

## RIPRISTINO SCARICO DI FONDO DIGA DI POZZILLO COMUNE DI REGALBUTO (ENNA)



### PROGETTO DEFINITIVO

Progettisti in ATI:

Co.Ri.P. Srl



Ing. Fabio Colletti  
Ing. Marco Leone  
Ing. Michele Ricci

e-mail: [ingegneria@coripsrl.it](mailto:ingegneria@coripsrl.it)

E&G Srl



**E&G S.r.l.**  
ENVIRONMENT & GEOTECHNIC  
STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Prof. Ing. Quintilio Napoleoni  
Ing. Gadiel Coen  
Ing. Claudio Gravina

e-mail: [info@eandg.it](mailto:info@eandg.it)

DIZETA INGEGNERIA Srl



**DIZETA INGEGNERIA**  
STUDIO ASSOCIATO

Ing. Fulvio Bernabei  
Ing. Stefano Adami  
Ing. Paolo Sanavia

e-mail: [server@dizetaingegneria.it](mailto:server@dizetaingegneria.it)

GRAIA



Gestione Ricerca Ambientale Ittica Acque

Dott. Gaetano Gentili  
Dott. Andrea Romanò

e-mail: [info@graia.eu](mailto:info@graia.eu)

CODICE ELABORATO:		LIV. PROG.	NOME ELABORATO:			REV:	SCALA:
OPS 4 01 RE		D	RELAZIONE DI CALCOLO POZZO DI INTERCETTO GALLERIA SCARICO DI FONDO			B	
D							
C							
B	Revisione		marzo 2019				
A	Emissione		settembre 2018				
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. MATERIALI</b> .....	<b>4</b>
<b>4. DESCRIZIONE DELLE OPERE</b> .....	<b>5</b>
<b>5. METODO DI CALCOLO E MODELLI</b> .....	<b>9</b>
5.1. PREMESSA.....	9
5.2. DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO .....	9
5.3. CONDIZIONI DI CARICO.....	12
<b>6. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI FASE 1 E FASE 2</b> .....	<b>15</b>
6.1. SPOSTAMENTI.....	18
6.2. SOLLECITAZIONI .....	20
<b>7. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI FASE 3</b> .....	<b>26</b>
7.1. SPOSTAMENTI.....	30
7.2. SOLLECITAZIONI .....	32
<b>8. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI FASE 4, 5 E 6</b> .....	<b>35</b>
8.1. SPOSTAMENTI.....	38
8.2. SOLLECITAZIONI .....	41
<b>9. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI NELLA FASE PRECEDENTE AL RIEMPIMENTO DEL POZZO</b> .....	<b>44</b>
9.1. SPOSTAMENTI.....	46
9.2. SOLLECITAZIONI .....	49
<b>10. VERIFICHE AGLI SLU</b> .....	<b>55</b>
10.1. VERIFICA STR SEZIONI PALI INTERCONNESSI.....	55
10.2. VERIFICA STR CENTINE .....	60

## 1. **PREMESSA**

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo del pozzo di intercetto della galleria di scarico di fondo, da realizzare come opera di sostegno funzionale al ripristino dello scarico di fondo della diga di Pozzillo situata nel Comune di Regalbuto (Enna).

Nel presente documento si provvederà a:

- descrivere le caratteristiche principali delle opere con particolare riferimento alla lavorazione prevista nella presente relazione (verifica del pozzo comprensivo dei fori);
- richiamare i carichi dovuti ai terreni incontrati dal pozzo;
- verificare la rispondenza delle opere provvisoriale per lo scavo, comprensive dei fori effettuati per l'inserimento dei manufatti di progetto, alle prescrizioni della normativa vigente.

	Ripristino scarico di fondo della Diga di Pozzillo nel Comune di Regalbuto (Enna) – Progetto Definitivo	OPS401REA_Relazione di calcolo pozzo di intercetto galleria scarico di fondo	pag. 3
			mar-19

## 2. **RIFERIMENTI NORMATIVI**

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 17/02/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.

### 3. **MATERIALI**

Acciaio Pali interconnessi

**S460NH/NLH**

**$f_{yk} = 460.0 \text{ MPa}$**

**$f_{yd} = 438.0 \text{ MPa}$**

Acciaio Puntoni e Centine

**S355 JR**

**$f_{yk} = 355.0 \text{ MPa}$**

**$f_{yd} = 338.0 \text{ MPa}$**

Calcestruzzo di riempimento Pali Interconnessi

**C25/30**

#### 4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La presente relazione riguarda le verifiche del pozzo di intercetto della galleria di scarico di fondo costituito da pali interconnessi di diametro 508 mm, con spessore della camicia di 16 mm, completamente riempiti di calcestruzzo nella fase di apertura dei fori per l'inserimento dei manufatti di progetto (nuovo scarico di fondo).

La figura seguente mostra l'ubicazione delle varie opere di sostegno previste ed evidenzia in particolare il pozzo del diametro di 10 metri da realizzare in corrispondenza dell'intercetto con la galleria di scarico di fondo:

