole per edifici”

2 ANALISI DEI CARICHI

Il manufatto è soggetto principalmente ai carichi legati all’approvvigionamento idrico interno, alle spinte delle terre esterne, ai carichi di sommità dovuti alla destinazione d’uso del piazzale e all’accesso dei mezzi dei vigili del fuoco.

L’analisi dei carichi elementari e la loro combinazione è condotta in base al possibile funzionamento del manufatto, dei possibili riempimenti e delle condizioni più significative del terreno a latere e delle parti caricate.

2.1 Peso proprio strutturale

Il peso proprio strutturale è valutato automaticamente dal modello di calcolo in funzione del peso specifico del materiale strutturale, per l’opera in oggetto il c.a.

2.2 Azioni verticali interne e sul coperto del manufatto

Vasca -platea - zone accumulo acqua

carichi verticali

finiture fondo vasca, $G_{2k} = 0.30 \text{ kN/m}^2$

livello max interno acqua = 3.50 m

peso riempimento acqua, $G_{2k} = 35.00 \text{ kN/m}^2$

vasca piena, $G_{2k,W} = 35.30 \text{ kN/m}^2$

vasca vuota, $G_{2k,W} = 0.30 \text{ kN/m}^2$

Vasca -platea - zona pompe

finiture pavimento, $G_{2k} = 1.50 \text{ kN/m}^2$

livello interno acqua = 0.00 m

riempimento acqua, $G_{2k} = 0.00 \text{ kN/m}^2$

macchine, $Q_{Ek} = 6.00 \text{ kN/m}^2$

$Q_H = 0.05 \text{ kN/m}^2$

Coperto Vasca alto e tergo pareti interrate alte

altezza terreno di riempimento = 0.3 m

peso terreno di riempimento, $G_{2k} = 6 \text{ kN/m}^2$

soletta armata sp. 10 cm, $G_{2k} = 2.5 \text{ kN/m}^2$

cls architettonico sp. 8 cm, $G_{2k} = 1.84 \text{ kN/m}^2$

$G_{2k} = 10.34 \text{ kN/m}^2$

folia compatta, $Q_{C3} = 5 \text{ kN/m}^2$

Vasca interrata

carico eccezionale VV.F 1, singolo asse 12 ton

Coperto Vasca basso e tergo pareti interrato basse

il carico dovuto al tunnel impianti è equiparato, a favore di sicurezza, al riempimento del terreno di pari altezza:

altezza terreno di riempimento =	1.0	m
peso terreno di riempimento, G_{2k} =	20	kN/m ²
soletta armata sp. 10 cm, G_{2k} =	2.5	kN/m ²
cls architettonico sp. 8 cm, G_{2k} =	<u>1.84</u>	kN/m ²
G_{2k} =	24.34	kN/m ²
folia compatta, Q_{C3} =	5	kN/m ²
carico eccezionale VV.F 1, singolo asse	12	ton

RIEMPIMENTO VASCHE - NOTA

Dalle specifiche di utilizzo del manufatto risulta un'altezza di riempimento pari a quanto sottoindicato. Per il calcolo si assume un'altezza di riempimento incrementata di un franco pari a circa 0.5 m, cioè pari a 3.5 m.

vasca BBC

Superficie	47.39	m ²
Volume	144	m ³
altezza a regime = $h_{w,BBC}$ =	3.04	m

vasca TNT

Superficie	82.90	m ²
Volume	250	m ³
altezza a regime = $h_{w,BBC}$ =	3.02	m

2.3 Mezzi dei Vigili del Fuoco

Con riferimento al punto S.9.5 del "Codice di prevenzione incendi parte generale su tutte le attività soggette" (di cui alla tabella sottoriportata) e con riferimento al 5.13 NTC 2018, si assumono i seguenti carichi sul manufatto dovuto al transito del Mezzo dei VVF.

Vasca interrata

Tabella S.9-5 - Requisiti minimi accessi all'attività da pubblica via per mezzi di soccorso

Larghezza: 3,50 m;
 Altezza libera: 4,00 m;
 Raggio di volta: 13,00 m;
 Pendenza: $\leq 10\%$;
 Resistenza al carico: almeno 20 tonnellate, di cui 8 sull'asse anteriore e 12 sull'asse posteriore con passo 4 m.

Si ipotizza un carico di 24 t distribuito in egual misura su 4 impronte 40x40 cm poste a 2 x 4 m

2.4 Neve

L'azione della neve non risulta significativa nei confronti del dimensionamento della struttura essendo decisamente inferiore al carico variabile dovuto alla folla. Per brevità non viene qui riportata.

2.5 Azione sismica

Con riferimento a 2.4. della NTC 2018:

$$V_R = V_N c_u = 50 \text{ anni}$$

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

$$c_u = 1.5 \quad (\text{classe III})$$

Caratteristiche del sito:

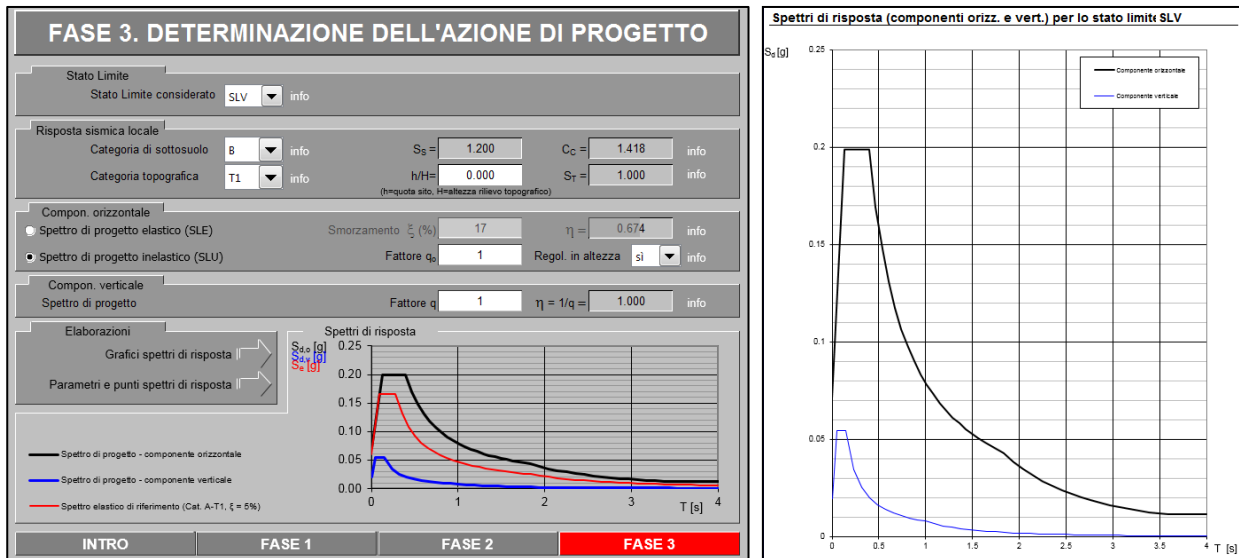
Latitudine 45.07113
 Longitudine 7.687949
 Categoria Stratigrafica B
 Categoria Topografica T1

SL	VR	PVR	TR	ag	Fo	TC*	Fv	SS	ST	Cc	TC	TB	TD	dg	vg	amax
	[anni]	[%]	[anni]	[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[mm]	[m/s]	[g]
SLO	75	81	46	0.026	2.596	0.188	0.565	1.2	1	1.537	0.289	0.096	1.704	3.77	0.014	0.031
SLD	75	63	76	0.032	2.64	0.208	0.638	1.2	1	1.506	0.313	0.104	1.728	5.1	0.019	0.038
SLV	75	10	712	0.058	2.788	0.282	0.906	1.2	1	1.417	0.4	0.133	1.832	12.49	0.044	0.070
SLC	75	5	1463	0.067	2.853	0.292	0.997	1.2	1	1.407	0.411	0.137	1.868	15.13	0.052	0.08

Spettro di progetto

Per il dimensionamento della struttura si considera comportamento non dissipativo e si adotta un fattore di comportamento unitario.

Vasca interrata



accelerazione di plateau, $S_{SLV} = 0.199 \text{ g}$

Coefficienti per la spinta delle terre in presenza di sisma per opere di sostegno, (7.11.6 NTC 2018)

$$k_{h,SLV} = \beta_m a_{max}/g = 0.070$$

essendo

$$a_{max} = S_s S_T a_g = 0.070 \text{ g}$$

$$\text{coeff. amplificazione stratigrafica, } S_s = 1.2 \quad (\text{tab. 3.2.IV NTC 2018; suolo B})$$

$$\text{coeff. amplificazione stratigrafica, } S_T = 1.0$$

$$\text{per muri non liberi di subire spostamenti, } \beta_{m,SLV} = 1.00 \quad (7.11.6.2.1 \text{ NTC2018})$$

$$k_{V,SLV} = \pm 0.5 k_h = 0.035 \quad -0.035$$

$$\text{angolo sismico, } \psi = \arctg k_h/(1-k_v) = 0.0720$$

2.6 Spinte del terreno

2.6.1 Determinazione dei parametri geotecnici

Nella Relazione Geologica a firma del dott. Geol. Elena Cogo (Ordine dei geologi Piemonte sez. A n. 749) e del dott. Geol. Nicola Quarante (Ordine dei geologi Piemonte sez. A n. 272) sono riportati i risultati di indagini svolte nel terreno oggetto di intervento. Trattasi di n.5 sondaggi a carotaggio continuo e alcune prove sismiche. Si osserva che dalle indagini la stratigrafia risulta uniforme su tutta l'area, il sondaggio S5 è quello più prossimo alla Vasca. Si riportano alcune immagini e la tabella della descrizione stratigrafica del sondaggio S5.

Vasca interrata



Ubicazione prove

Profondità (in m da p.c.)	Descrizione
0-1	Terreno di riporto eterogeneo
1-8.50	Ghiaia eterometrica con sporadici piccoli ciottoli in matrice sabbiosa fine, a tratti debolmente limosa, da sciolta a moderatamente addensata; colore bruno chiaro
8.50-14.60	Sabbia da media a molto fine, da sciolta a poco addensata, con sporadico ghiaietto fine e rarissimi ciottoli; colore da bruno a verdognolo
14.60-17.70	Sabbia medio grossolana con ghiaia eterometrica e sporadici piccoli ciottoli (diam. max 6-8 cm); colore bruno
17.70-18	Sabbia da media a molto fine, da sciolta a poco addensata, con sporadico ghiaietto fine e rarissimi ciottoli; colore da bruno a verdognolo

Tabella 4: descrizione stratigrafica del sondaggio S5

Si adotta il seguente quadro di parametri geotecnici

stratigrafia	da	a	γ_t	$\gamma_{t,saturo}$	c'	Φ'
	cm	cm	kg/cm ³	kg/cm ³	kg/m ²	°
unità 1 - Riporto	0	100	0.00175		0	31
unità 2a -Ghiaia eterometrica in SL	100	850	0.00200		0	38
unità 2b - Sabbia fine poco addensata	850	1800	0.00200		0	36
unità 2a -Ghiaia eterometrica in SL	1800	3000	0.00195	0.0021	0	38
unità 3 - Argilla marnosa	3000				0.446	24

profondità di falda: oltre 13.5 m dal piano campagna

2.6.2 Criteri generali valutazione delle spinte

Si riportano alcune considerazioni assunte alla base del progetto e della valutazione delle spinte.

- Vista l'elevata rigidità della struttura interrata la spinta, in condizioni statiche, contro le pareti della struttura interrata è da considerarsi come spinta a riposo; non viene mai innescata la risposta di spinta passiva a tergo del manufatto ove si ipotizzano i casi limite di presenza o meno di terreno su suolo elastico orizzontale.
- La spinta orizzontale SLU dovuta al sovraccarico a tergo parete è un carico Variabile ($A1=1.5$).
- La spinta attiva/a riposo SLU del terreno è un carico Permanente non strutturale sfavorevole ($A1=1.5$).
- La spinta sismica Mononobe Okabe del terreno sismica viene assunta con coefficiente unitario, applicando il coefficiente sismico Ψ_2 al sovraccarico (successivamente applicando il coeff. 1.3 nel dimensionamento SLV)
- La riduzione della spinta dovuta alla coesione è nulla essendo nulla la coesione
- A favore di sicurezza le verifiche SLE (resistenza e fessurazione) vengono condotte considerando la medesima spinta delle terre agente in SLU.
- La spinta sismica è valutata secondo Mononobe Okabe

2.6.2.1 Legenda tabelle spinte delle terre

coeff.spinta terreno (statico+dinamico) secondo Mononobe Okabe: K_{AE} (Lancellotta pag 421)

inclinazione paramento, indice Lancellotta: β (inclinazione rispetto la verticale, positivo se il paramento è inclinato verso valle con origine al piede)

inclinazione terreno, indice Lancellotta: i (inclinazione rispetto l'orizzontale)

angolo attrito interno: Φ

attrito muro terreno, cond. sismiche: δ_s

angolo sismico: $\psi = \tan^{-1} k_h/(1-k_v)$

coeff.spinta terreno attiva statica: $K_A = K_{AE}(\psi=0, \delta=\Phi/3)$

attrito muro terreno, cond. statiche, $\delta = \Phi/3$

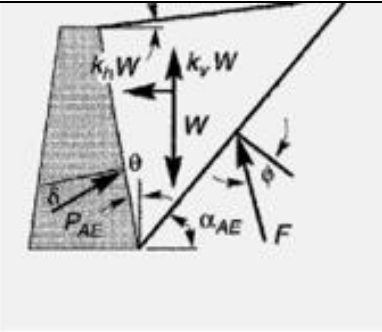
coeff.spinta terreno a riposo statica: $K_0 = 1 - \sin\Phi$

sovraccarico variabile alle spalle del muro, $Q_{sovr.}$

pressione di spinta attiva, $s_{A,SLU} = Y_{G1,sfav,A} K_A \gamma_t z + Y_{qi,A} Q_{sovr.} K_A - Y_{G1,fav,A} 2K_A^{0.5} c$

pressione di spinta attiva (statico+dinamico), $s_{AE} = K_{AE} \gamma_t z + \Psi_2 Q_{sovr.} K_{AE} - 2K_A^{0.5} c$

pressione di spinta a riposo, $s_{0,SLU} = Y_{G1,sfav,A} K_0 \gamma_t z + Y_{qi,A} Q_{sovr.} K_0$



$K_h = a_h/g$ $K_v = a_v/g$
 $\psi = \tan^{-1} [k_h/(1 - k_v)]$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta + \theta + \psi) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\sqrt{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)}} \right]^2}$$

2.6.3 Tabella spinta orizzontale delle terre statica e sismica

Si riporta in tabella la spinta statica del terreno, già allo SLU, e la spinta totale del terreno in caso di sisma. Come già ribadito non c'è presenza di falda e pertanto il terreno non risulta immerso.

striscia di parete, i_{muro} =	1.00	m
altezza muro, H =	4.50	m
alle spalle del muro, $Q_{sovr.}$ =	500	kg/mq
discretizzazione verticale =	0.5	m
falda	assente	

coefficienti moltiplicativi delle spinte

Vasca interrata

	sp. sovracc. sfv.	sp. att./riposo	sp. pass.
SLU	1.5	1.5	0.0
SLV	0.6	1.0	0.0

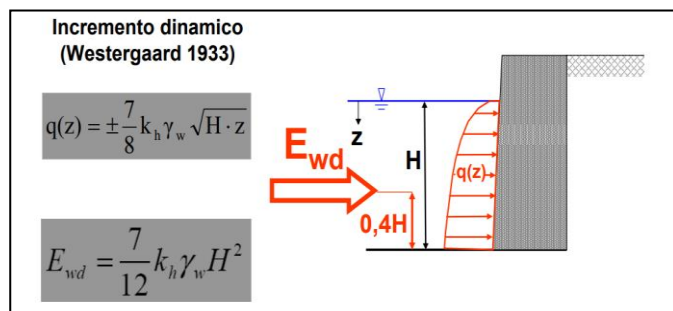
AZIONE DEL TERRENO: SPINTA ATTIVA/A RIPOSO STATICA A1+M1 (SLU STR) E SPINTA TOTALE SISMICA M1

z	Δz	γ/γ_{M1}	γ'_t	γ_w	H	$Q_{sovr.}$	ϕ/γ_{M1}	ϕ	c'/γ_{M1}	β	β	i	i	$\delta = \Phi/3$	$\psi_{st} = 0$
[m]	[m]	[kg/m³]	[kg/m³]	[kg/m³]	[m]	[kg/m²]	[°]	[rad]	[kg/m²]	[°]	[rad]	[°]	[rad]	[rad]	[rad]
0					4.5	500	31	0.54	0	0	0.00	10	0.17	0.180	0
0.5	0,0-0,5	2000	2000	0.0	4.5	500	31	0.54	0	0	0.00	10	0.17	0.180	0
1	0,5-1,0	2000	2000	0.0	4.5	500	31	0.54	0	0	0.00	10	0.17	0.180	0
1.5	1,0-1,5	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0
2	1,5-2,0	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0
2.5	2,0-2,5	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0
3	2,5-3,0	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0
3.5	3,0-3,5	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0
4	3,5-4,0	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0
4.5	4,0-4,5	2000	2000	0.0	4.5	500	38	0.66	0	0	0.00	10	0.17	0.221	0

z	Δz	K_A	K_0	δ_s	ψ	K_{AE}	S_A	S_0	S_{AE}	$i_{MURO S_A}$	$i_{MURO S_0}$	$i_{MURO S_{AE}}$
[m]	[m]			[rad]	[rad]		[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]
0		0.335	0.485	0.0	0.072	0.414	251	364	124			
0.5	0,0-0,5	0.335	0.485	0.0	0.072	0.414	753	1092	538	502	728	331
1	0,5-1,0	0.335	0.485	0.0	0.072	0.414	1255	1819	952	1004	1456	745
1.5	1,0-1,5	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	1283	2019	1012	1269	1919	982
2	1,5-2,0	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	1649	2596	1319	1466	2308	1165
2.5	2,0-2,5	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	2015	3173	1625	1832	2885	1472
3	2,5-3,0	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	2382	3750	1932	2199	3461	1779
3.5	3,0-3,5	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	2748	4327	2239	2565	4038	2086
4	3,5-4,0	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	3115	4904	2546	2932	4615	2392
4.5	4,0-4,5	0.244	0.385	0.0	0.072	0.307	3481	5481	2852	3298	5192	2699

2.6.4 Tabella spinta orizzontale dell'acqua statica e sismica

Si riporta in tabella la spinta statica dell'acqua contro la parete interna della vasca, allo SLE, e l'incremento della spinta dell'acqua in caso di sisma, valutato secondo Westergaard.



z	Δz	γ_w	H	$K_{A,w}$	$k_{h,slv}$	$S_{w,slu}$	$S_{w,sle}$	ΔS_{wE}	$i_{MURO S_{w,slu}}$	$i_{MURO S_{w,sle}}$	$i_{MURO S_{w,slv}}$
[m]	[m]	[kg/m³]	[m]			[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]
0			4.5	1.000	0.070	0	0	0	0	0	0
0.5	0,0-0,5	1000	4.5	1.000	0.070	750	500	91	750	500	591
1	0,5-1,0	1000	4.5	1.000	0.070	1500	1000	129	1500	1000	1129
1.5	1,0-1,5	1000	4.5	1.000	0.070	2250	1500	158	2250	1500	1658
2	1,5-2,0	1000	4.5	1.000	0.070	3000	2000	183	3000	2000	2183
2.5	2,0-2,5	1000	4.5	1.000	0.070	3750	2500	204	3750	2500	2704
3	2,5-3,0	1000	4.5	1.000	0.070	4500	3000	224	4500	3000	3224
3.5	3,0-3,5	1000	4.5	1.000	0.070	5250	3500	242	5250	3500	3742
4	3,5-4,0	1000	4.5	1.000	0.070	6000	4000	258	6000	4000	4258
4.5	4,0-4,5	1000	4.5	1.000	0.070	6750	4500	274	6750	4500	4774

2.7 Coefficienti di suolo elastico

Dalla documentazione geologica e geotecnica, tra cui l'Elaborato CD_004 Relazione di Calcolo Fondazioni a pag 11 e 12, risulta:

modulo di reazione verticale, $K_w = 48000 \text{ kN/m}^3$

modulo di reazione orizzontale, $K_w = 24000 \text{ kN/m}^3$

Nel dimensionamento, si assumono due condizioni limite per il modulo di reazione verticale del terreno, che agisce sotto la platea di fondazione, l'una pari al valore sopra indicato l'altra pari alla metà di tale valore.

Nel dimensionamento, si assumono due condizioni limite per il modulo di reazione orizzontale del terreno, che agisce a tergo delle pareti, l'una pari al valore sopra indicato l'altra pari a valore nullo.

2.8 Azione sismica dall'impalcato

L'azione sismica dovuta all'impalcato si esplica con una forza orizzontale di piano applicata sul piano stesso, dovuta ai carichi di massa presenti. Nel calcolo della struttura si applica tale azione orizzontale, dato dal carico verticale agente moltiplicato per l'accelerazione sismica di plateau nella direzione del sisma in esame, come carico ripartito superficiale.

Accelerazione sismica orizzontale, plateau, $S_{SLV} = 0.199 \text{ g}$

Gravitazionale accelerazione $Y = 195.152 \text{ cm/s}^2$

Si riportano di seguito le azioni verticali complessive sismiche agenti per le situazioni più significative.

in assenza di folla

COPERTO VASCHE E SERVIZI ALTO

p.p. soletta sp. 30cm, G1k =	0.075	1.00	0.075	kg/cm ^q	
permanente finiture, G2k =	0.103	1.00	0.103	kg/cm ^q	
folla, QC3 =	0.050	0.00	<u>0.000</u>	kg/cm ^q	
			0.1784	kg/cm ^q	0.0018 kN/cm ²

COPERTO SERVIZI BASSO

p.p. soletta sp. 30cm, G1k =	0.075	1.00	0.075	kg/cm ^q	
permanente finiture, G2k =	0.243	1.00	0.243	kg/cm ^q	
folla, QC3 =	0.050	0.00	<u>0.000</u>	kg/cm ^q	
			0.3184	kg/cm ^q	0.0032 kN/cm ²

in presenza di folla

COPERTO VASCHE E SERVIZI ALTO

p.p. soletta sp. 30cm, G1k =	0.075	1.00	0.075	kg/cm ^q	
permanente finiture, G2k =	0.103	1.00	0.103	kg/cm ^q	
folla, QC3 =	0.050	0.60	<u>0.030</u>	kg/cm ^q	
			0.208	kg/cm ^q	0.0021 kN/cm ²

Vasca interrata

COPERTO SERVIZI BASSO

p.p. soletta sp. 30cm, G1k =	0.075	1.00	0.075	kg/cm ^q	
permanente funiture, G2k =	0.243	1.00	0.243	kg/cm ^q	
folia, QC3 =	0.050	0.60	<u>0.030</u>	kg/cm ^q	
			0.348	kg/cm ^q	0.0035 kN/cm ²

2.9 Condizioni di carico elementari

Per il dimensionamento del manufatto interrato vengo individuate 27 condizioni di carico elementari che individuano le situazioni più gravose per la geometria dello stesso, prevedendo:

- applicazione del carico di folia compatta sia uniformemente distribuito che a scacchiera sulle solette delle due vasche sottostanti (Condizioni elementari 3-5)
- applicazione del carico dovuto all'acqua nelle vasche sia su tutte e due le vasche contemporaneamente che distintamente (Condizioni elementari 6-8, 14-16)
- applicazione dell'azione di piano sismica in assenza e in presenza di folia in direzione +Y e in direzione +X (Condizioni elementari 10-11 e 22-23)
- applicazione delle azioni eccezionali dovute alla presenza di mezzi VVF in due posizioni distinte (Condizioni elementari 20-21)
- applicazione delle spinte statiche delle terre contemporanea su tutte le pareti e della spinta sismica in direzione +Y e in direzione +X (Condizioni elementari 12, 13, 24). Tali azioni sono già fattorizzate SLU e SLV.
- applicazione del carico dovuto all'addizionale sismica dell'acqua nelle vasche sia su tutte e due le vasche contemporaneamente che distintamente e in tutte le direzioni principali (Condizioni elementari 17-19, 25-27)

2.10 Combinazioni di carico – Involuppi di progetto

Si riportano in tabella le combinazioni di carico assunte a progetto.

Le combinazioni di carico di Servizio SLEQP, e SLEF non vengono qui riportate, peraltro i valori ottenuti dall'analisi sono di poco inferiori a quelli della SLER e pertanto tutte le verifiche inerenti gli Stati Limite di Servizio (tensioni e fessurazione) vengono condotte assumendo il quadro sollecitante SLER.

Vasca interrata

SL	COMBINAZIONI DI CARICO	SLU										SLER									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		SLU1	SLU2	SLU3	SLU4	SLU5	SLU6	SLU7	SLU8	SLU9	SLU10	SLER1	SLER2	SLER3	SLER4	SLER5	SLER6	SLER7	SLER8	SLER9	SLER10
1	CONDIZIONE DI CARICO ELEMENTARE																				
2	p.p. struttura, G_{1k}	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	finiture vasca, G_{2k}	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	folia compatta u. distribuita, $Q_{3k,u/d}$		1.50			1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50		1.00								
5	folia compatta cisterna TNT, $Q_{3k,TNT}$				1.50										1.00						
6	peso acqua vasca BBC, $Q_{3k,BBC}$						1.50		1.50							1.00					
7	peso acqua vasche, $G_{3k,u/d}$																				
8	peso acqua vasca TNT, $G_{3k,TNT}$						1.50		1.50		1.50						1.00		1.00		
9	peso acqua vasca BBC, $G_{3k,BBC}$							1.50	1.50	1.50	1.50	1.00				1.00					
10	Impianti pompe, Q_k	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	Azione SLV+Y impalcato no folia																				
12	Azione SLV+Y impalcato con folia																				
13	Spinta terre statica SLU	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.70				0.70	0.70	0.70
14	Spinta terre SLV +Y					1.50			1.50							1.00			1.00		
15	spinta acqua statica SLE vasche																				
16	spinta acqua statica SLE vasca TNT																				
17	spinta acqua statica vasca BBC																				
18	addizionale spinta acqua SLV+Y vasche																				
19	addizionale spinta acqua SLV+Y vasca TNT																				
20	addizionale spinta acqua SLV+Y vasca BBC																				
21	Mezzo VVF, $Q_{VF,per1}$																				
22	Mezzo VVF, $Q_{VF,per2}$																				
23	Azione SLV+X impalcato no folia																				
24	Azione SLV+X impalcato con folia																				
25	Spinta terre SLV +X																				
26	addizionale spinta acqua SLV+X vasche																				
27	addizionale spinta acqua SLV+X vasca TNT																				
28	addizionale spinta acqua SLV+X vasca BBC																				

Vasca interrata

SL COMBINAZIONI DI CARICO		SLV+Y +0.3X								SLUA						SLV+X +0.3Y							
		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		MEZZI VVF S1' TERRA S1' ACQUA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA		FOLIA NO ACQUA S1 TERRA					
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
CONDIZIONE DI CARICO ELEMENTARE		SLV1 +Y	SLV2+Y	SLV3 +Y	SLV4 +Y	SLV5 +Y	SLV6+Y	SLV7 +Y	SLV8+Y	SLA1	SLA2	SLA3	SLA4	SLA5	SLA6	SLV1 +X	SLV2+X	SLV3 +X	SLV4 +X	SLV5 +X	SLV6+X	SLV7 +X	SLV8+X
1	p.p. struttura, G_{1k}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	finiture vasca, G_{2k}	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	folia compatta u. distribuita, $Q_{3,ud}$	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
4	folia compatta cisterna TNT, $Q_{3,TNT}$																						
5	folia compatta cisterna BBC, $Q_{3,BBC}$																						
6	peso acqua vasche, $G_{3,w,ud}$			1.00			1.00																
7	peso acqua vasca TNT, $G_{3,w,TNT}$				1.00			1.00															
8	peso acqua vasca BBC, $G_{3,w,BBC}$					1.00																	
9	Impianti pompe, Q_k	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	Azione SLV+Y impalcato no folia	1.00																					
11	Azione SLV+Y impalcato con folia	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00								0.30		0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
12	Spirita statica SLU									1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00							
13	Spirita terre SLV +Y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00								0.30						
14	spinta acqua statica SLE vasche			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
15	spinta acqua statica SLE vasca TNT				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
16	spinta acqua statica vasca BBC					1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00							
17	addizionale spinta acqua SLV+Y vasche			1.00			1.00	1.00	1.00										0.30			0.30	
18	addizionale spinta acqua SLV+Y vasca TNT				1.00			1.00	1.00										0.30			0.30	
19	addizionale spinta acqua SLV+Y vasca BBC					1.00		1.00	1.00										0.30			0.30	
20	Mezzo VVF, $Q_{3,VVF,post1}$									1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00								
21	Mezzo VVF, $Q_{3,VVF,post2}$																						
22	Azione SLV+X impalcato no folia	0.30															1.00						
23	Azione SLV+X impalcato con folia	0.30		0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30								1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
24	Spirita statica SLV +X	0.30						0.30	0.30								1.00						
25	addizionale spinta acqua SLV+X vasche			0.30				0.30	0.30														
26	addizionale spinta acqua SLV+X vasca TNT				0.30				0.30														
27	addizionale spinta acqua SLV+X vasca BBC					0.30																	

Vasca interrata

Nelle verifiche sono stati utilizzati diversi involuppi:

Nome del gruppo: SLU																					
Combinazione	CdC1	CdC2	CdC3	CdC4	CdC5	CdC6	CdC7	CdC8	CdC9	CdC10	CdC11	CdC12	CdC13	CdC14	CdC15	CdC16	CdC17	CdC18	CdC19	CdC20	CdC21
SLU 1	1.3	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 2	1.3	1.5	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 3	1.3	1.5	0	1.5	0	0	0	0	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 4	1.3	1.5	0	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLU 5	1.3	1.5	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0
SLU 6	1.3	1.5	1.5	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0
SLU 7	1.3	1.5	1.5	0	0	0	0	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0
SLU 8	1.3	1.5	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0	0	1	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0
SLU 9	1.3	1.5	1.5	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0	1	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0
SLU 10	1.3	1.5	1.5	0	0	0	0	1.5	1.5	0	0	1	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0

Nome del gruppo: SLV																											
Combinazione	CdC1	CdC2	CdC3	CdC4	CdC5	CdC6	CdC7	CdC8	CdC9	CdC10	CdC11	CdC12	CdC13	CdC14	CdC15	CdC16	CdC17	CdC18	CdC19	CdC20	CdC21	CdC22	CdC23	CdC24	CdC25	CdC26	CdC27
SLV1+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
SLV2+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
SLV3+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0
SLV4+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0
SLV5+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3
SLV6+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.3	0.0	0.0
SLV7+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0
SLV8+Y	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.3
SLV1+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
SLV2+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
SLV3+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
SLV4+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0
SLV5+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0
SLV6+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
SLV7+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0
SLV8+X	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0

Nome del gruppo: SLER																					
Combinazione	CdC1	CdC2	CdC3	CdC4	CdC5	CdC6	CdC7	CdC8	CdC9	CdC10	CdC11	CdC12	CdC13	CdC14	CdC15	CdC16	CdC17	CdC18	CdC19	CdC20	CdC21
SLER 1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLER 2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLER 3	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLER 4	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLER 5	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SLER 6	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
SLER 7	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SLER 8	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0.7	0	1	0	0	0	0	0	0	0
SLER 9	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0.7	0	0	1	0	0	0	0	0	0
SLER 10	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0.7	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Nome del gruppo: SLEA																					
Combinazione	CdC1	CdC2	CdC3	CdC4	CdC5	CdC6	CdC7	CdC8	CdC9	CdC10	CdC11	CdC12	CdC13	CdC14	CdC15	CdC16	CdC17	CdC18	CdC19	CdC20	CdC21
SLA1	1	1	0.6	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
SLA2	1	1	0.6	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
SLA3	1	1	0.6	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
SLA4	1	1	0.6	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
SLA5	1	1	0.6	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
SLA6	1	1	0.6	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Sono altresì stati utilizzati diversi Set di involuppo a combinare i gruppi sopra indicati, così denominati:

Vasca interrata

Set involuppi Shell

Nome set involuppi: INVILUPPO SLU

Normativa
DM17/1/2018

Involuppi per tipo di verifica

☐ T.A.

☒ SLU ☐ No traslazione momento

☐ SLU Combinazione eccezionale

☐ SLE Combinazione rara

☐ SLE Combinazione quasi permanente

☐ SLE Combinazione frequente

	Involuppo	Selezione
1	INVILUPPO SLU	
2	INVILUPPO SLV	

Set involuppi Shell

Nome set involuppi: INVILUPPO SOLO SISMICO SLV

Normativa
DM17/1/2018

Involuppi per tipo di verifica

☐ T.A.

☒ SLV ☐ No traslazione momento

☐ SLU Combinazione eccezionale

☐ SLE Combinazione rara

☐ SLE Combinazione quasi permanente

☐ SLE Combinazione frequente

	Involuppo	Selezione
1	INVILUPPO SLV	

3 CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI STRUTTURALI

3.1 Prestazioni

Trattasi di struttura interrata in c.a. con immagazzinamento di acqua al suo interno. Particolare attenzione è data al contenimento dello stato fessurativo.

Il materiale previsto e le sue caratteristiche è il medesimo per ogni parte della struttura.

Si assume:

- Classe di esposizione ambientale [UNI EN 206-1]: XC4
cui consegue: classe minima del calcestruzzo 30/37 e copriferro minimo 30 mm.
- Condizioni ambientali [Tab 4.1.III NTC 2018]: aggressive
cui consegue: gruppo di esigenza B per stato limite di fessurazione

apertura fessure $< w_2 =$	0.3 mm	SLEF
apertura fessure $< w_1 =$	0.2 mm	SLEQP

3.2 Strutture in c.a.: Conglomerato Cementizio

Si prevede l'utilizzo in ogni parte della struttura di:

cls C32/40

classe di esposizione XC4

rapporto A/C)max = 0.5

contenuto di Cemento > 300 kg/m³

tipo di cemento N

Caratteristiche meccaniche:

The screenshot shows a software interface for material properties and verification. The main window is titled 'Verifiche SLE calcestruzzo' and contains several input fields for material properties. A sub-window titled 'Verifiche di fessurazione calcestruzzo' is also visible, showing parameters for concrete cracking verification.

Materiali: C15 C32/40

Verifiche SLE calcestruzzo:

- SLE q.perm. σ_{perm} Comp 14.4 N/mm²
- SLE rara σ_{perm} Comp 19.2 N/mm²
- Gruppo di esigenza: a, b, c (b is selected)
- Verifiche di fessurazione: OK, Annulla

Verifiche di fessurazione calcestruzzo:

- Normativa: DM17/1/2018 Gruppo di Esigenza: b
- Verifica Formaz.Fessure: NTC 2018
- Moltiplicatore f_{ctm} : 1.2 ☒ Auto
- EN 1992-1-1:2005 § 7.1(2)
- $f_{ct,eff}$ 0 N/mm² ☒ Usa f_{ctm}
- Controllo delle armature minime (UNI EN 1992-1-1:2005 § 7.3.2)
- ☐ Attiva il controllo delle armature minime
- Armatura sensibile:

	Decomp.	Form.	Apert.	w amm.
Comb. q.perm:	☒	☐	☐	0 mm
Comb. rara:	☐	☐	☐	0 mm
Comb. frequente:	☐	☐	☒	0.2 mm
TA:	☐	☐	☐	0 mm
- Armatura poco sensibile:

	Decomp.	Form.	Apert.	w amm.
Comb. q.perm:	☐	☐	☒	0.2 mm
Comb. rara:	☐	☐	☐	0 mm
Comb. frequente:	☐	☐	☒	0.3 mm
TA:	☐	☐	☐	0 mm

3.2.1 Strutture in c.a.: Barre d'armatura

Si prevede l'utilizzo di acciaio per armatura B450C sia per le barre che per la rete elettrosaldata, di cui si esplicitano di seguito le caratteristiche di calcolo.

The screenshot shows a software interface for material properties of B450C steel reinforcement. The main window is titled 'Verifiche SLE calcestruzzo' and contains several input fields for material properties. A sub-window titled 'Verifiche di fessurazione calcestruzzo' is also visible, showing parameters for concrete cracking verification.

Nome: B450C

Materiali: C15 C32/40

Verifiche SLE calcestruzzo:

- SLE q.perm. σ_{perm} Comp 14.4 N/mm²
- SLE rara σ_{perm} Comp 19.2 N/mm²
- Gruppo di esigenza: a, b, c (b is selected)
- Verifiche di fessurazione: OK, Annulla

Verifiche di fessurazione calcestruzzo:

- Normativa: DM17/1/2018 Gruppo di Esigenza: b
- Verifica Formaz.Fessure: NTC 2018
- Moltiplicatore f_{ctm} : 1.2 ☒ Auto
- EN 1992-1-1:2005 § 7.1(2)
- $f_{ct,eff}$ 0 N/mm² ☒ Usa f_{ctm}
- Controllo delle armature minime (UNI EN 1992-1-1:2005 § 7.3.2)
- ☐ Attiva il controllo delle armature minime
- Armatura sensibile:

	Decomp.	Form.	Apert.	w amm.
Comb. q.perm:	☒	☐	☐	0 mm
Comb. rara:	☐	☐	☐	0 mm
Comb. frequente:	☐	☐	☒	0.2 mm
TA:	☐	☐	☐	0 mm
- Armatura poco sensibile:

	Decomp.	Form.	Apert.	w amm.
Comb. q.perm:	☐	☐	☒	0.2 mm
Comb. rara:	☐	☐	☐	0 mm
Comb. frequente:	☐	☐	☒	0.3 mm
TA:	☐	☐	☐	0 mm

Vasca interrata

fyk	450	N/mm ²	fu	540	N/mm ²	☐ Materiale esistente
☒ Aderenza migliorata			ϵ_{ud}	0.0675		Legame costitutivo del materiale: ~Bilatera Acciaio
f _m	450	N/mm ²	FC	1		

Verifiche SLU		
SLU comp	SLU traz	SLU Eccez
γ_M 1.15	γ_M 1.15	γ_M 1
fd compress.	391.30434782608	N/mm ²
fd trazione	391.30434782608	N/mm ²

Verifiche SLE acciaio			
SLE q.perm.			
σ_{amm} Comp	0	N/mm ²	☒ No lim.
σ_{amm} Traz.	0	N/mm ²	☒ No lim.
SLE rara			
σ_{amm} Comp	0	N/mm ²	☒ No lim.
σ_{amm} Traz.	360	N/mm ²	☐ No lim.
Tipo armatura per verifiche a fessurazione			
☐ Sensibile ☒ Poco sensibile			

4 ANALISI DELLA STRUTTURA

4.1 Criteri e Modello di calcolo

La struttura viene progettata tramite analisi di un modello FEM e l'ausilio di schemi manuali semplificati. Viene utilizzato il programma di calcolo CMP 35.0 (con solutore XFinest) della Namirial Spa, sia per l'analisi che per le verifiche principali.

La mesh 3D ricalca fedelmente la geometria della struttura ed è finalizzata al dimensionamento della struttura. La platea, le pareti e la soletta di sommità sono modellate come shell.

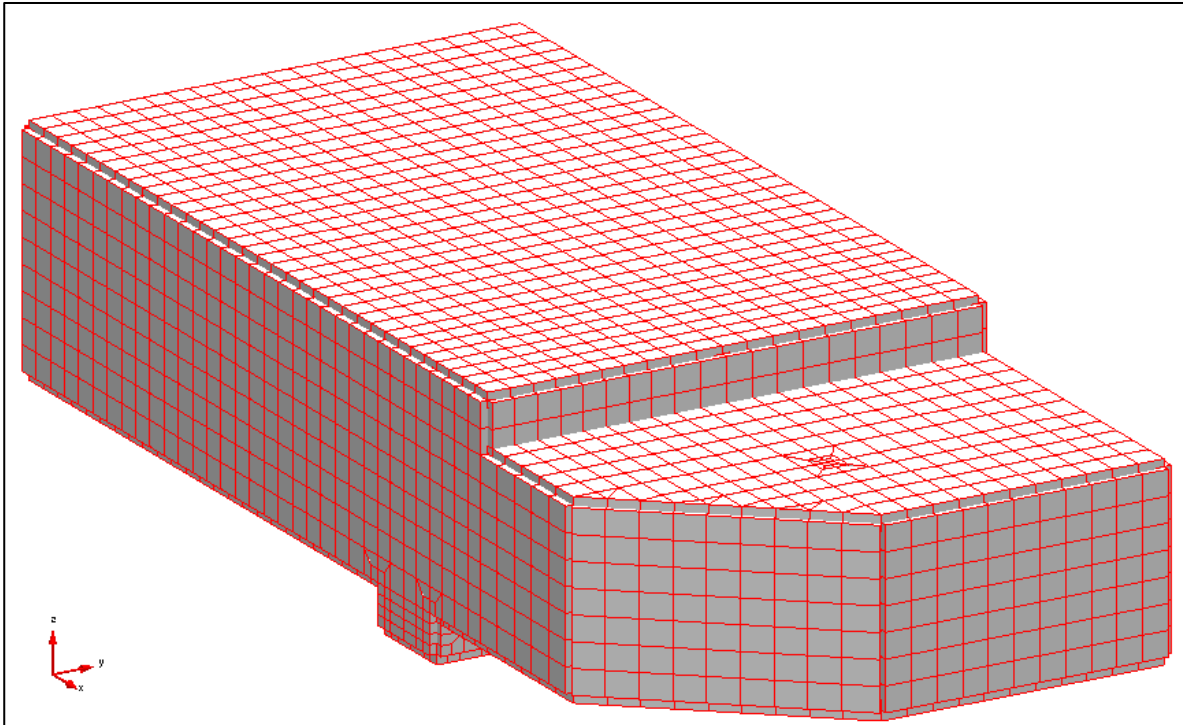
L'analisi sotto le azioni sismiche è di fatto un'analisi lineare statica equivalente.

I report sotto riportati sono anche indicativi della congruenza tra lo stato di sollecitazione/deformazione riscontrato e le condizioni di carico applicate.

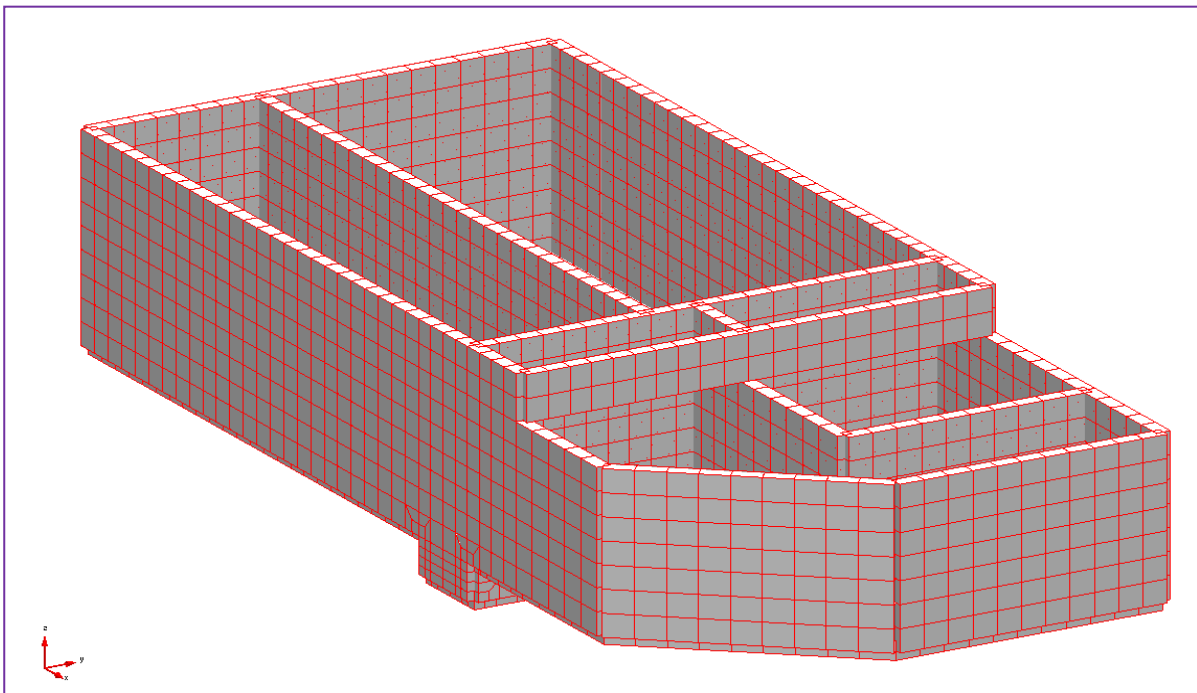
This architectural site plan shows a building complex with various rooms and corridors. The plan is oriented with a North arrow pointing towards the top right. The building is divided into several sections, with dimensions provided in meters. The overall dimensions of the building are 12.48m by 12.48m. The plan includes a north arrow, a scale bar, and a legend. The building is surrounded by a road and a parking area. The plan is drawn in black lines on a white background. The dimensions are given in meters, with some values in parentheses indicating specific measurements. The plan is a detailed technical drawing of a building layout.

Si riportano alcune immagini esplicative della modellazione adottata.

Vasca interrata

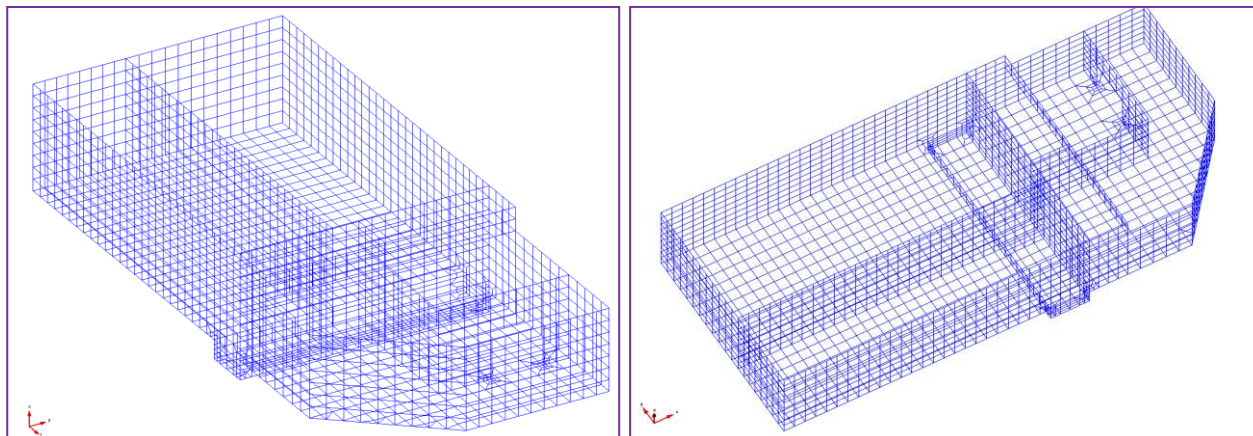


Struttura Vasca: solid view



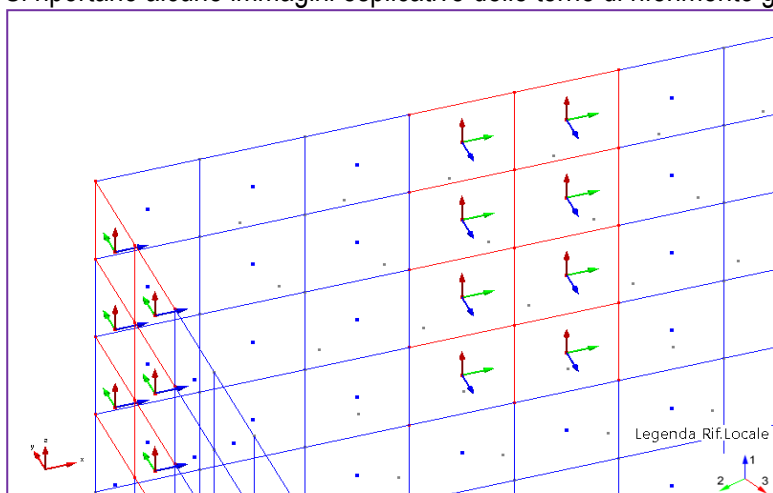
Struttura al netto della soletta superiore: solid view

Vasca interrata

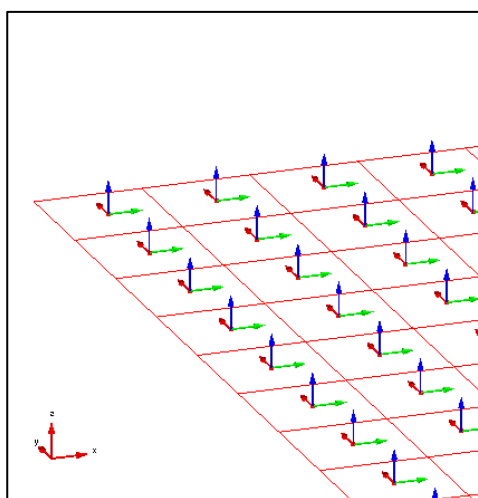


Struttura al netto della soletta superiore:

Si riportano alcune immagini esplicative delle terne di riferimento globali e locali assunte nella mesh



Pareti: vista globale. Assi di riferimento locale 1,2,3. Asse 2 orizzontale, asse 3 verticale, asse 1 fuori del piano.

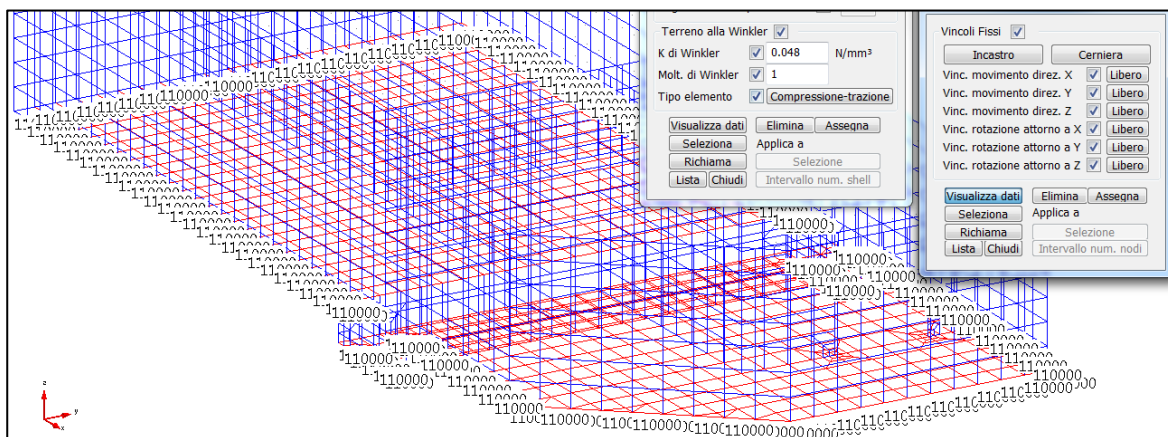


Soletta di copertura e platea. . Assi di riferimento locale 1,2,3. Asse 2 orizzontale //x, asse 3 orizzontale //y, asse 1//z fuori del piano.

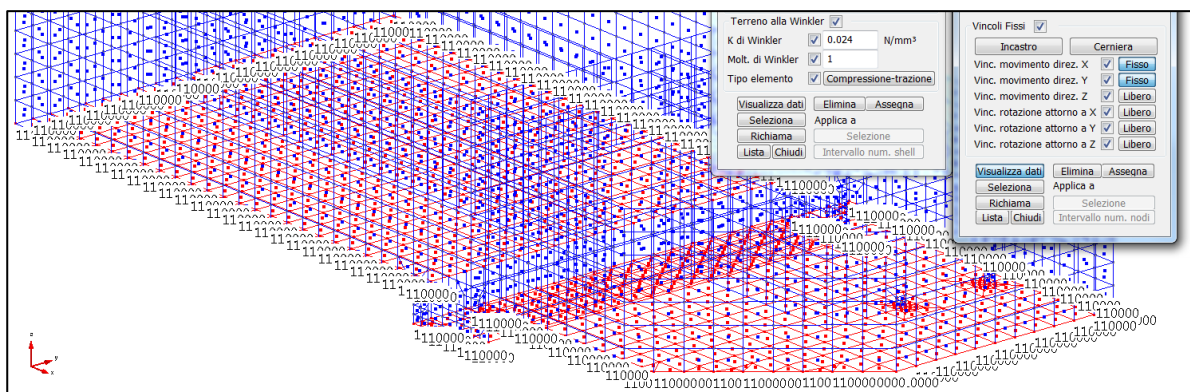
4.1.2 Vincoli esterni

La struttura poggia direttamente su suolo elastico a cui è assegnato il relativo Kw agli shell della platea, le traslazioni orizzontali sono bloccate sui nodi di bordo delle platea stessa.

La parete verticale opposta alla spinta sismica è considerata sotto due funzionamenti distinti: libera o su suolo elastico orizzontale di modulo assegnato

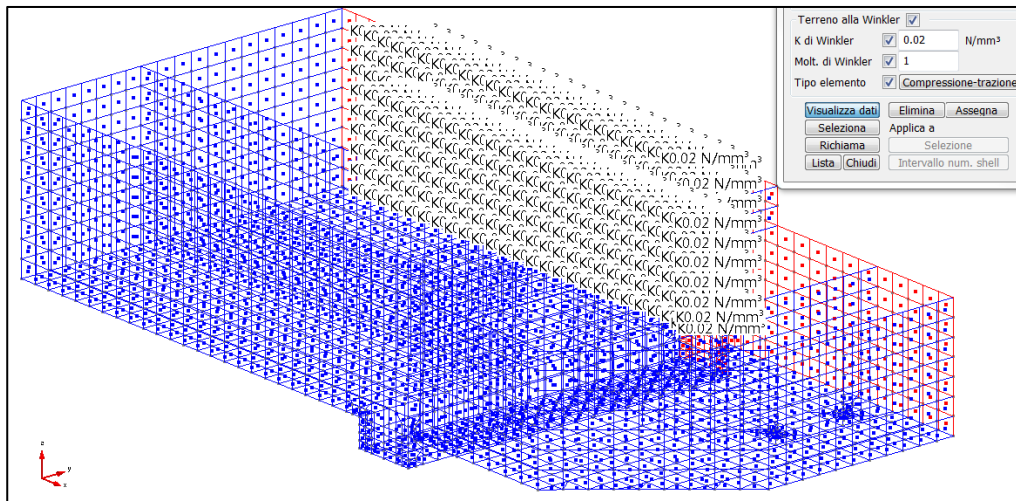


Mesh VASCA TOTN CMP1A Agg1 sisma. Platea su suolo elastico $K_w=0.048 \text{ N/mm}^3$. Vincoli nodali xy: 110000



Mesh VASCA TOTN CMP2A Agg1 sisma. Platea su suolo elastico $K_w=0.024 \text{ N/mm}^3$. Vincoli nodali xy: 110000

Vasca interrata



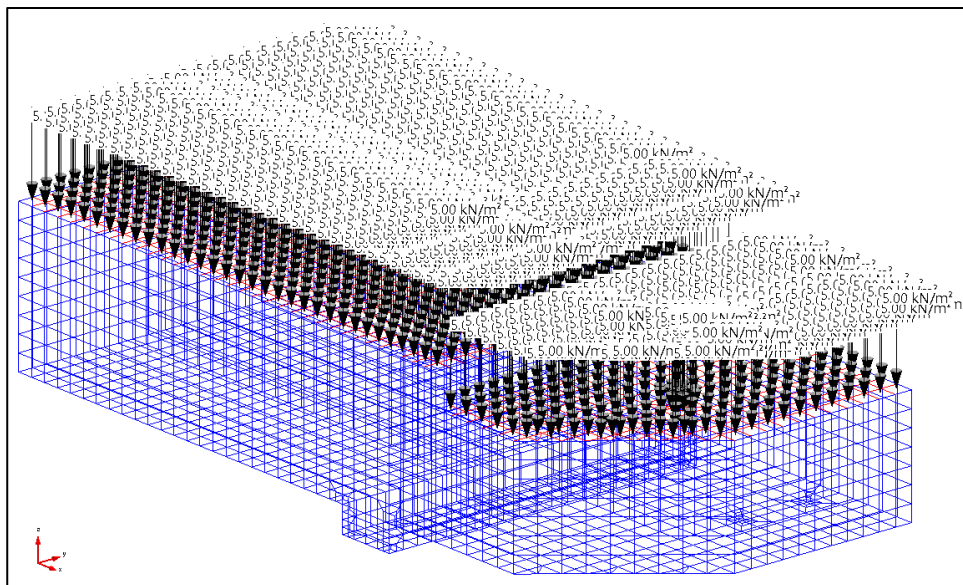
Mesh VASCA TOTN CMP2AAgg1sima. Parete su suolo elastico $K_w=0.024 \text{ N/mm}^3$.

4.2 Applicazione dei carichi sulla mesh

I carichi sono applicati sulla mesh direttamente come carichi superficiali sugli Shell.

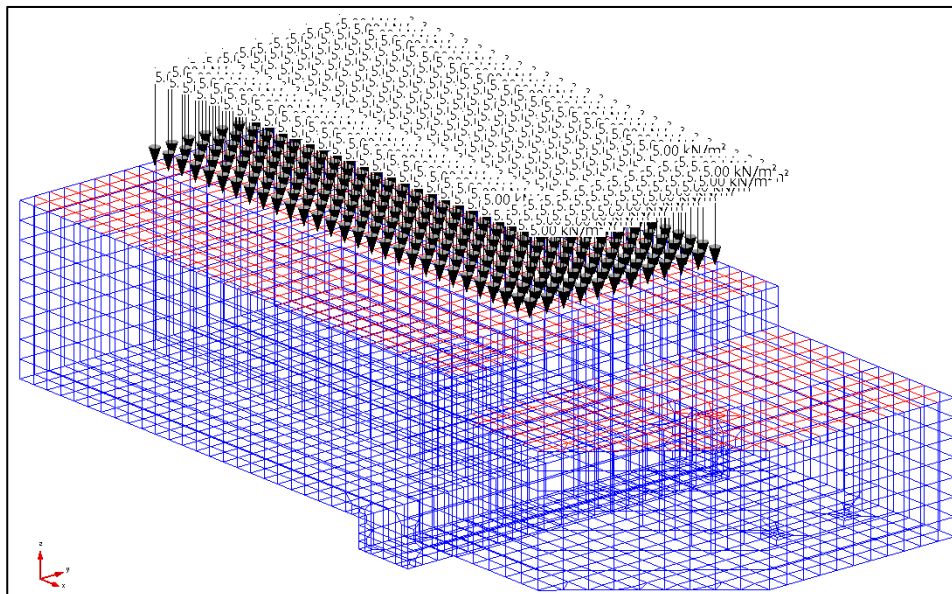
I pesi della struttura in c.a., che è tutta modellata nella mesh, sono valutati in automatico.

Si riportano alcune immagini esplicative dell'applicazione dei carichi sulla mesh di calcolo.

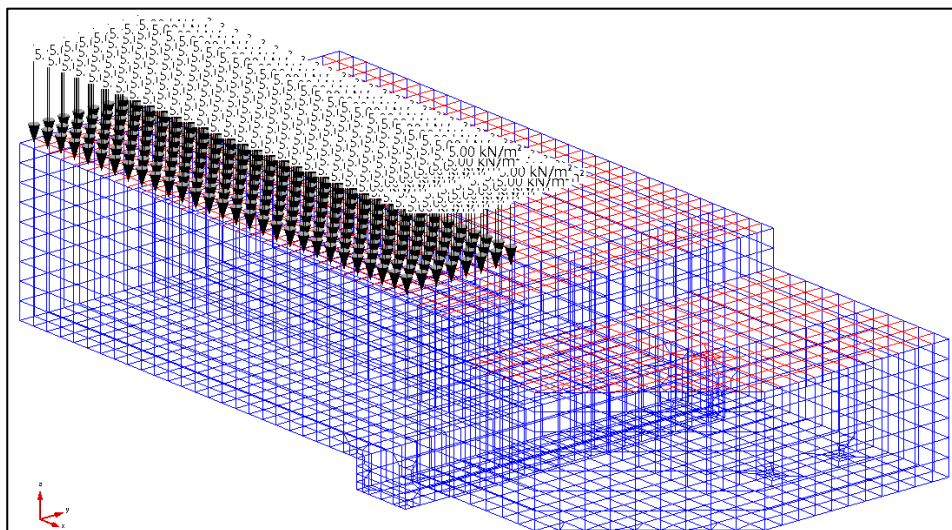


C.C.elementare 3. Applicazione dei carichi sulla mesh: Q_k folla compatta uniformemente distribuita

Vasca interrata

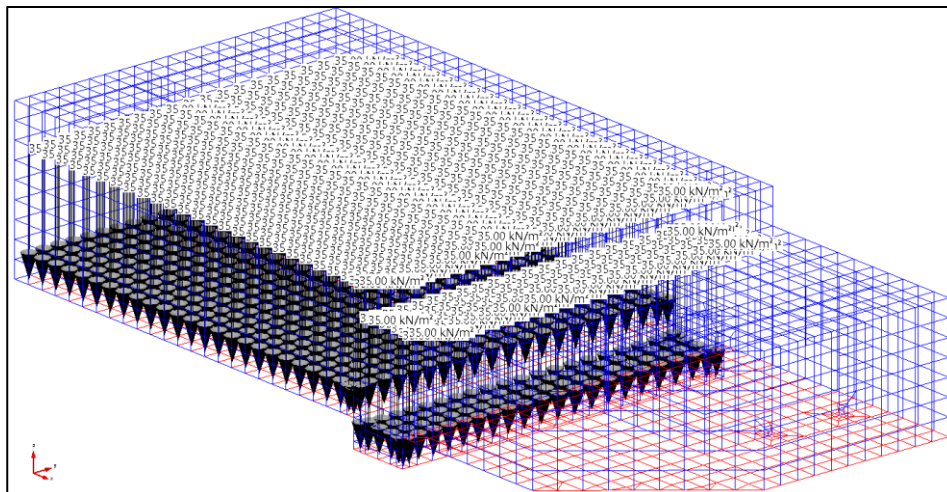


C.C.elementare 4. Applicazione dei carichi sulla mesh: Qk folla compatta su soletta vasca TNT

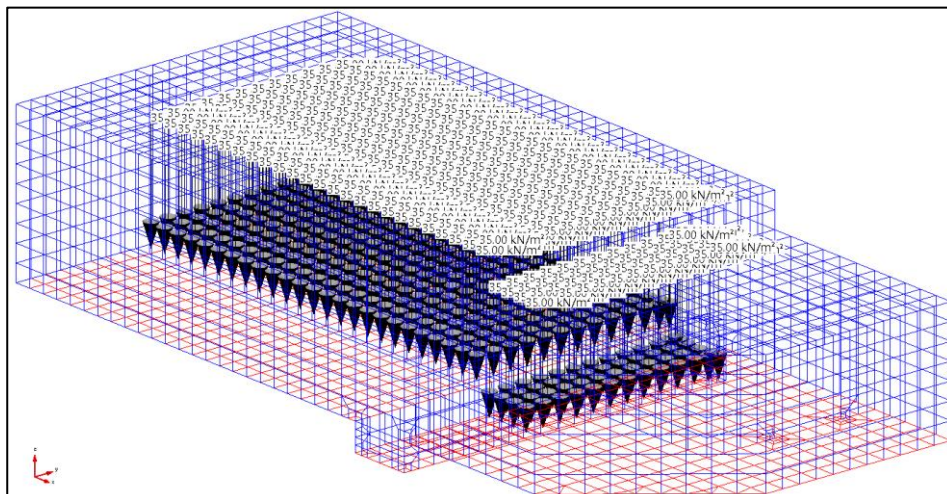


C.C.elementare 5. Applicazione dei carichi sulla mesh: Qk folla su soletta vasca BBC

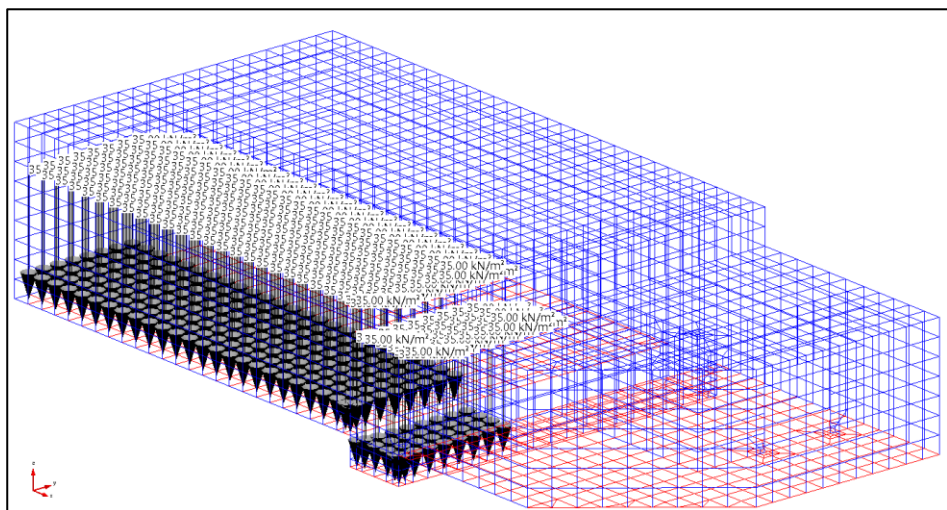
Vasca interrata



C.C.elementare 6. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 peso acqua vasche

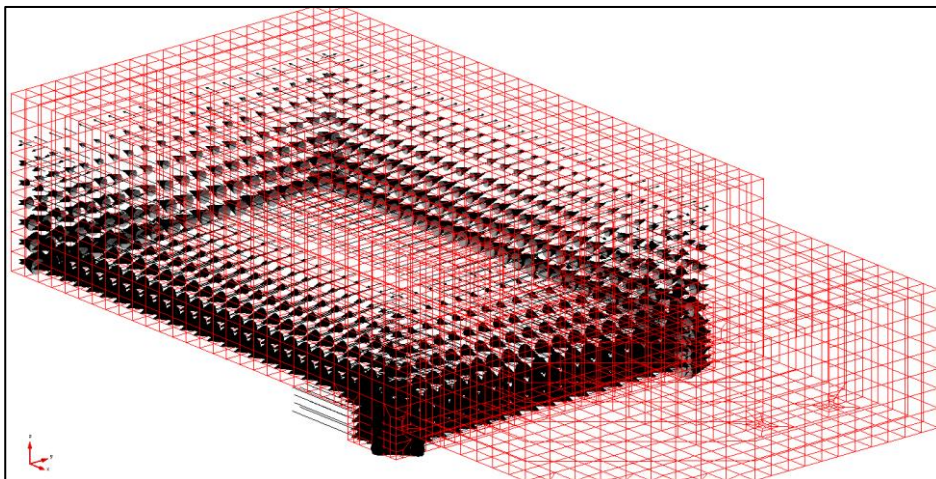


C.C.elementare 7. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 peso acqua vasca TNT

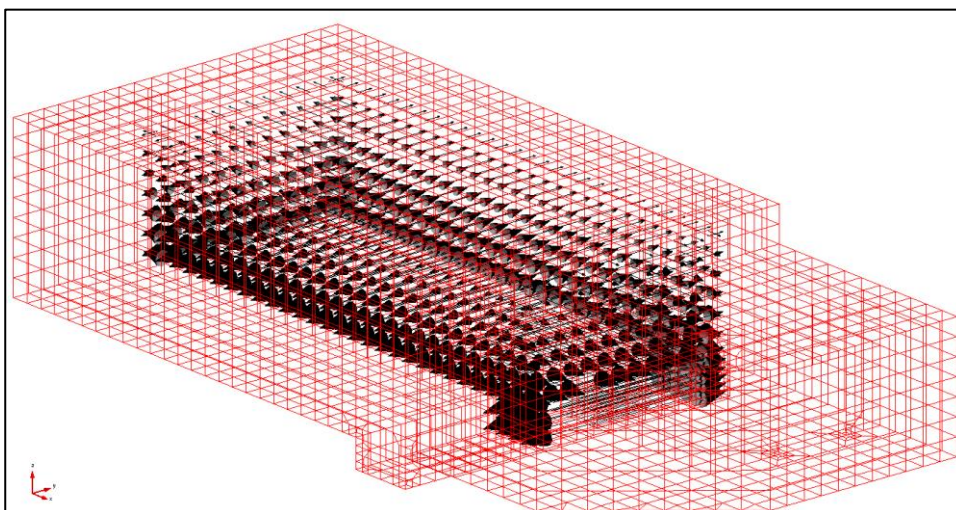


C.C.elementare 8. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 peso acqua vasca BBC

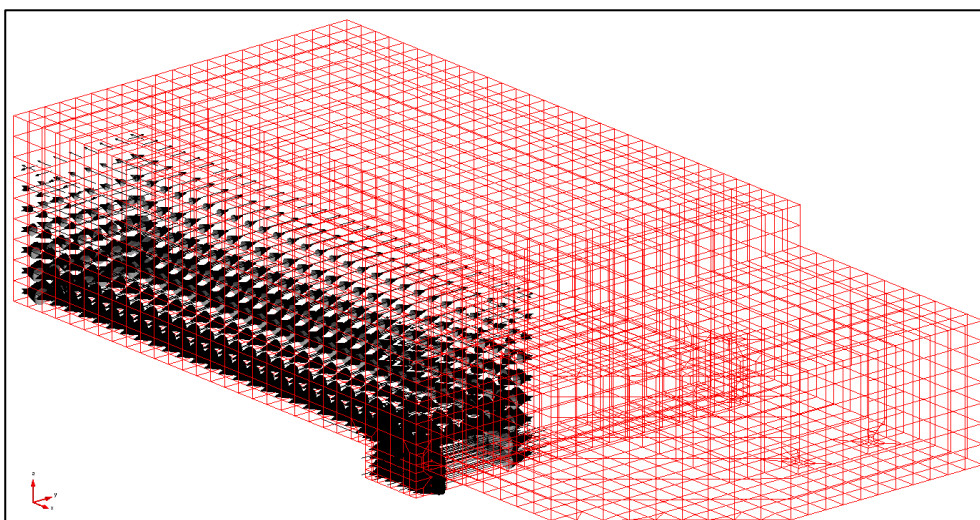
Vasca interrata



C.C.elementare 14. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 spinta acqua vasche

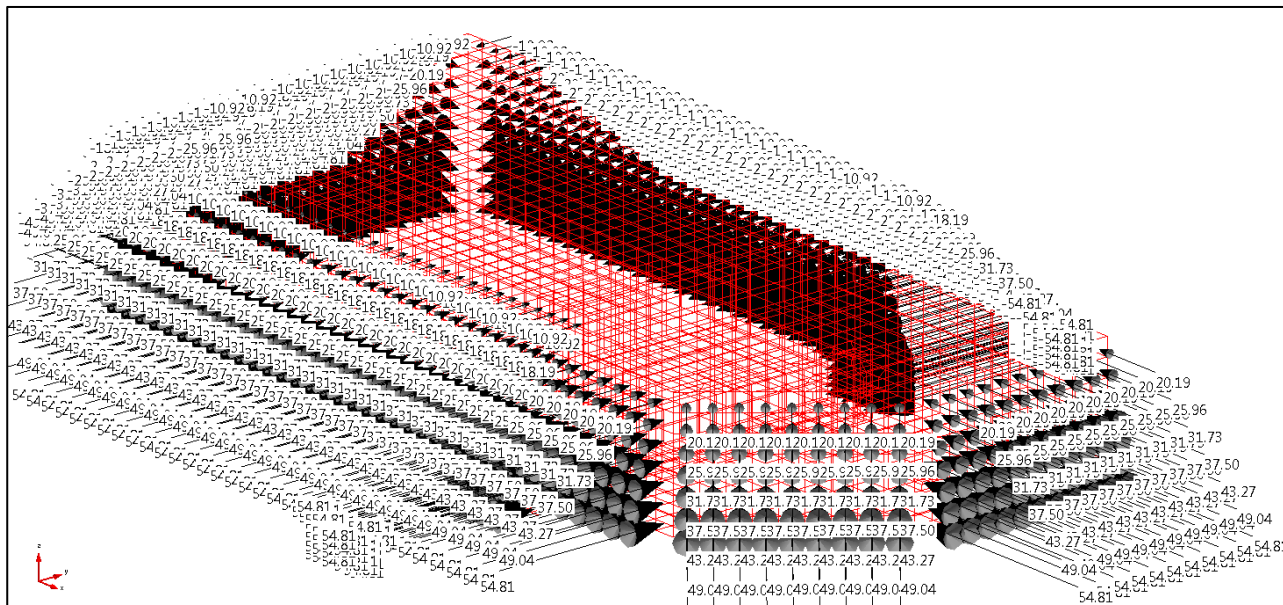


C.C.elementare 15. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 spinta acqua vasca TTN

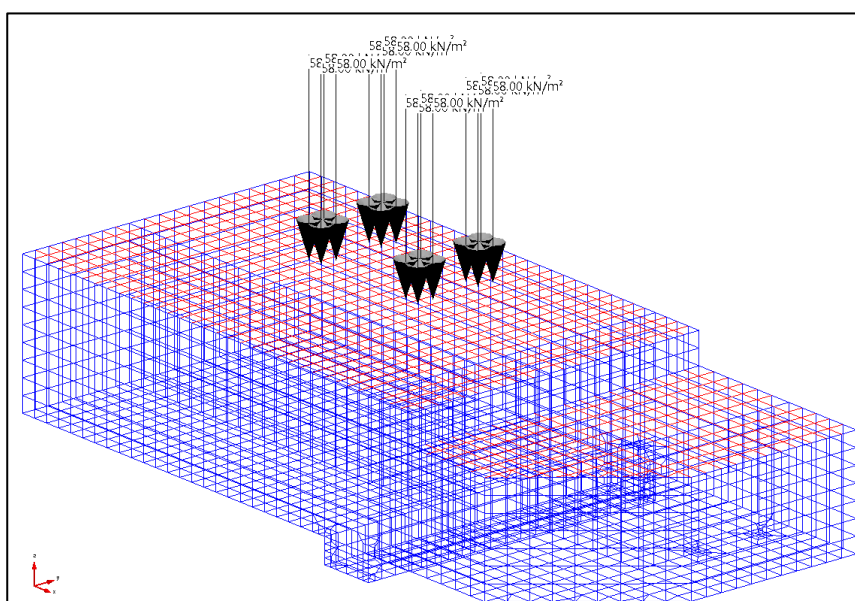


C.C.elementare 15. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 spinta acqua vasca BBC

Vasca interrata

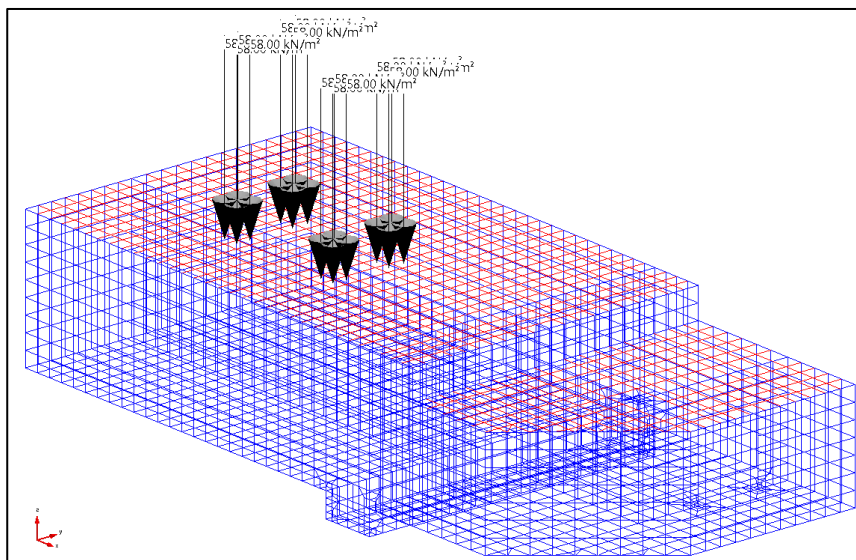


C.C.elementare 12. Applicazione dei carichi sulla mesh: G2 spinta terre

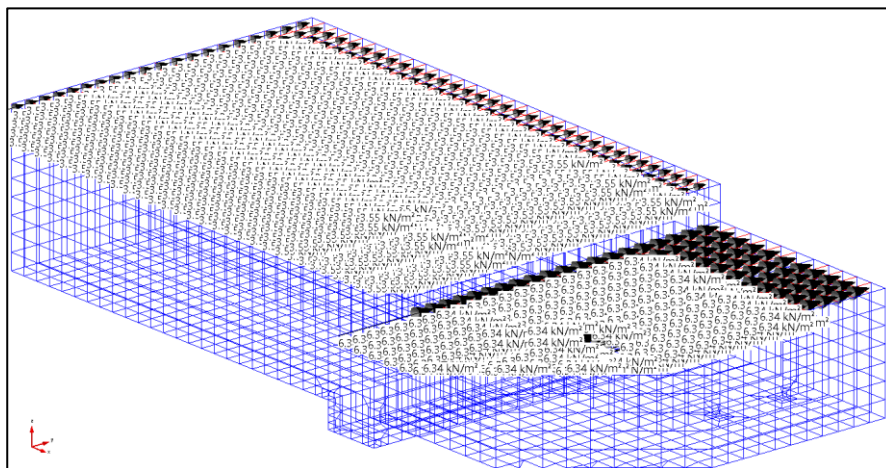


C.C.elementare 20. Applicazione dei carichi sulla mesh: Mezzo VVF posizione 1

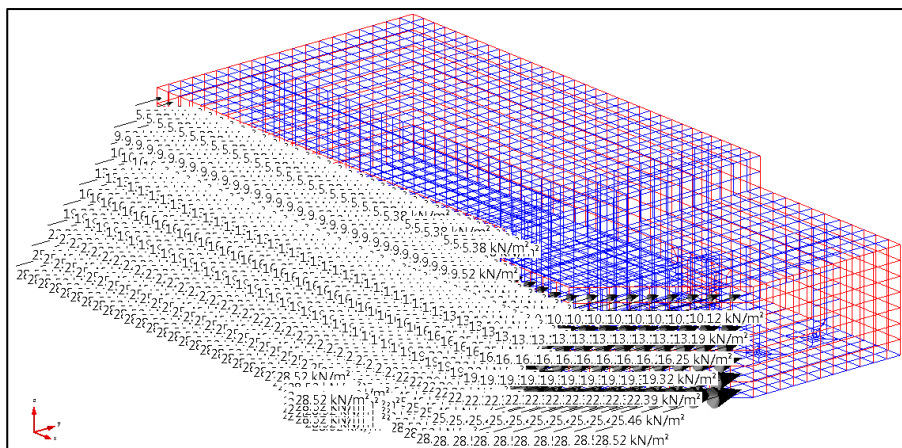
Vasca interrata



C.C.elementare 21. Applicazione dei carichi sulla mesh: Mezzo VVF posizione 2

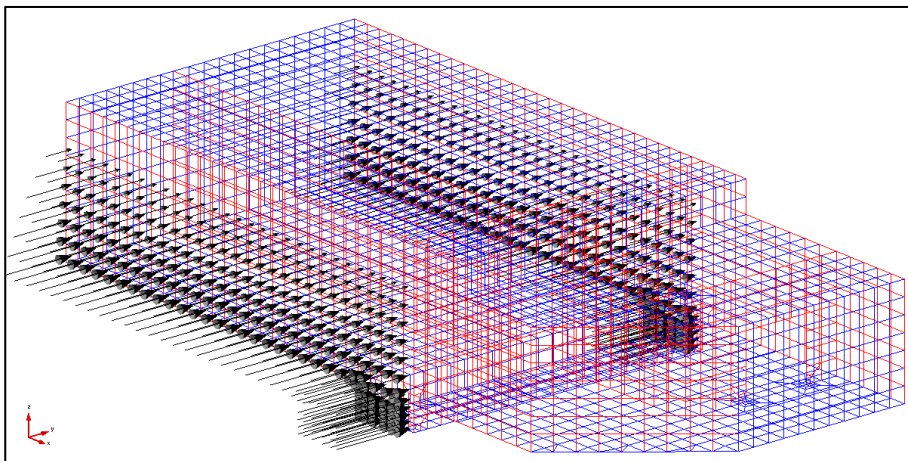


C.C.elementare 10. Applicazione dei carichi sulla mesh: spinta sismica orizzontale di piano SLV+Y

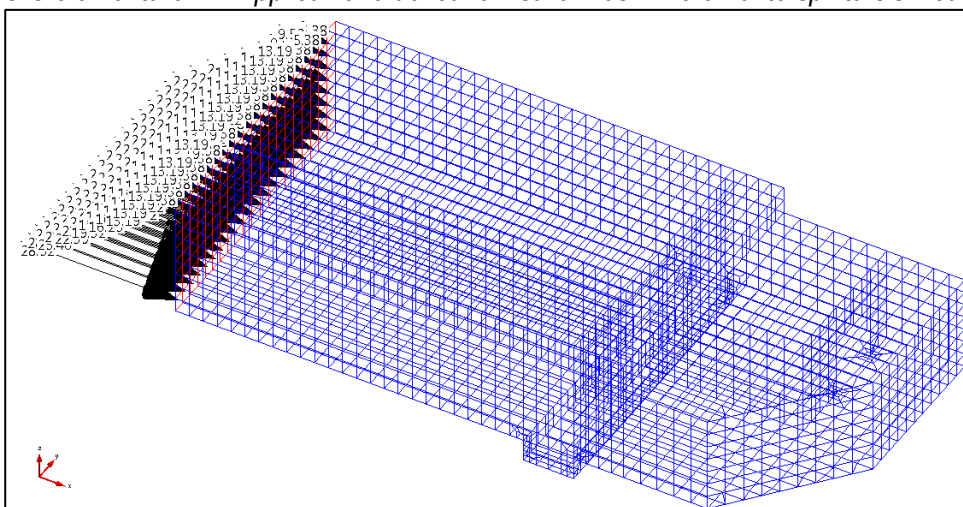


C.C.elementare 13. Applicazione dei carichi sulla mesh: spinta sismica orizzontale terreno SLV+Y

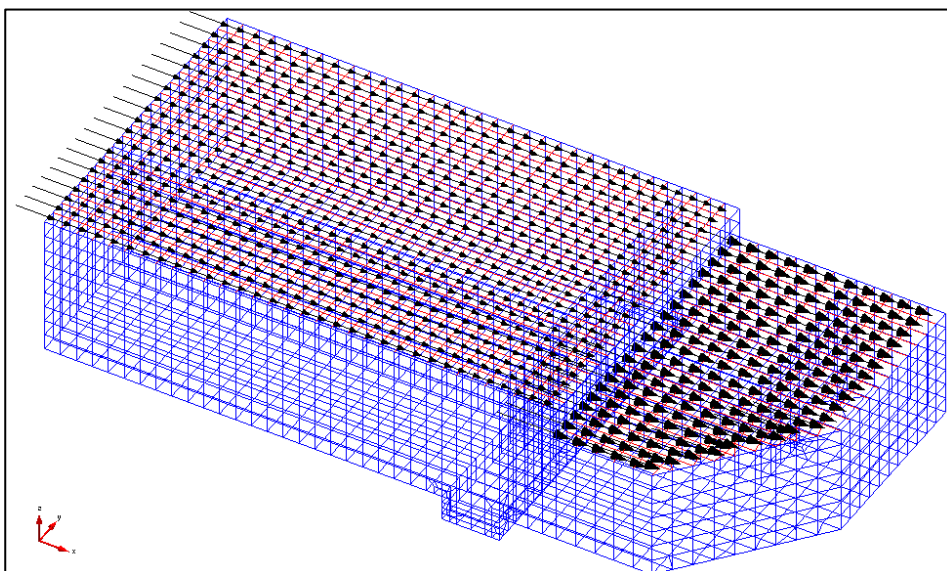
Vasca interrata



C.C.elementare 14. Applicazione dei carichi sulla mesh: incremento spinta sismica orizzontale+Y acqua



C.C.elementare 24. Applicazione dei carichi sulla mesh: spinta sismica orizzontale terreno SLV+X



C.C.elementare 22. Applicazione dei carichi sulla mesh: spinta sismica orizzontale di piano SLV+X

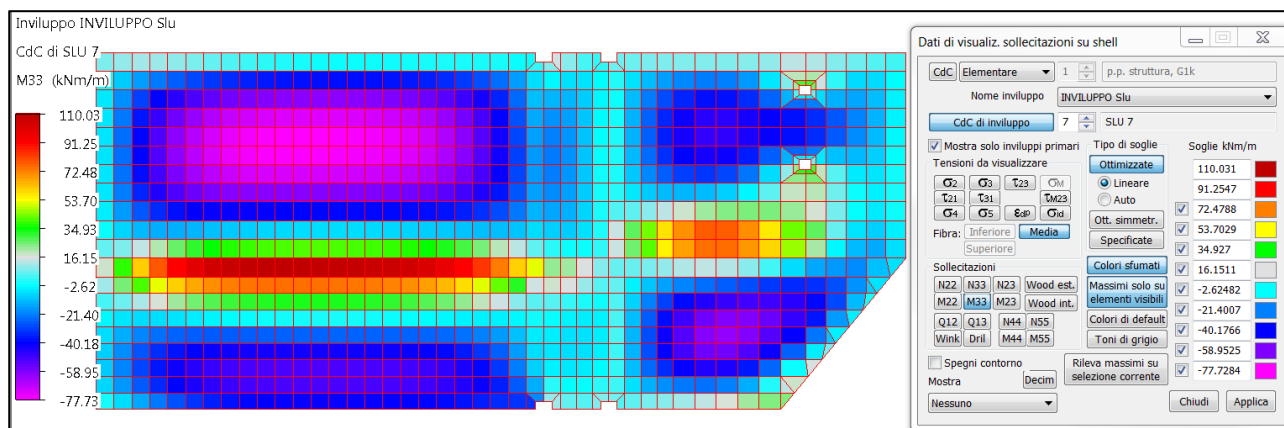
4.3 Analisi della struttura

4.3.1 Sollecitazioni: platea

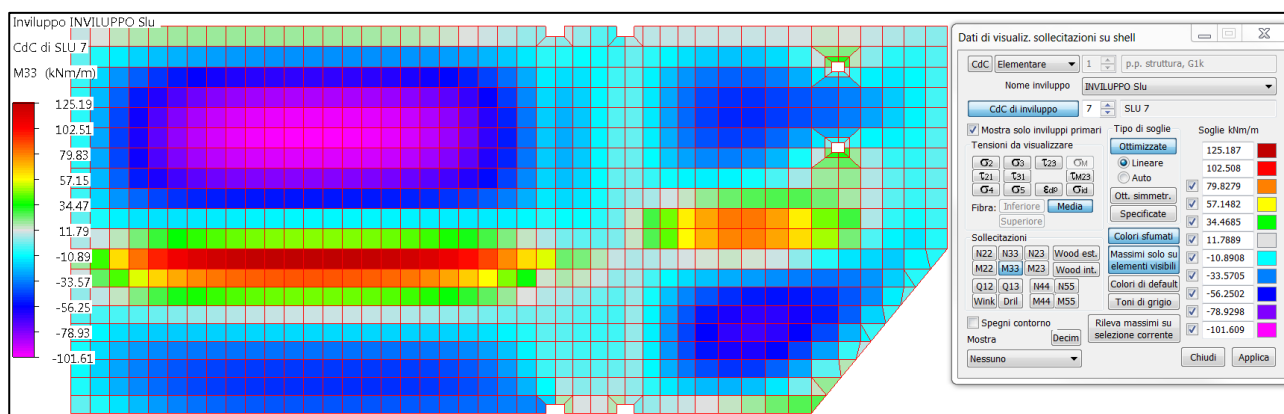
Si riportano alcune immagini esplicative dei risultati dell'analisi eseguita, relative ai quadri sollecitanti dei diversi elementi. Le immagini risultano peraltro indicative della corretta analisi effettuata.

4.3.1.1 Platea: SLU e SLV

Si riportano i quadri allo SLU e SLV in termini di Sollecitazioni Flettenti e di Taglio. Si riportano i valori nell'ipotesi di suolo elastico verticale dimezzato in quanto leggermente superiori a quelli riscontrati con $K_w=4.8$, come risulta dal confronto della prima coppia di immagini sotto riportate

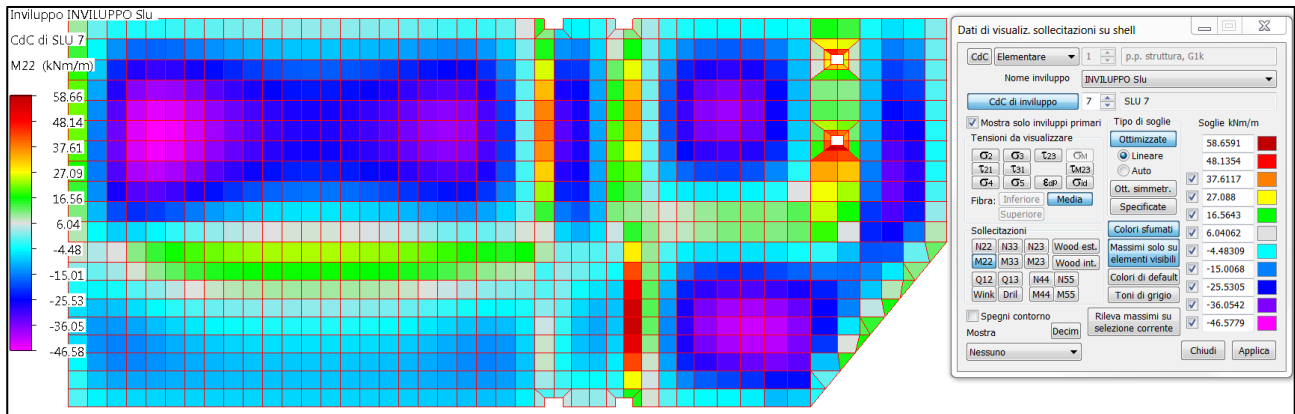


Mesh Kw=4.8 – momento trasversale M33 (My) – SLU7 (combinazione ultima statica)

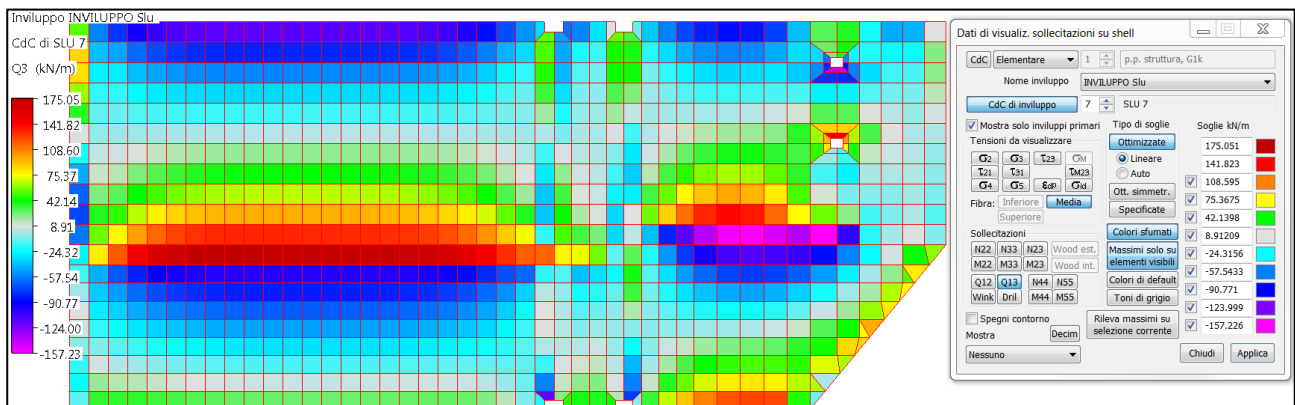


Mesh Kw=2.4 – momento trasversale M33 (My) – SLU7 (combinazione ultima statica)

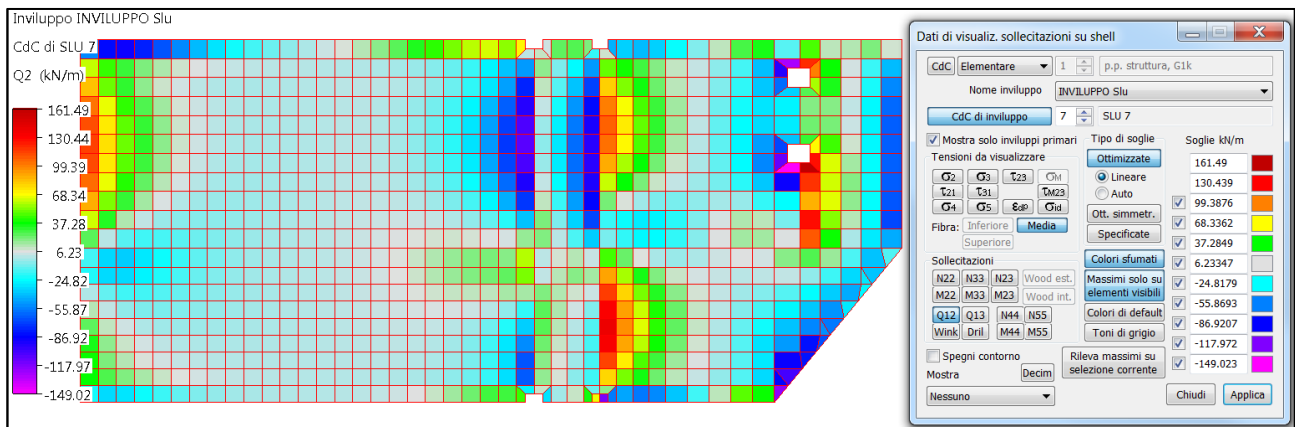
Vasca interrata



Mesh Kw=2.4 – momento longitudinale M_{22} (Mxx) – SLU7 (combinazione ultima statica)

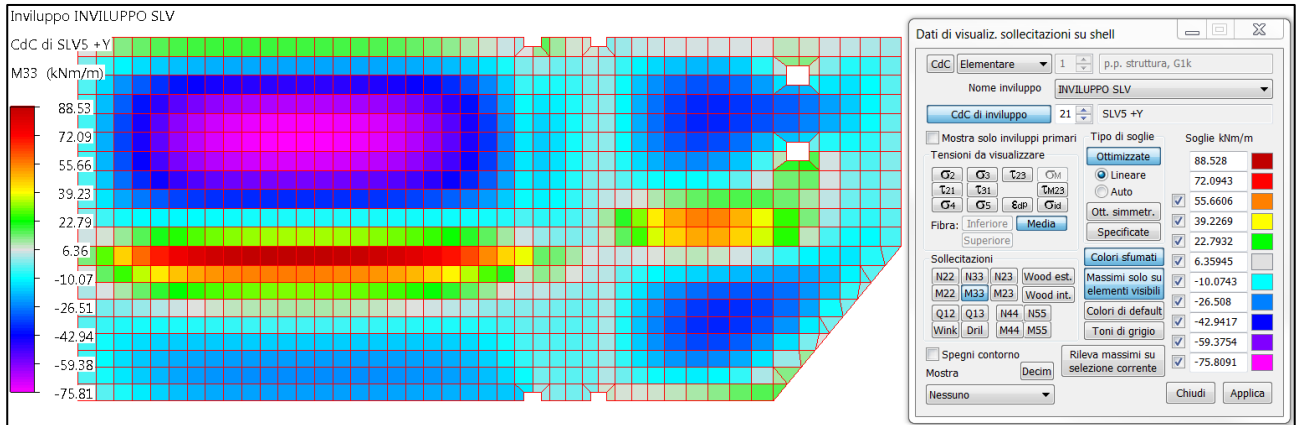


Mesh Kw=2.4 – taglio trasversale Q_{13} (Qzy) – SLU7 (combinazione ultima statica)

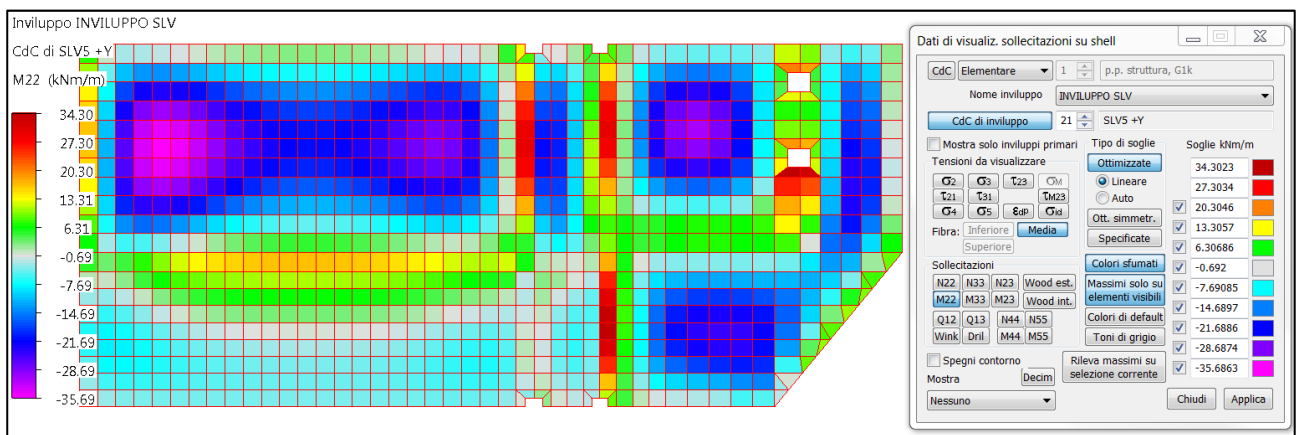


Mesh Kw=2.4 – taglio longitudinale Q_{12} (Qzy) – SLU7 (combinazione ultima statica)

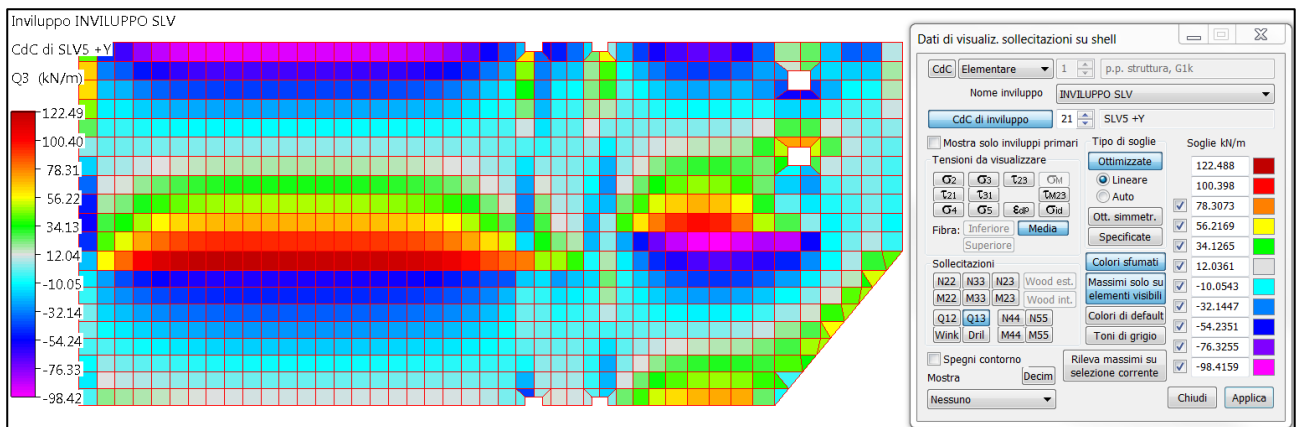
Vasca interrata



Mesh Kw=2.4 – momento trasversale M33 (Myy) – SLV5 (combinazione ultima sismica)

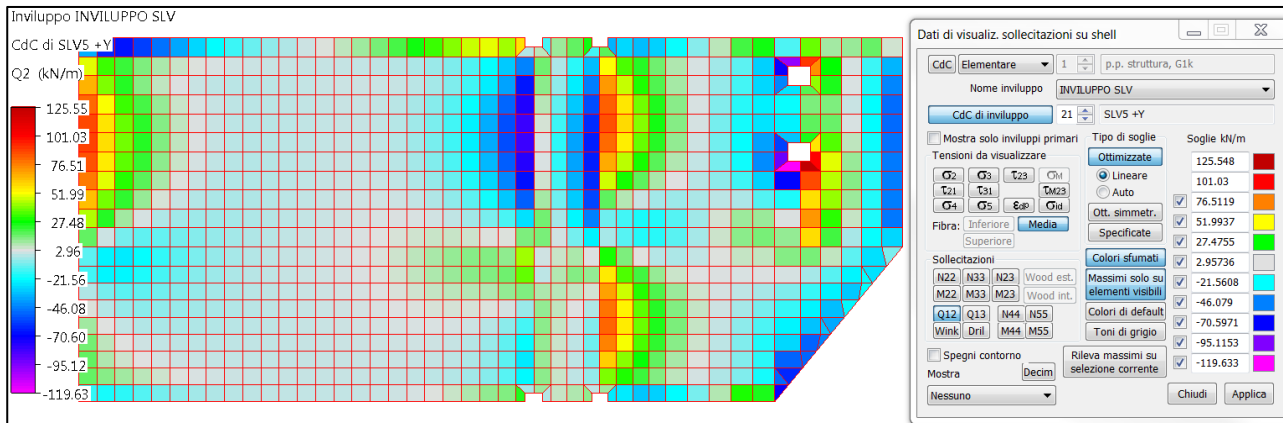


Mesh Kw=2.4 – momento longitudinale M22 (Mxx) – SLV5 (combinazione ultima sismica)



Mesh Kw=2.4 – taglio trasversale Q13 (Qzy) – SLV5 (combinazione ultima sismica)

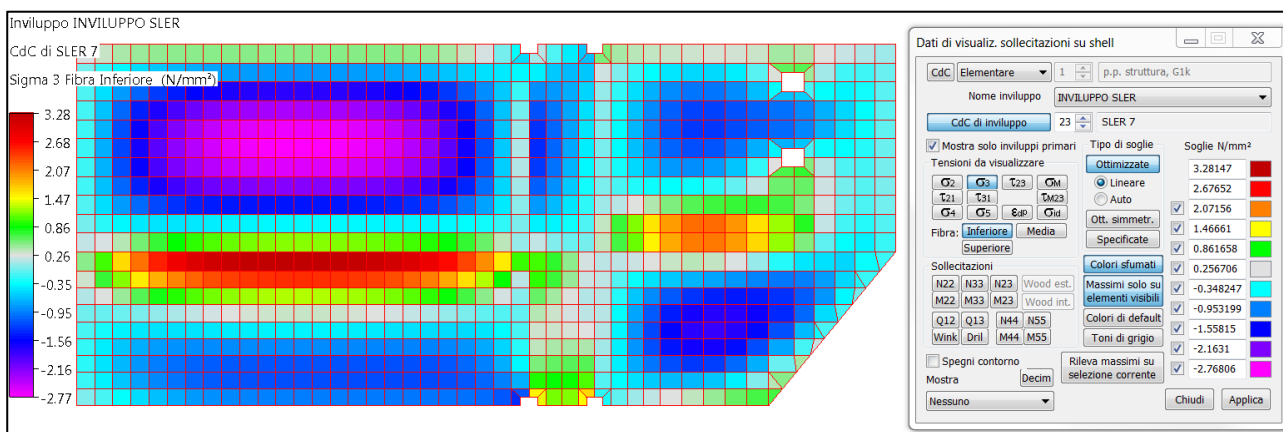
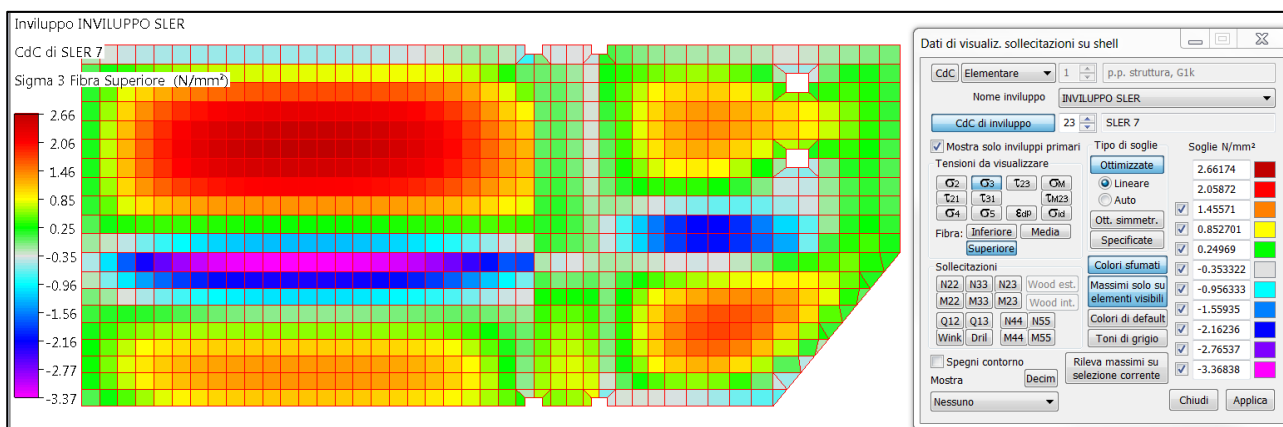
Vasca interrata



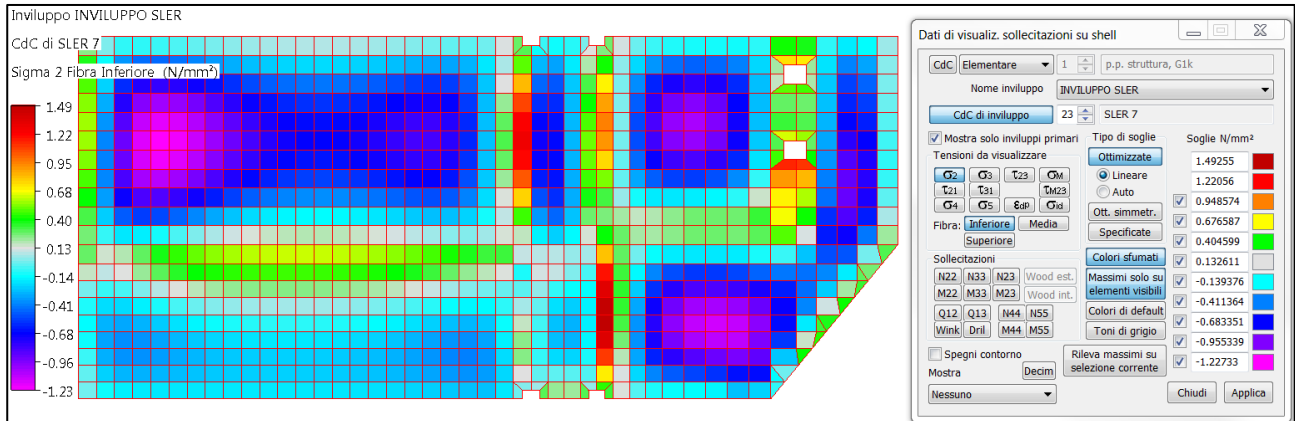
Mesh Kw=2.4 – taglio longitudinale Q12 (Qzy) – SLV5 (combinazione ultima sismica)

4.3.1.2 Platea: SLER

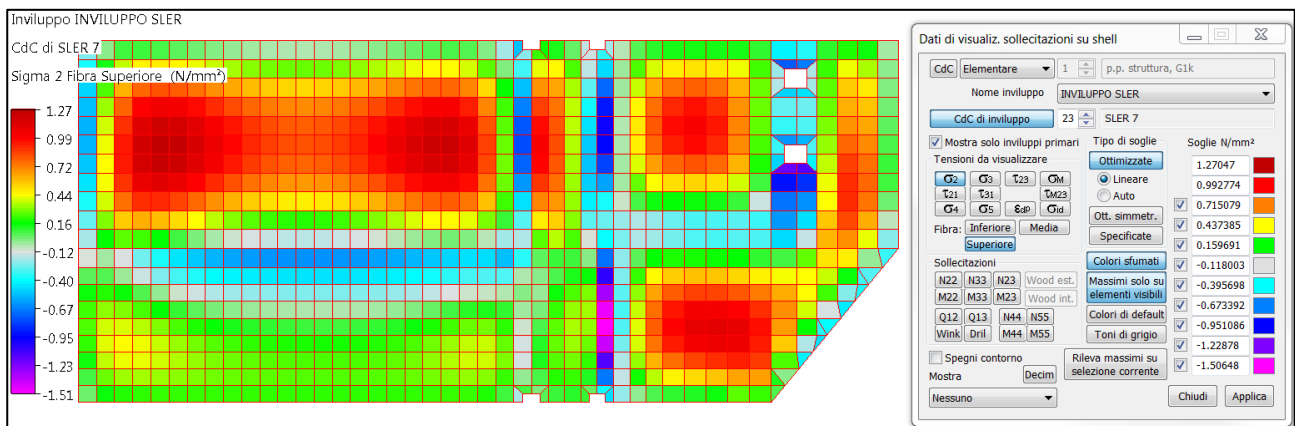
Si riporta il quadro allo stato limite di servizio in termini tensionali, considerando combinazioni di carico più significative.

Mesh Kw=2.4 – tensione normale σ_3 – fibra inferiore - SER7 (combinazione statica)Mesh Kw=2.4 – tensione normale σ_3 – fibra superiore - SER7 (combinazione statica)

Vasca interrata



Mesh Kw=2.4 – tensione normale σ_2 – fibra inferiore - SER7 (combinazione statica)

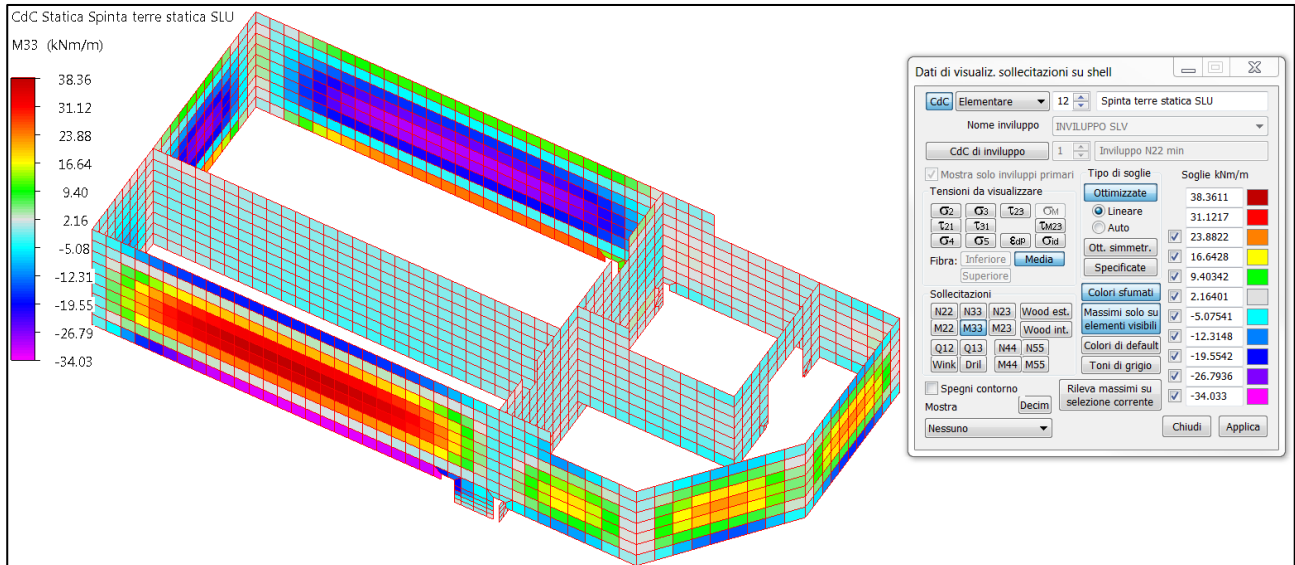


Mesh Kw=2.4 – tensione normale σ_2 – fibra superiore - SER7 (combinazione statica)

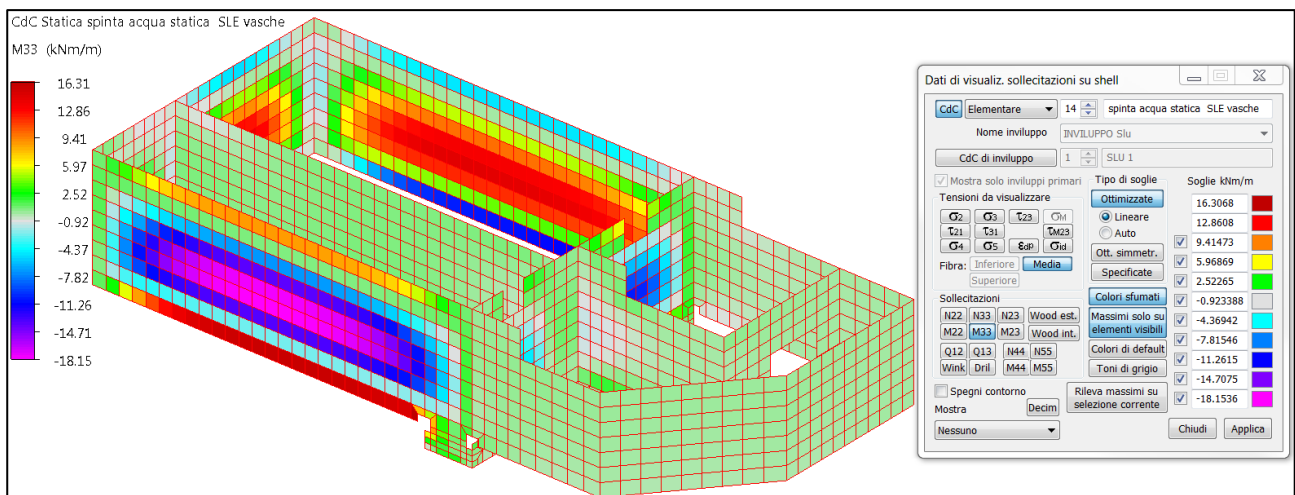
4.3.1.3 Pareti: SLU e SLV

Si riportano i quadri allo SLU e SLV in termini di Sollecitazioni Flettenti e di Taglio fuori del piano.

Vasca interrata

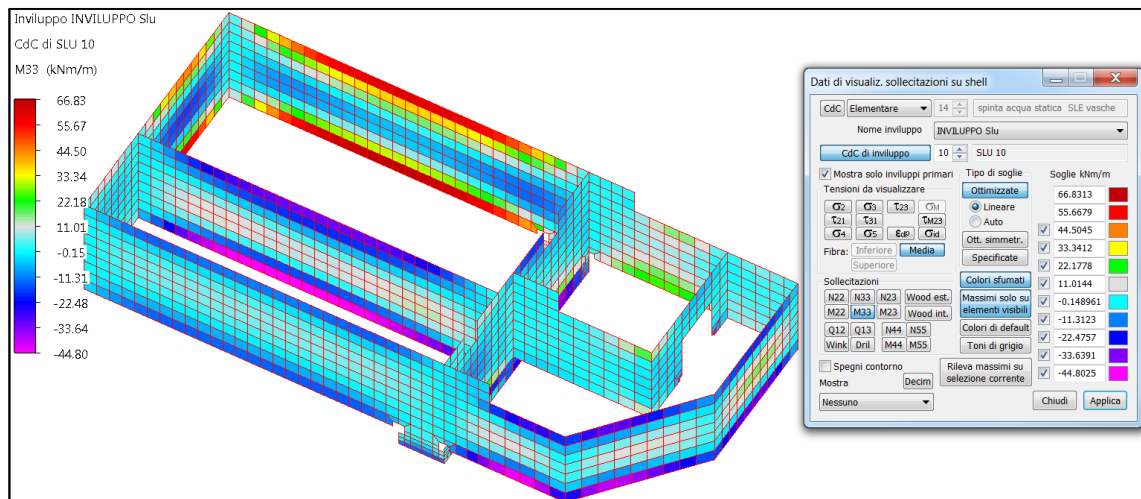


PARETI - Momento verticale fuori del piano M33 (Mzz) – (carico elementare: spinta terre statica fattorizzata SLU)

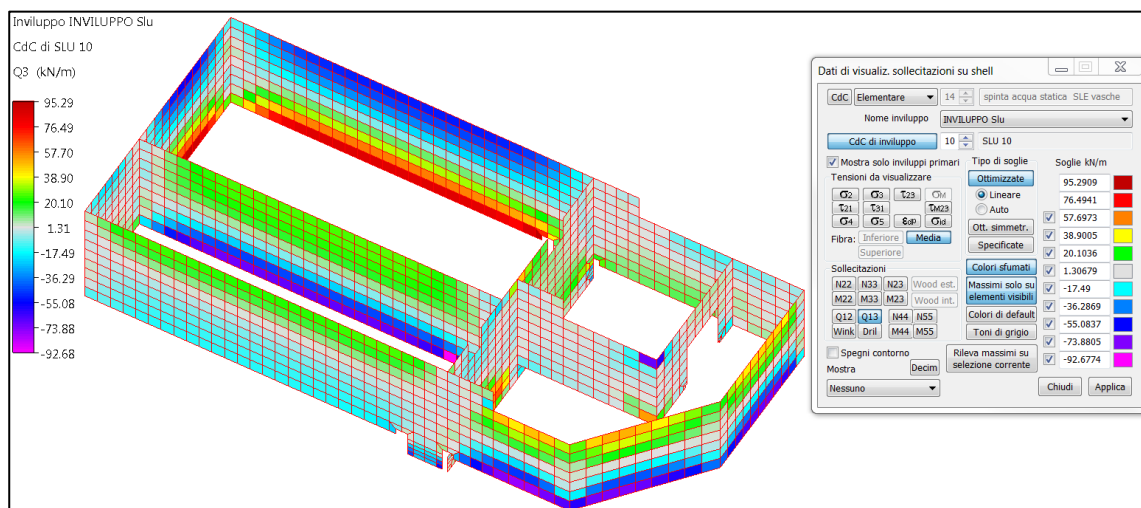


PARETI - Momento verticale fuori del piano M33 (Mzz) – (carico elementare: spinta acqua caratteristica)

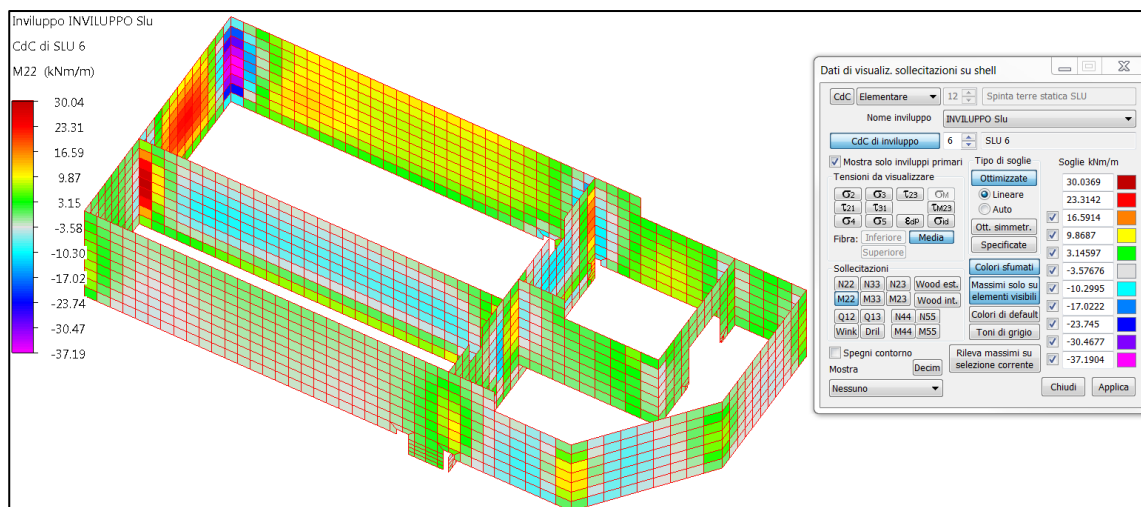
Vasca interrata



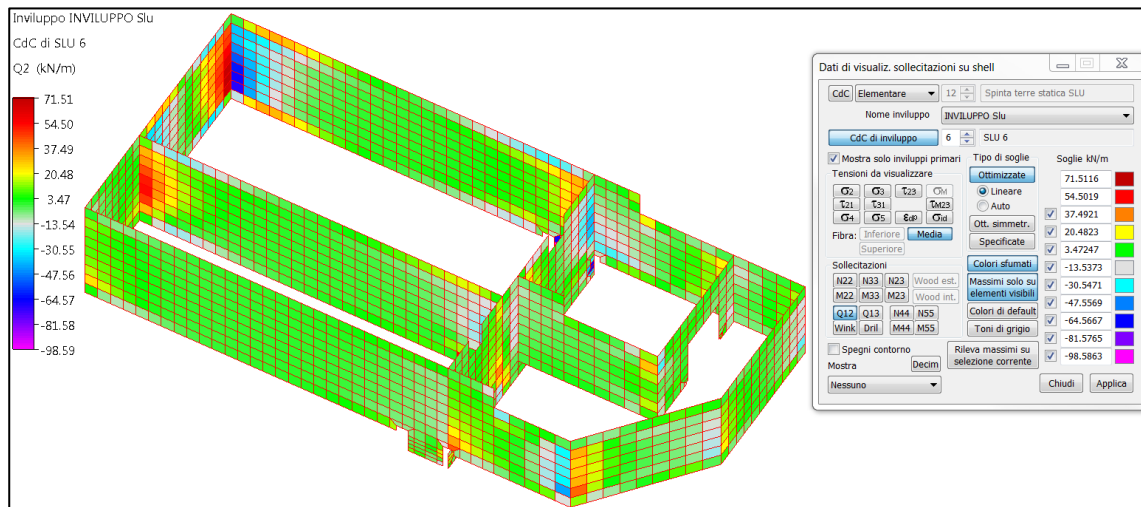
PARETI - Momento verticale fuori del piano M33 – (SLU10)



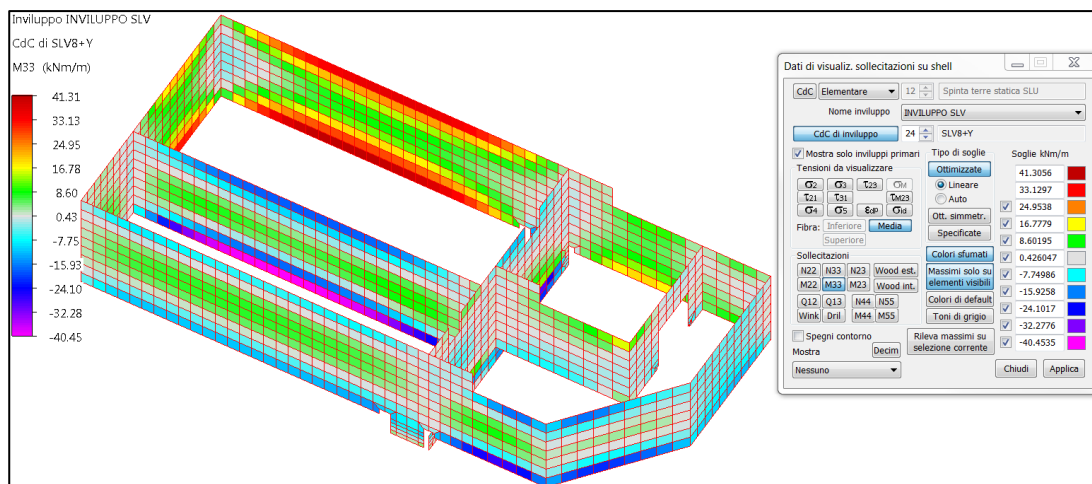
PARETI – Taglio verticale fuori del piano Q13 – (SLU10)



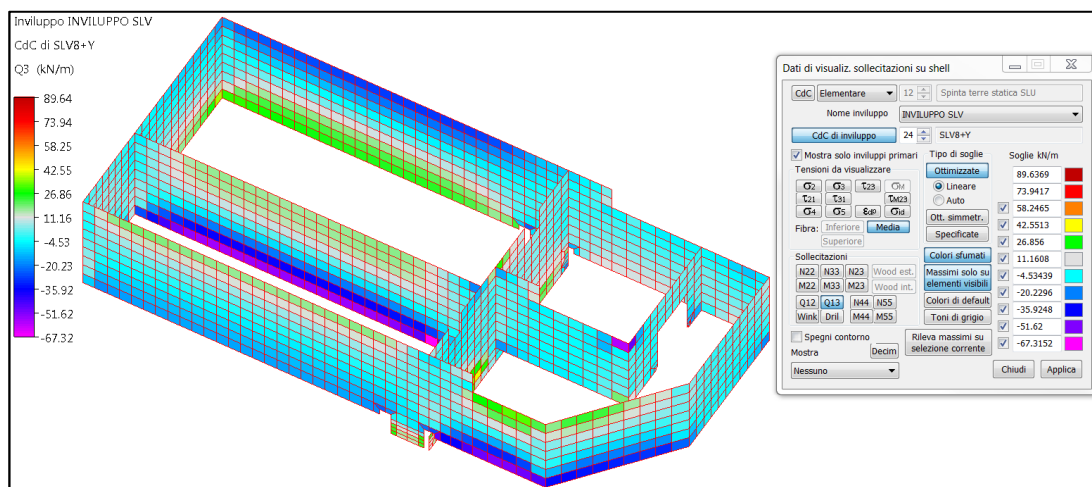
PARETI - Momento orizzontale fuori del piano M22 – (SLU6)



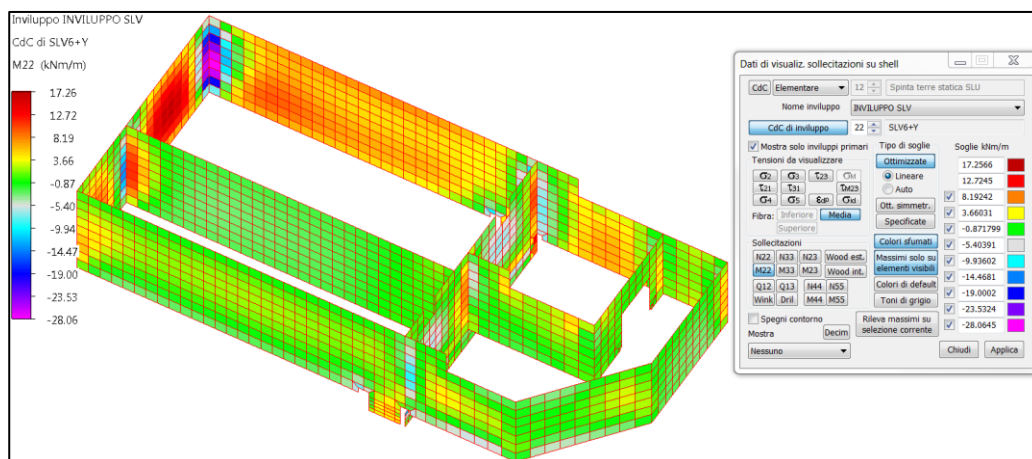
PARETI – Taglio orizzontale fuori del piano Q12 – (SLU6)



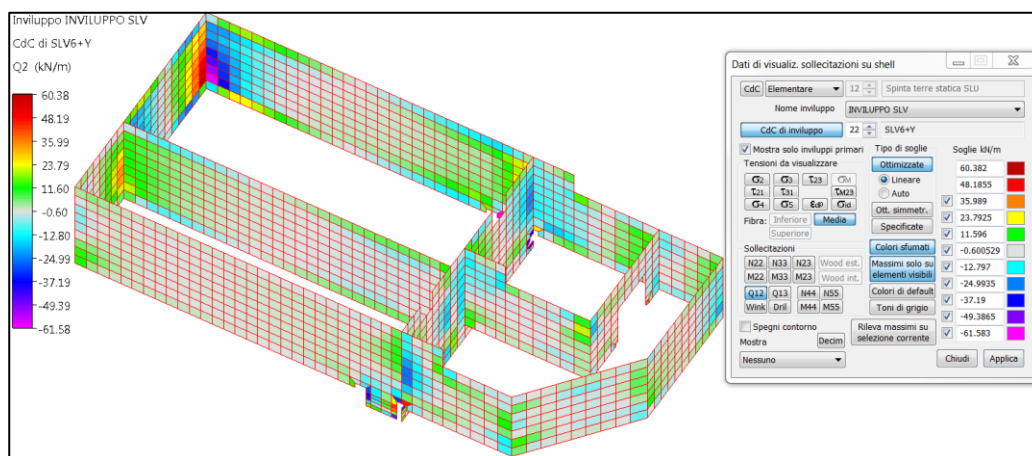
PARETI - Momento verticale fuori del piano M33 – (stato limite sismico SLV8)



PARETI – Taglio verticale fuori del piano Q13 – (SLV8)



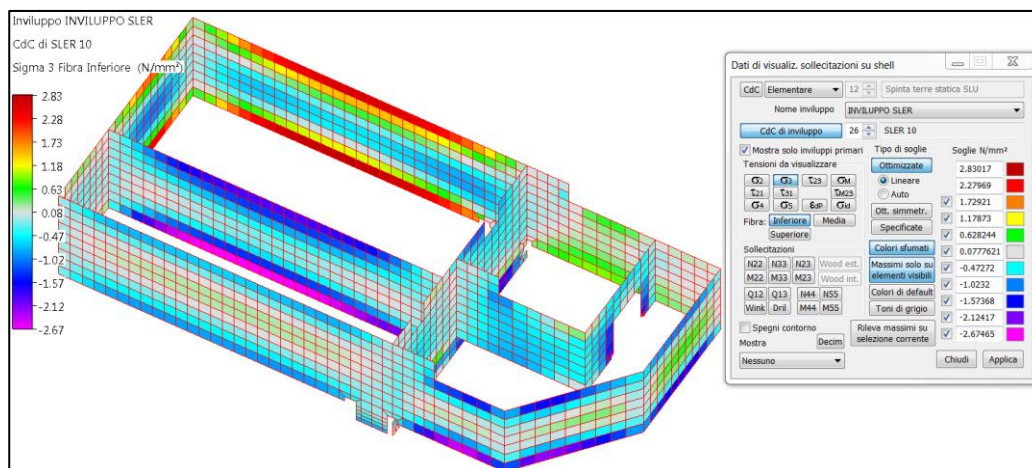
PARETI – Momento orizzontale orizzontale fuori del piano M22 – (SLV6)



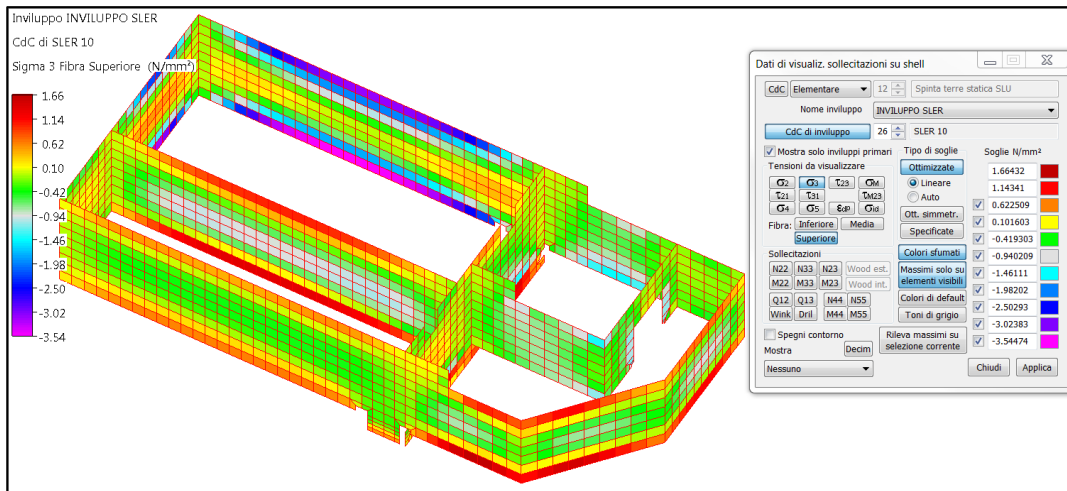
PARETI - Taglio orizzontale fuori del piano Q12 – (SLV6)

4.3.1.4 Pareti: SLER

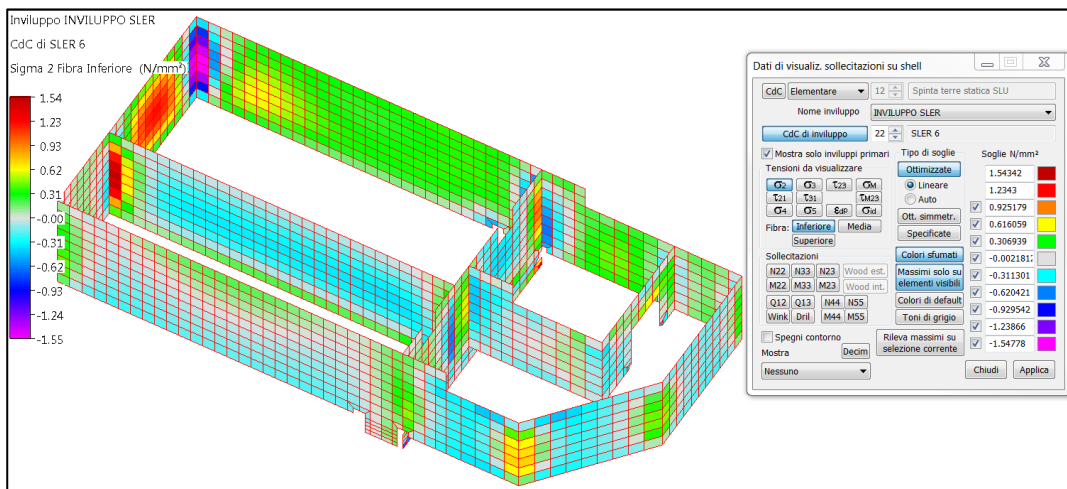
Si riporta il quadro allo stato limite di servizio in termini tensionali, considerando combinazioni di carico più significative.



tensione normale σ_3 – fibra inferiore – SLER10 (combinazione statica)

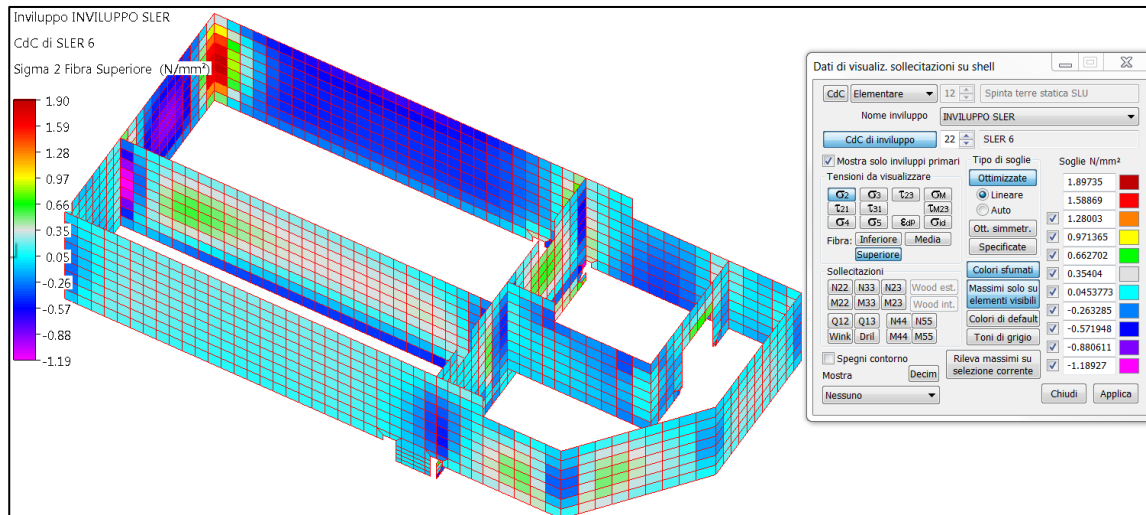


tensione normale σ_3 – fibra superiore – SLER10 (combinazione statica)



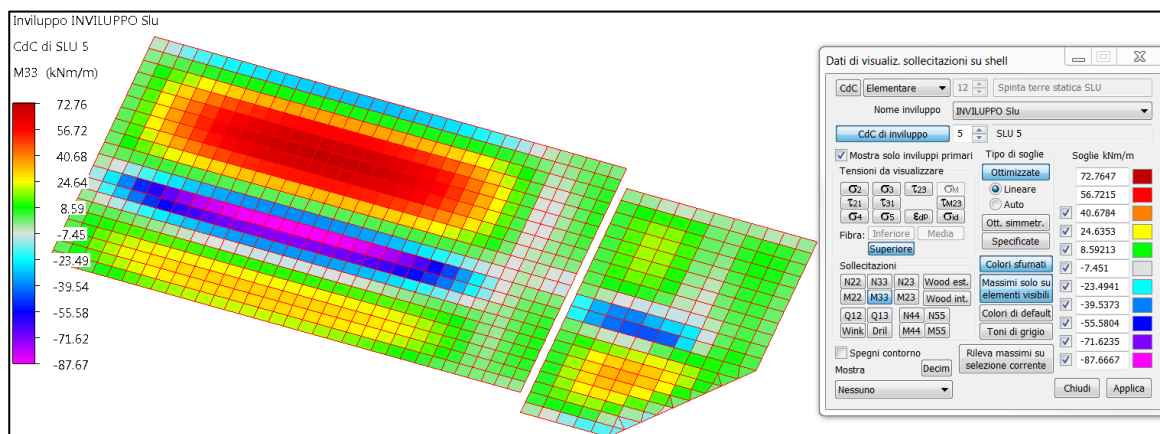
tensione normale σ_2 – fibra inferiore – SLER6 (combinazione statica)

Vasca interrata

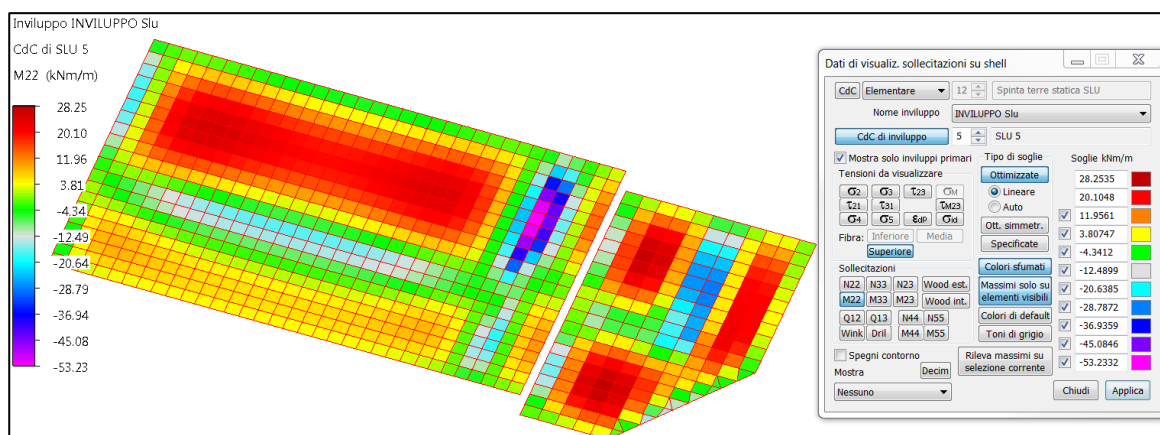


tensione normale σ_2 – fibra superiore – SLER6 (combinazione statica)

4.3.1.5 Soletta superiore: SLU, SLV, SLA

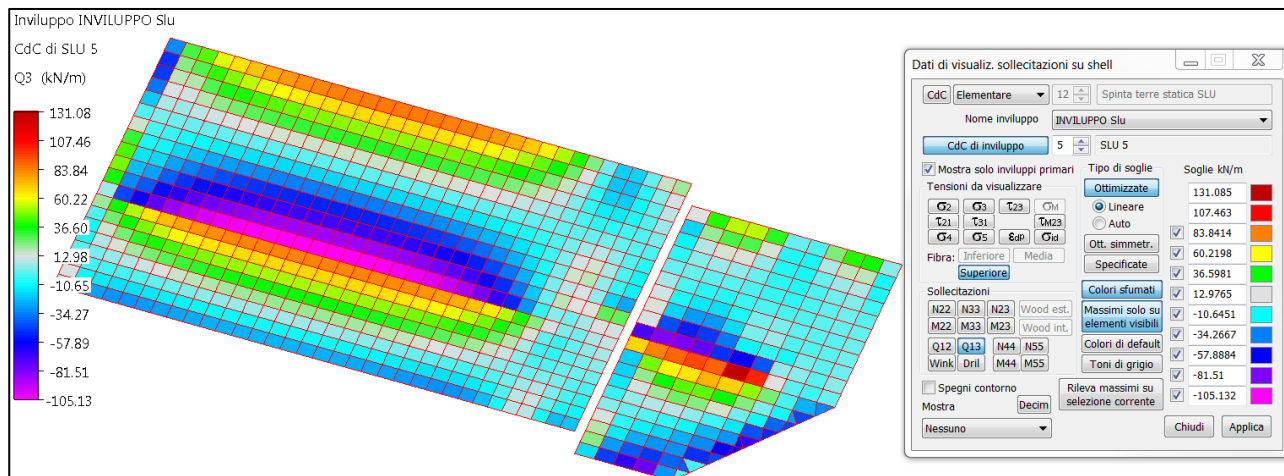


momento trasversale M33 (Myy) – SLU5 (combinazione ultima statica)

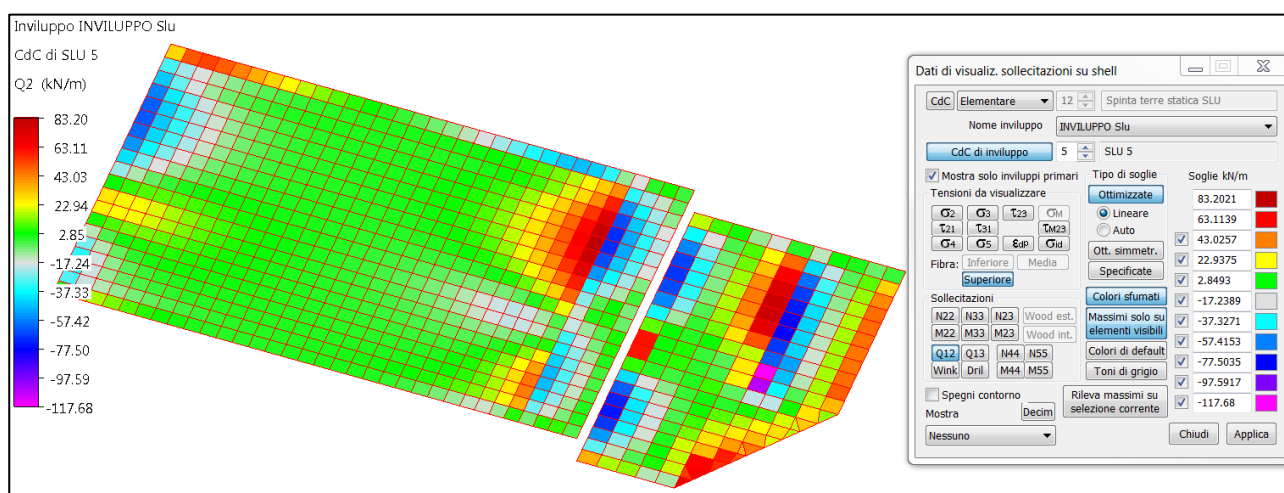


momento longitudinale M22 (Mxx) – SLU5 (combinazione ultima statica)

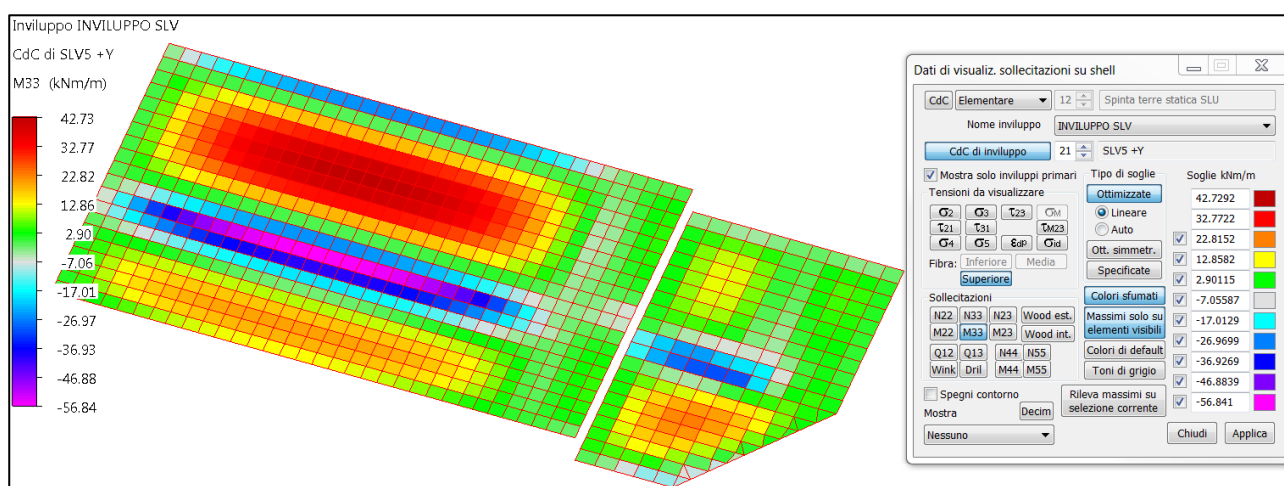
Vasca interrata



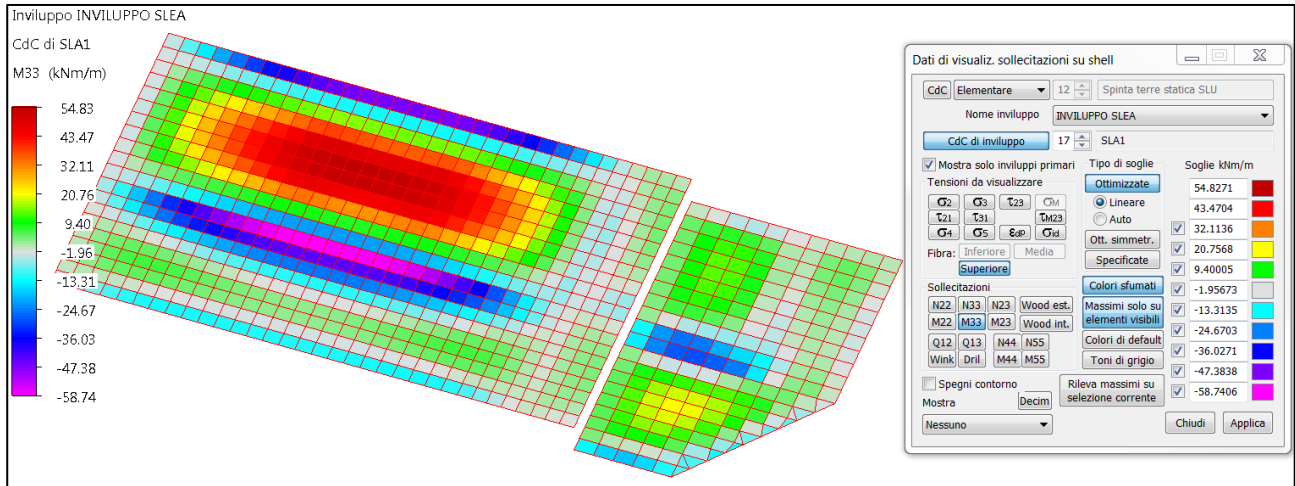
taglio trasversale Q13 (Qzy) – SLU5 (combinazione ultima statica)



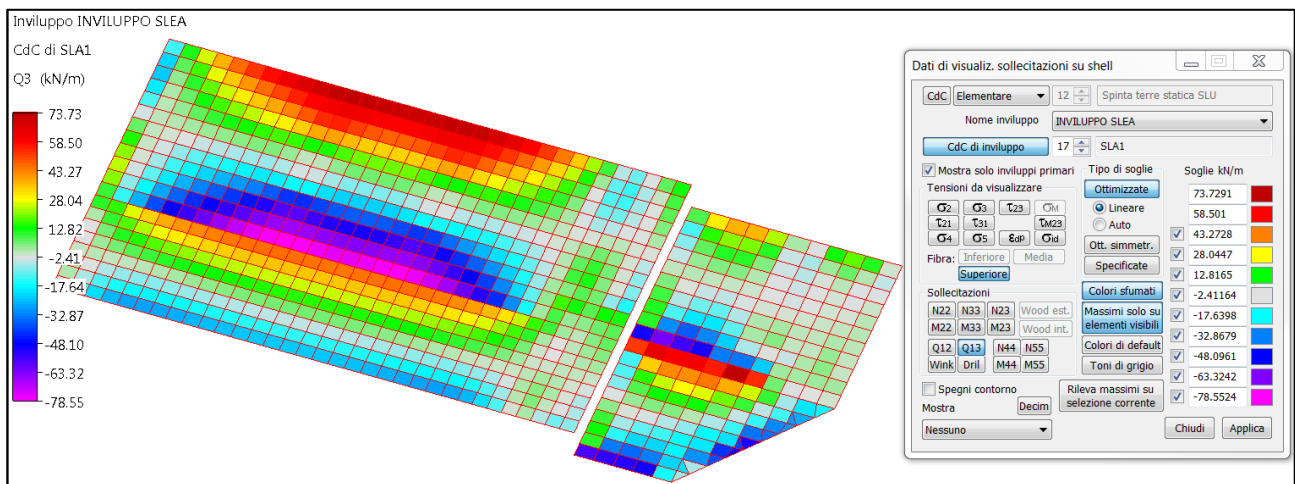
taglio longitudinale Q12 (Qzy) – SLU5 (combinazione ultima statica)



momento trasversale M33 (Myy) – SLV5 (combinazione ultima sismica)

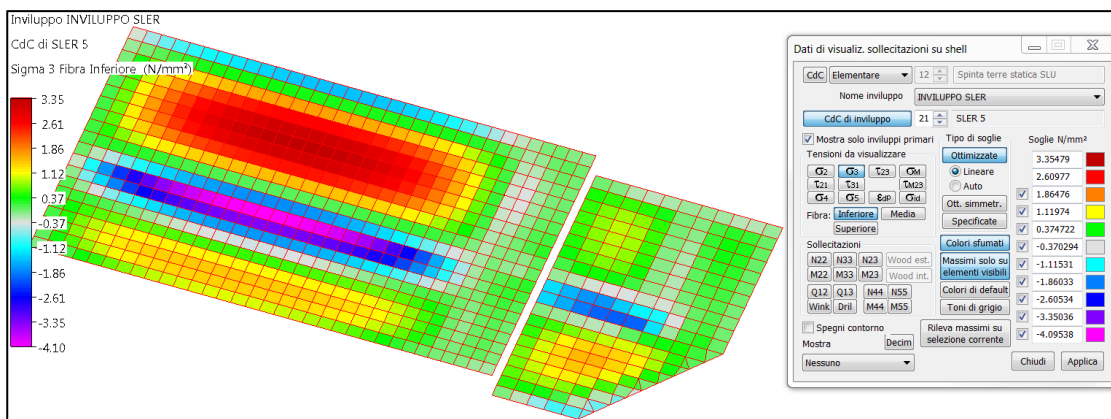


momento trasversale M33 (Myy) – SLEA1 (combinazione Eccezionale)



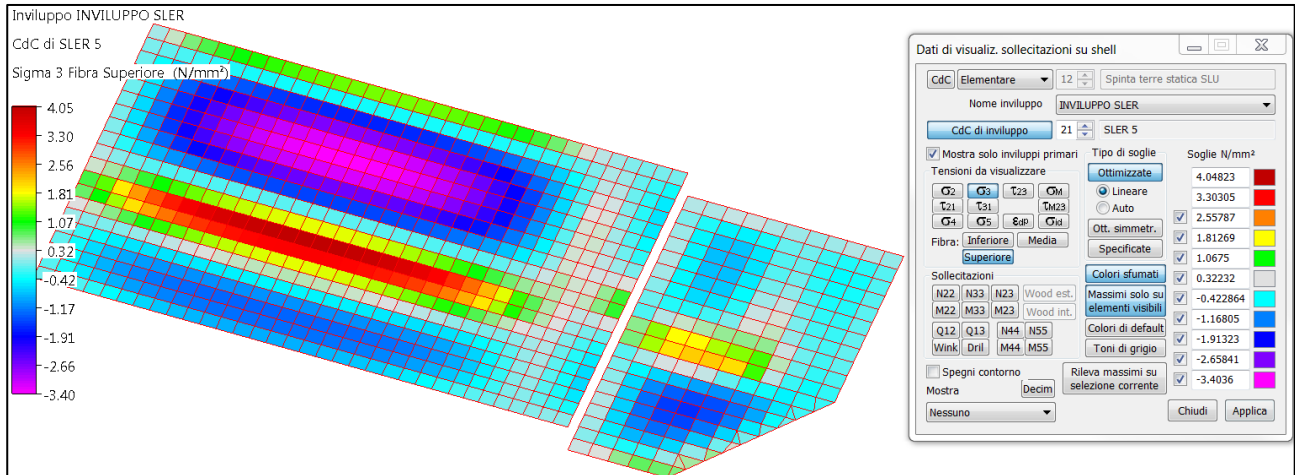
taglio trasversale Q13 (Myy) – SLEA1 (combinazione Eccezionale)

4.3.1.6 Soletta superiore: SLER

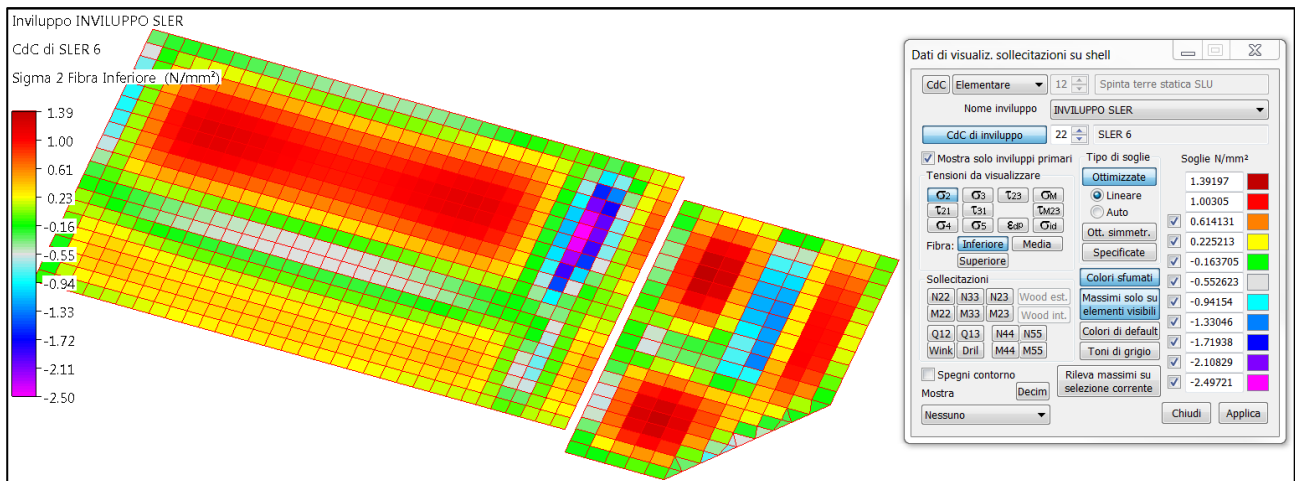


tensione normale σ_3 – fibra inferiore – SLER5 (combinazione statica)

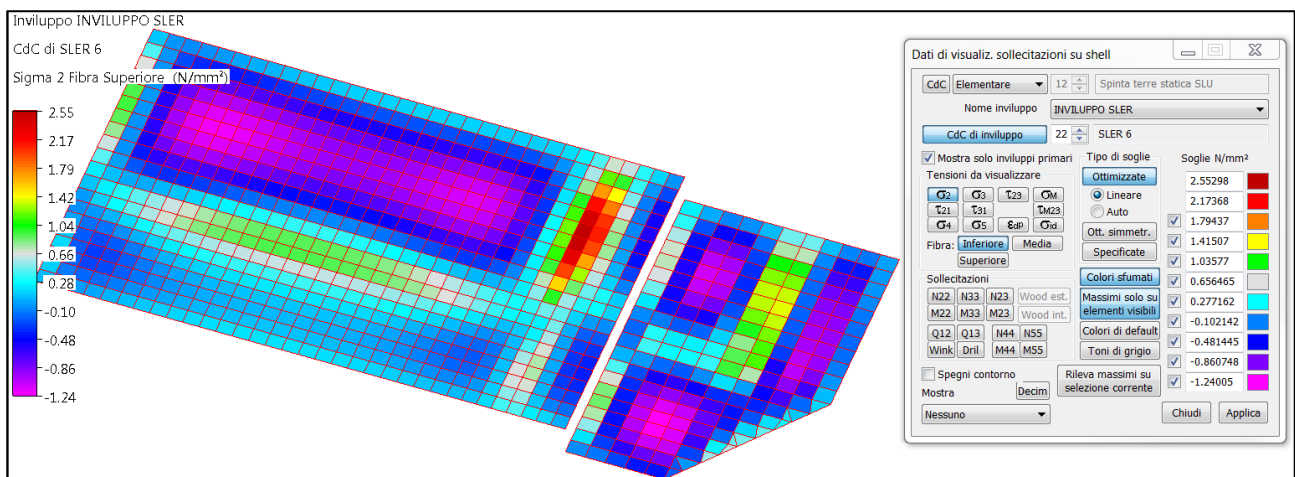
Vasca interrata



tensione normale σ_3 – fibra superiore – SLER10 (combinazione statica)



tensione normale σ_2 – fibra inferiore – SLER6 (combinazione statica)

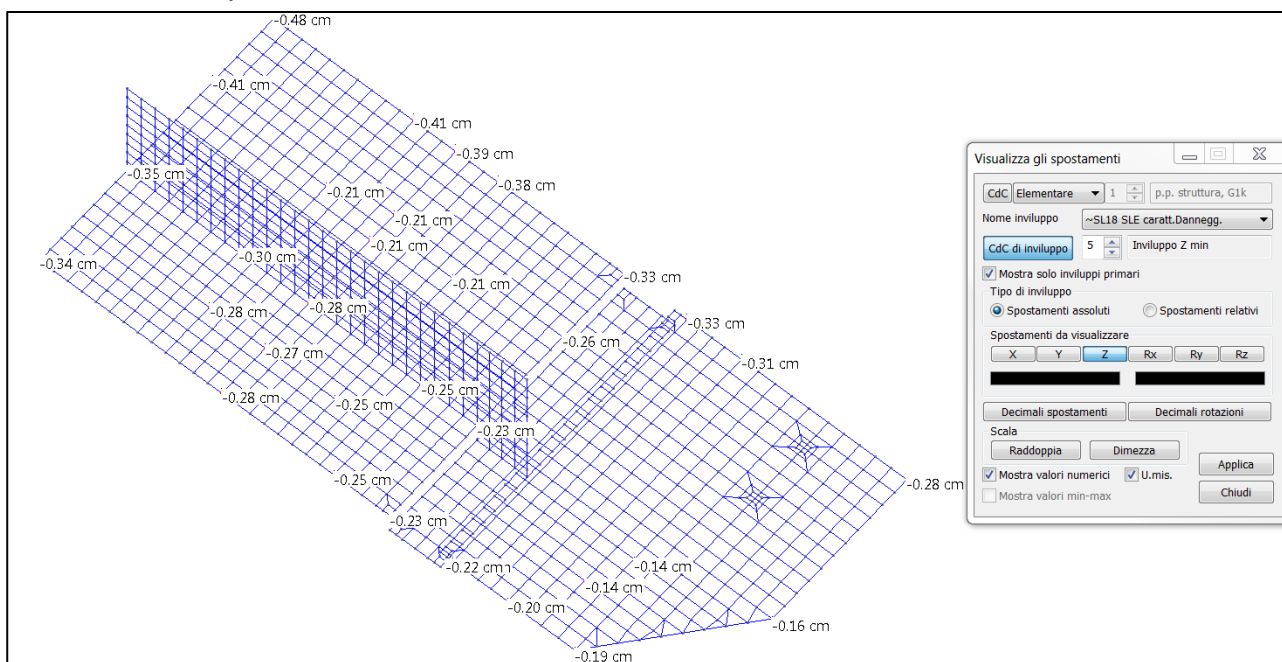


tensione normale σ_2 – fibra superiore – SLER6 (combinazione statica)

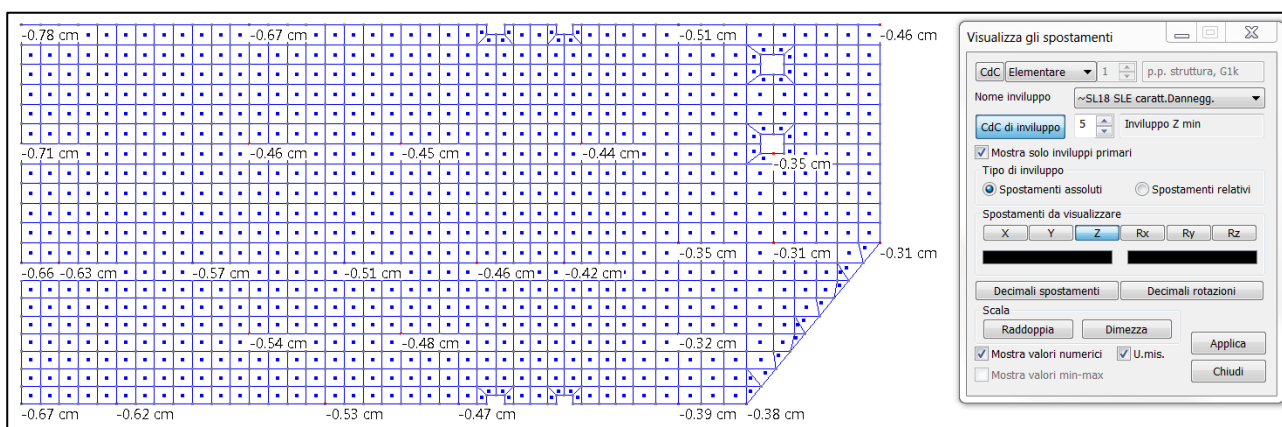
4.3.2 Deformazioni

Si riportano alcune immagini esplicative dei risultati dell'analisi eseguita, relative agli spostamenti verticali z ed orizzontali sul piano xy. Per i primi la condizione più gravosa è con il modulo verticale del terreno inferiore, per i secondi la condizione più gravosa è nell'ipotesi di assenza di modulo di reazione orizzontale a tergo della parete opposta alla direzione del sisma.

4.3.2.1 Platea spostamenti verticali SLER



PLATEA - Mesh kw=4.8. Spostamenti assoluti Zmin – involucro SLER



PLATEA - Mesh kw=2.4. Spostamenti assoluti Zmin – involucro SLER

Freccia massima (verso l'alto) platea vasca grande:

Vasca interrata

$$DZ = -0.45 - ((-0.67 - 0.57)/2) = +0.17 \text{ cm}$$

Freccia massima (verso l'alto) platea vasca piccola:

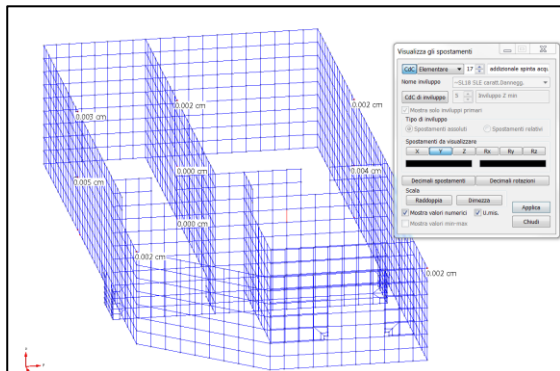
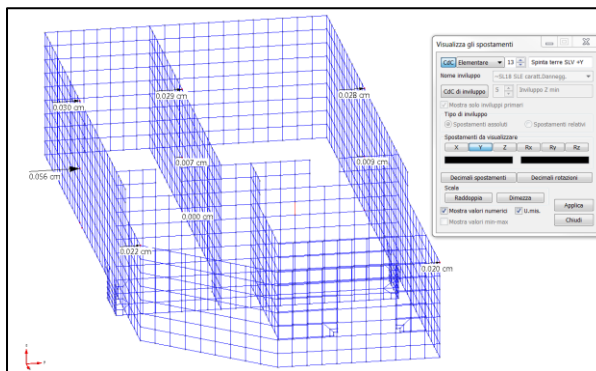
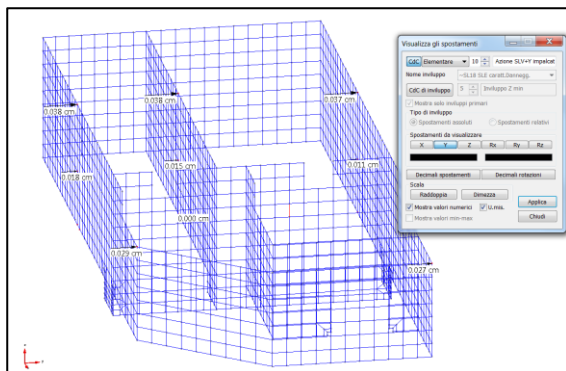
$$DZ = -0.48 - ((-0.51 - 0.53)/2) = -0.04 \text{ cm}$$

Dalla lettura degli spostamenti della mesh risulta

Spostamento trasversale relativo massimo = 0.12 cm /8m.

4.3.2.2 Pareti spostamenti orizzontali

Non si rilevano spostamenti orizzontali di rilievo, né in esercizio né sotto le spinte ultime sismiche, concordemente alla natura scatolare della struttura. Si riportano, a titolo indicativo, gli spostamenti più gravosi ottenuti dall'analisi nella mesh con kw verticale ridotto e nessun contrasto nelle pareti opposte al carico sismico.



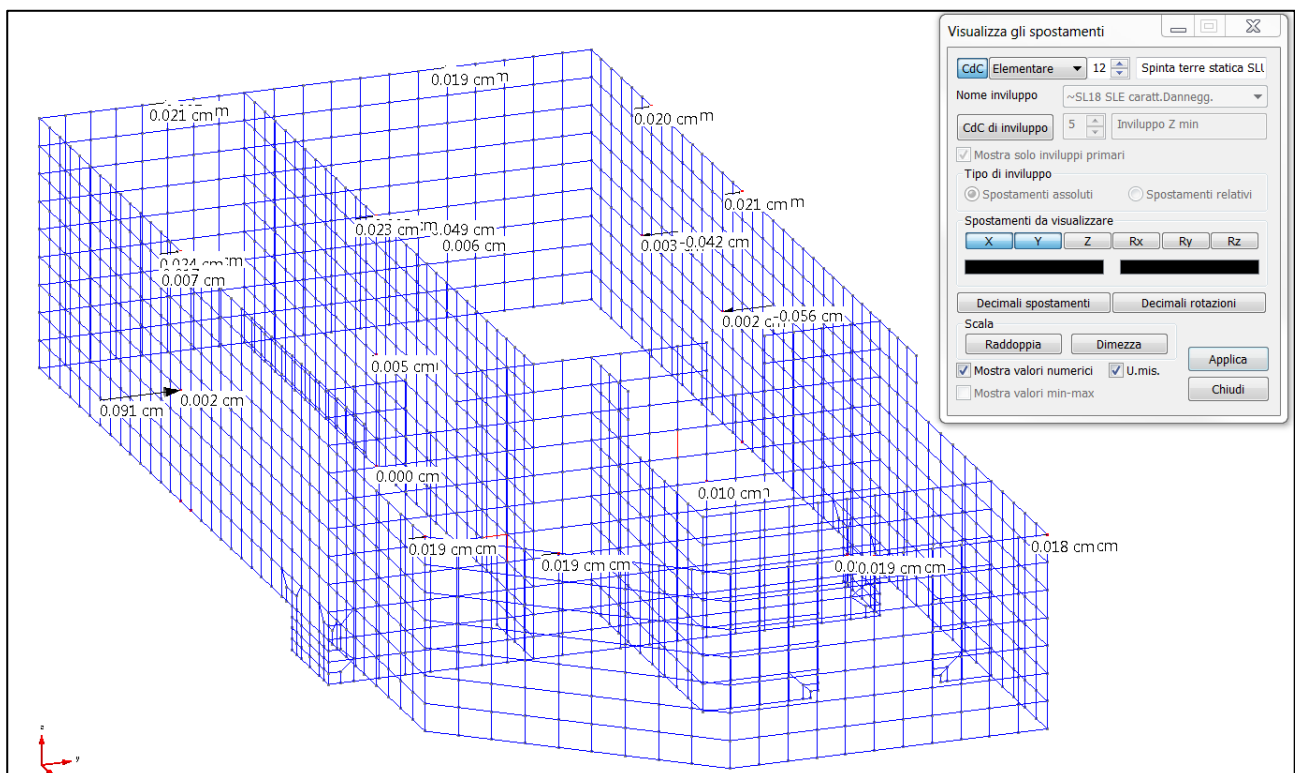
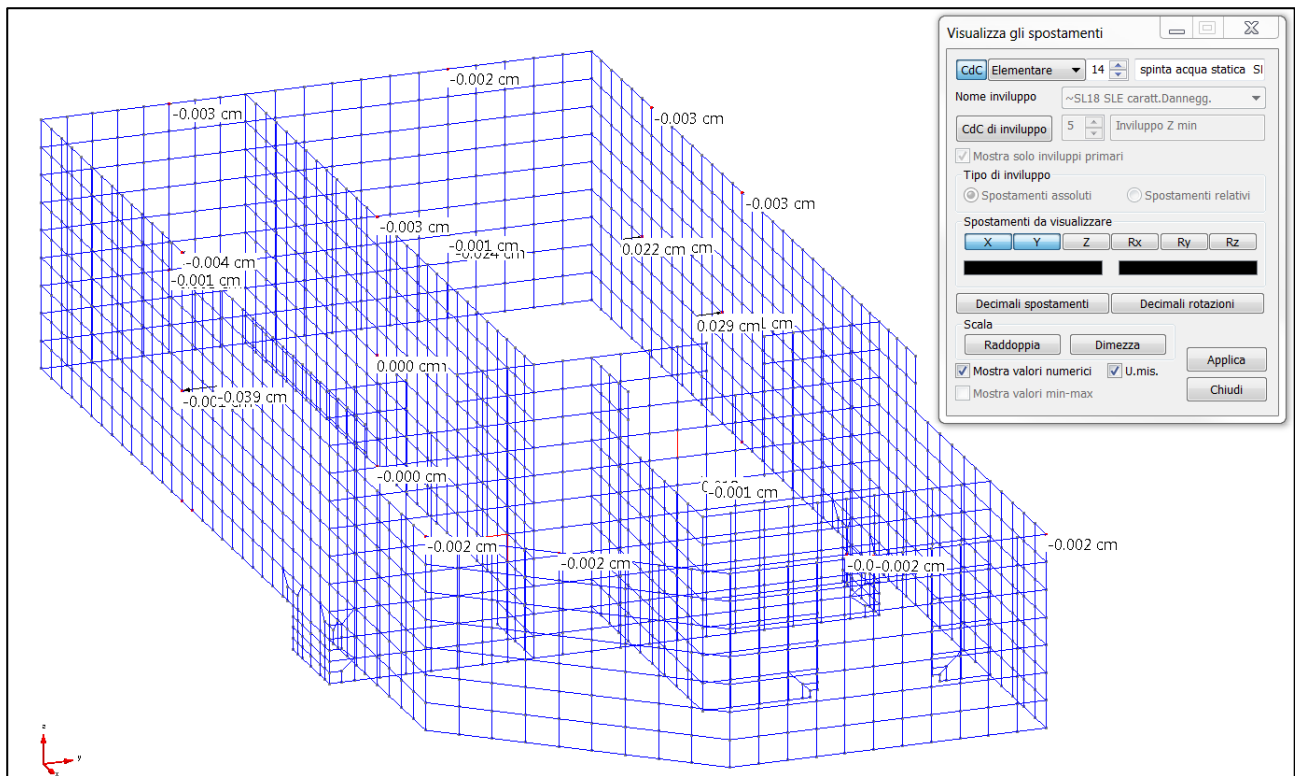
Il massimo spostamento sismico allo SLV, che è in direzione Y, in sommità alla parete risulta dalla somma dei singoli contributi elementari sopra indicati:

$$Y_{\max,SLV} = 0.038 + 0.030 + 0.003 = 0.071 \text{ cm}$$

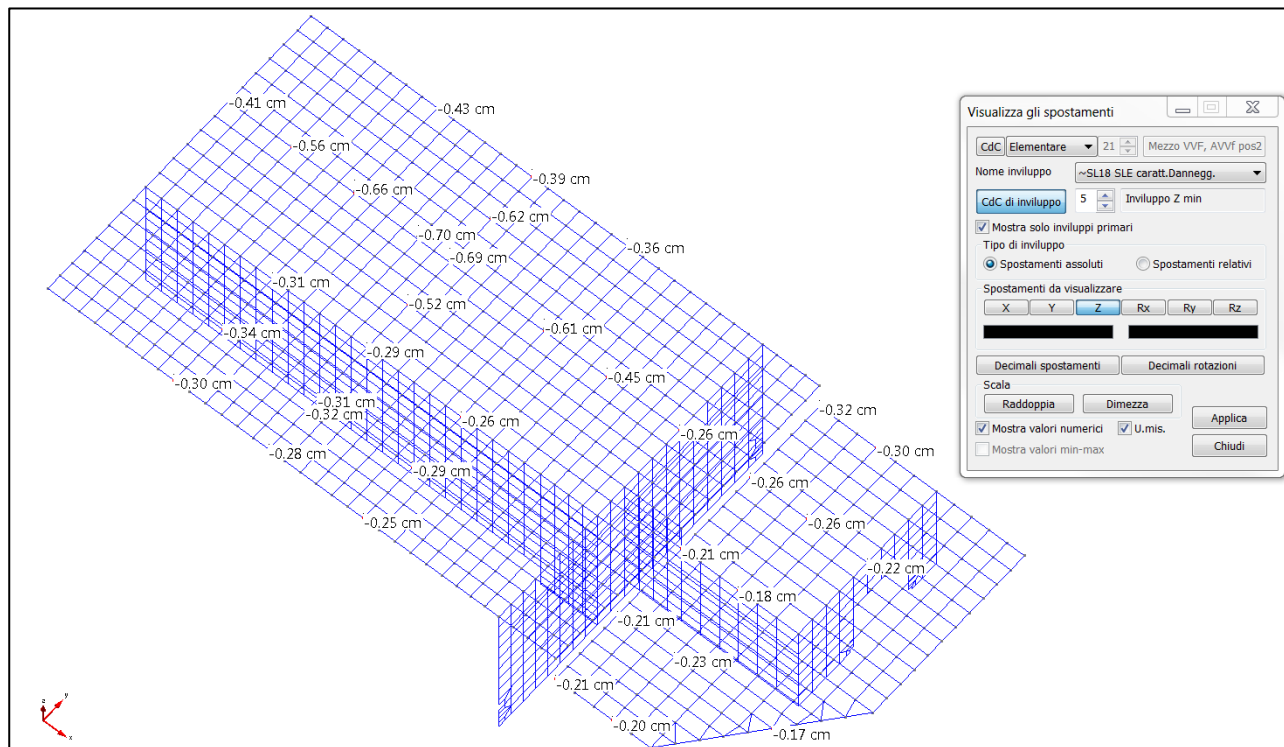
dal ridotto valore ottenuto, si afferma che gli spostamento massimi SLD in sommità alle pareti (a favore di sicurezza assunti pari agli spostamenti SLV) risultano più che ammissibili.

Vasca interrata

Sempre a titolo esemplificativo si riportano gli spostamenti orizzontali in condizioni statiche a vasca piena e assenza di spinte delle terre e la condizione opposta: dai ridotti valori ottenuti, si afferma che gli spostamenti massimi SLR in sommità alle pareti risultano più che ammissibili.



4.3.2.3 Soletta di copertura spostamenti verticali SLER – frecce di impalcato



SOLETTA DI COPERTURA – Spostamenti assoluti Zmin – involucro SLER

Freccia massima soletta sopra la vasca grande:

$$DZ = -0.70 - ((-0.39 - 0.29)/2) = -0.36 \text{ cm}$$

Freccia massima soletta sopra la vasca piccola:

$$DZ = -0.34 - ((-0.28 - 0.29)/2) = -0.20 \text{ cm}$$

4.3.2.4 Effetti della viscosità

Si riporta la valutazioni degli spostamenti a lungo termine, dovuti principalmente alla viscosità, con riferimento a quanto indicato in UNI EN 1992-1-1:2005, “sotto le combinazione di azioni Quasi Permanenti”. La valutazione degli effetti della viscosità si traduce nell’applicazione del coefficiente di viscosità a ridurre il modulo elastico da considerare sugli spostamenti sotto i carichi a lungo termine. Tale valutazione è qui riportata per soletta di copertura.

caratteristiche materiale:

classe cls 32/40

resistenza caratteristica cubica, $R_{ck} = 40 \text{ Mpa}$

essendo $f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 33.2 \text{ Mpa}$

Vasca interrata

modulo di elasticità secante del cls, $E_{cm} = 33.5$ Gparesistenza media a trazione, $f_{ctm} = 3.05$ Mpamodulo elasticità barre armatura, $E_s = 210$ MpaSi ricercano i coefficienti di viscosità $\varphi(t, t_0)$ del calcestruzzo per la soletta.La struttura rientra nelle seguenti ipotesi generali previste nell'Eurocodice, per l'utilizzo della figura 3.1. del paragrafo 3.1.4: tensione di compressione cls $< 0,45 f_{ck}(t_0)$, temperature ambientali comprese tra: $\pm 40^\circ\text{C}$.

Condizioni specifiche:

classe del calcestruzzo: C32/40

cemento di classe N (cemento a indurimento Normale)

umidità relativa media RH = 80%

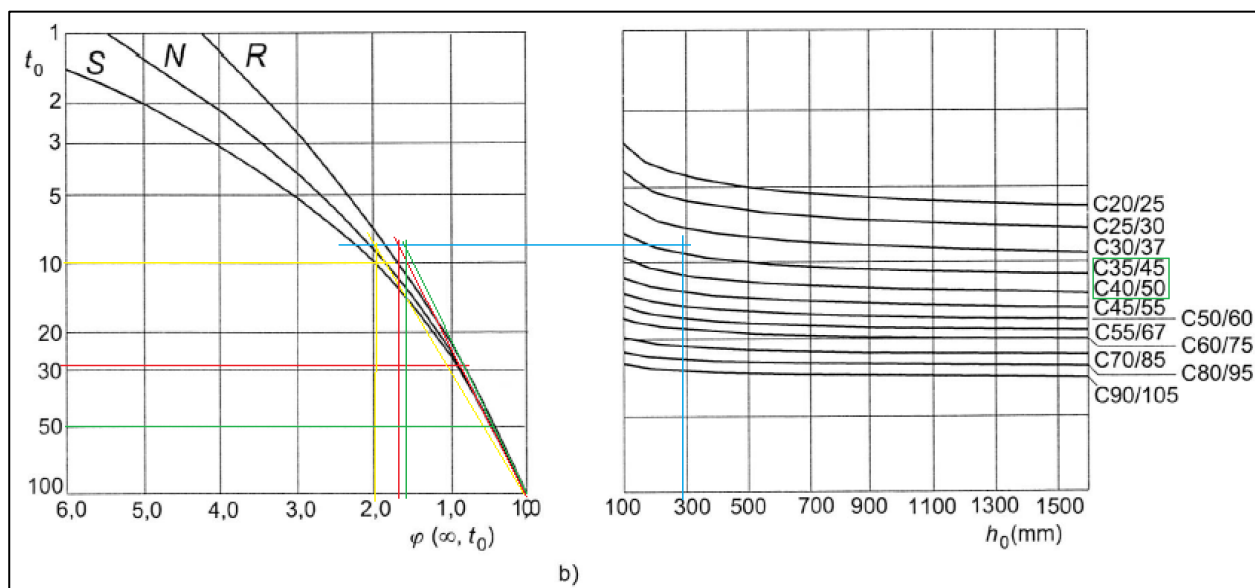
età cls applicazione carico, $t_0 = n$ giorni

larghezza soletta = 100 cm

altezza soletta = 30 cm

ELEMENTO STRUTTURALE

A_c	u	$h_0 = 2A_c/u$
[cm ²]	[cm]	[mm]
soletta copertura 3000	200	300



Eurocodice 2 - Figura 3.1

Si riportano i coefficienti di viscosità $\varphi(t=\inf, t_0)$ ottenuti per i diversi tempi di applicazione t_0 del carico (scassero), ottenuti dalla procedura grafica.

t_0	φ	t_0	φ	t_0	φ
[giorni]		[giorni]		[giorni]	
10	2.00	28	1.70	50	1.60

Vasca interrata

Nella SEZIONE 7 al Paragrafo 7.4.3. (STATI LIMITE DI SERVIZIO - Controllo dell'inflessione - Verifica inflessione mediante calcolo) si introduce il Modulo di elasticità efficace, $E_{c,eff}$.

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi(\infty, t_0))$$

t_0	$E_{c,eff}$	t_0	$E_{c,eff}$	t_0	$E_{c,eff}$
[giorni]	[Gpa]	[giorni]	[Gpa]	[giorni]	[Gpa]
10	11.17	28	12.4	50	12.9

essendo:

modulo di elasticità secante del cls, $E_{cm} = 33.5$ Gpa C32/40

$E_{c,eff} = 0.37 E_{cm}$

coeff. amplificativo spostamenti a lungo termine = 2.7

5 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA

5.1 Tabella tipi armatura shell

Si riportano i tipici delle armature distribuite attribuite agli shell della mesh.

Tabella n°		1	Ø16/20"			
Pos	Ø (m...	Passo(cm)	Coprif(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	16	20	5		10.0531	10.0531

Tabella n° 2  Ø14/15"						
Pos	Ø (m...	Passo(cm)	Coprif(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	14	15	4.9		10.2625	10.2625

Tabella n° 3		Ø12/20" + Ø14/20"				
Pos	Ø (m...	Passo(cm)	Coprif(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	12	20	3.6		5.65487	5.65487
2	14	20	3.7		7.6969	13.3518

Tabella n° 4						
Ø16/20" + Ø16/20"						
Pos	Ø (m...	Passo(cm)	Coprif(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	16	20	5		10.0531	10.0531
2	16	20	5		10.0531	20.1062

Tabella n° 5		Ø14/20" + Ø14/20"				
Pos	Ø (m...	Passo(cm)	Coprif(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	14	20	3.7		7.6969	7.6969
2	14	20	3.7		7.6969	15.3938

Tabella n° 6		Ø12/15"				
Pos	Ø (m...	Passo(cm)	Coprif(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	12	15	4.8		7.53982	7.53982

Vasca interrata

Tabella n° 7 $\emptyset 12/20'' + \emptyset 12/20''$						
Pos	$\emptyset$ (m...	Passo(cm)	Coprif.(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	12	20	4.8		5.65487	5.65487
2	12	20	4.8		5.65487	11.3097

Tabella n° 8 $\emptyset 14/20'' + \emptyset 14/20''$						
Pos	$\emptyset$ (m...	Passo(cm)	Coprif.(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	14	20	4.9		7.6969	7.6969
2	14	20	4.9		7.6969	15.3938

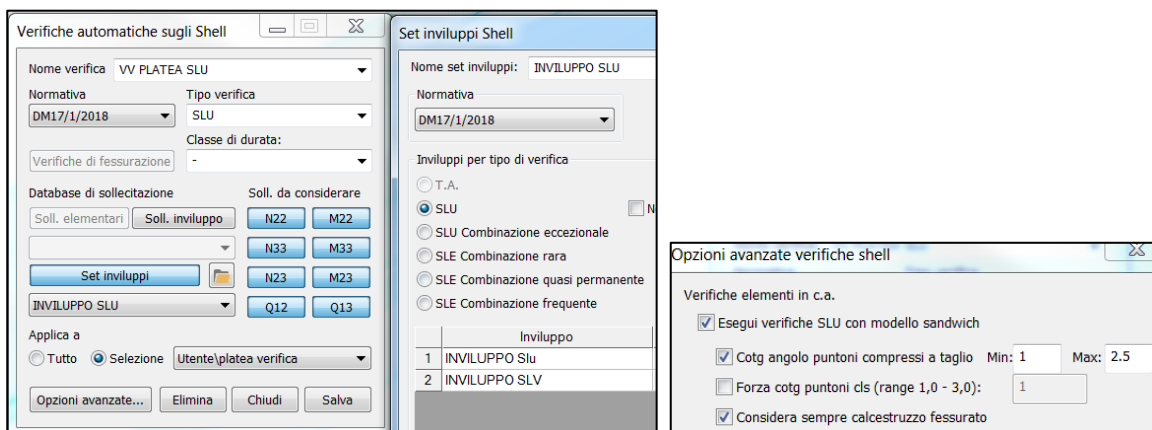
Tabella n° 9 $\emptyset 14/20'' + \emptyset 20/20''$						
Pos	$\emptyset$ (m...	Passo(cm)	Coprif.(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	14	20	3.7		7.6969	7.6969
2	20	20	4		15.708	23.4049

Tabella n° 10 $\emptyset 14/20'' + \emptyset 24/20''$						
Pos	$\emptyset$ (m...	Passo(cm)	Coprif.(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	14	20	4.7		7.6969	7.6969
2	24	20	5.2		22.6195	30.3164

Tabella n° 11 $\emptyset 14/20'' + \emptyset 20/20''$						
Pos	$\emptyset$ (m...	Passo(cm)	Coprif.(...	Colore	A Par(cm²/...	A Tot(cm²/...
1	14	20	4.7		7.6969	7.6969
2	20	20	5		15.708	23.4049

5.2 Criteri di verifica

Nelle immagini che seguono si esemplificano i criteri di verifica adottati.



Vasca interrata

Verifiche automatiche sugli Shell

Nome verifica: VV SOLETTA SLER
 Normativa: DM17/1/2018
 Tipo verifica: SLE caratt.
 Classe di durata: -
 Verifiche di fessurazione: -
 Database di sollecitazione: Soll. da considerare
 Soll. elementari Soll. involuppo
 Set involuppi
 INVLUPPO SLR
 Applica a: Tutto Selezione

Set involuppi Shell

Nome set involuppi: INVILUPPO SLR
 Normativa: DM17/1/2018
 Involuppi per tipo di verifica
 T.A.
 SLU
 SLU Combinazione eccezionale
 SLE Combinazione rara
 SLE Combinazione quasi permanente
 SLE Combinazione frequente
 Involuppo
 1 INVILUPPO SLR

Attiva verifiche di fessurazione

Esegui la verifica di apertura fessure solo se vi è effettiva formazione delle fessure
 Condizioni di Sollecitazione
 Prima applicazione azione breve durata
 Azione lunga durata o ripetute
 Parametri per calcolo Area Efficace
 Dimensione celle per discretizzazione sezioni: 10 mm
 Coeff. esclusione area eff. vicino asse neutro: 0
 Forza ricerca Ac,eff con cerchi 14 Ø barra
 Eurocodici
 Parametri da norma (EN 1992-1-1:2005)
 Par.7.3.4, eq.7.11 Descrizione
 k3 3.4 k4 0.425 k3 secondo NAD Danimarca
 Parti di sezione: anima continua / ala interrotta
 Parti di sezione: ala continua / anima interrotta
 NTC
 Calcolo secondo DM'96
 Calcolo secondo Circ'09 / EC2
 Tensione di riferimento acciaio Media di tutte le barre te

Verifiche automatiche sugli Shell

Nome verifica: VV SOLETTA SLUECCEZIONALE
 Normativa: DM17/1/2018
 Tipo verifica: SLU eccezionale
 Classe di durata: -
 Verifiche di fessurazione: -
 Database di sollecitazione: Soll. da considerare
 Soll. elementari Soll. involuppo
 Set involuppi
 INVILUPPO SL ECCEZIONALE
 Applica a: Tutto Selezione
 Opzioni avanzate... Elimina Chiudi Salva

Set involuppi Shell

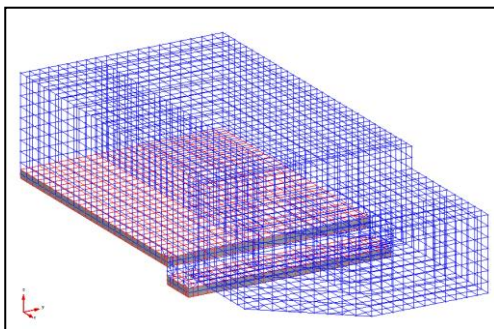
Nome set involuppi: INVILUPPO SL ECCEZIONALE
 Normativa: DM17/1/2018
 Involuppi per tipo di verifica
 T.A.
 SLU
 SLU Combinazione eccezionale
 SLE Combinazione rara
 SLE Combinazione quasi permanente
 SLE Combinazione frequente
 Involuppo
 1 INVILUPPO SLEA

Opzioni avanzate verifiche shell

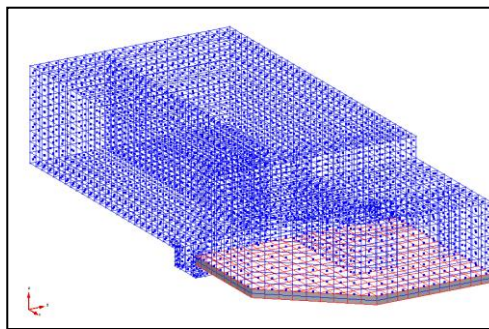
Verifiche elementi in c.a.
 Esegui verifiche SLU con modello sandwich
 Cotg angolo puntoni compressi a taglio Min: 1 Max: 2.5
 Forza cotg puntoni cls (range 1,0 - 3,0): 1
 Considera sempre calcestruzzo fessurato

5.3 Platea

Si riporta lo schema di armatura diffusa della platea e le verifiche di progetto.



Platea zona vasche

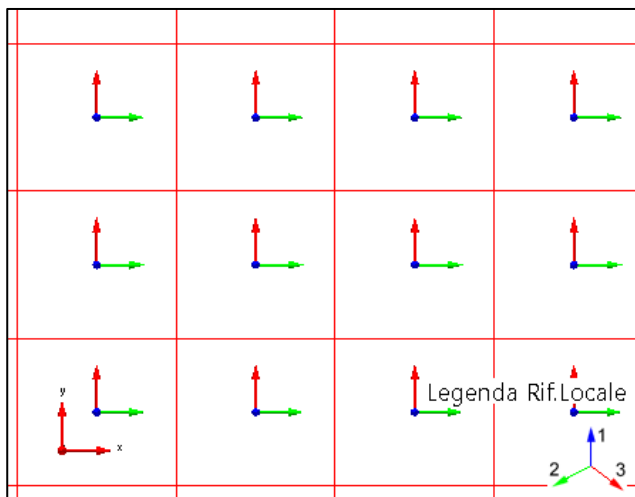


Platea zona servizi

5.3.1 armatura di progetto della platea

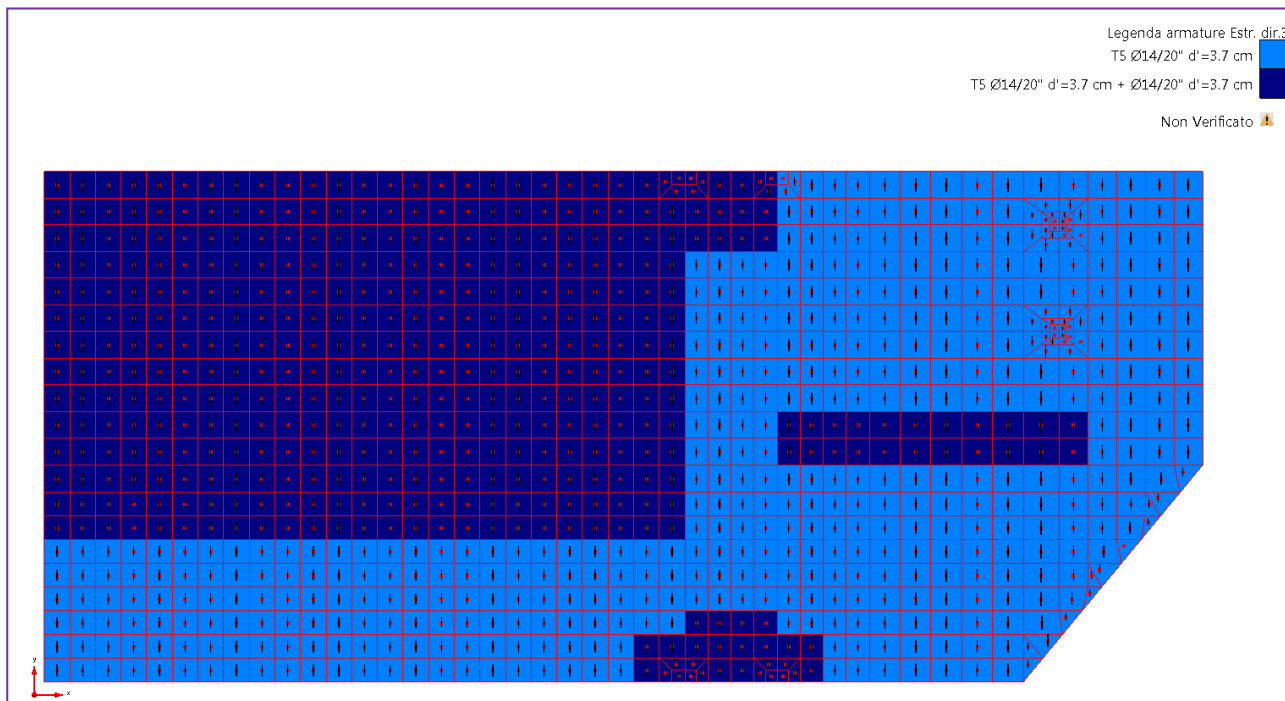
Sono presenti due ordini di armatura, a cui vengono assegnati i relativi copriferri: l'armatura // asse 2 è interna, l'armatura trasversale // asse 3 è esterna.

Vasca interrata



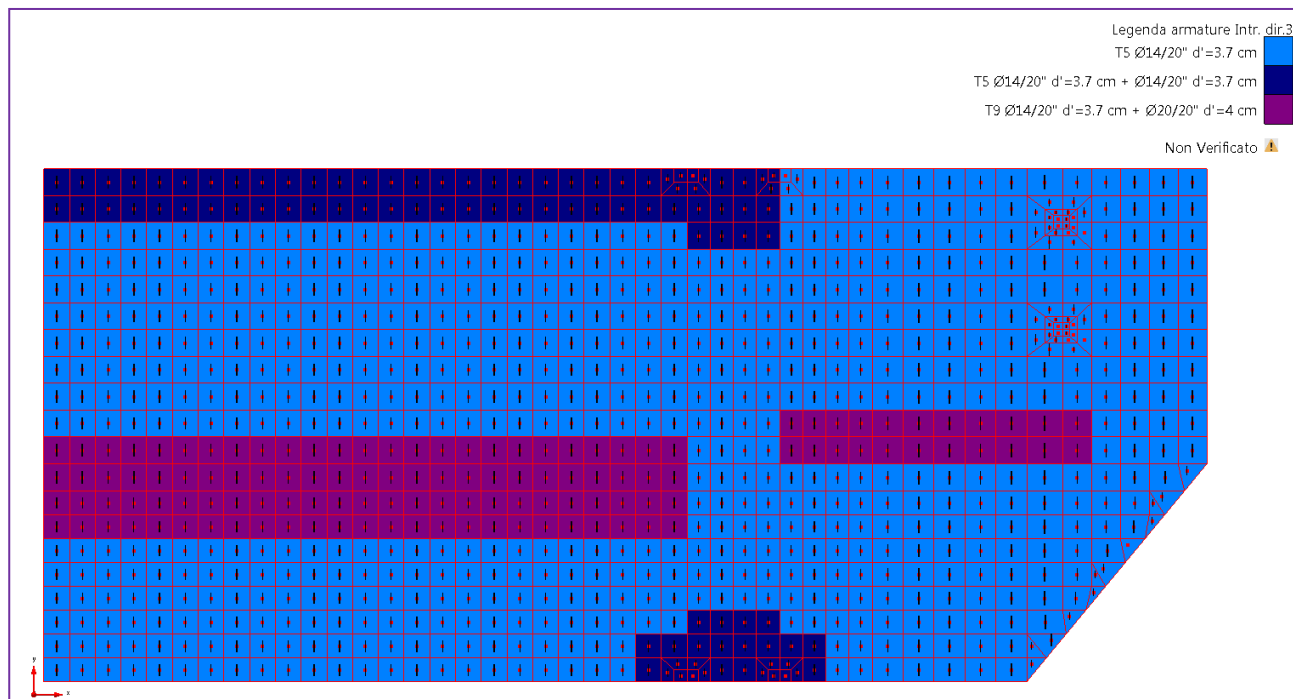
direzione //x: asse 2, direzione//y: asse 3, direzione//z: asse1 (verso l'alto)

Si riportano gli schemi di distribuzione dell'armatura all'estradosso e all'intradosso in entrambe le direzioni.

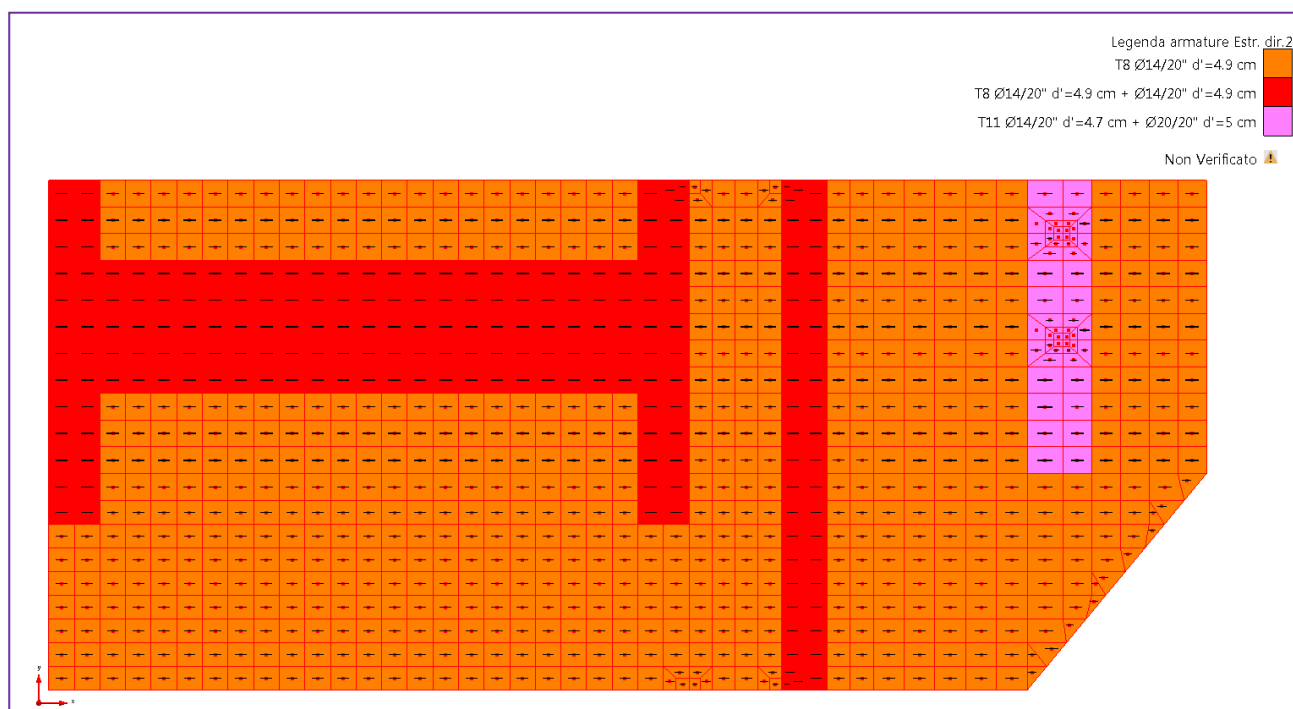


Armatura interna all'estradosso in direzione 3 (direzione // asse y)

Vasca interrata

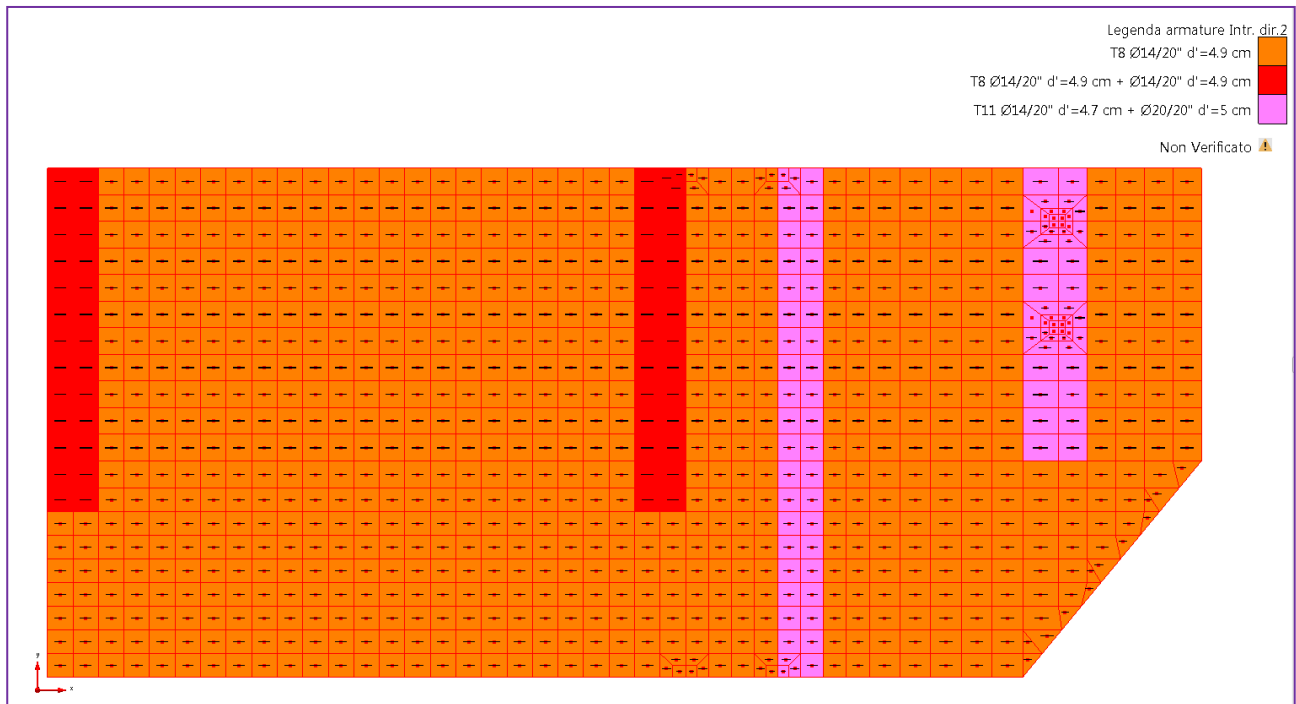


Armatura interna all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse y)



Armatura esterna all'estradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

Vasca interrata



Armatura esterna all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

L'armatura adottata rispetta i minimi indicati in 7.2.5 NTC 2018, per le platee:

$$A_s > 0.1\% A_c$$

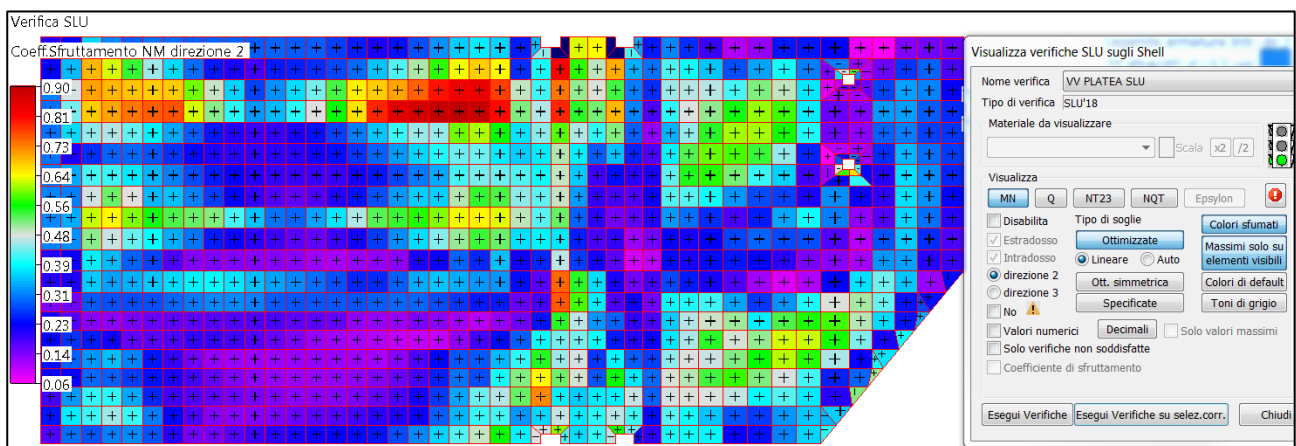
$$A'_s > 0.1\% A_c$$

Come risulta dalle tabelle d'armatura essendo per una striscia di 1.00 m:

$$0.1\% A_c = 4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

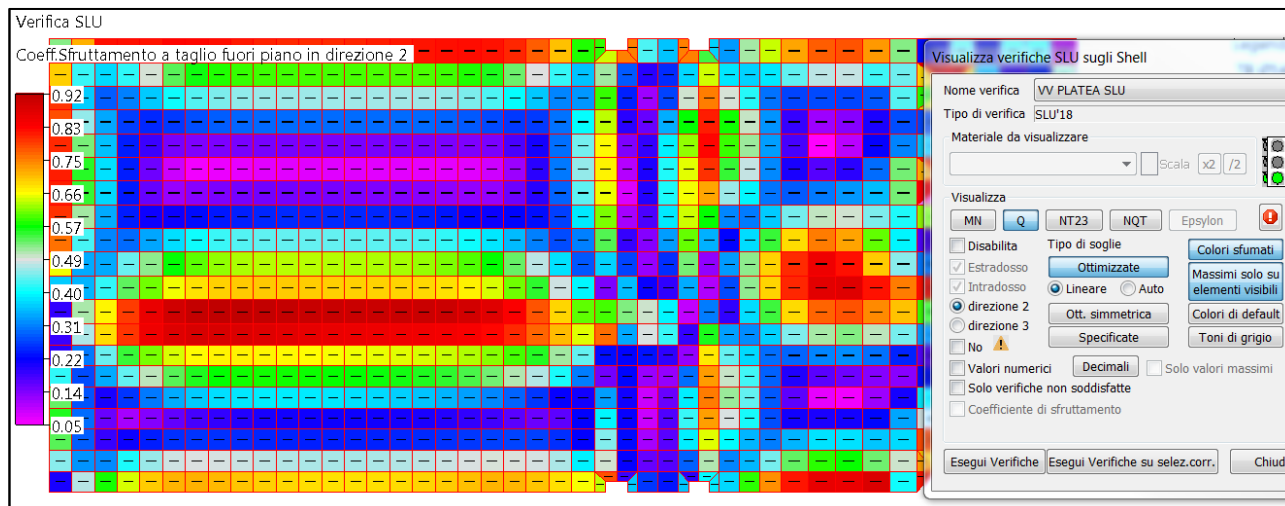
5.3.2 Verifiche SLU della platea

Le verifiche di resistenza della platea risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

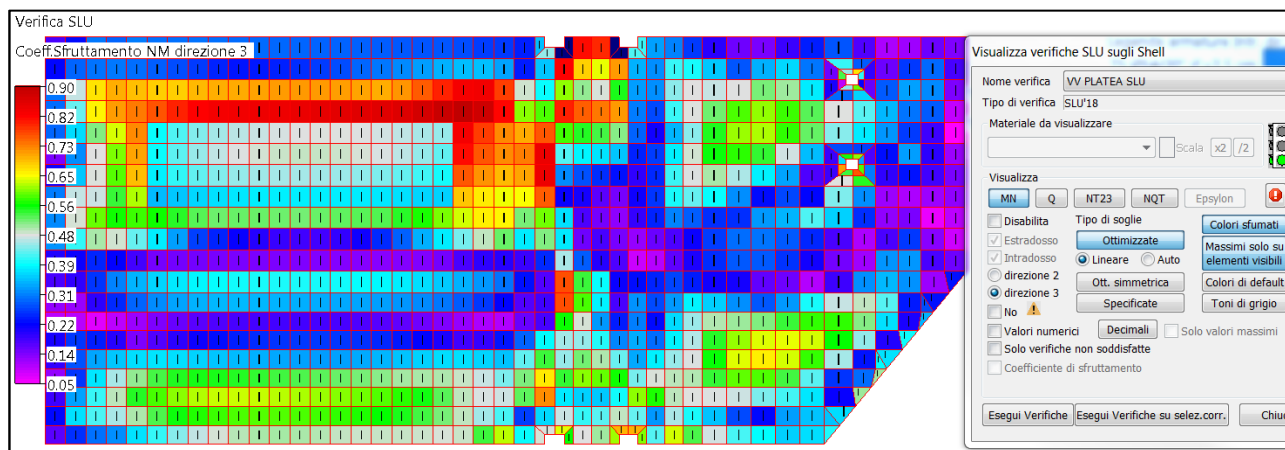


Verifica a flessione in direzione 2 (direzione // asse x)

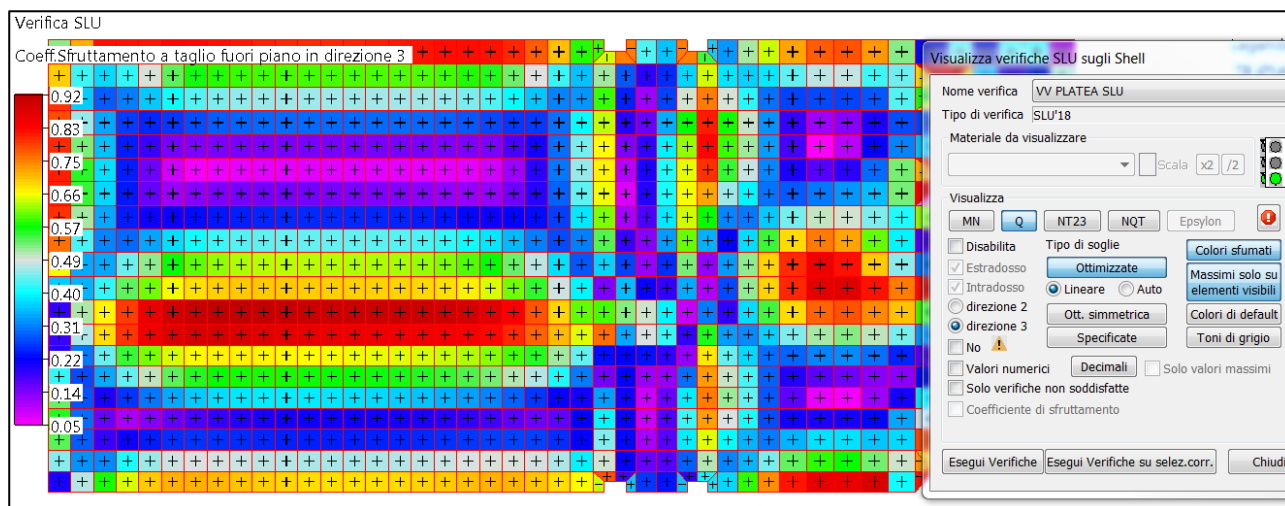
Vasca interrata



Verifica a taglio in direzione 2 (direzione // asse x)



Verifica a flessione in direzione 3 (direzione // asse y)



Verifica a taglio in direzione 3 (direzione // asse y)

5.3.3 Verifiche SLE platea

Le verifiche SLE di resistenza in termini tensionali su cls e barre e le verifiche di fessurazione risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

Relativamente alle verifiche tensionali si riscontra sempre:

$$\sigma_{c,max,SLER} < 0.6 f_{ck} = -19.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,max,SLQP} < 0.4 f_{ck} = -14.4 \text{ N/mm}^2$$

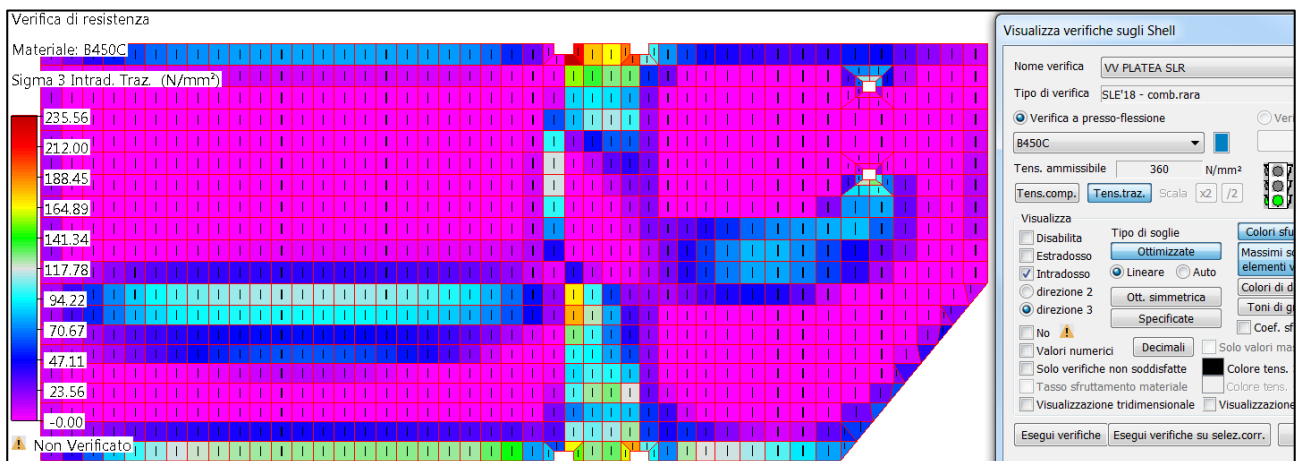
$$\sigma_{s,max,SLER} < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Relativamente alle verifiche di apertura delle fessure si riscontra sempre:

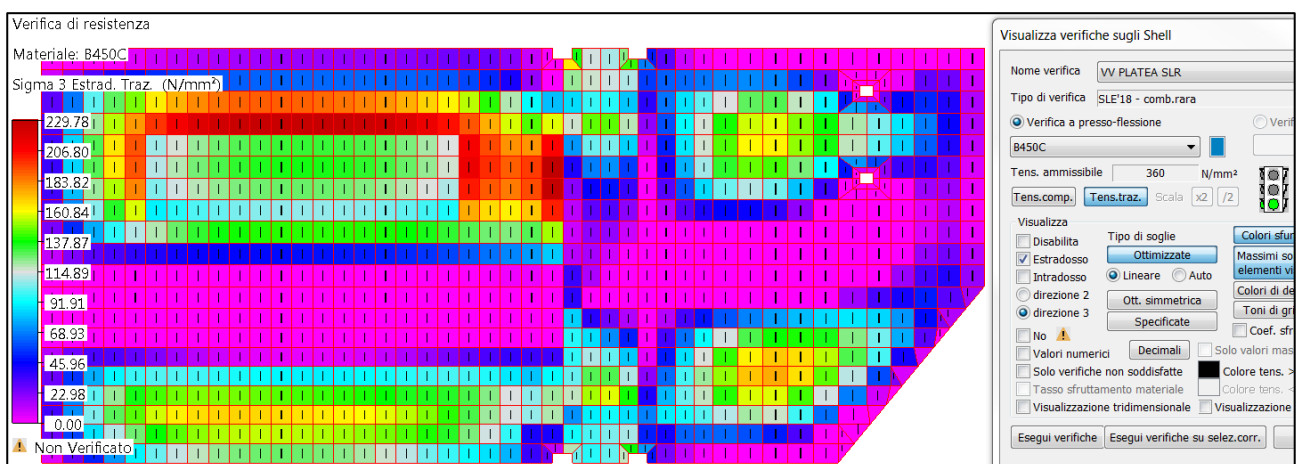
$$\text{apertura fessure SLF} < w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$\text{apertura fessure SLQP} < w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

5.3.3.1 Verifiche SLE R platea



Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 3

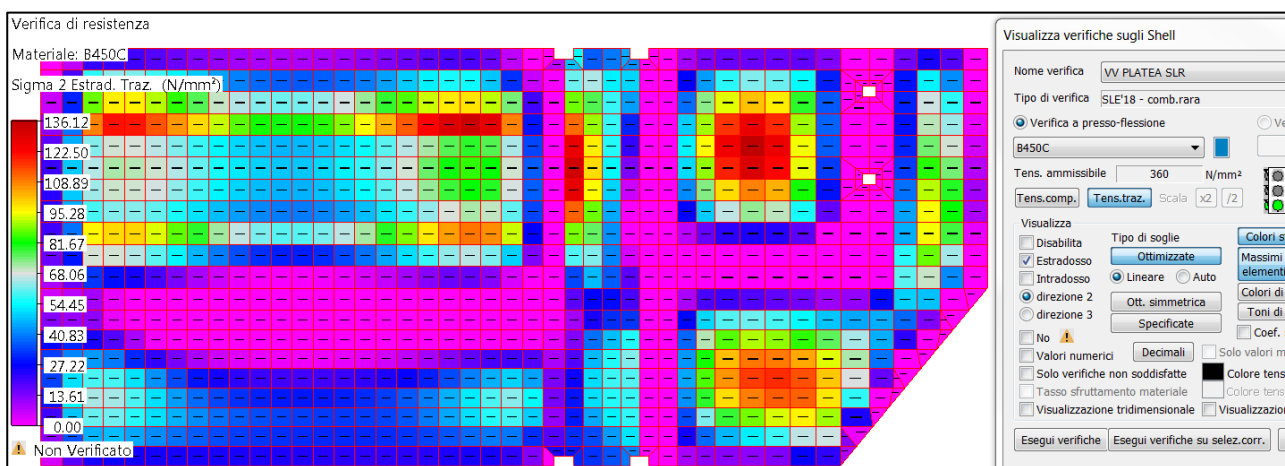


Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 3

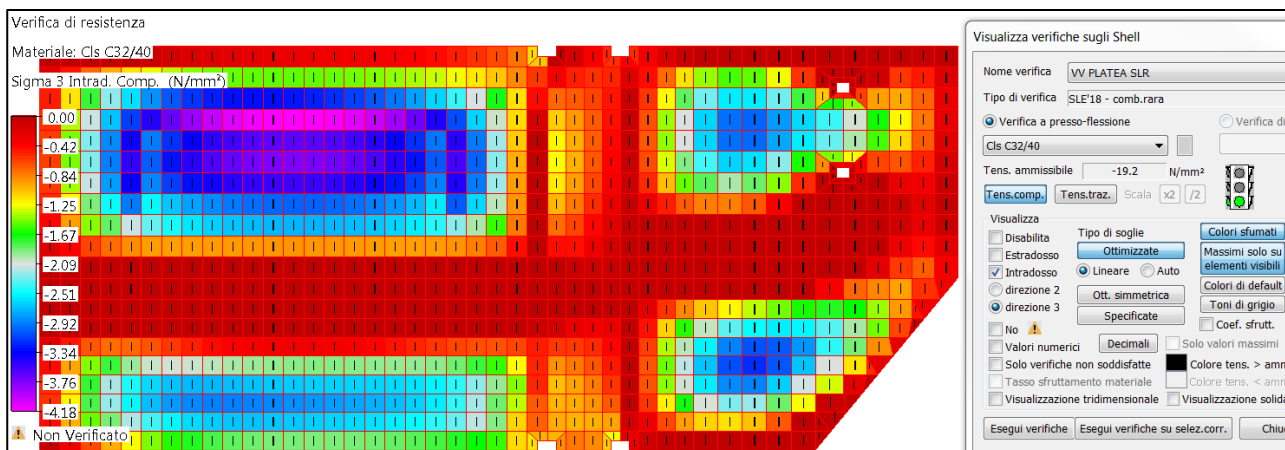
Vasca interrata



Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 2

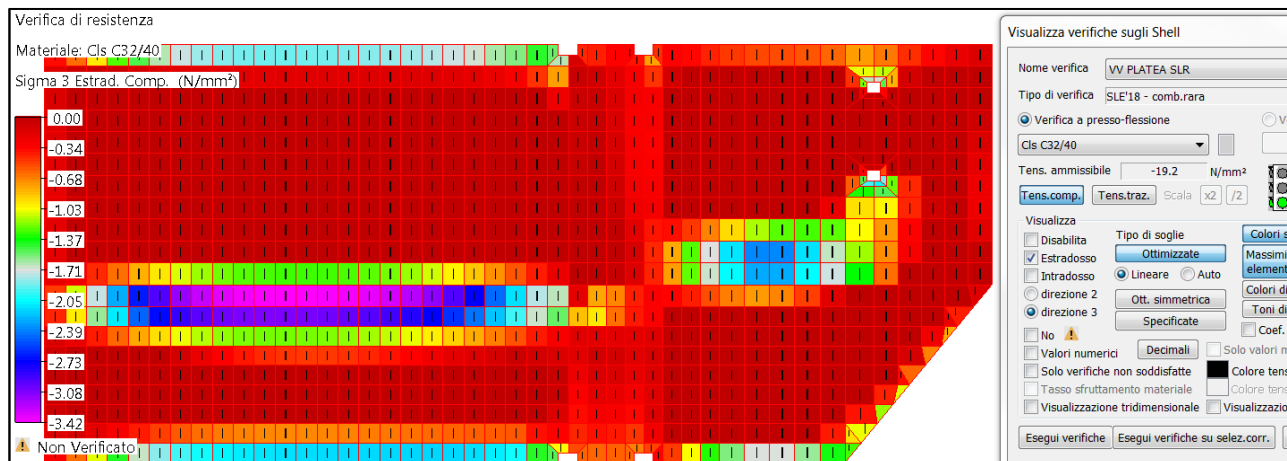


Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 2

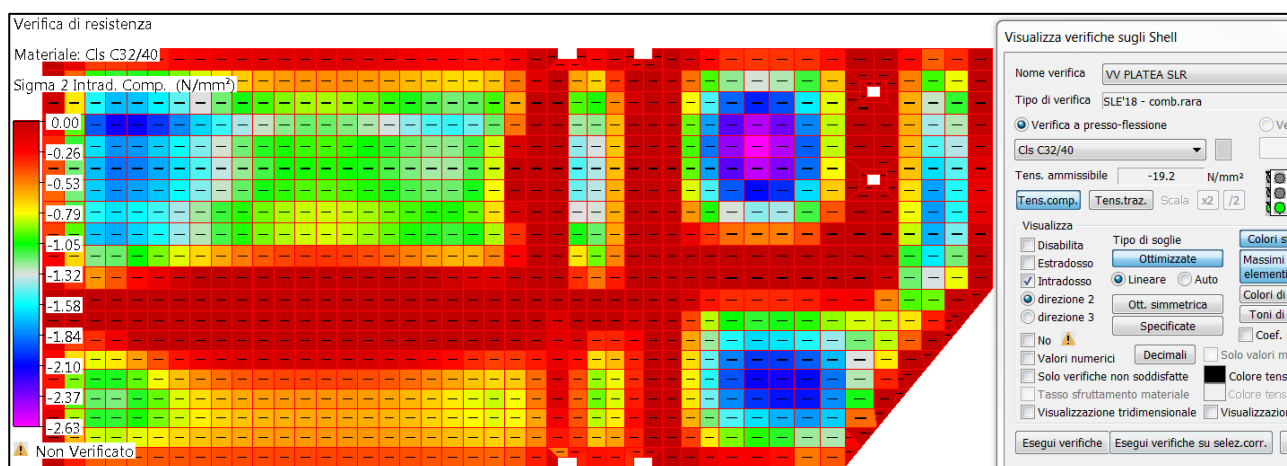


Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 3 intradosso

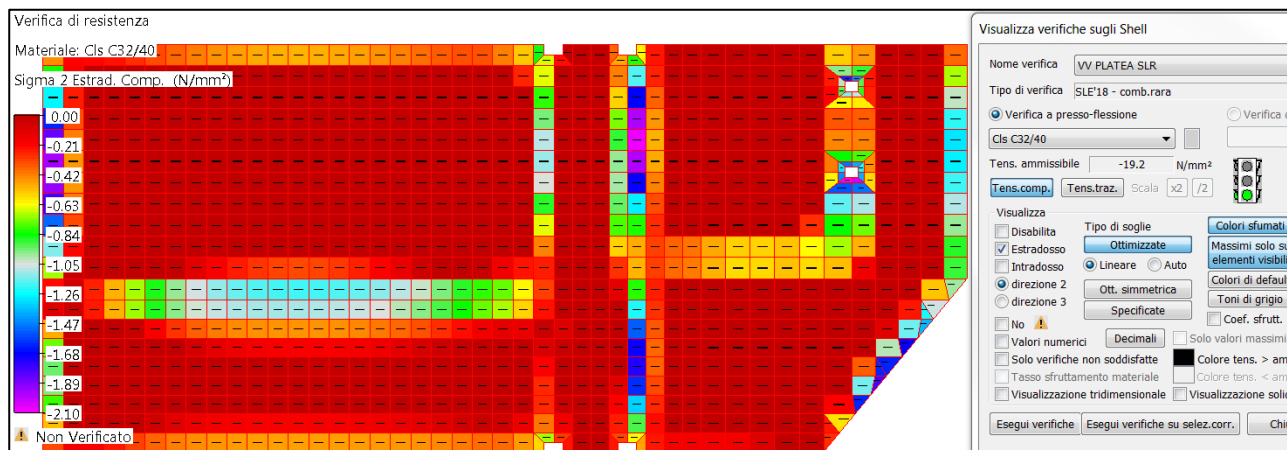
Vasca interrata



Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 3 estradosso



Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 2 intradosso

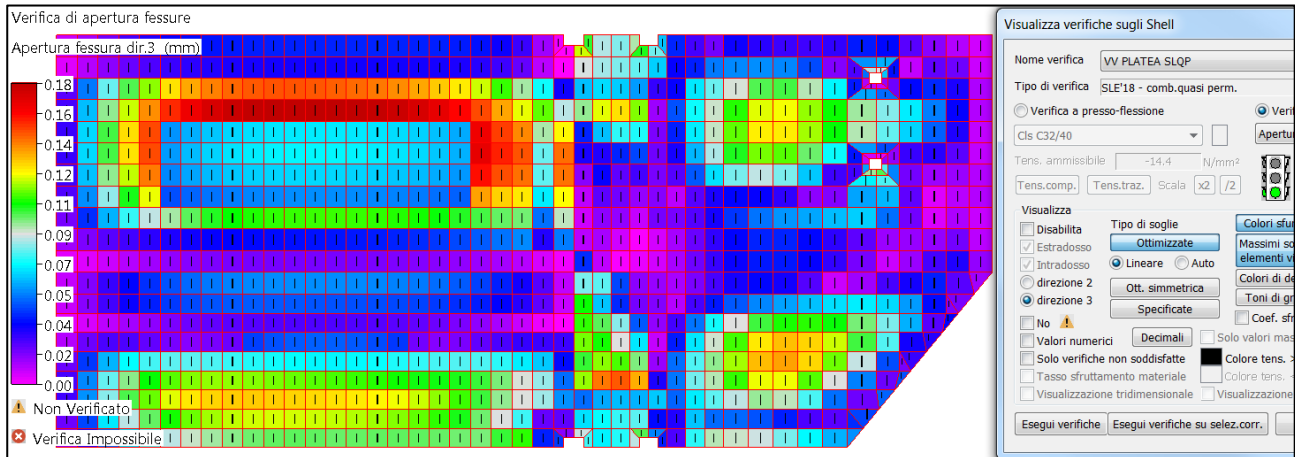


Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 2 estradosso

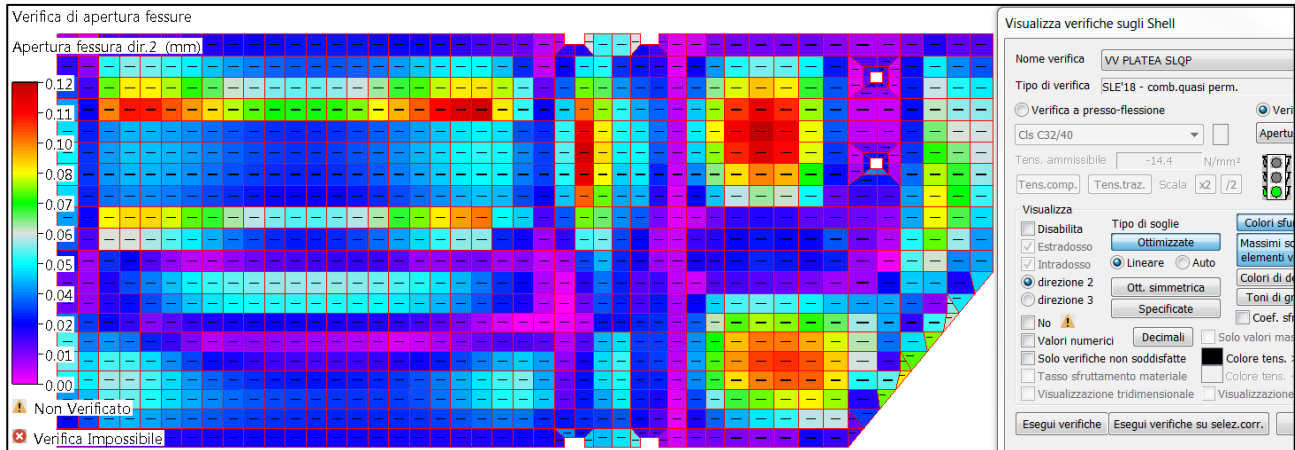
5.3.3.2 Verifiche SLQP e SLF platea

Relativamente alle verifiche tensionali, visti i valori riscontrati in SLER, le verifiche tensionali sul cla compresso in SLQP sono automaticamente soddisfatte.

Relativamente alle verifiche di fessurazione SLF esse risultano soddisfatte essendo i valori delle aperture delle fessure prossimi a quelli in SLQP di seguito riportati.



Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 3



Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 2

5.3.4 Verifiche di Deformabilità

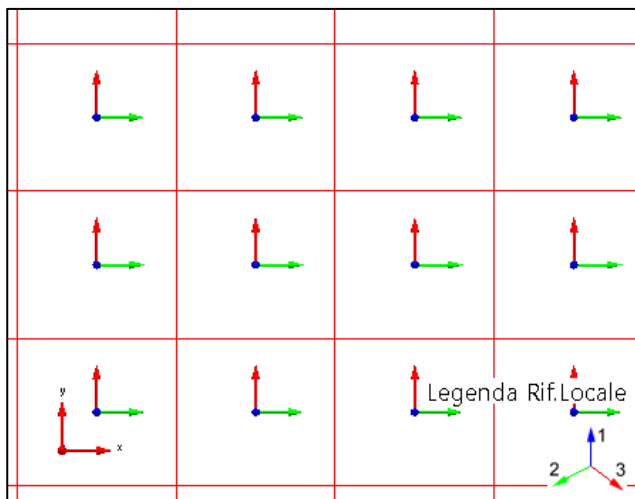
La struttura della platea non presenta deformazioni di rilievo, esse risultano compatibili con la funzionalità del manufatto.

5.4 Soletta di copertura

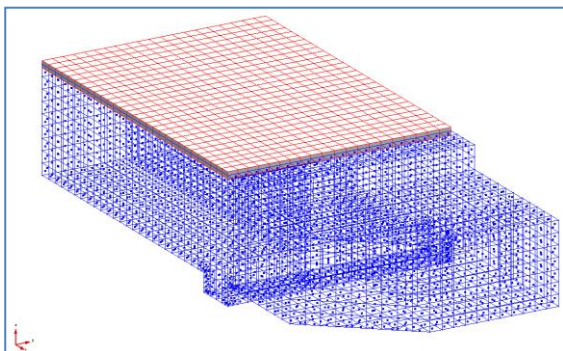
Si riporta lo schema di armatura diffusa della soletta e le verifiche di progetto.

5.4.1 armatura di progetto della soletta

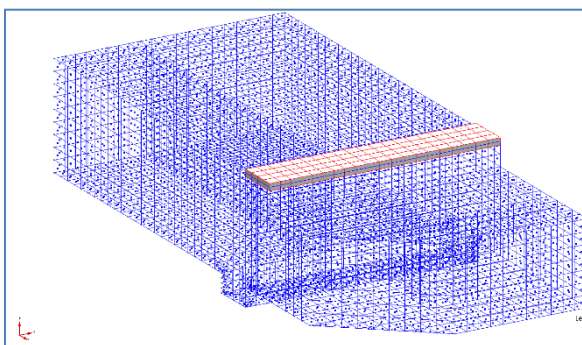
Sono presenti due ordini di armatura, a cui vengono assegnati i relativi copriferri: l'armatura // asse 2 è interna, l'armatura trasversale // asse 3 è esterna.



direzione //x: asse 2, direzione//y: asse 3, direzione//z: asse1 (verso l'alto)



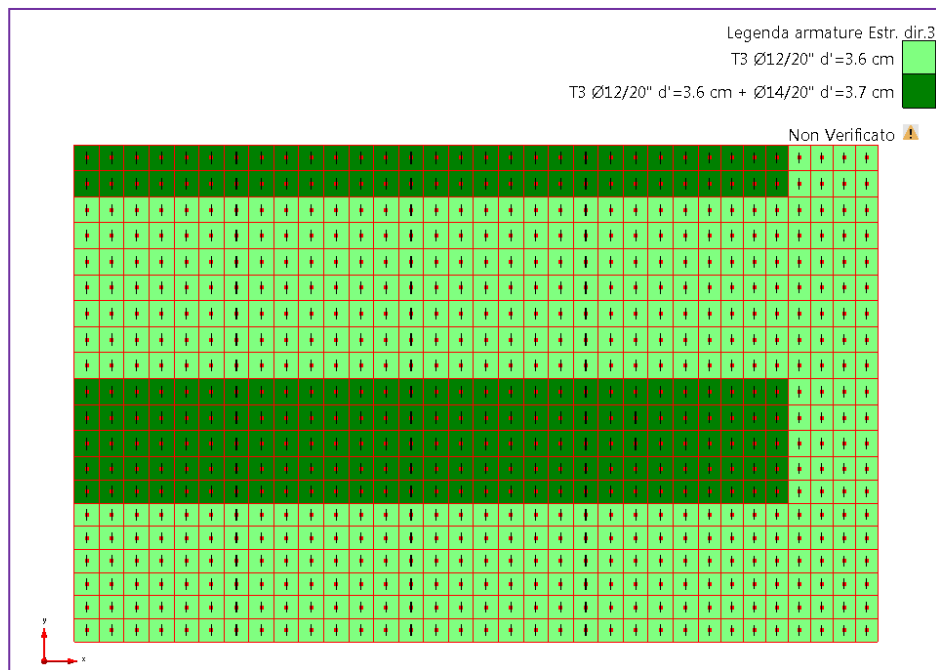
Soletta alta zona vasche



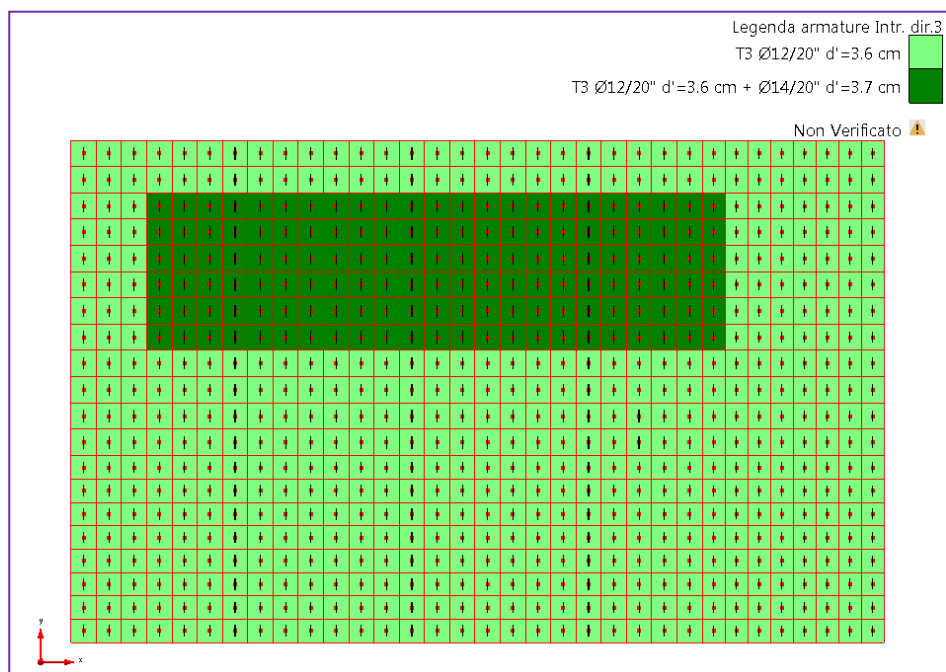
soletta alta zona servizi

Si riportano gli schemi di distribuzione dell'armatura all'estradosso e all'intradosso in entrambe le direzioni.

Vasca interrata

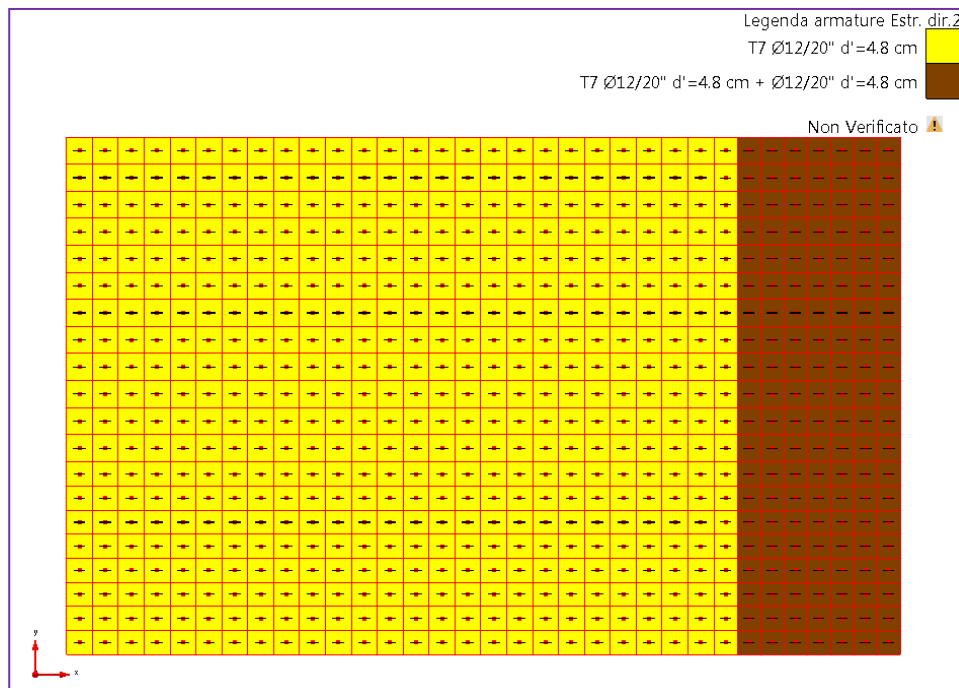


Armatura interna all'estradosso in direzione 3 (direzione // asse y)

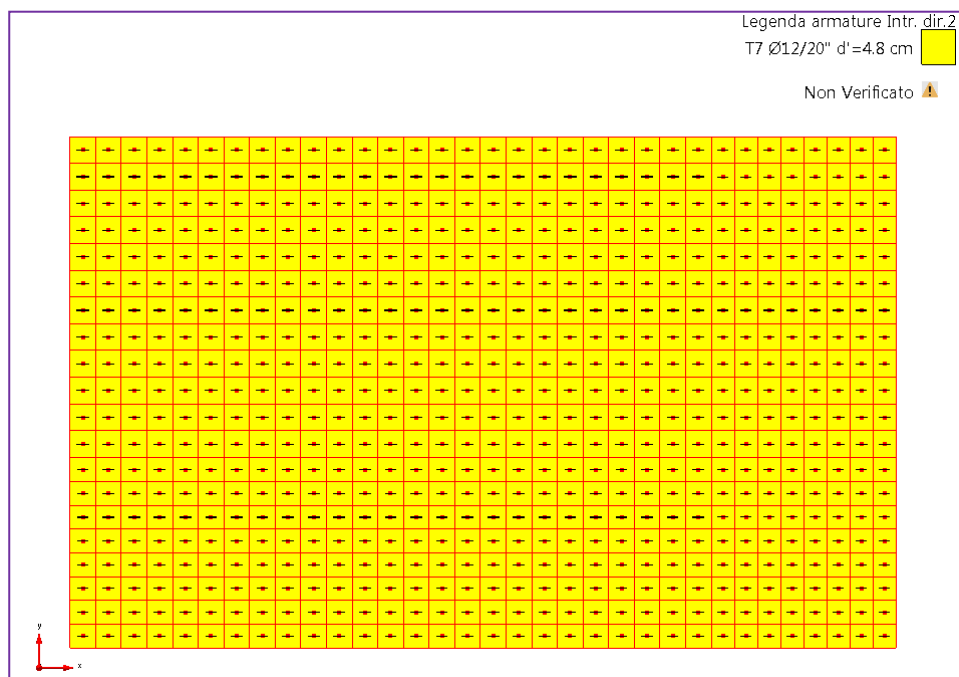


Armatura interna all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse y)

Vasca interrata

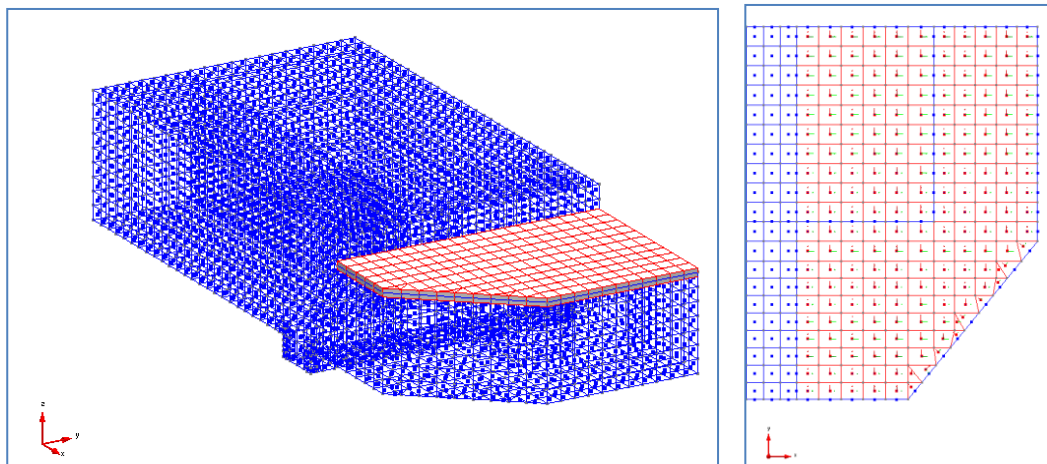


Armatura esterna all'estradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

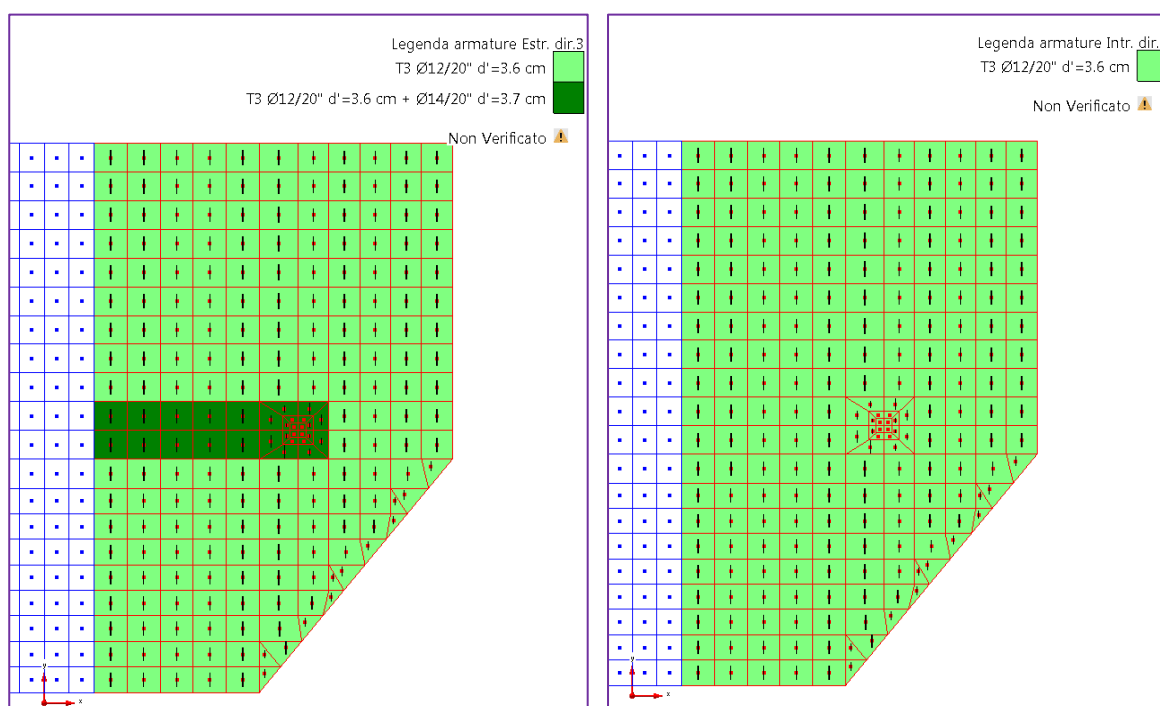


Armatura esterna all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

Vasca interrata

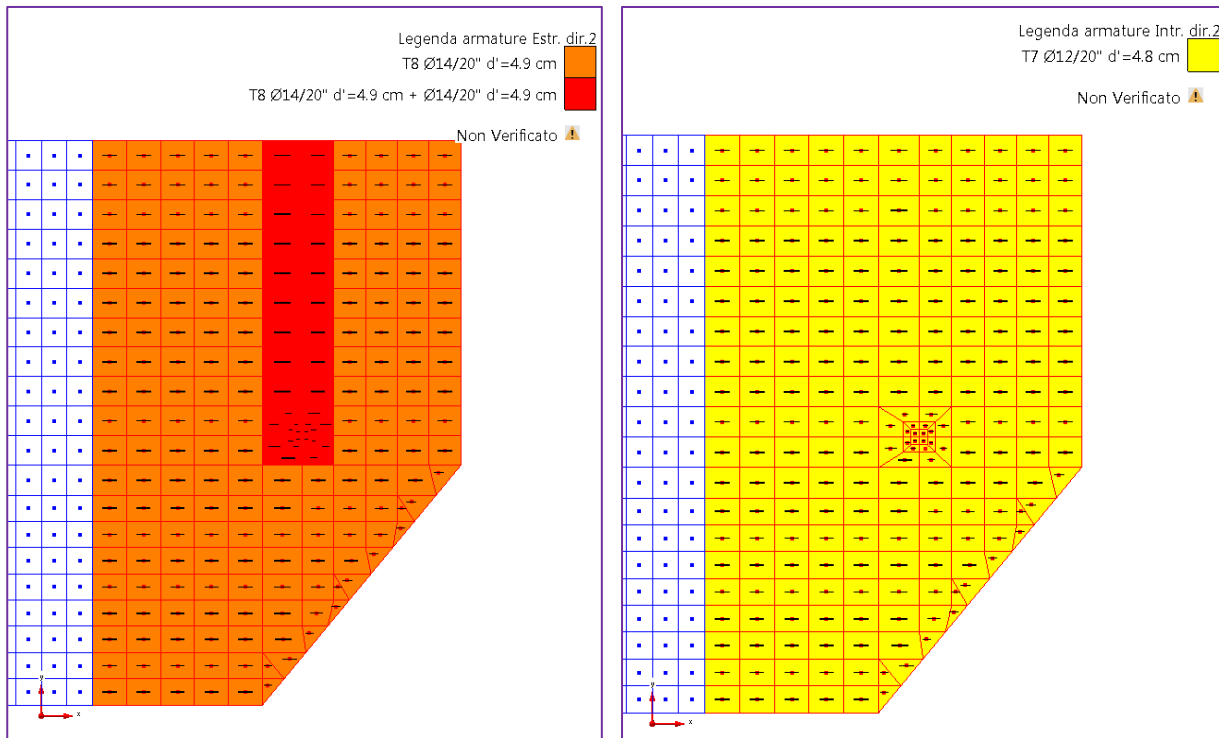


Soletta bassa zona servizi



Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse y)

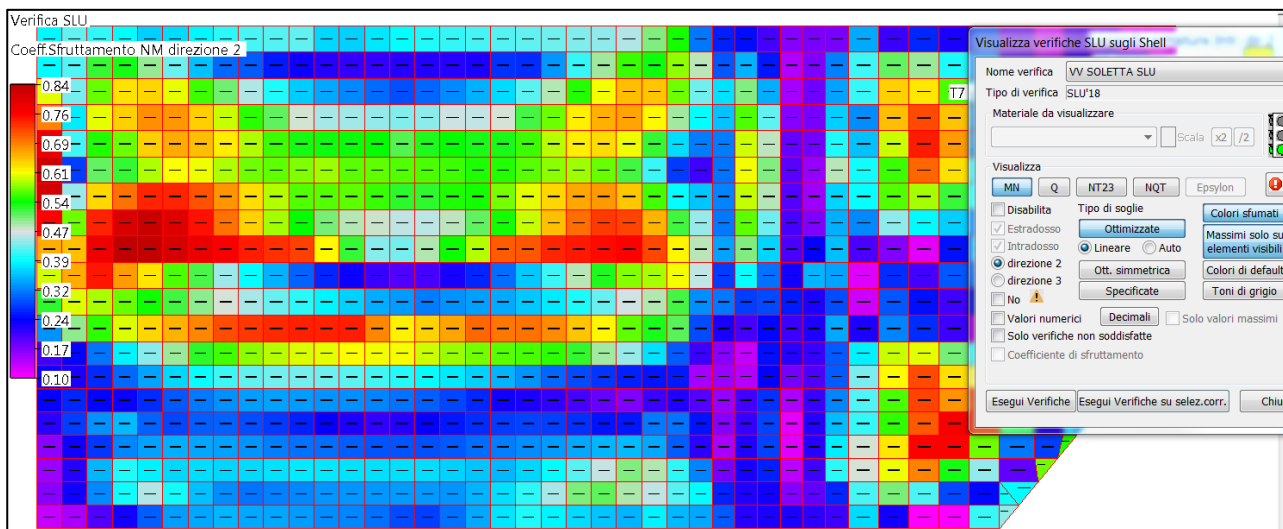
Vasca interrata



Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

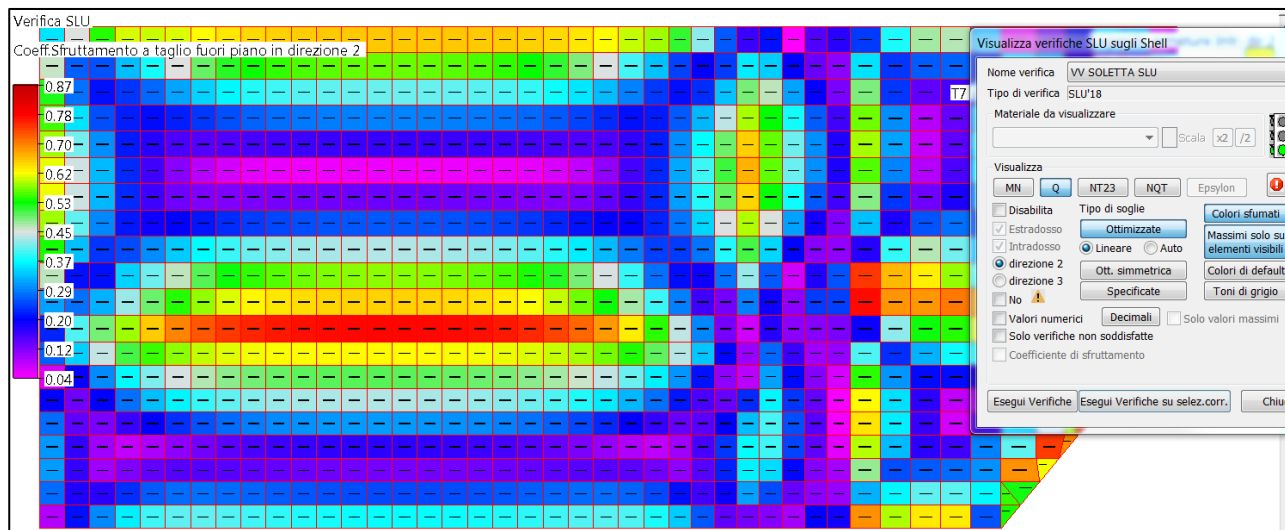
5.4.2 Verifiche SLU ed SLEA della soletta

Le verifiche di resistenza SLU della soletta risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

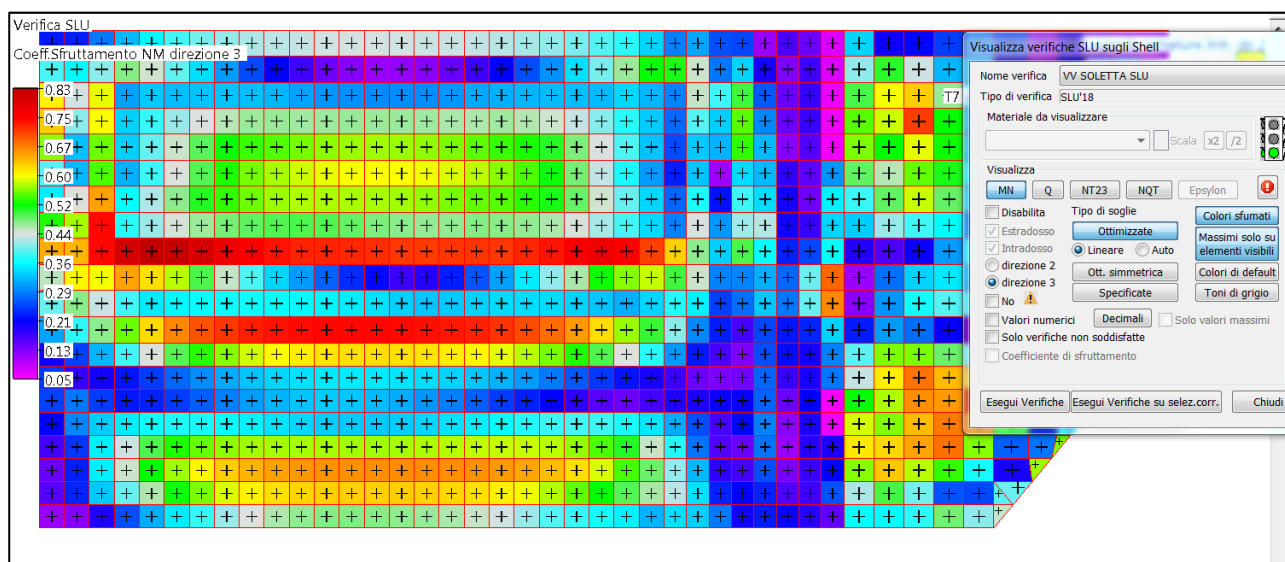


Verifica a flessione in direzione 2 (direzione // asse x)

Vasca interrata

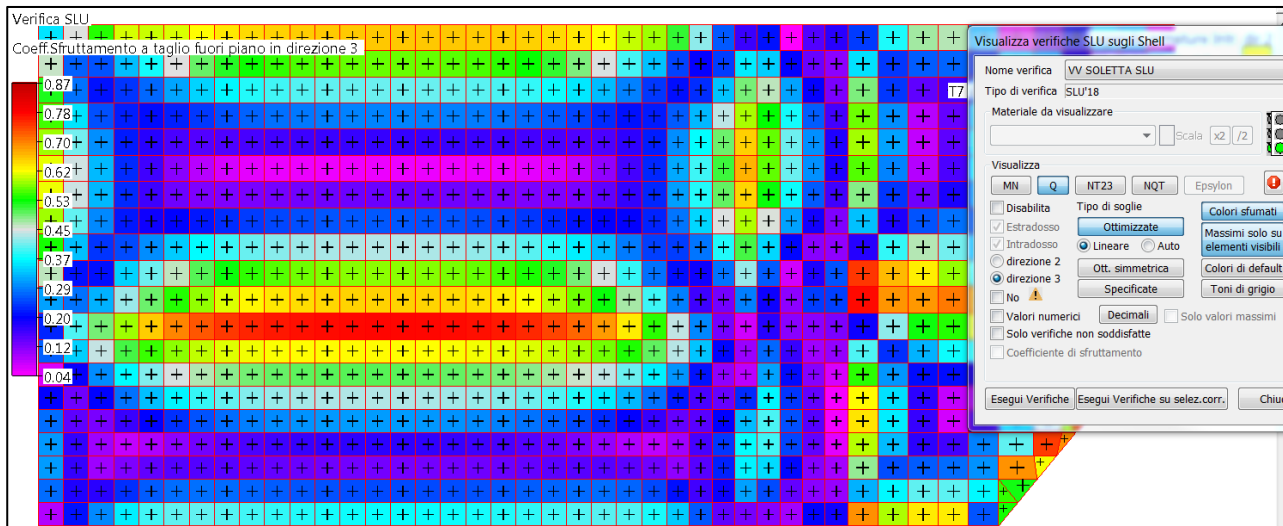


Verifica a taglio in direzione 2 (direzione // asse x)



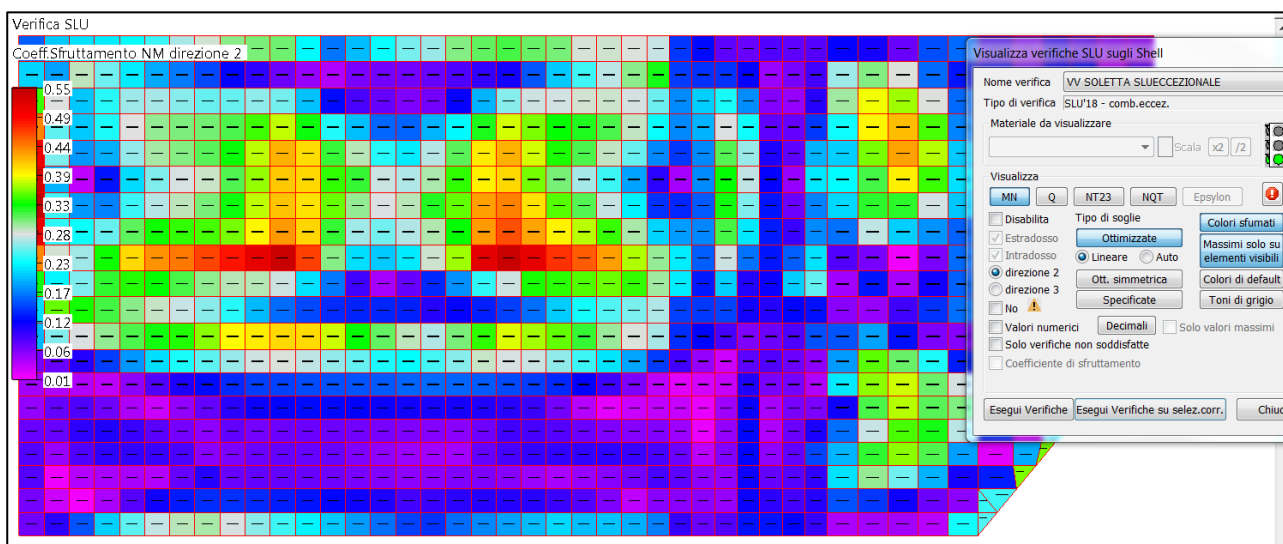
Verifica a flessione in direzione 3 (direzione // asse y)

Vasca interrata



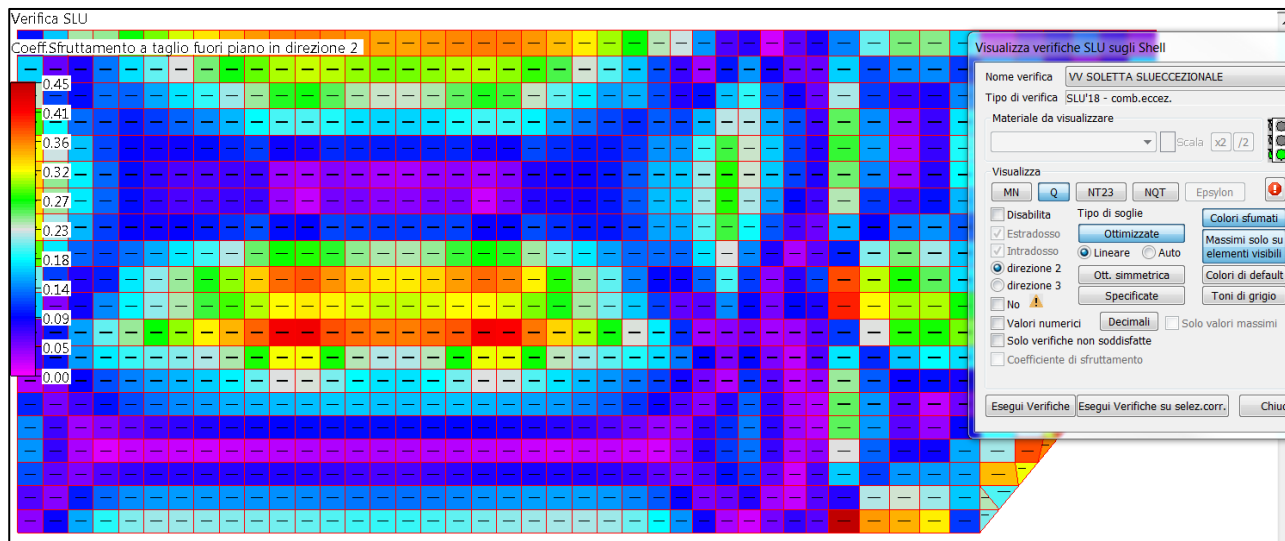
Verifica a taglio in direzione 3 (direzione // asse y)

Le verifiche di resistenza SLEA, combinazione eccezionale, della soletta risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

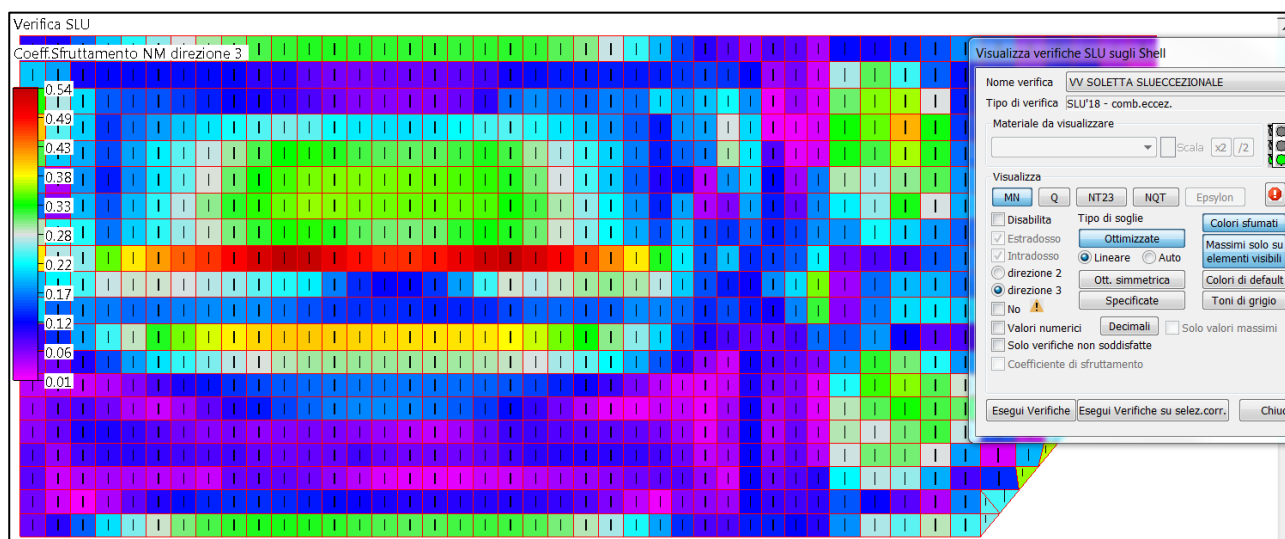


Verifica a flessione in direzione 2 (direzione // asse x) – combinazione Eccezionale

Vasca interrata

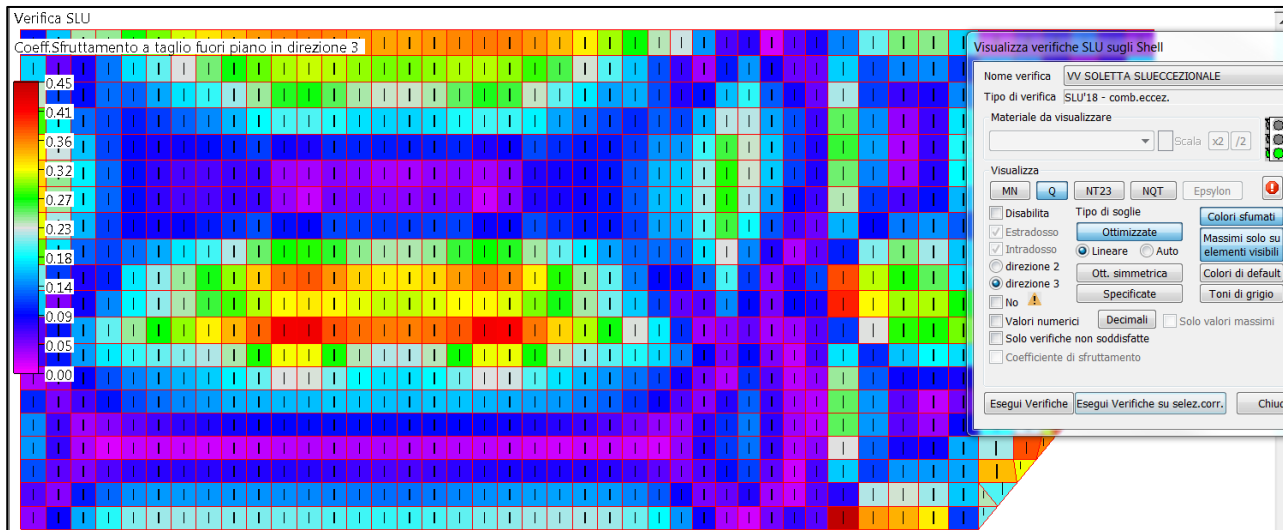


Verifica a taglio in direzione 2 (direzione // asse x) – combinazione Eccezionale



Verifica a flessione in direzione 3 (direzione // asse y) – combinazione Eccezionale

Vasca interrata



Verifica a taglio in direzione 3 (direzione // asse y) – combinazione Eccezionale

5.4.3 Verifiche SLE soletta

Le verifiche SLE di resistenza in termini tensionali su compressione del cls e trazione delle barre e le verifiche di fessurazione risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

Relativamente alle verifiche tensionali si riscontra sempre:

$$\sigma_{c,max,SLER} < 0.6 f_{ck} = -19.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,max,SLQP} < 0.4 f_{ck} = -14.4 \text{ N/mm}^2$$

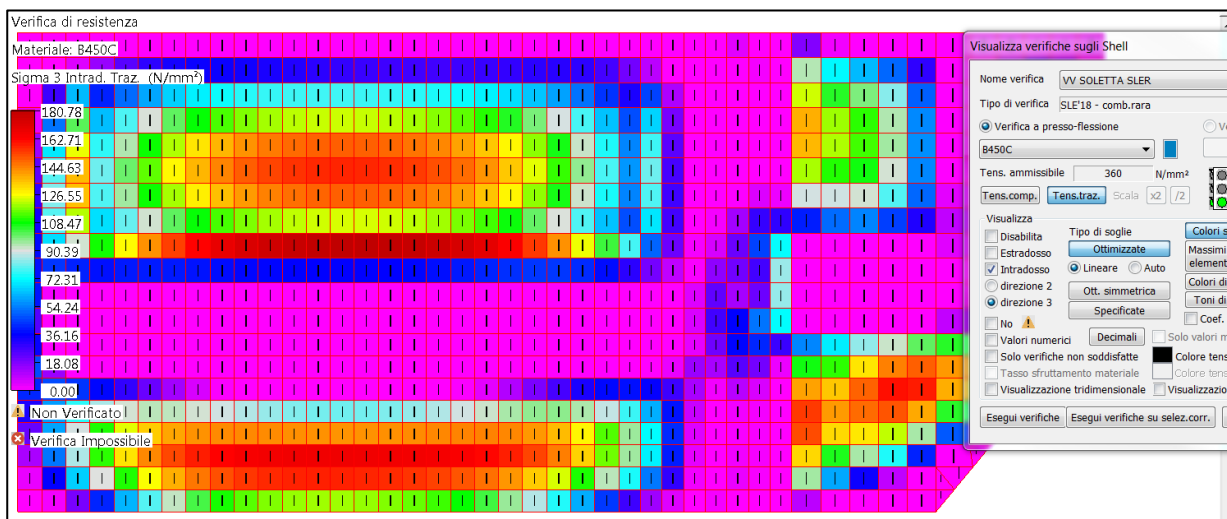
$$\sigma_{s,max,SLER} < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Relativamente alle verifiche di apertura delle fessure si riscontra sempre:

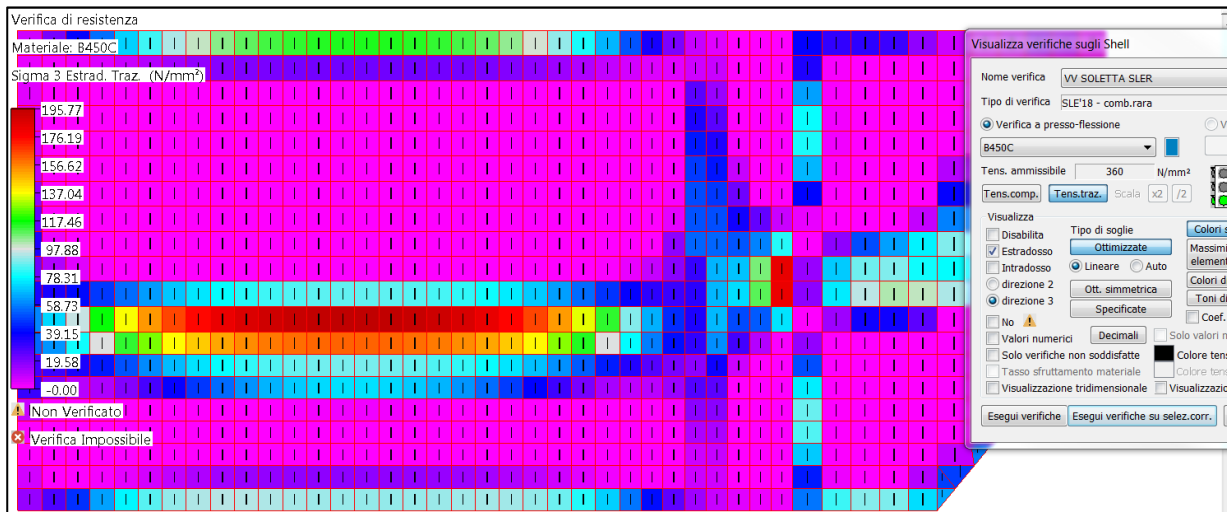
$$\text{apertura fessure SLF} < w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$\text{apertura fessure SLQP} < w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

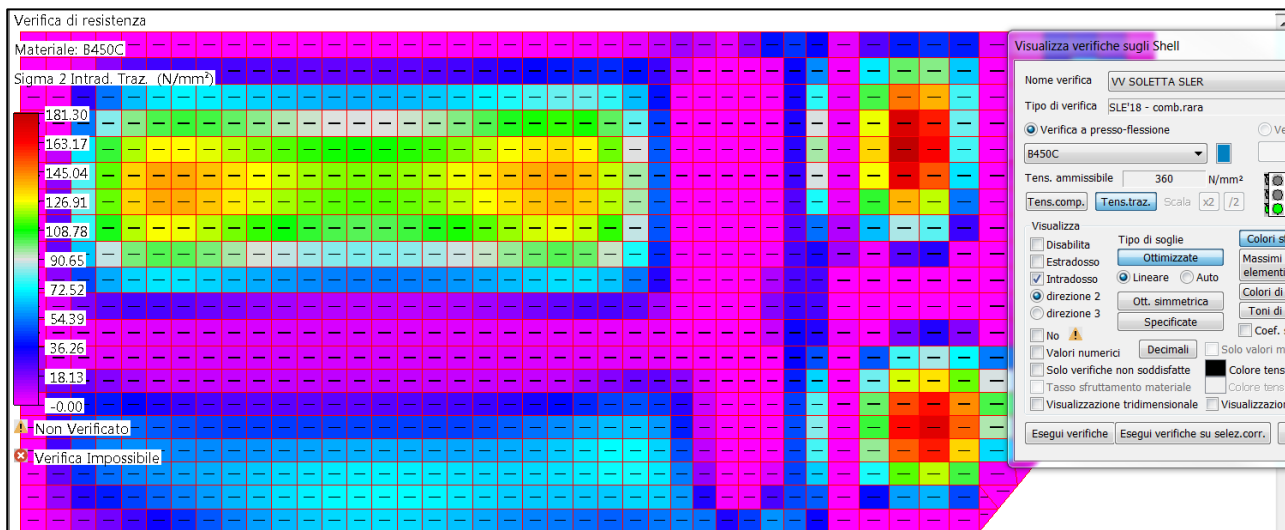
5.4.3.1 Verifiche SLE R soletta



Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 3

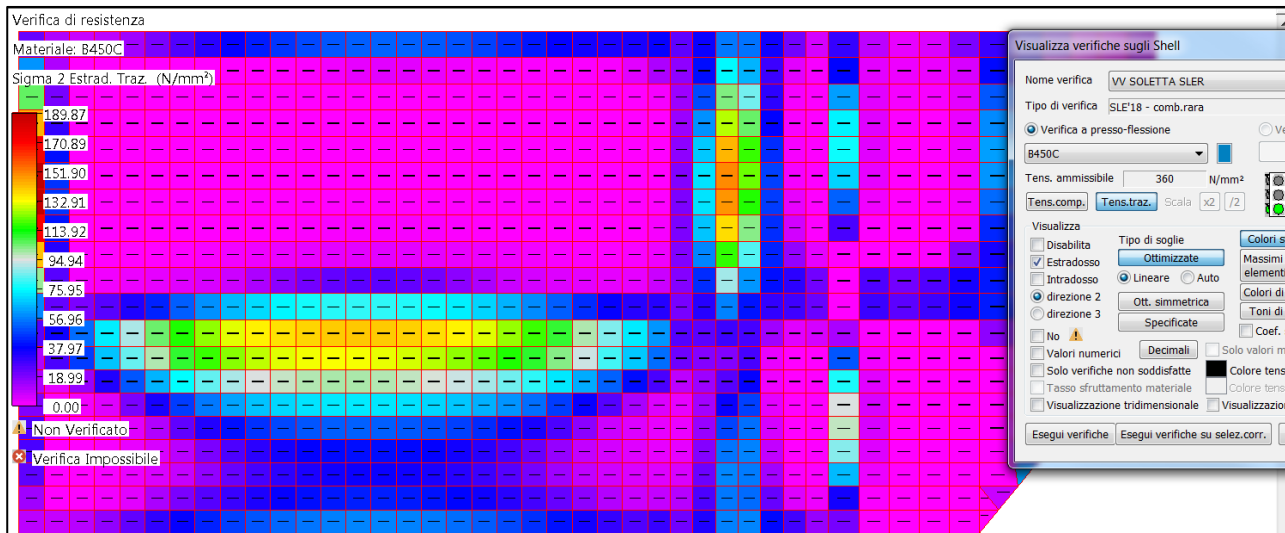


Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 3

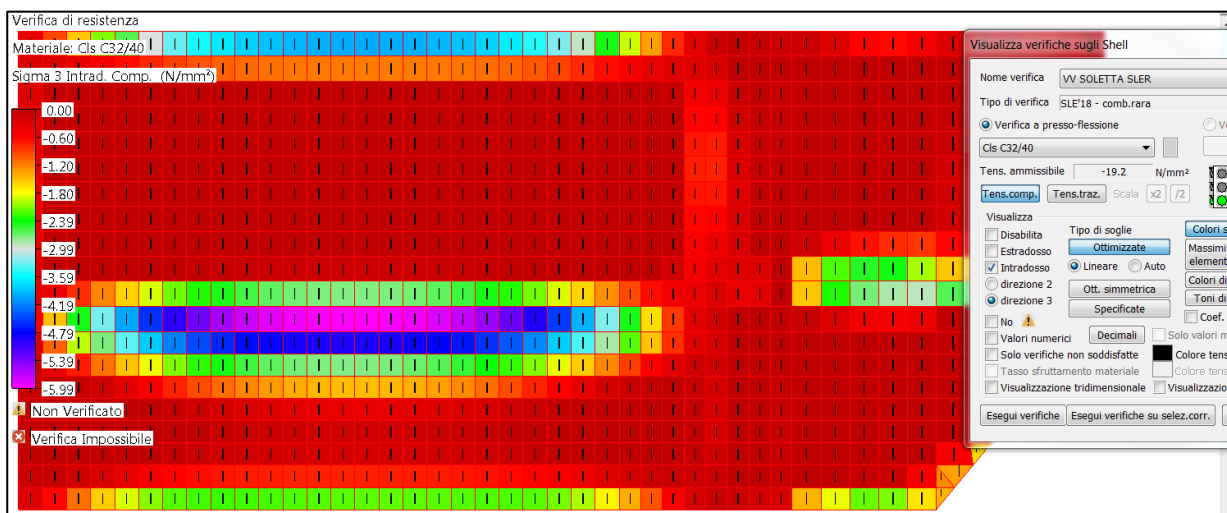


Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 2

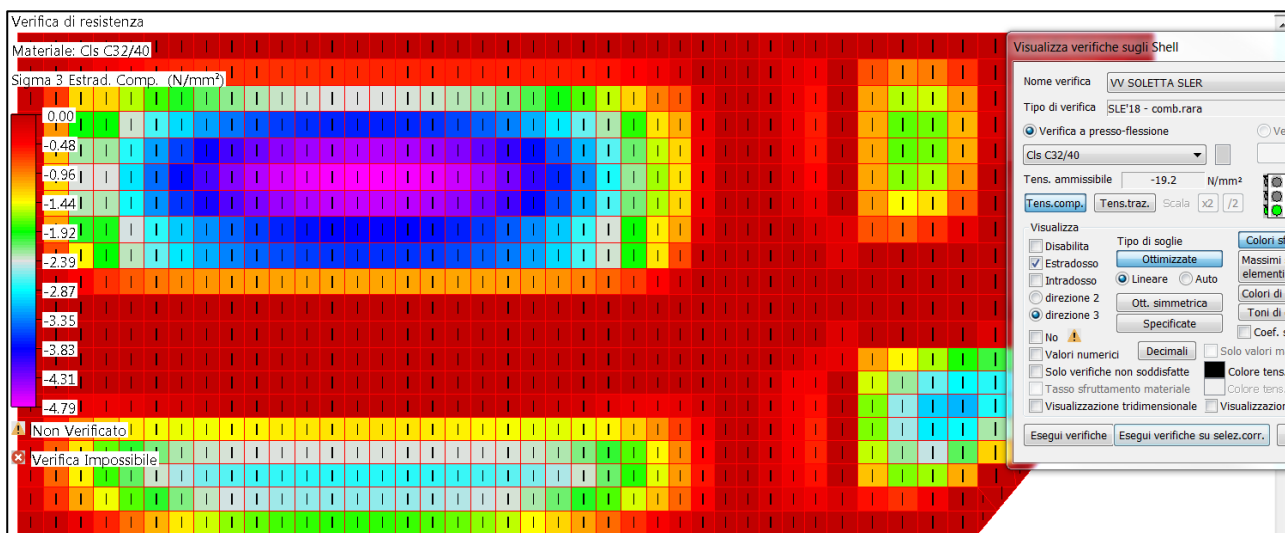
Vasca interrata



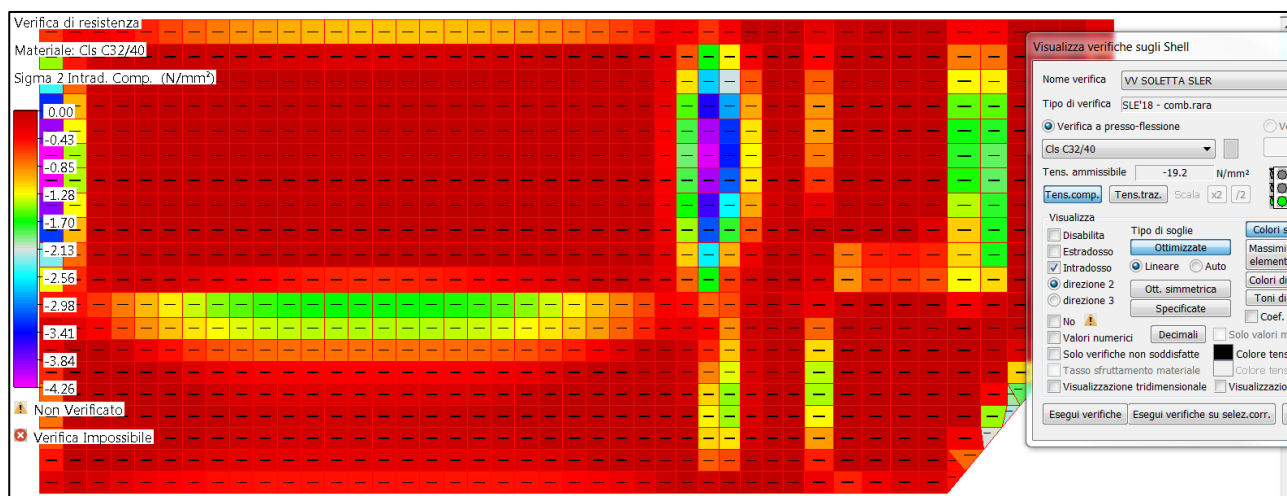
Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 2



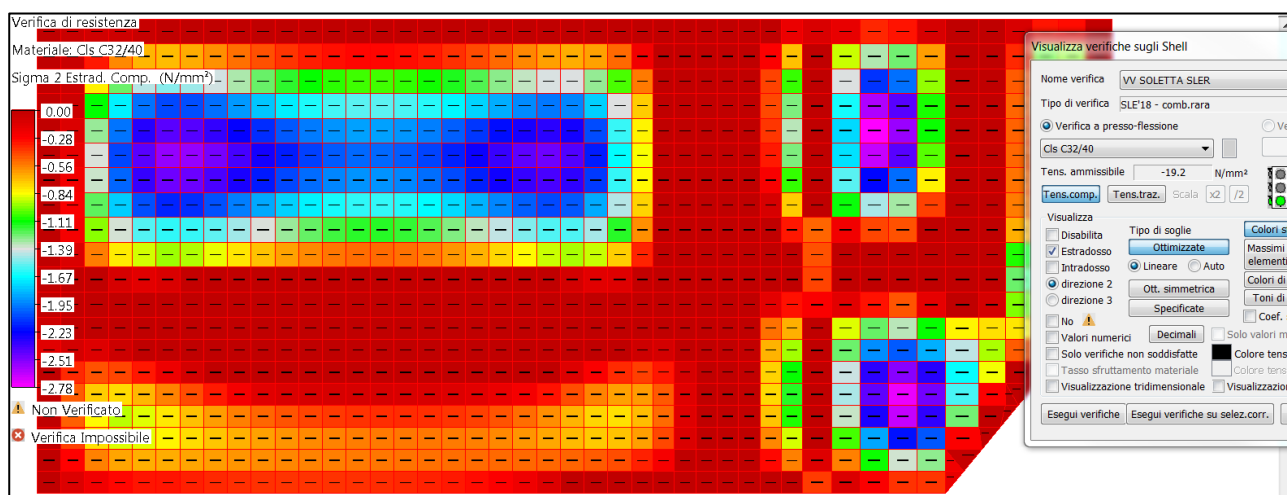
Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 3 intradosso



Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 3 estradosso



Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 2 intradosso



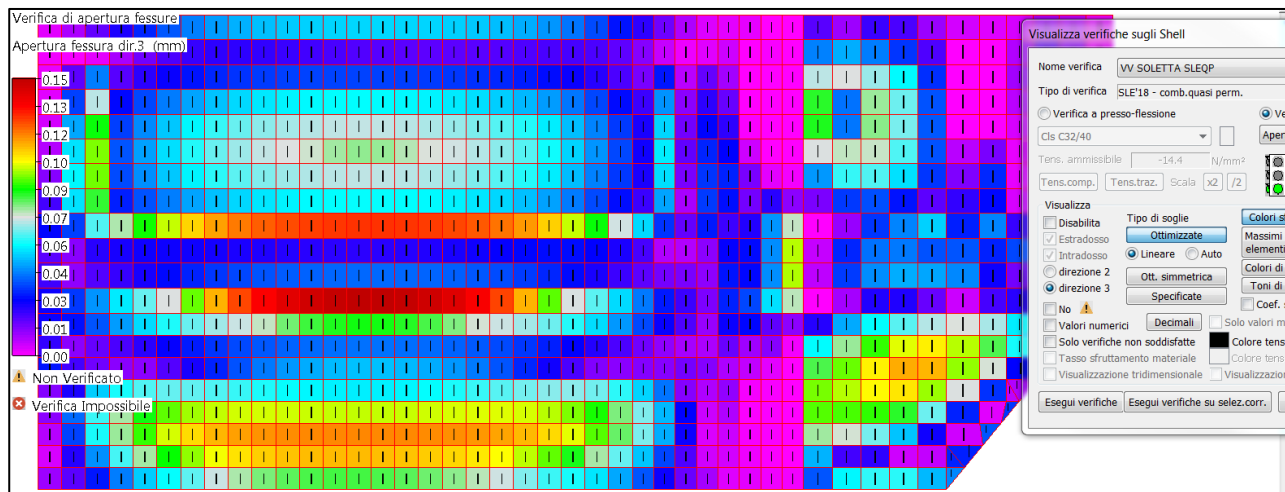
Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 2 estradosso

5.4.3.2 Verifiche SLQP e SLF soletta

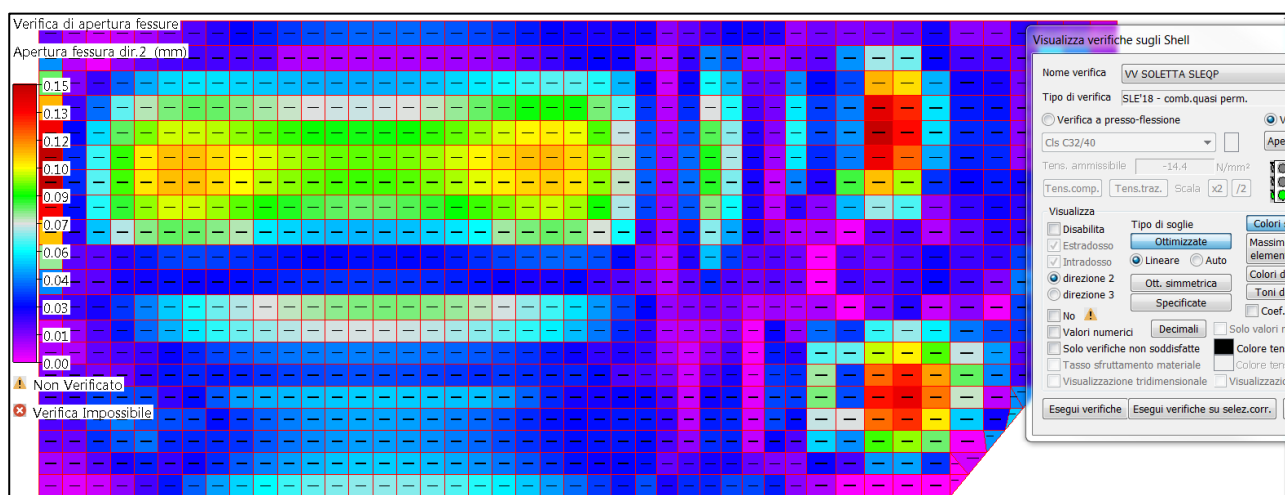
Relativamente alle verifiche tensionali, visti i valori riscontrati in SLER, le verifiche tensionali sul cls compresso in SLQP sono automaticamente soddisfatte.

Relativamente alle verifiche di fessurazione SLF esse risultano soddisfatte essendo i valori delle aperture delle fessure prossimi a quelli in SLQP di seguito riportati.

Vasca interrata



Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 3



Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 2

5.4.4 Verifiche di Deformabilità

La soletta del manufatto presenta deformazioni ammissibili come di seguito esplicitato.

Dall'analisi degli spostamenti a breve e lungo periodo, riportate nel paragrafo dedicato, risultano valori ampiamente ammissibili, nei termini prescritti in C4.1.2.2.2, con particolare riguardo alla campata dell'impalcato sopra la vasca maggiore qui considerata in semplice appoggio.

Dall'analisi sul modello con modulo $E_{cm} = 33.5 \text{ GPa}$, risulta:

massima freccia $f_{SLER} = -0.36 \text{ cm}$

amplificazione dovuta a effetti di viscosità a lungo termine:

riduzione del modulo elastico stimato $= 0.37$ ($t_0 > 28 \text{ gg}$)

massima freccia a lungo termine $= -0.97 \text{ cm}$

lunghezza campata, $L = 595 \text{ cm}$

$f_{SLER}/L = 1/612 < 1/250$

Vasca interrata

Tale abbassamento è da ritenersi ammissibile in ottemperanza al presente capoverso: “Per quanto riguarda dell’aspetto e della funzionalità dell’opera, le frecce a lungo termine di travi e solai, calcolate sotto la condizione quasi permanente dei carichi, non dovrebbero superare il limite di 1/250 della luce”.

Pertanto, non risulta necessario procedere ad un calcolo analitico dell’inflessione essendo rispettati i limiti imposti dalla procedura indicata in C4.1.2.2.2 con l’espressione [C4.1.4], qui valutata con l’analoga espressione (7.16 riportata nel paragrafo 7.4.2 dell'Eurocodice EN 1992-2-1:2004.

Si considera come sezione reagente una sezione rettangolare con larghezza di 100 cm e altezza h di 30 cm.

f_{yk} =	450	Mpa	
f_{ck} =	32	Mpa	
$\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-0.3}$ =	0.57%		
altezza sezione, h =	300	mm	
base sezione, b =	1000	mm	
copriferro =	30	mm	
A_{cls} =	300000	mm ²	
armatura zona tesa, A_s =	1540.00	mm ²	D14/10
armatura zona compressa, A'_s =	770.00	mm ²	D14/20
altezza utile sezione, d =	270	mm	
$A_{cls,eff.} = b \times d$ =	270000	mm ²	

dal dimensionamento dell'impalcato si ricava:

armatura zona tesa richiesta, $A_{s,req}$ =	1386.0	mm ²
armatura zona compressa richiesta, $A'_{s,req}$ =	693.0	mm ²

risultano i seguenti parametri:

ρ =	0.513%	< ρ_0
ρ' =	0.257%	
$l/d)_{lim}$ =	20.94	valido per $\rho < \rho_0$
lunghezza campata, l =	5.9	m
K =	1.0	

coefficiente correttivo c funzione dell'effettivo stato tensionale SLER

$c = 500 / (f_{yk} A_{s,req} / A_s)$ =	1.23
$c = 310 / \sigma_s$ =	1.63
σ_s =	190.0 Mpa

si assume il minore tra i due coefficienti riportati

c =	1.23	
l/d =	21.9	$\leq c \cdot l/d)_{lim} = 25.9$

Non è necessario il calcolo analitico dell'inflessione.

Si osserva che il rispetto dell'ammissibilità degli spostamenti è strettamente connesso al materiale, al disegno della struttura e alle modalità costruttive, in particolare:

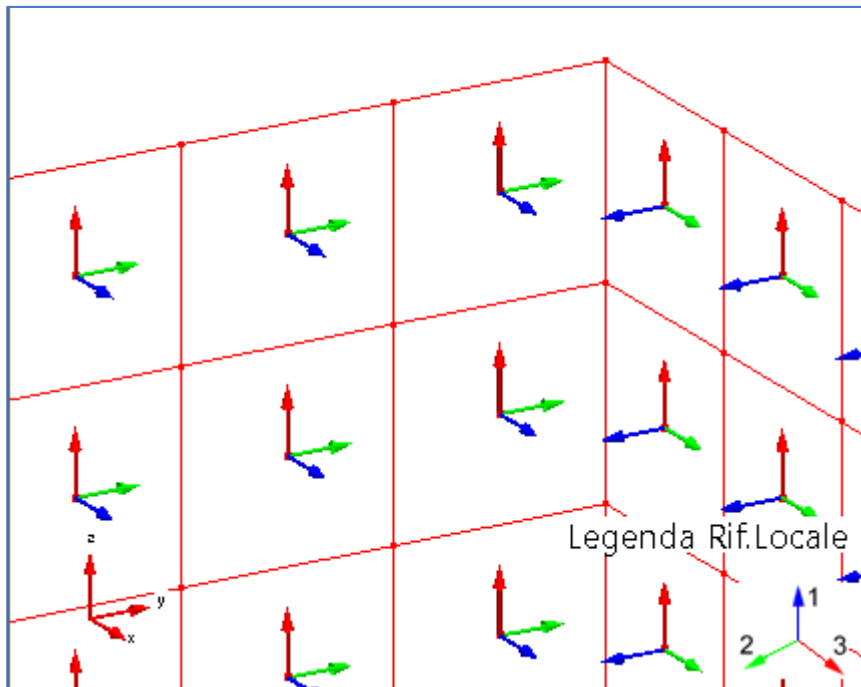
classe cls C32/40 e scassero superiore a 28 giorni dal getto.

5.5 Pareti esterne ed interne

Si riporta lo schema di armatura diffusa delle pareti e le verifiche di progetto.

5.5.1 armatura di progetto della soletta

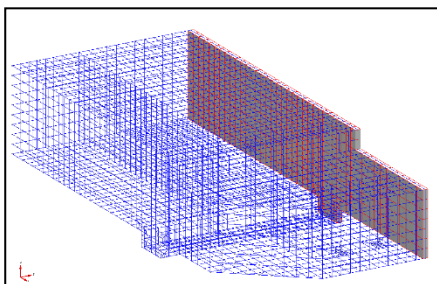
Sono presenti due ordini di armatura, a cui vengono assegnati i relativi copriferri. Nelle pareti, vista anche la distribuzione delle azioni di spinta orizzontale, è assunta uguale sulle due facce di intradosso ed estradosso.



Pareti longitudinali: direzione //x: asse 2 direzione //z: asse 3

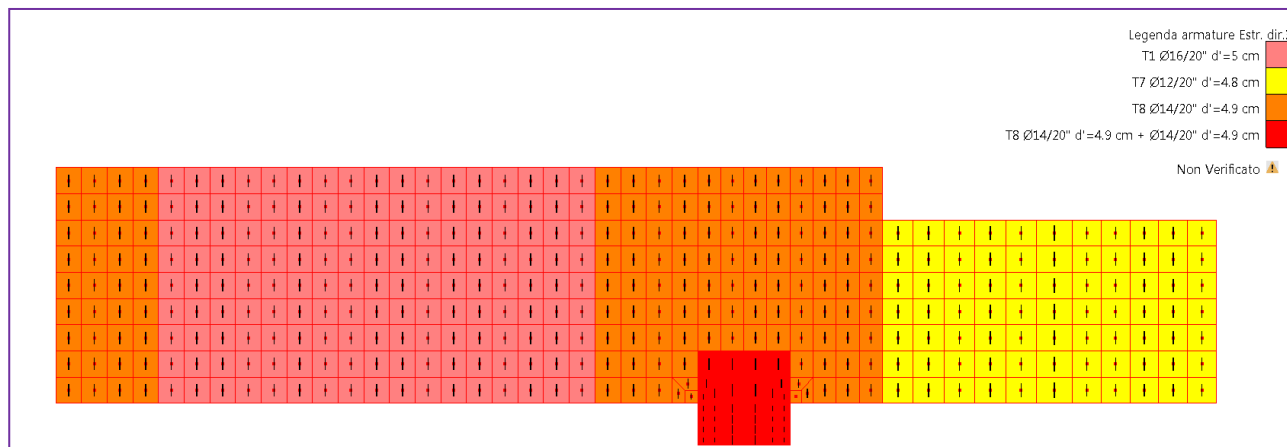
Pareti trasversali: direzione //y: asse 2 direzione //z: asse 3

Si riportano gli schemi di distribuzione dell'armatura all'estradosso e all'intradosso in entrambe le direzioni.

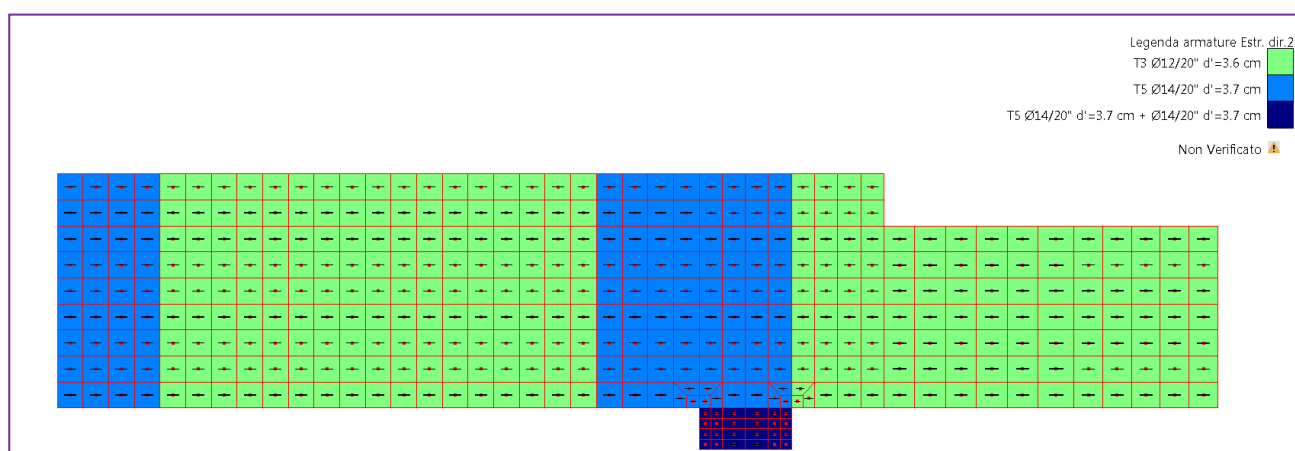


Parete esterna Est (filo 4)

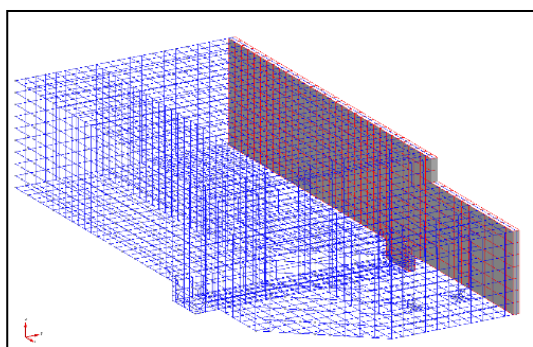
Vasca interrata



Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

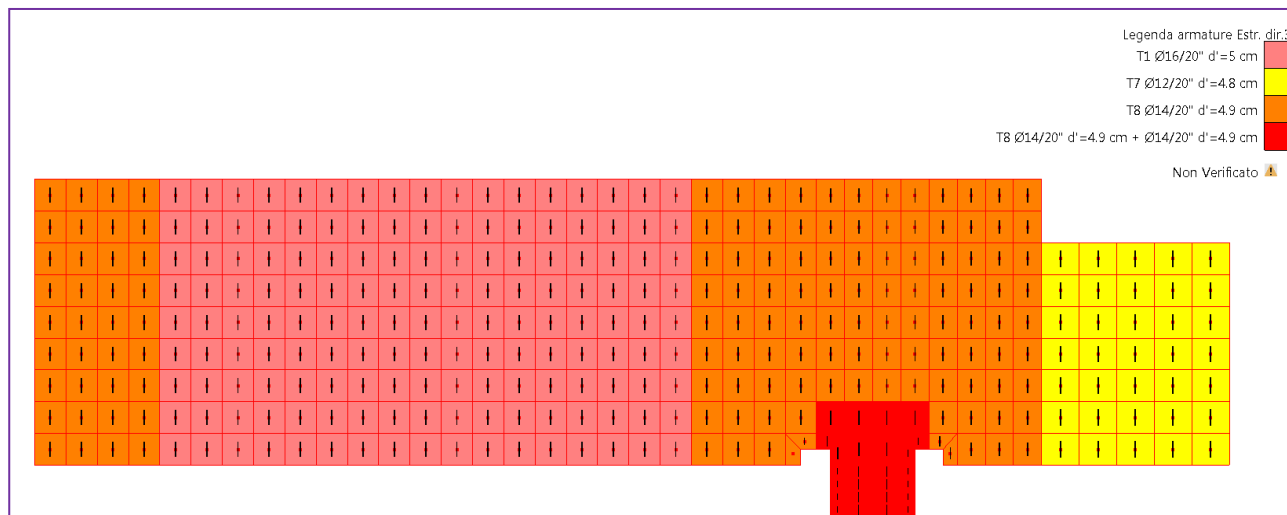


Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

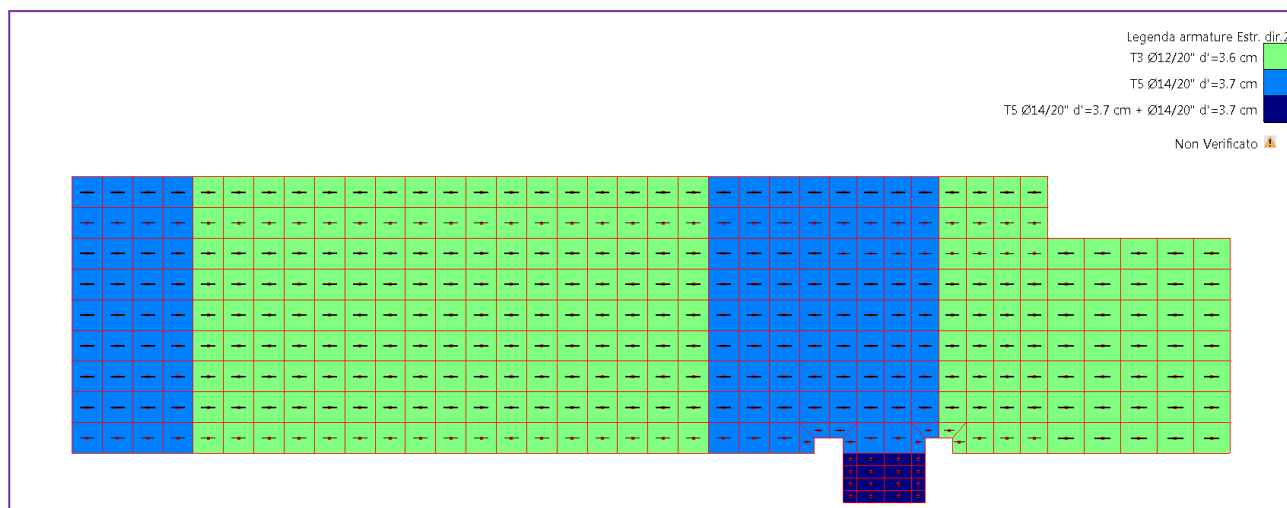


Parete esterna Est (filo 1)

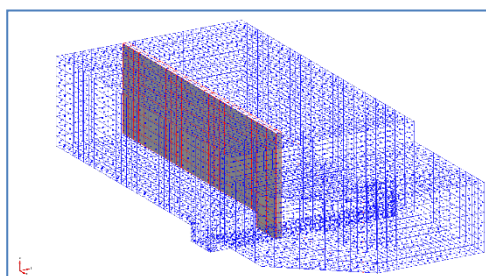
Vasca interrata



Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

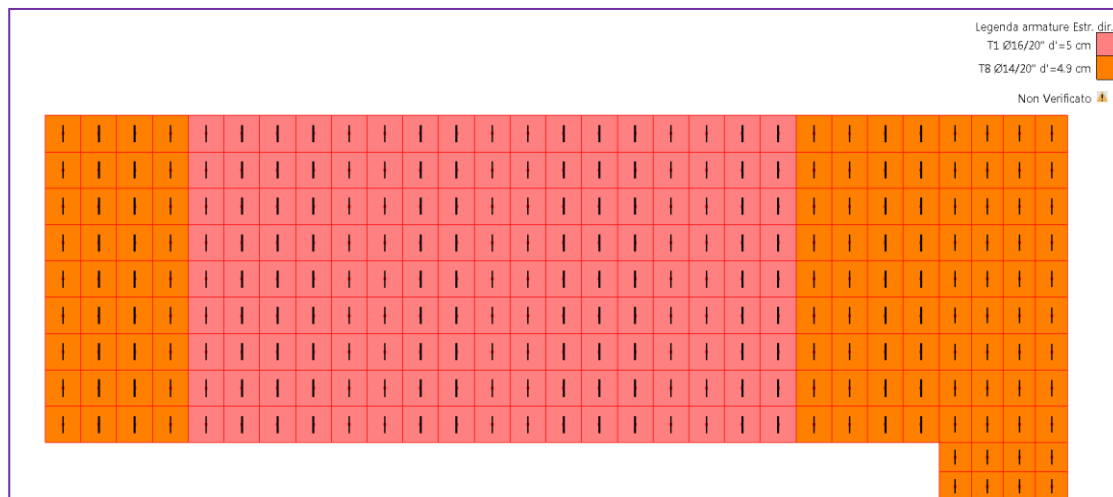


Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse x)

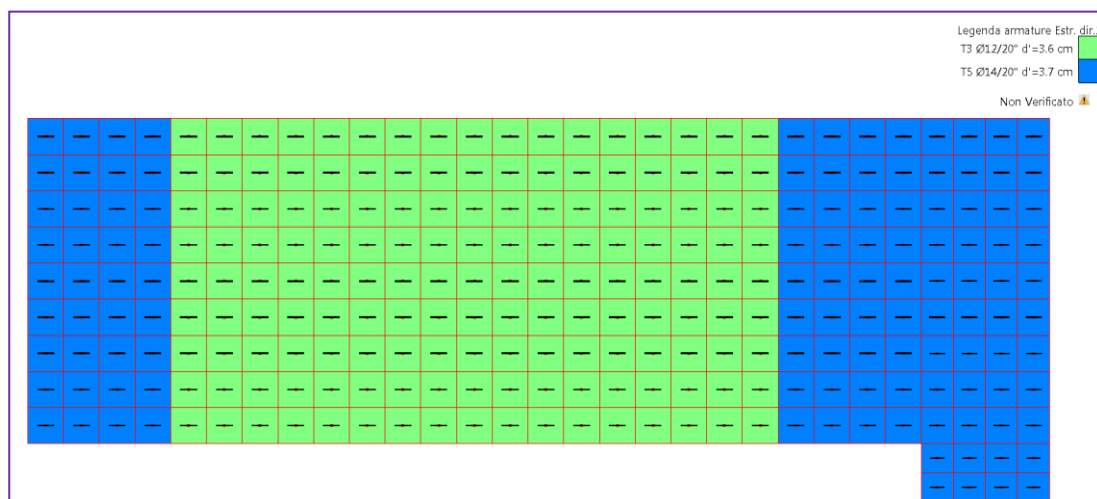


Parete interna separazione vasche

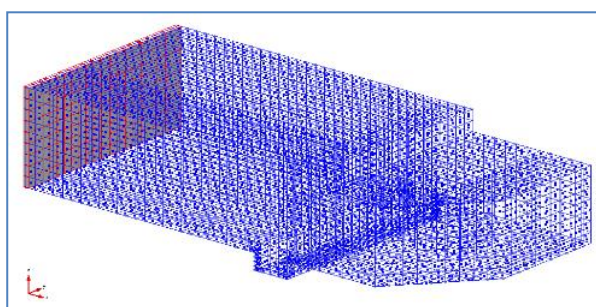
Vasca interrata



Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

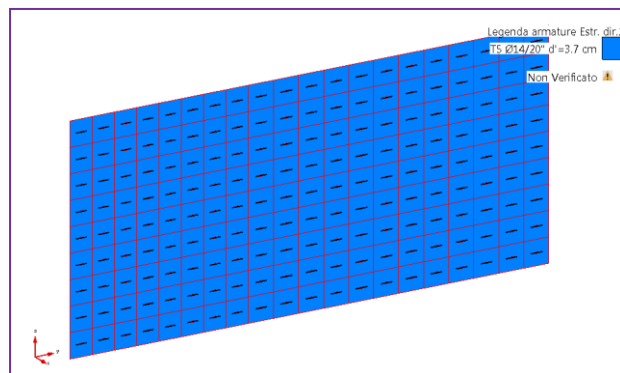
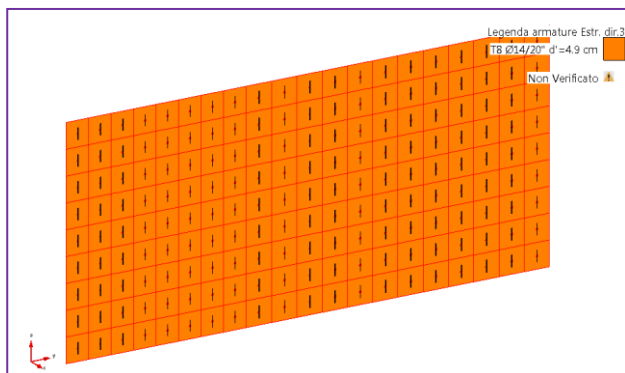


Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse x)



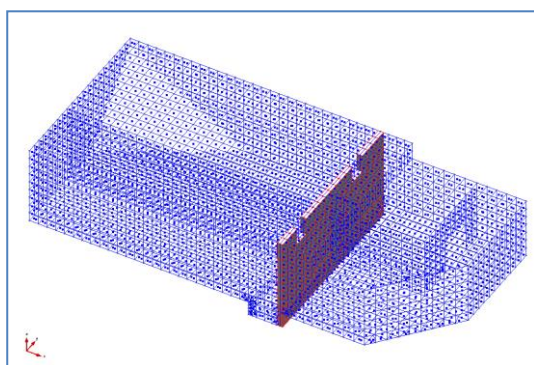
Parete esterna nord (pich. A)

Vasca interrata

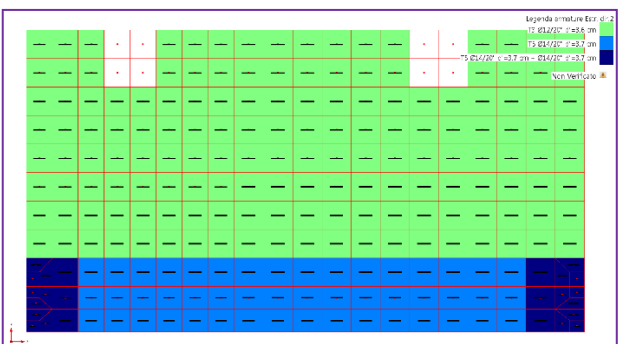
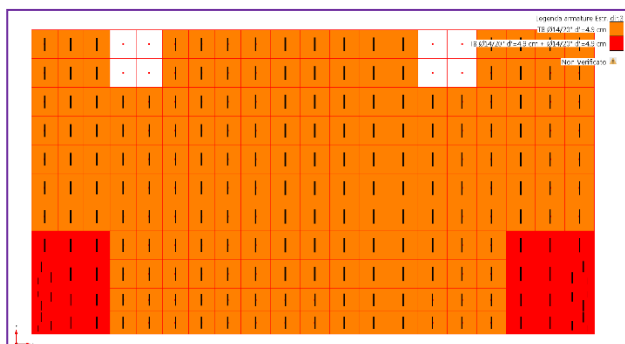


Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse y)

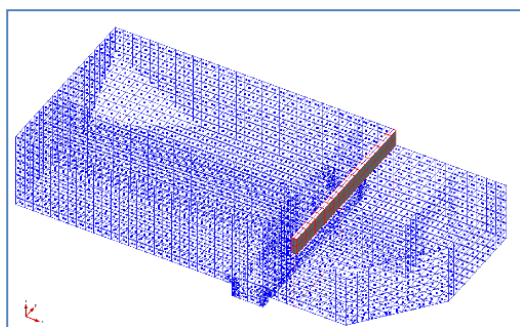


Parete interna (pich. C)



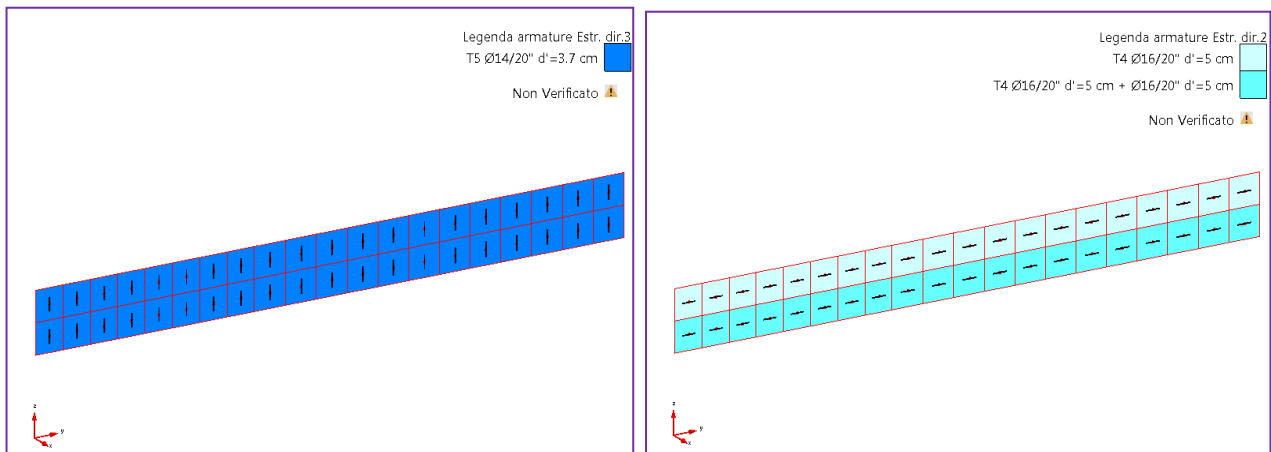
Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse y)



Trave parete interna (pich. D)

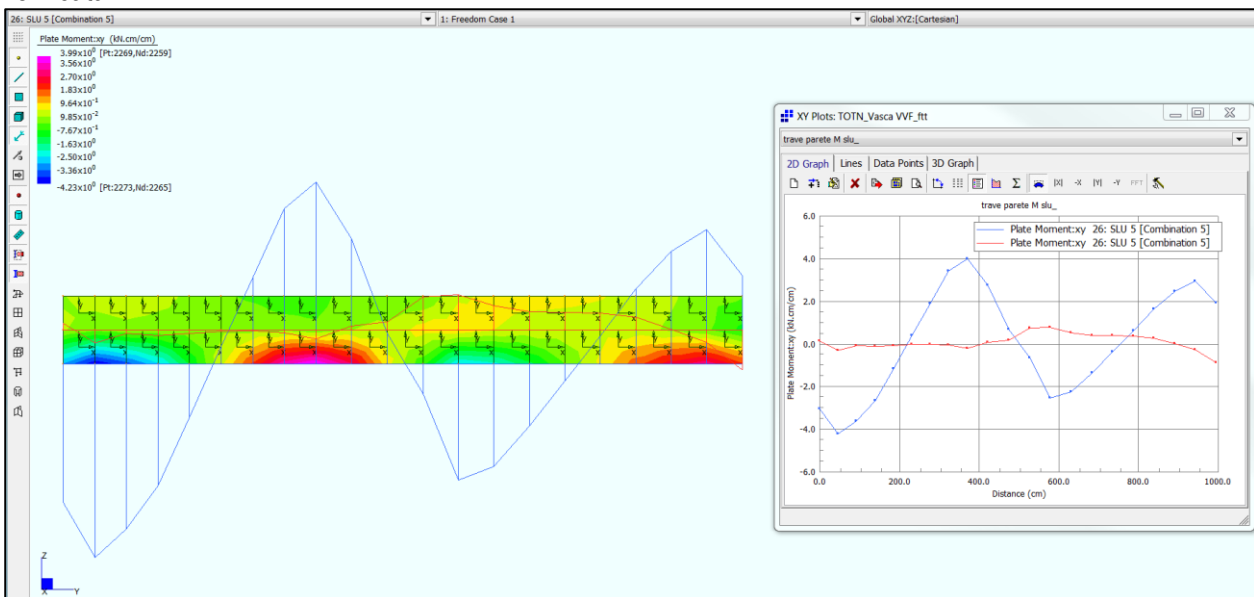
Vasca interrata



Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

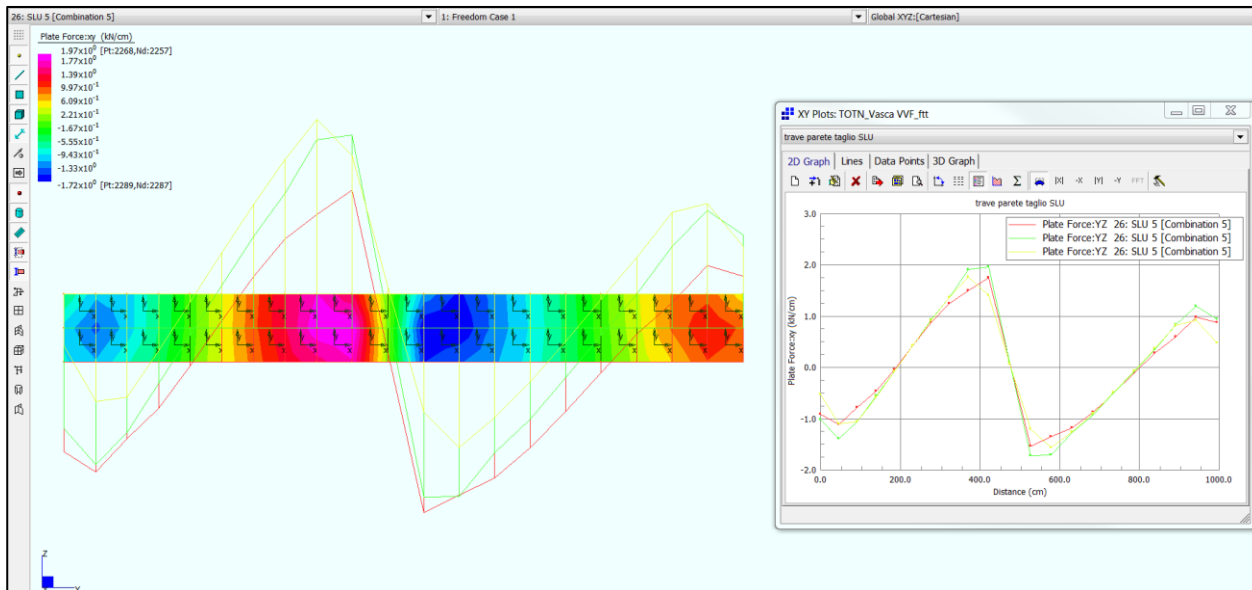
Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse y)

Si riporta per esteso l'analisi del comportamento nel proprio piano (effettuata con l'ausilio di programma Straus7) della trave parete e la verifica specifica considerata come trave a se stante. La sezione risulta ampiamente verificata.



Momento nel piano della trave parete

Vasca interrata



Taglio nel piano della trave parete

Valori delle sollecitazioni di progetto, valutate sulla combinazione più gravosa, SLU5:

Momento nel piano

pertinenza nodale = 50 cm

$M^+_{max} = 4.0 \text{ kNcm/cm} \quad 200 \text{ kNcm} \quad 2 \text{ kNm}$

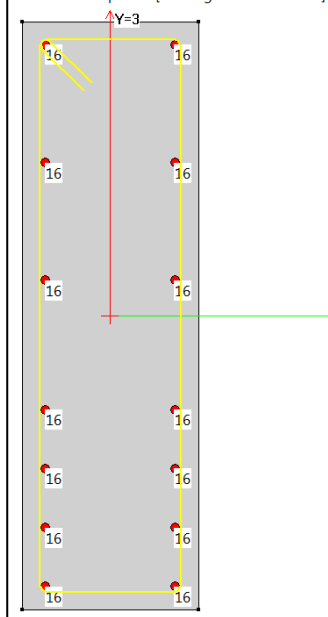
$M^-_{max} = -4.2 \text{ kNcm/cm} \quad -210 \text{ kNcm} \quad -2.1 \text{ kNm}$

Taglio nel piano

pertinenza nodale = 100 cm

$T_{max} = 1.9 \text{ kN/cm} \quad 190 \text{ kN}$

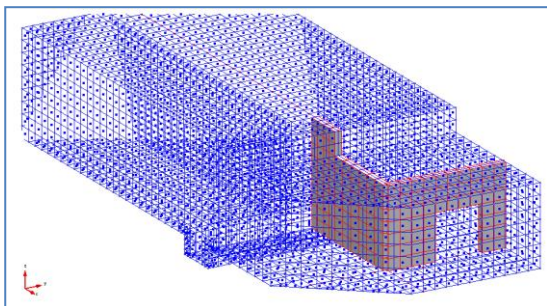
Sezione: trave parete [Rettangolare 30x100 cm]



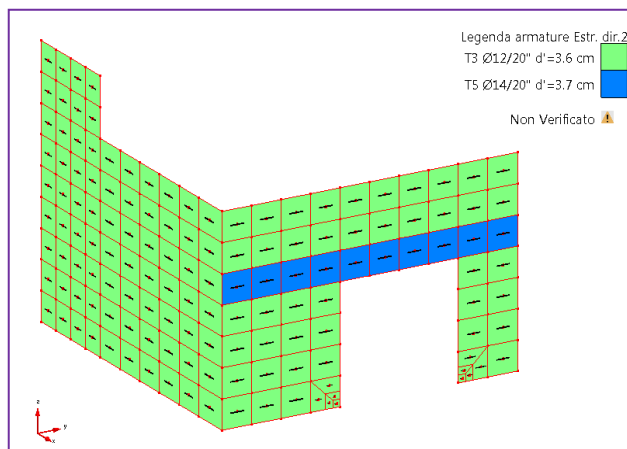
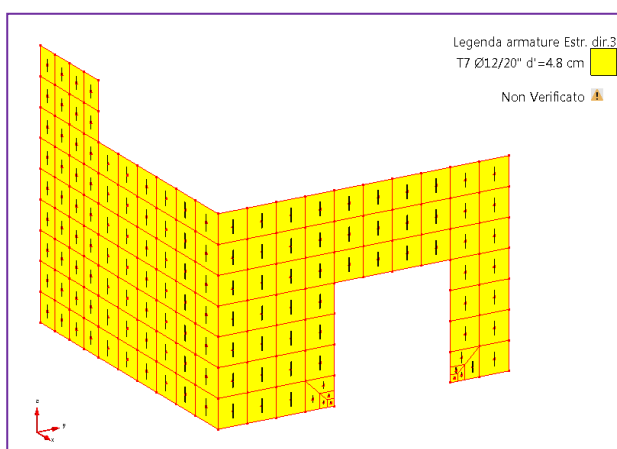
Verifica sezione

Generale		Sollecitazioni		Verifiche		Duttilità		M-chi		Preview	
	n°	N	M12	M13	CoeffNM	T12	CoeffT12	T13	CoeffT13		
		kN	kNm	kNm		kN		kN			
☐	1	0	0	2	0.00364974	0	0	190	0.194708		
☐	2	0	0	-2	0.0049232	0	0	190	0.194708		

Vasca interrata



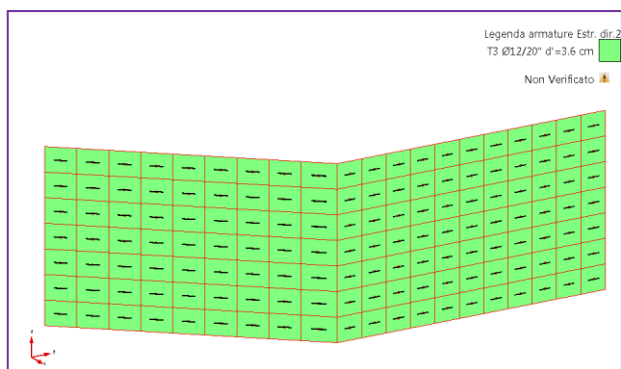
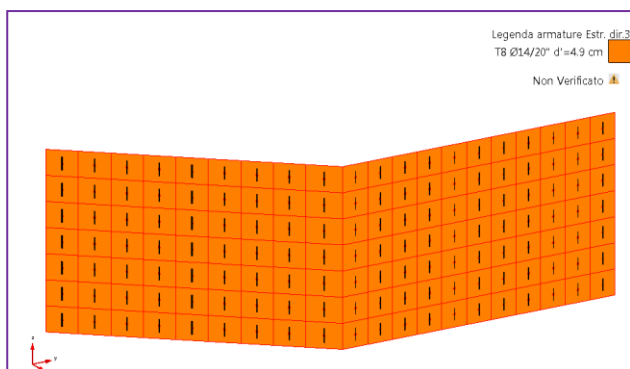
Pareti stanza interna



Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse y e //asse x)

Pareti esterne sud (pich. G)



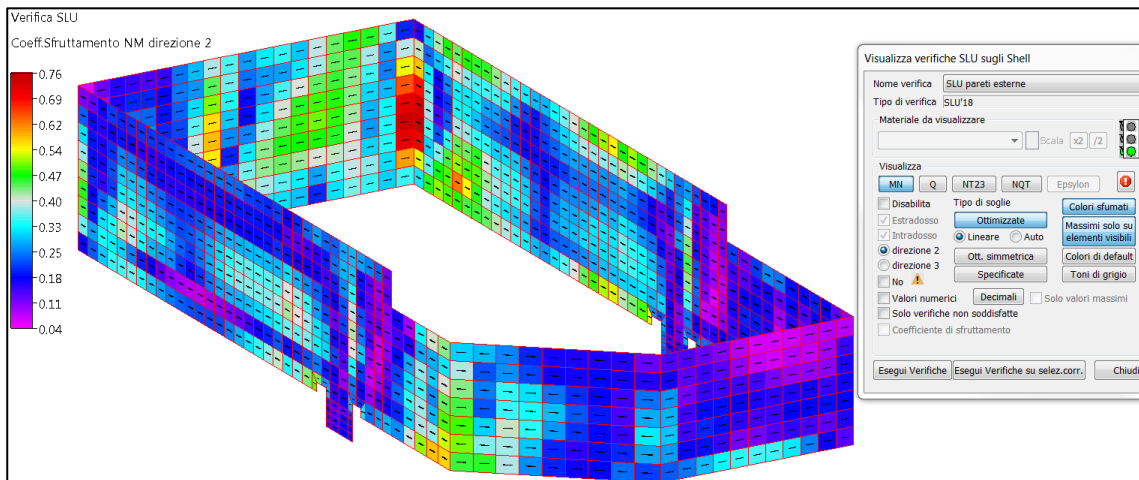
Armatura interna all'estradosso e all'intradosso in direzione 3 (direzione // asse z)

Armatura esterna all'estradosso e all'intradosso in direzione 2 (direzione // asse y)

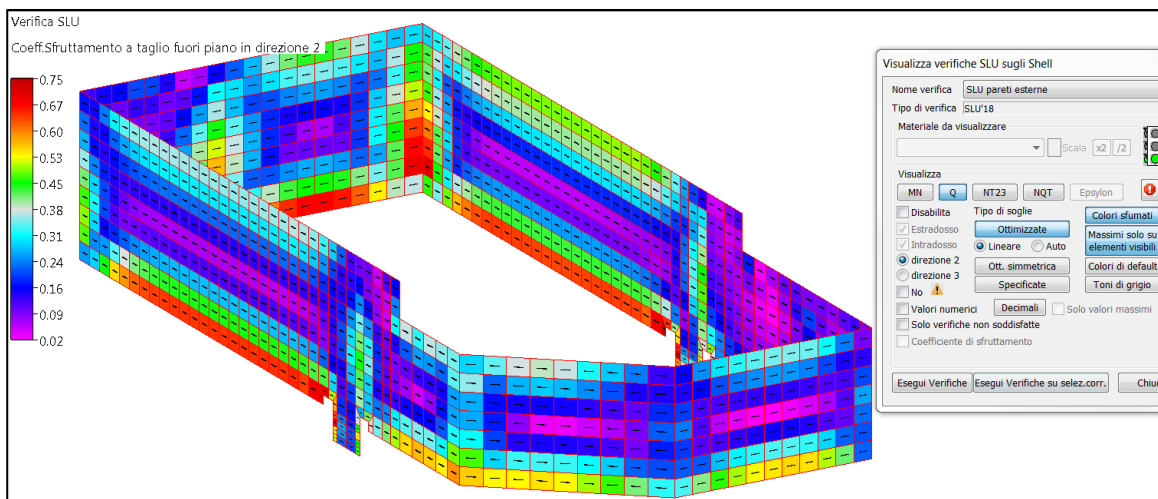
5.5.2 Verifiche SLU delle pareti

Le verifiche di resistenza SLU delle pareti risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

PARETI ESTERNE

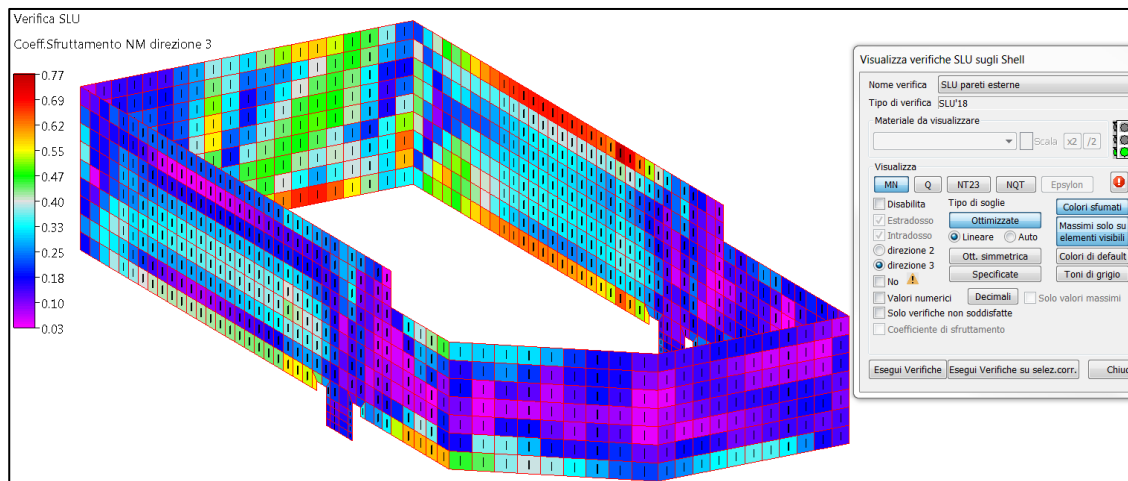


Verifica a pressoflessione in direzione 2 (direzione // asse x, // y)

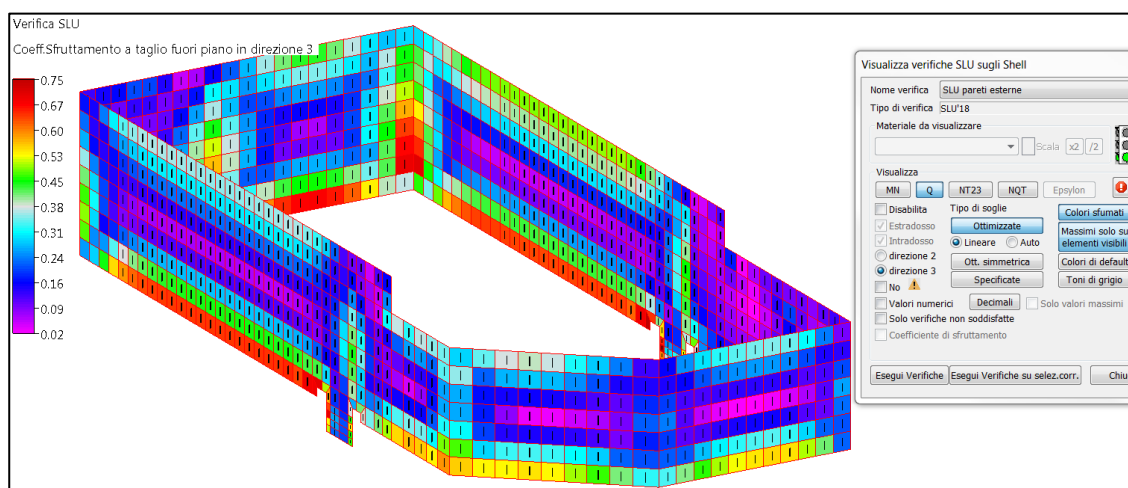


Verifica a taglio in direzione 2 (direzione // asse x, // asse y)

Vasca interrata

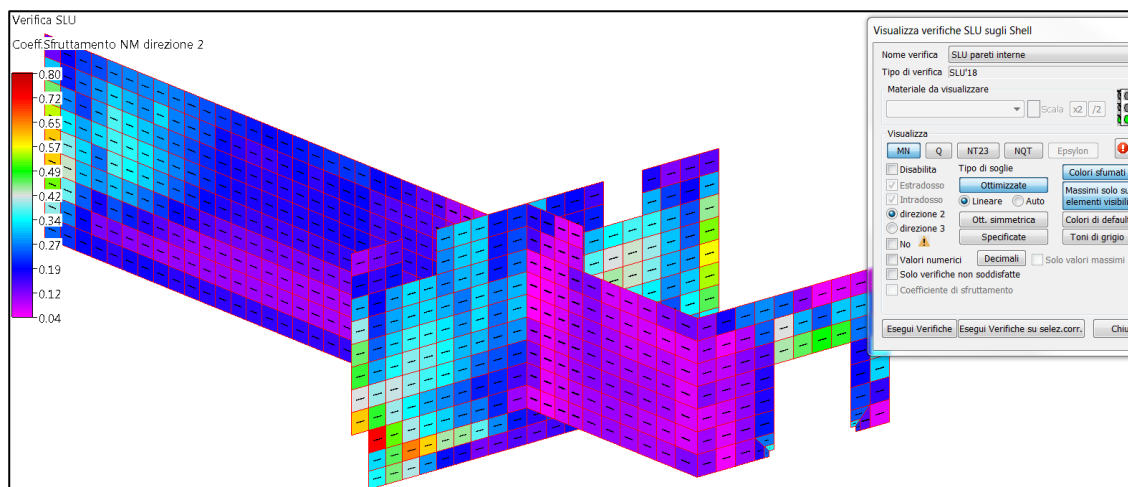


Verifica a pressoflessione in direzione 3 (direzione // asse z)



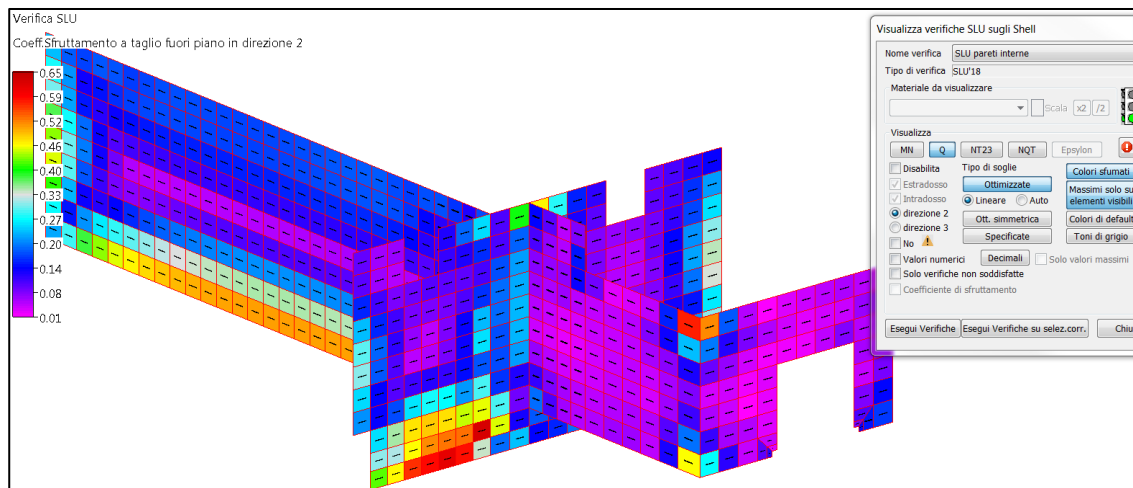
Verifica a taglio fuori del piano in direzione 3 (direzione // asse z)

PARETI INTERNE

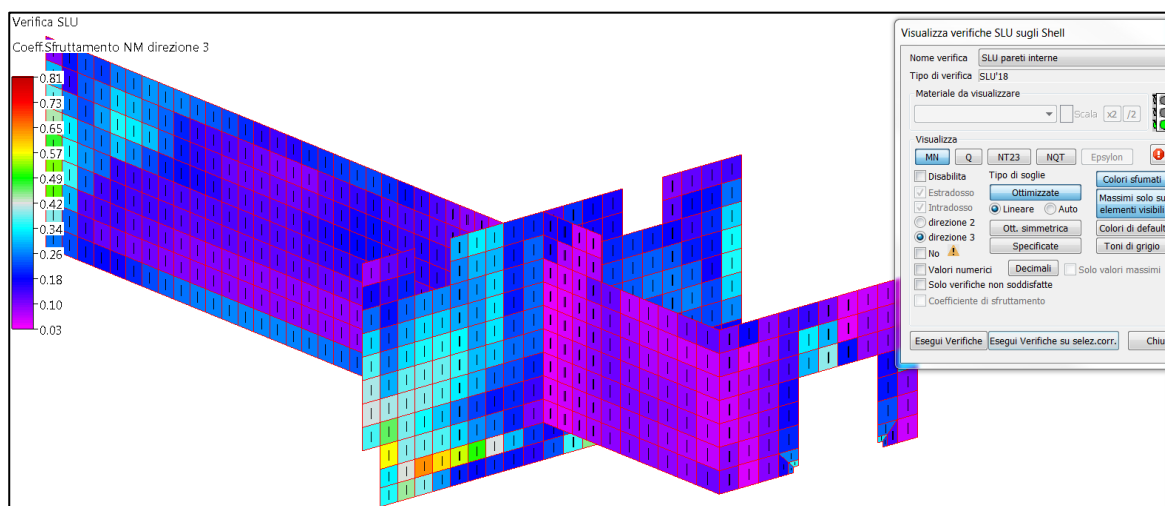


Verifica a pressoflessione in direzione 2 (direzione // asse x, // y)

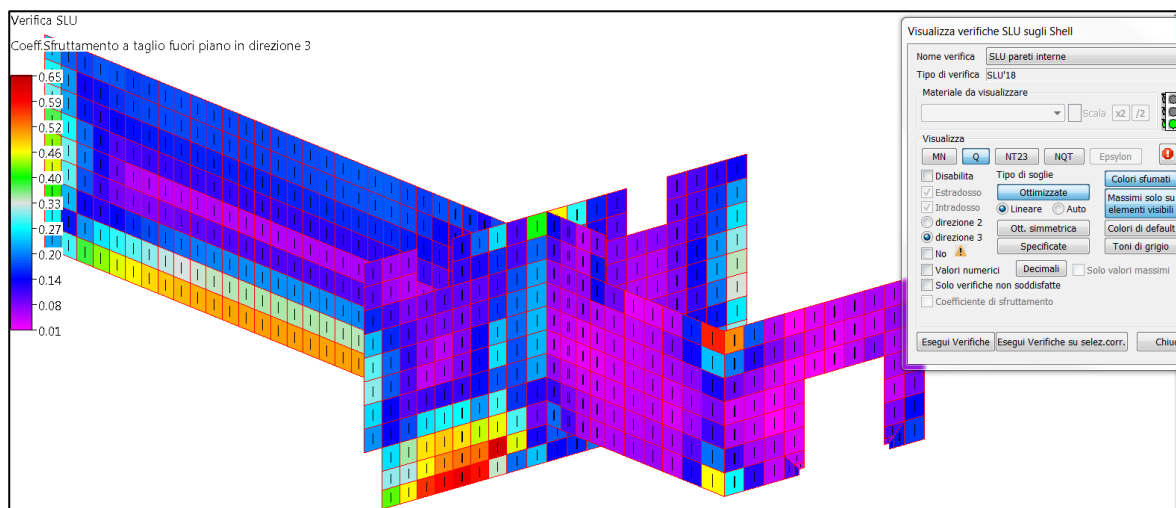
Vasca interrata



Verifica a taglio fuori del piano in direzione 2 (direzione // asse x, // asse y)



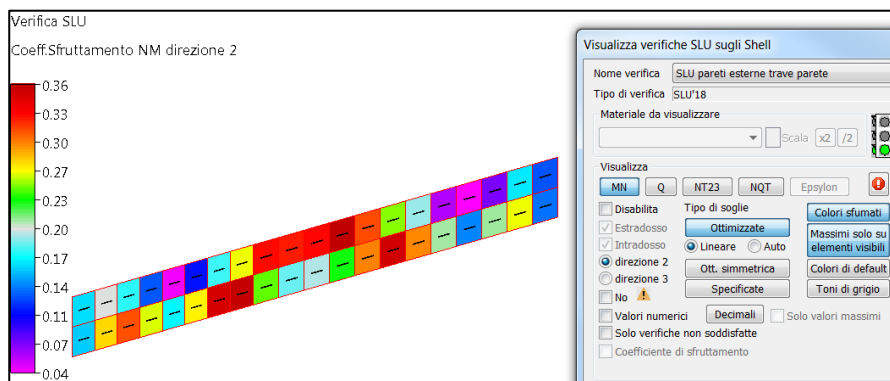
Verifica a pressoflessione in direzione 3 (direzione // asse z)



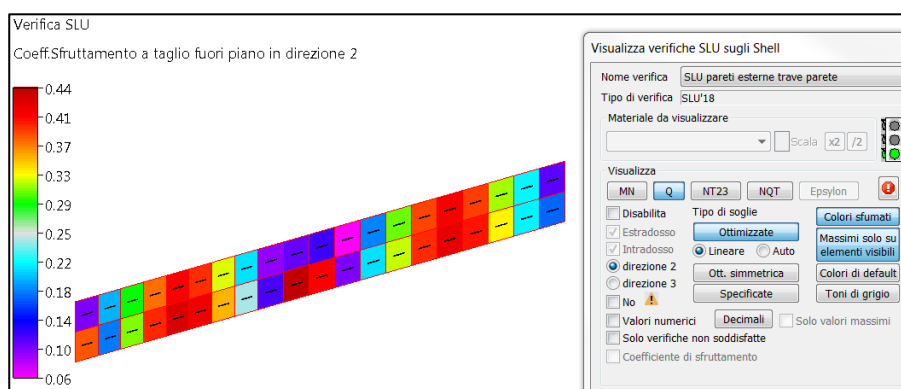
Verifica a taglio in direzione 3 (direzione // asse z)

Vasca interrata

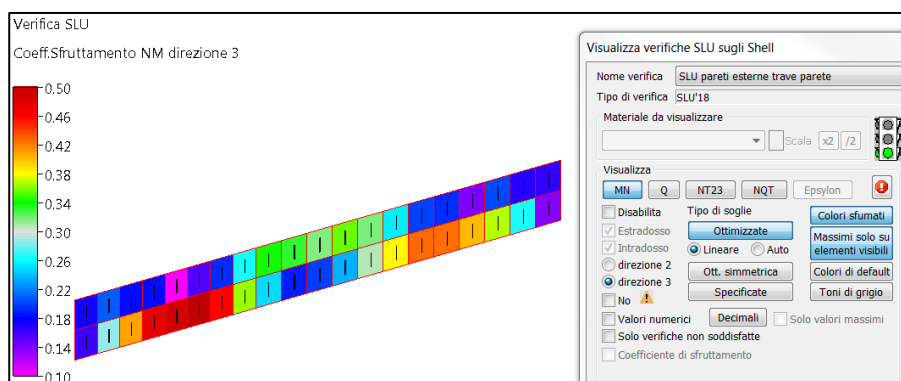
TRAVE PARETE



Verifica a pressoflessione in direzione 2 (direzione // asse x, // y)

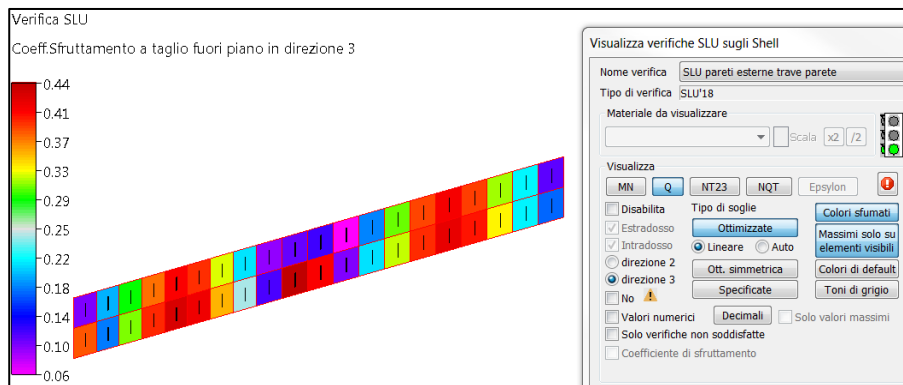


Verifica a taglio in direzione 2 (direzione // asse x, // asse y)



Verifica a pressoflessione in direzione 3 (direzione // asse z)

Vasca interrata



Verifica a taglio in direzione 3 (direzione // asse z)

5.5.3 Verifiche SLE PARETI

Le verifiche SLE di resistenza in termini tensionali su compressione del cls e trazione delle barre e le verifiche di fessurazione risultano tutte positive, si riportano alcune immagini esplicative.

Relativamente alle verifiche tensionali si riscontra sempre:

$$\sigma_{c,max,SLER} < 0.6 f_{ck} = -19.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,max,SLQP} < 0.4 f_{ck} = -14.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{s,max,SLER} < 0.8 f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$$

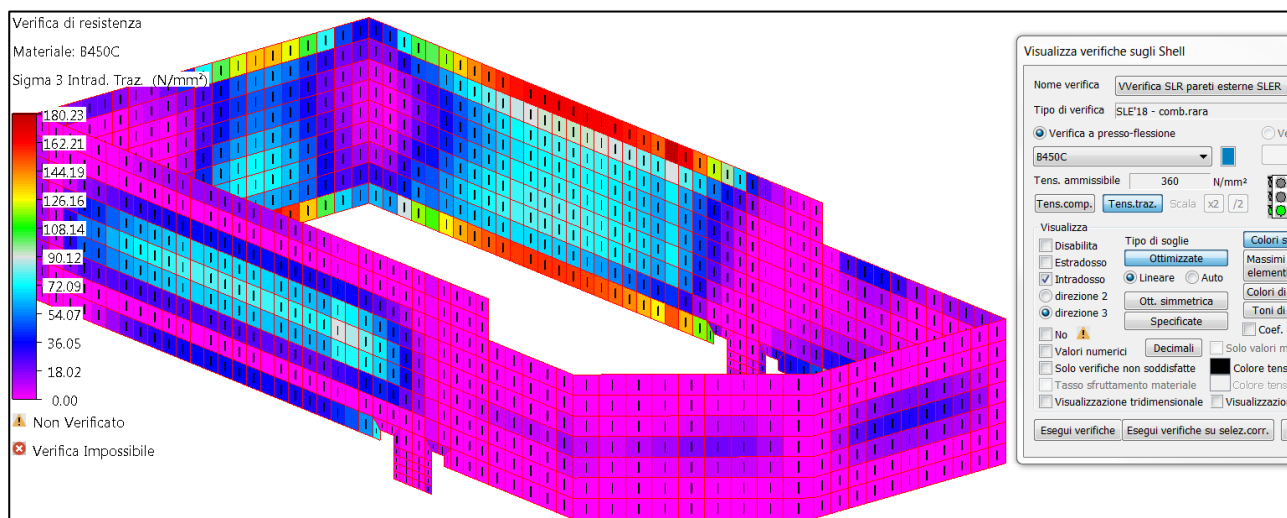
Relativamente alle verifiche di apertura delle fessure si riscontra sempre:

$$\text{apertura fessure SLF} < w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

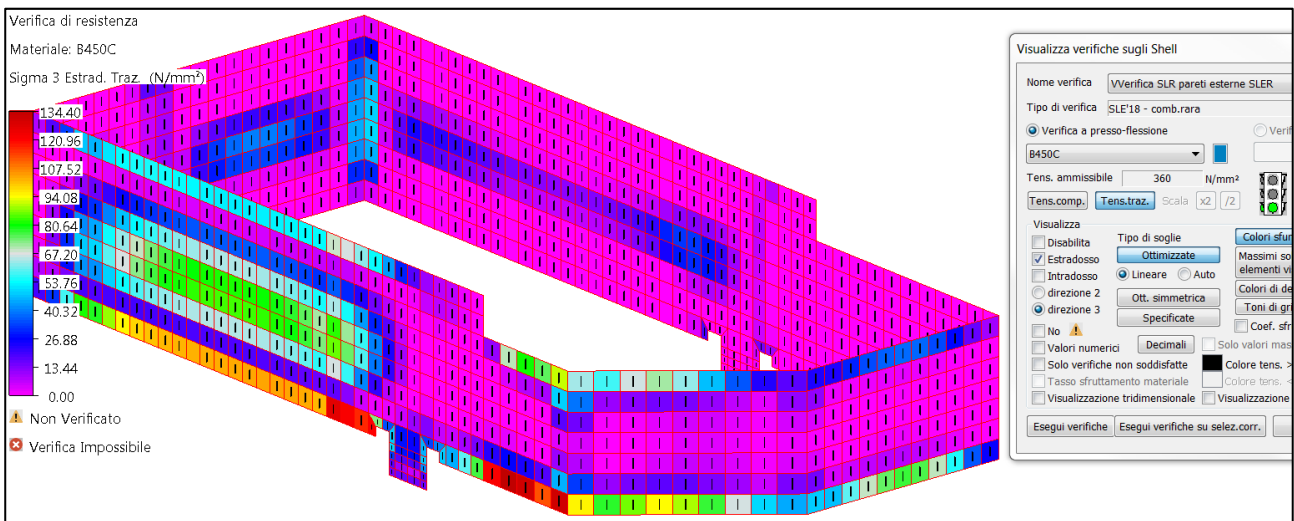
$$\text{apertura fessure SLQP} < w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

5.5.3.1 Verifiche SLE R Pareti

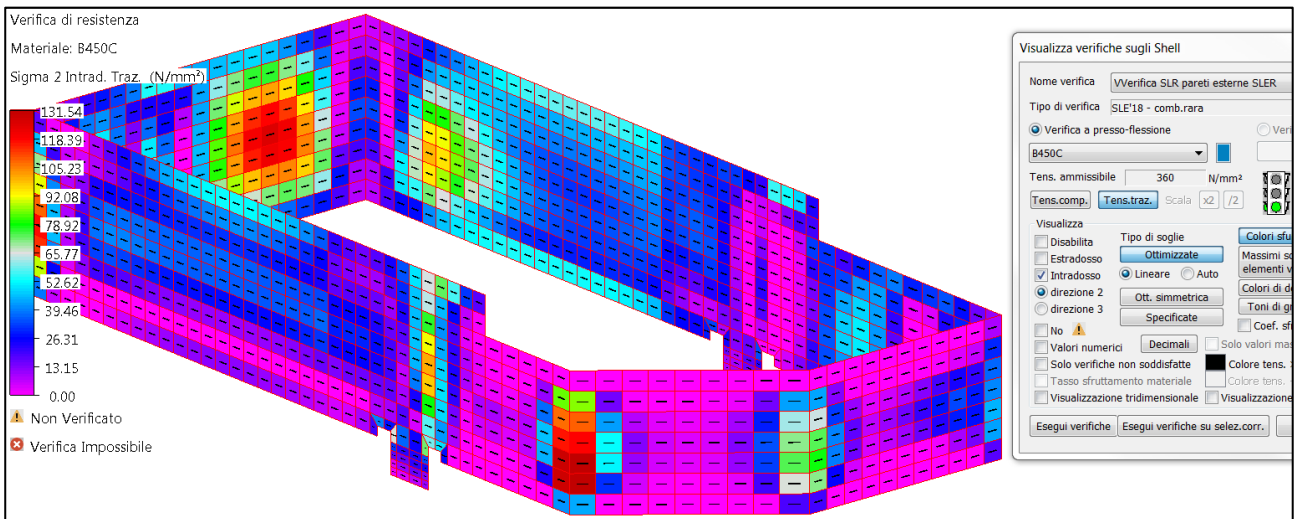
PARETI ESTERNE



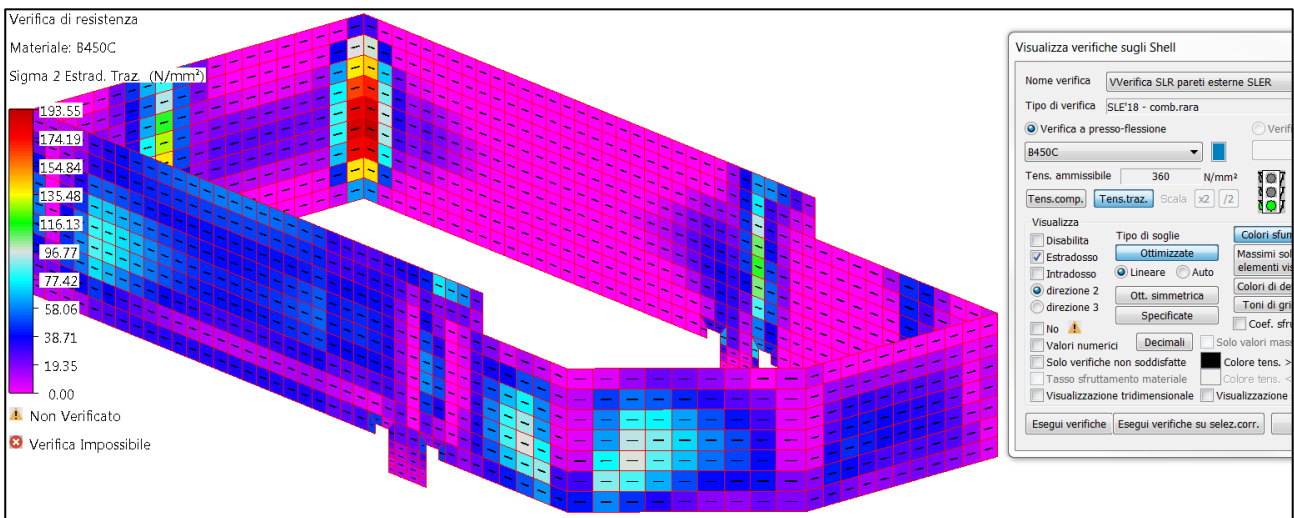
Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 3



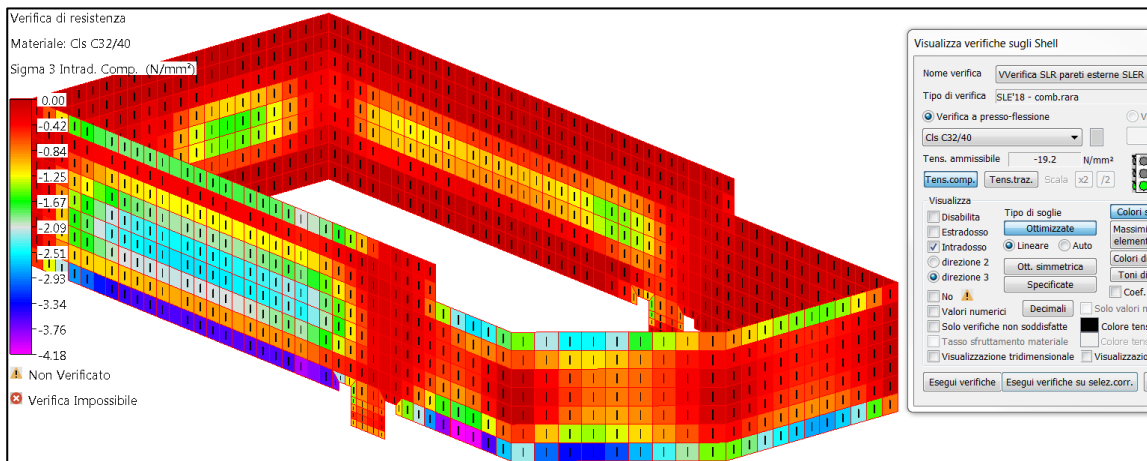
Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 3



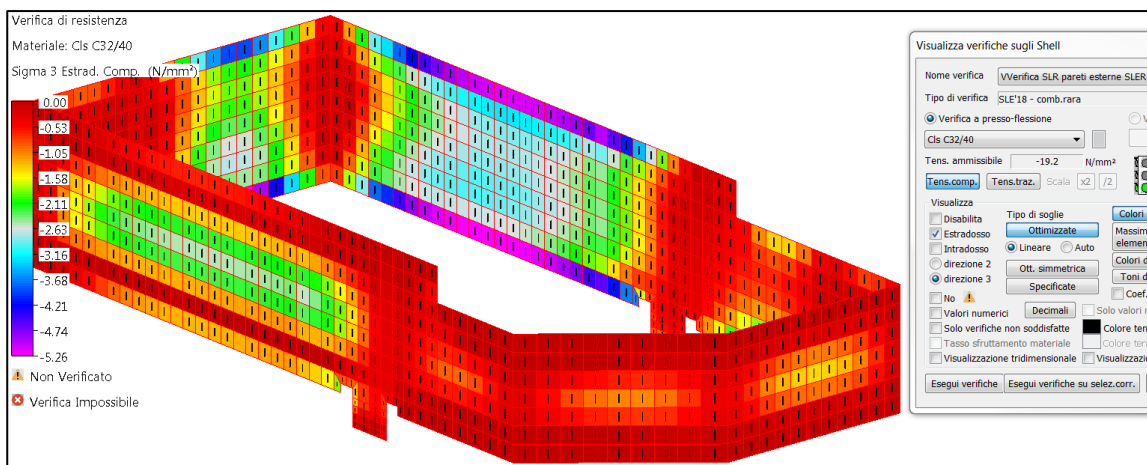
Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 2



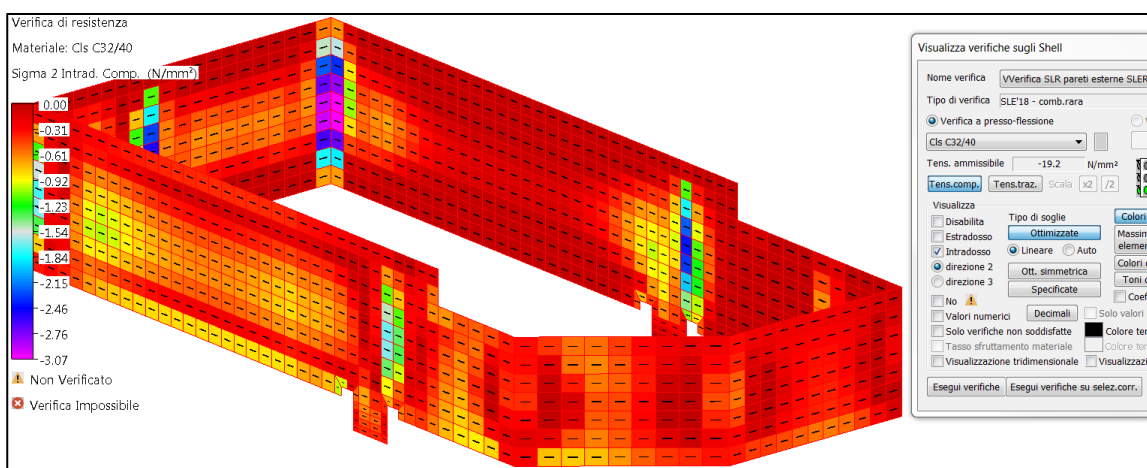
Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 2



Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 3 intradosso

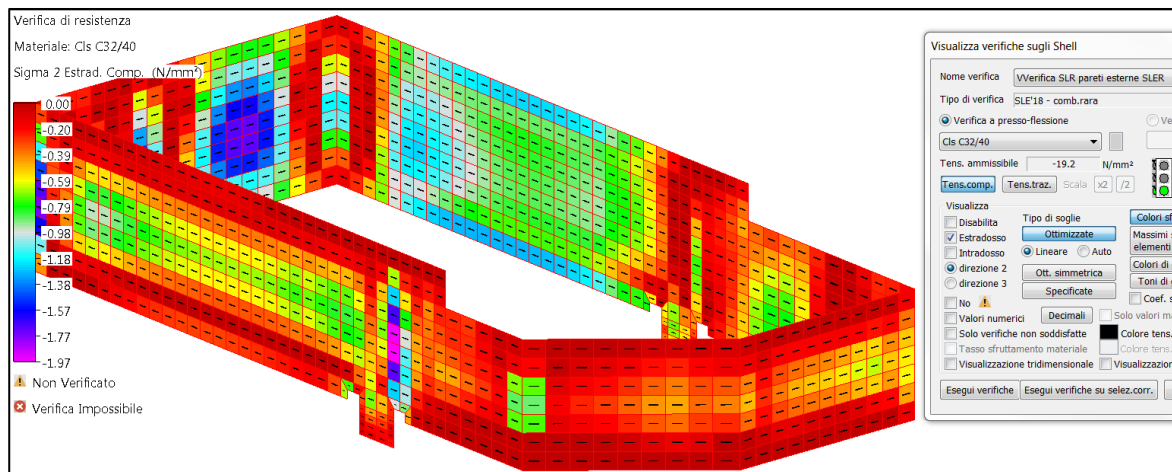


Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 3 estradosso



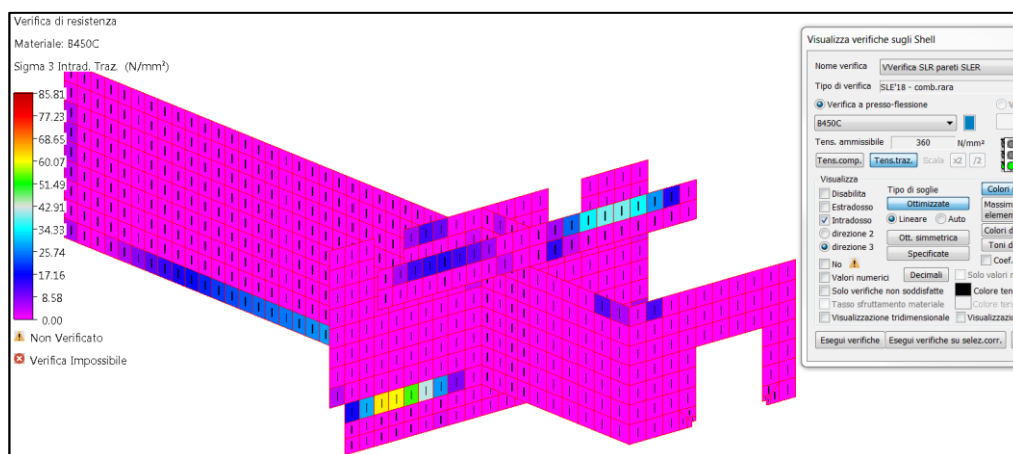
Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 2 intradosso

Vasca interrata

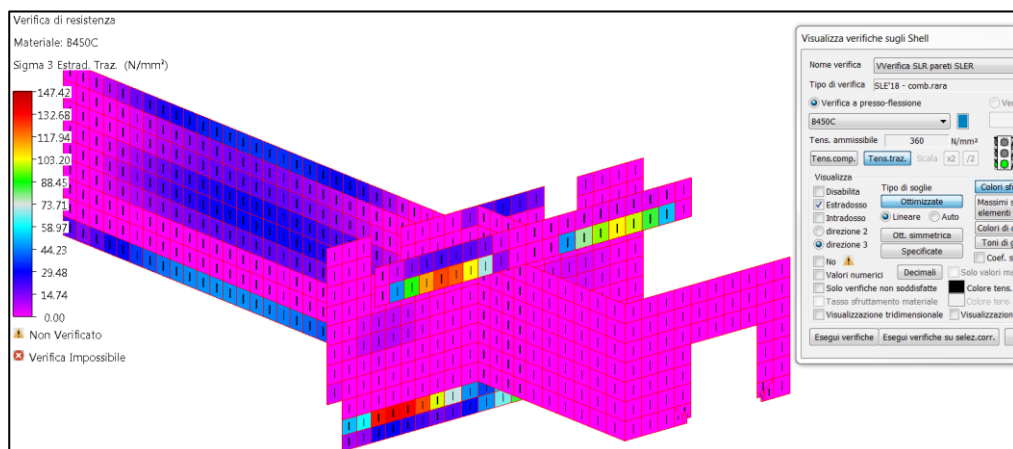


Verifica SLE R a pressoflessione – tensione compressione cls - direzione 2 estradosso

PARETI INTERNE E TRAVE PARETE

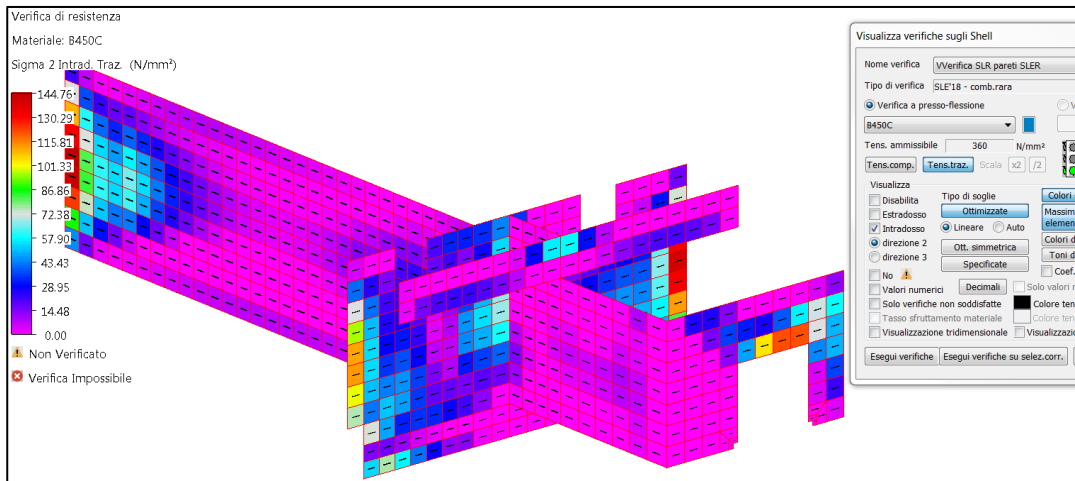


Verifica SLER a presso flessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 3

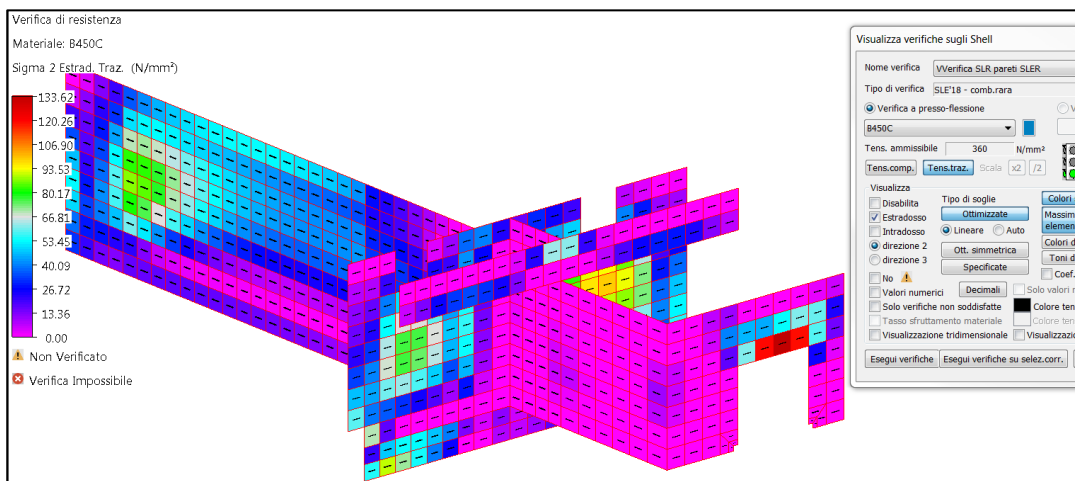


Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 3

Vasca interrata



Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura intradosso in direzione 2



Verifica SLER a pressoflessione – tensione trazione armatura estradosso in direzione 2

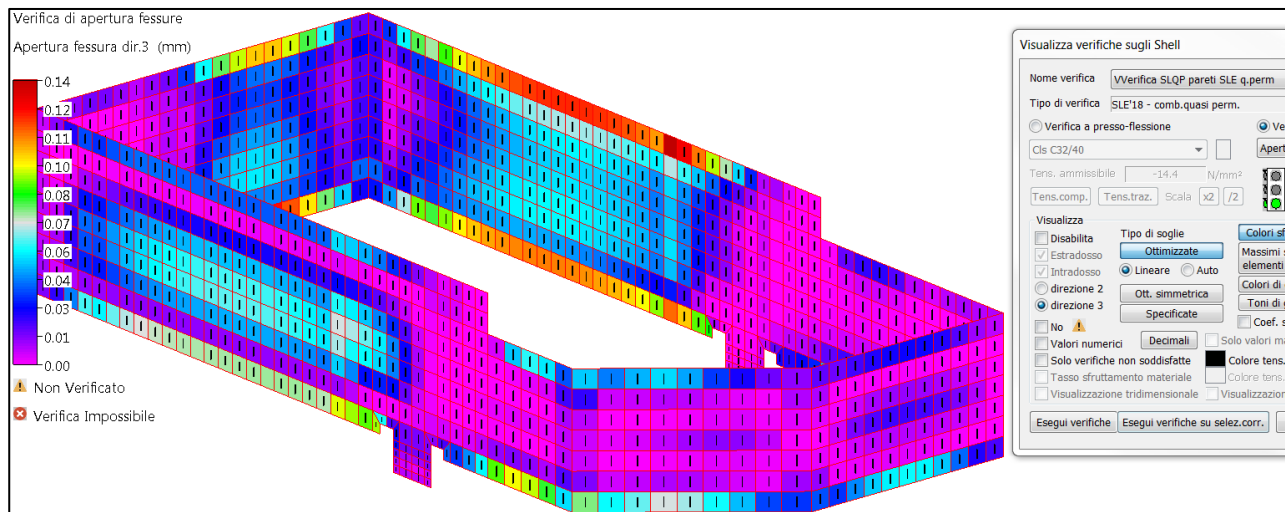
5.5.3.2 Verifiche SLQP e SLF pareti

Relativamente alle verifiche tensionali, visti i valori riscontrati in SLER, le verifiche tensionali sul cls compresso in SLQP sono automaticamente soddisfatte.

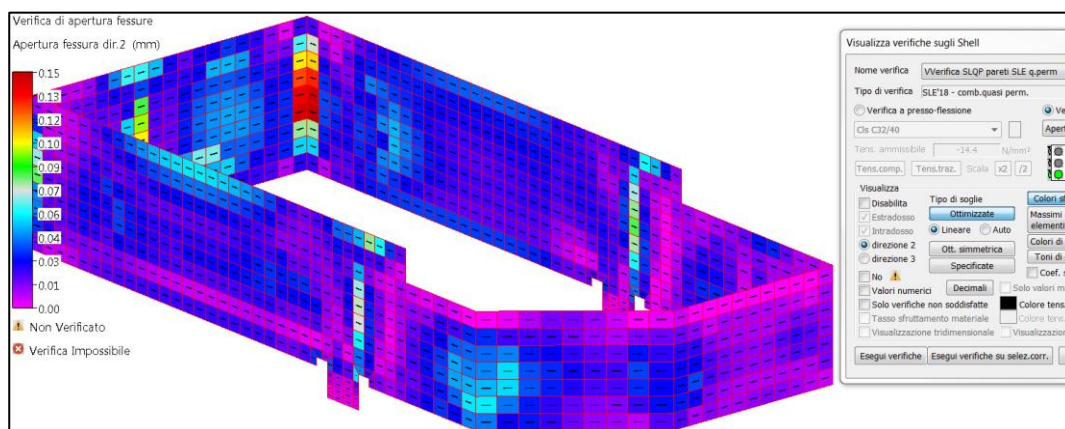
Relativamente alle verifiche di fessurazione SLF esse risultano soddisfatte essendo i valori delle aperture delle fessure prossimi a quelli in SLQP di seguito riportati.

PARETI ESTERNE

Vasca interrata

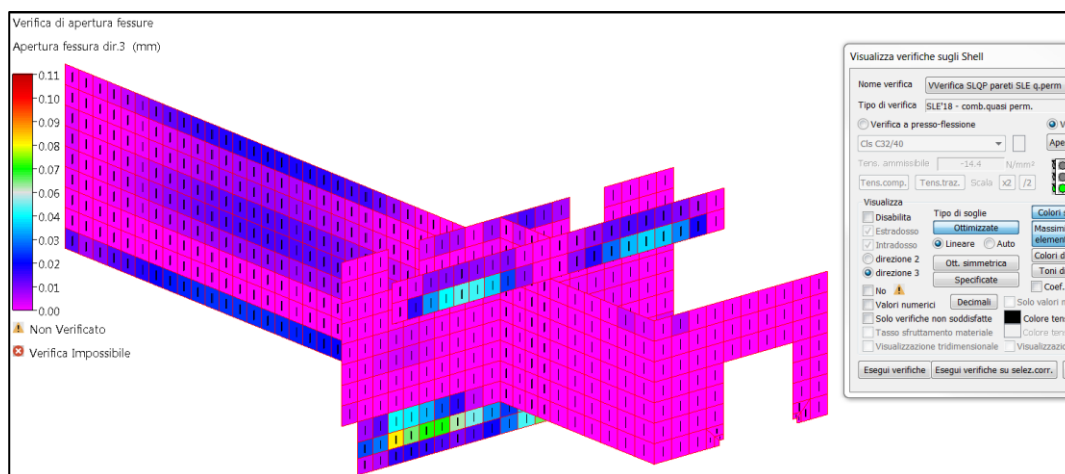


Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 3



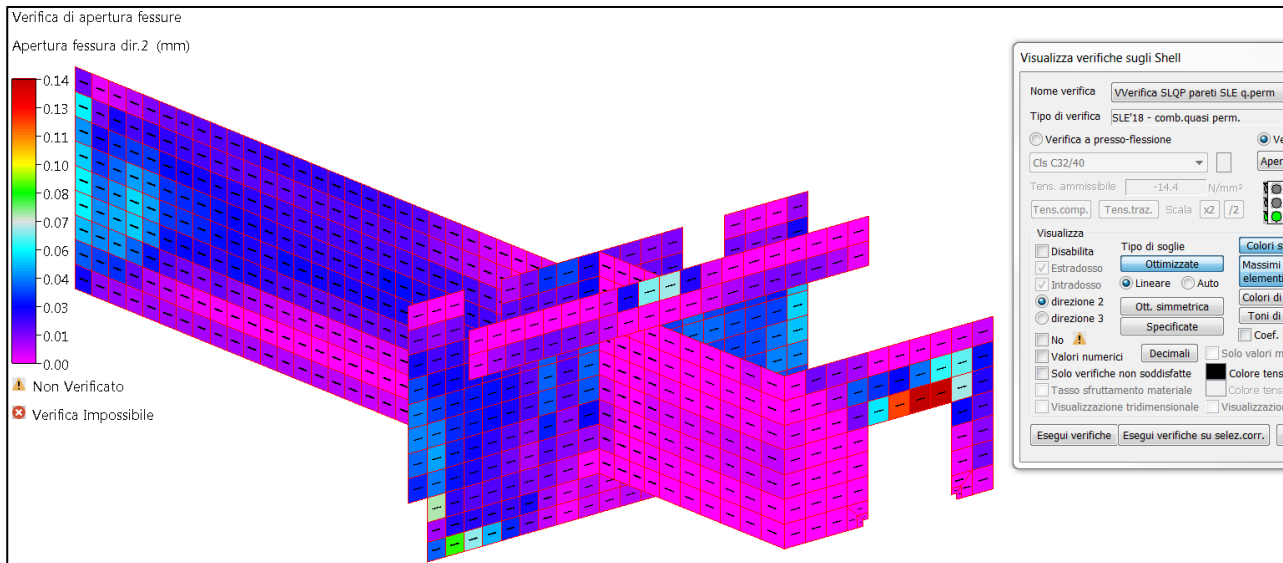
Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 2

PARETI INTERNE E TRAVE PARETE



Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 3

Vasca interrata



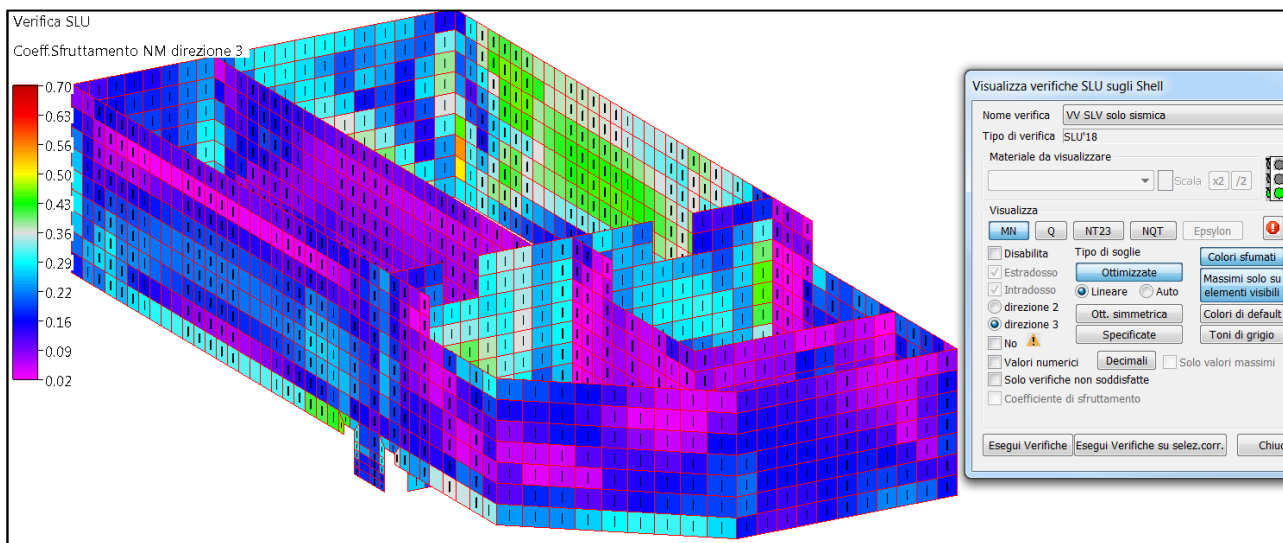
Verifica SLE QP apertura fessure –direzione 2

5.5.4 Verifiche di Deformabilità

Le deformazioni rilevate, riportate nel paragrafo dedicato, sulle pareti risultano più che ammissibili per la funzionalità della struttura.

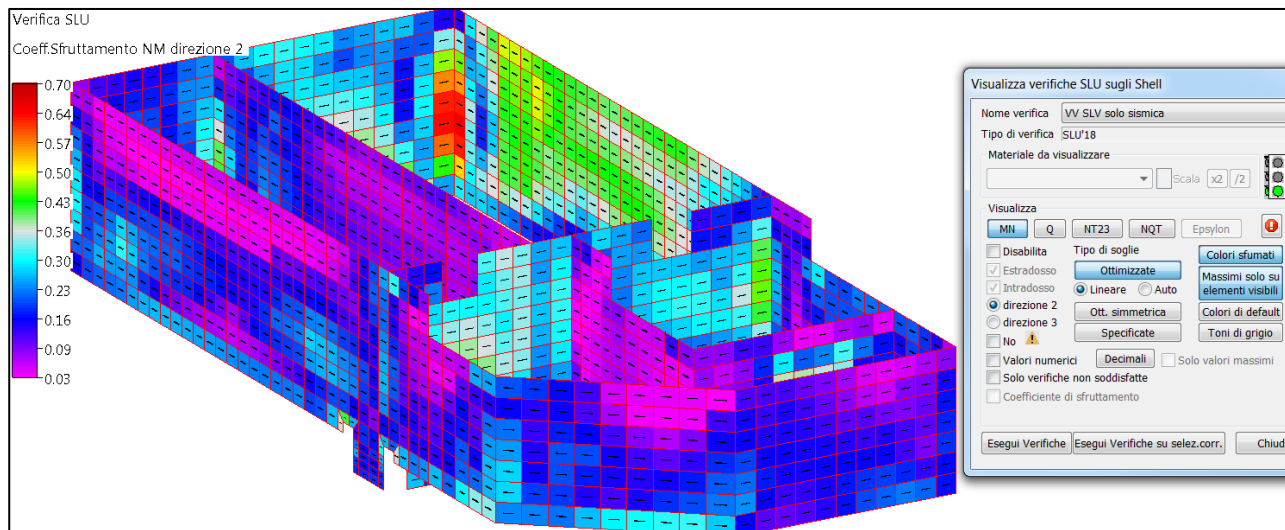
5.6 Verifica SLV della struttura.

Dall'analisi della struttura risulta che le sollecitazioni indotte dalle azioni sismiche, vedi combinazioni SLV, risultano inferiori a quelle riscontrate sotto le combinazioni SLU statiche e pertanto le verifiche ampiamente soddisfatte. Si riportano solo alcune immagini dei relativi Report di verifica.

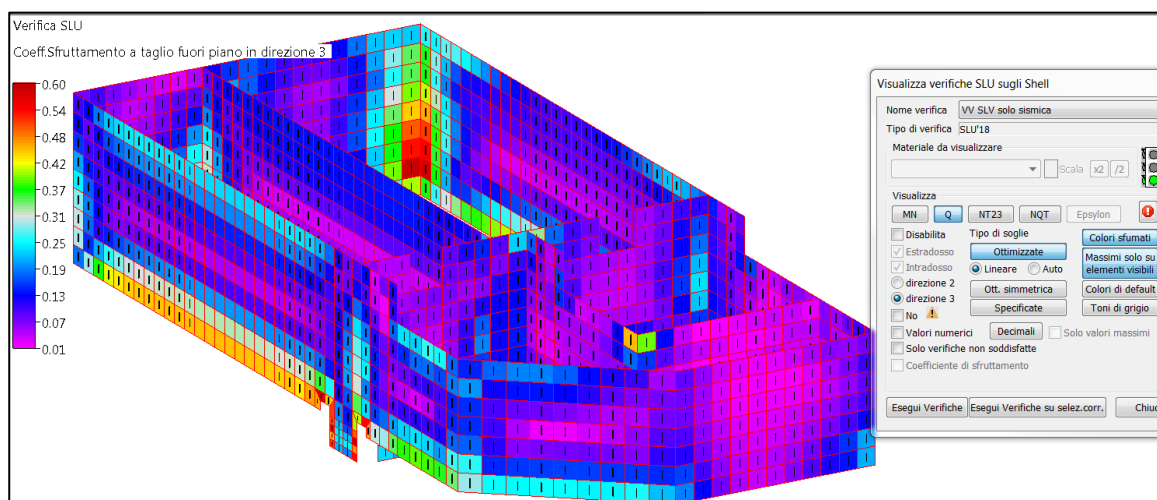


Verifica SLV - presso flessione in direzione 3 (direzione // asse z) – PARETI

Vasca interrata



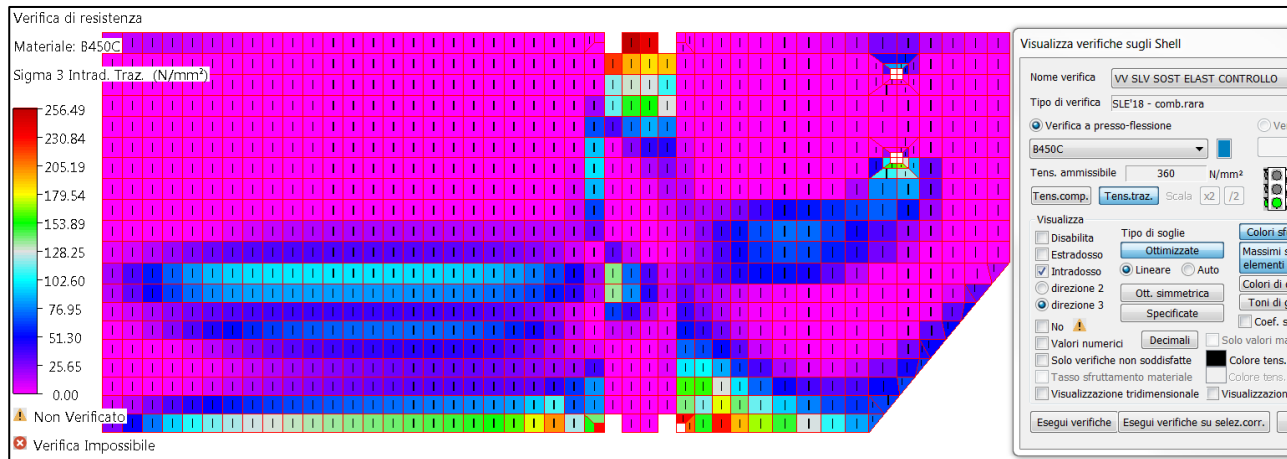
Verifica SLV - pressoflessione in direzione 2 (direzione // asse x, // asse y) – PARETI



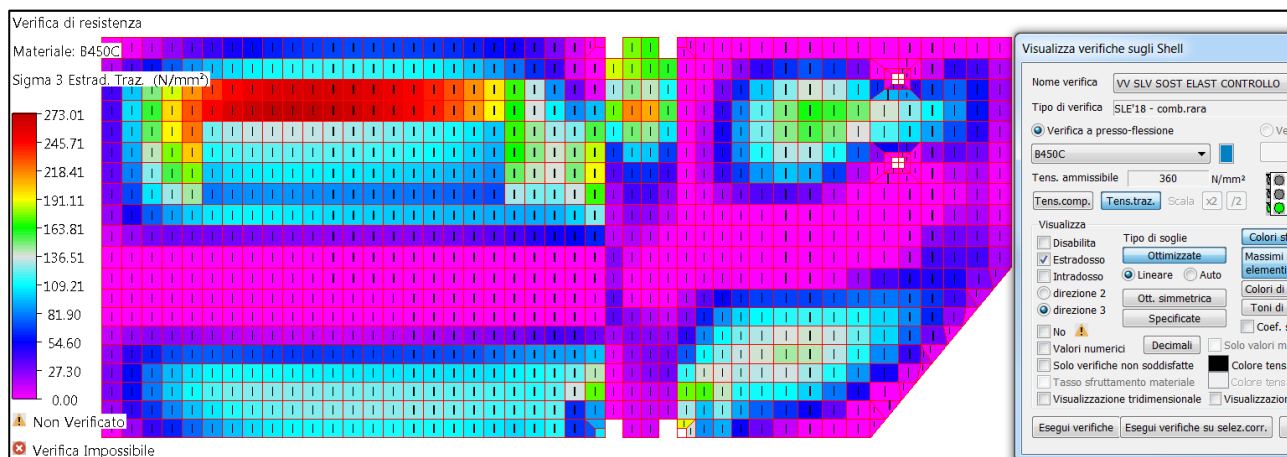
Verifica SLV - taglio fuori del piano – PARETI

A controllo del comportamento sostanzialmente elastico della platea di fondazione sotto le azioni sismiche si riporta la valutazione delle tensioni dell'acciaio ricavate effettuando verifiche di resistenza in esercizio sotto lo stato di sollecitazioni indotto dalle combinazioni SLV, che risultano ampiamente positive.

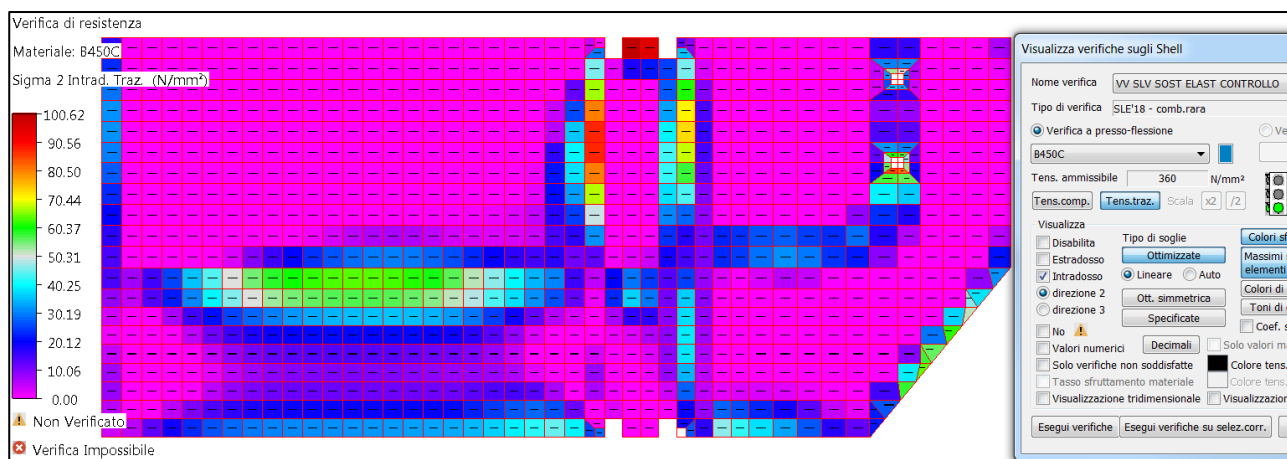
Vasca interrata



Tensioni di trazione nelle barre d'armatura - involucro sismico SLV – barre trasversali intradosso

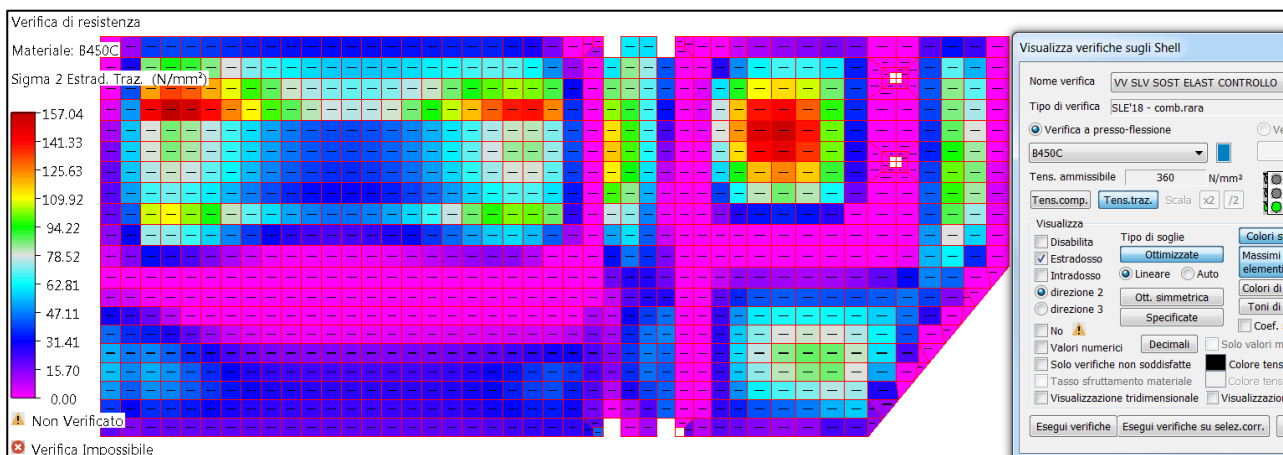


Tensioni di trazione nelle barre d'armatura - involucro sismico SLV – barre trasversali estradosso



Tensioni di trazione nelle barre d'armatura - involucro sismico SLV – barre longitudinali intradosso

Vasca interrata

*Tensioni di trazione nelle barre d'armatura - involucro sismico SLV – barre longitudinali estradosso*

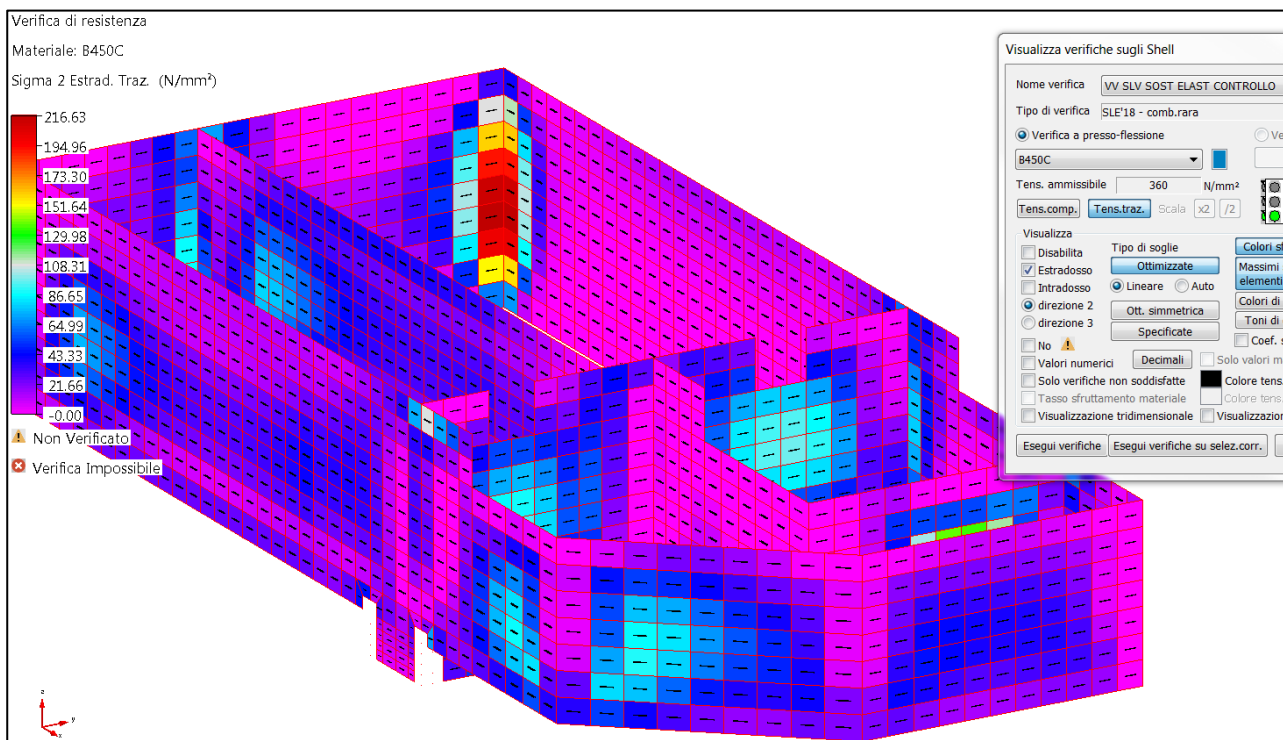
Nelle immagini è indicato lo stato tensionale delle barre della platea sotto le azioni sismiche SLV, che risulta ampiamente in campo elastico, infatti:

$$\sigma_{s,SLV,max} = 256 \text{ N/mm}^2$$

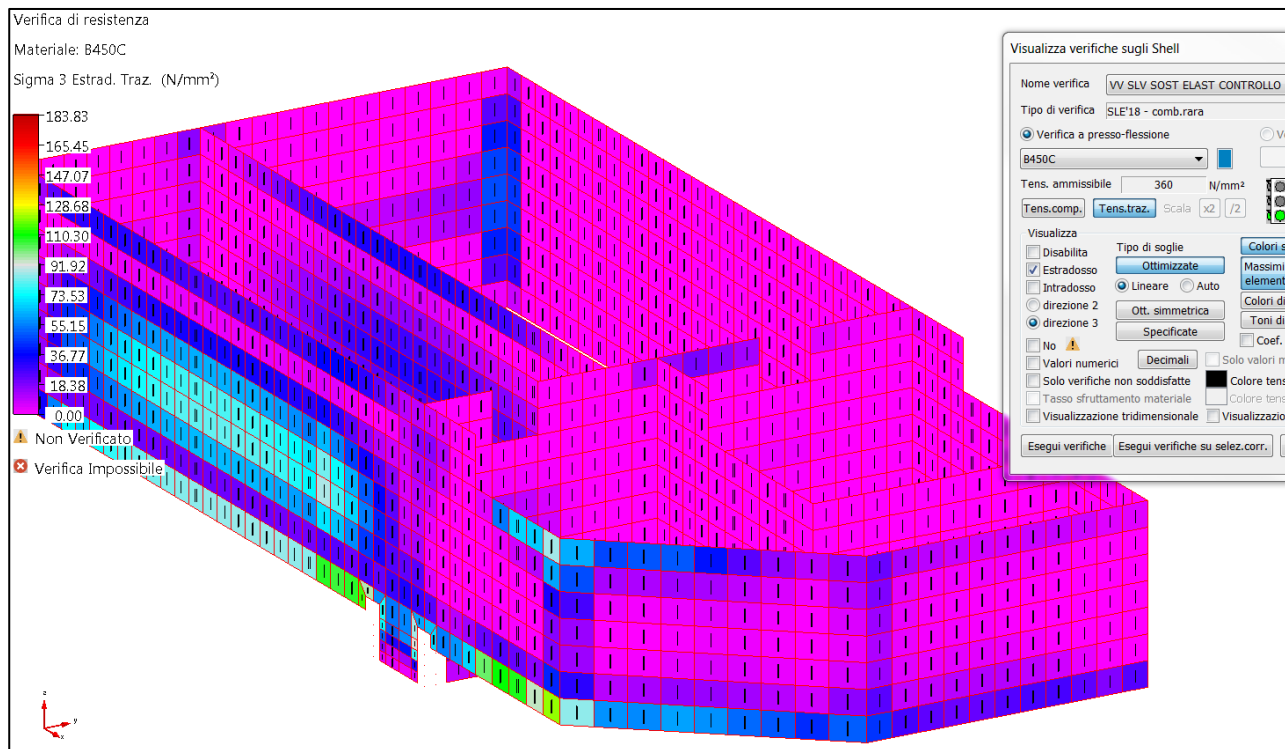
cui corrisponde, applicando $\varepsilon = \sigma_s/E_s$:

$$\varepsilon_{s,SLV,max} = \sigma_s/E_s = 273/210000 = 0.0012 < 0.0019 = \varepsilon_{s,elastico,max,B450C}$$

Si evidenzia infine come anche il resto della struttura resti in campo sostanzialmente elastico sotto le azioni sismiche SLV riportando alcune immagini dei massimi stati tensionali delle barre.

*Tensioni di trazione nelle barre d'armatura - involucro sismico SLV – barre orizzontali*

Vasca interrata



Tensioni di trazione nelle barre d'armatura - involucro sismico SLV – barre verticali

6 VERIFICHE GEO

6.1 Portanza della fondazione

Dalla documentazione relativa allo studio geotecnico effettuato sul limitrofo edificio (Biblioteca) e allegata al PTE, codice 22044D02_3_0_P_GG_00_CH_003_01 Relazione Specialistica Geotecnica si ritiene plausibile e cautelativo assegnare quali portanze ammissibili i valori indicati in suddetto documento (Tabella 5-1), per fondazioni superficiali poste a profondità analoga alla platea oggetto di studio:

$$r_{dSLU/GEO} = 550 \text{ kPa} = 5.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$r_{dSLU/EQK} = 314 \text{ kPa} = 3.1 \text{ kg/cm}^2$$

Dalla stima degli spostamenti ultimi Z, statici e sismici, valutati sulla mesh con suolo elastico $k_w = 2.4 \text{ kg/cm}^3$ si ottengono le pressioni di contatto sul terreno applicando la relazione $\sigma_t = k_w Z$

$$\sigma_{t,SLU,max} = 2.4 \times 1.17 = 2.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{t,SLU,med} = 2.4 \times 0.9 = 2.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{t,SLV,max} = 2.4 \times 0.9 = 2.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{t,SLV,med} = 2.4 \times 0.7 = 1.7 \text{ kg/cm}^2$$

Le pressioni di contatto risultano inferiori alle pressioni limite ammissibili.

6.2 Verifiche GEO: cedimenti della fondazione

In generale si può affermare che i cedimenti si sviluppino all'atto del caricamento, vista la natura incoerente del terreno. Pertanto, la stima dei cedimenti effettuata sul modello FEM di platea su suolo elastico con Modulo di Winkler si ritiene attendibile per quanto sovrastimata non decurtando la pressione dovuta alla nuova costruzione di quella presente prima dello scavo.

Dall'analisi sotto i carichi SLE R risulta

$$\delta_{\max}(\text{SLEQP}) = 7.8 \text{ mm}$$

Il cedimento riscontrato risulta ammissibile sia in termini di funzionalità della struttura che per le ricadute tensionali sulla struttura stessa.

Valori limite dell'effetto delle azioni (NTC 2018 6.2.4.3.)

Si riportano di seguito i valori limite relativi a cedimenti assoluti e differenziali. Come riportato nella letteratura tecnica d'uso comune, quale il Bowles (paragrafo 5.15, Tabella 5.8), tali valori sono da correlare in primo luogo alla tipologia della fondazione e al terreno. Nel caso in esame si considera:

1. Fondazione a platea

2. Terreno incoerente

cedimento massimo tollerabile: 50 mm; raccomandabile: 35 mm

cedimento differenziale tollerabile: 30 mm; raccomandabile: 25 mm

Si assumono quali cedimenti limite ammissibili, C_d , i valori raccomandabili.

Considerazioni

I cedimenti assoluti stimati risultano più che ammissibili: $3.8 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$

I cedimenti differenziali stimati su tutto lo sviluppo (22.5 m) del manufatto risultano più che ammissibili: $4.7 \text{ mm} < 23 \text{ mm}$.

La distorsione angolare massima: $4.7/23000 = 0.0004$ risulta trascurabile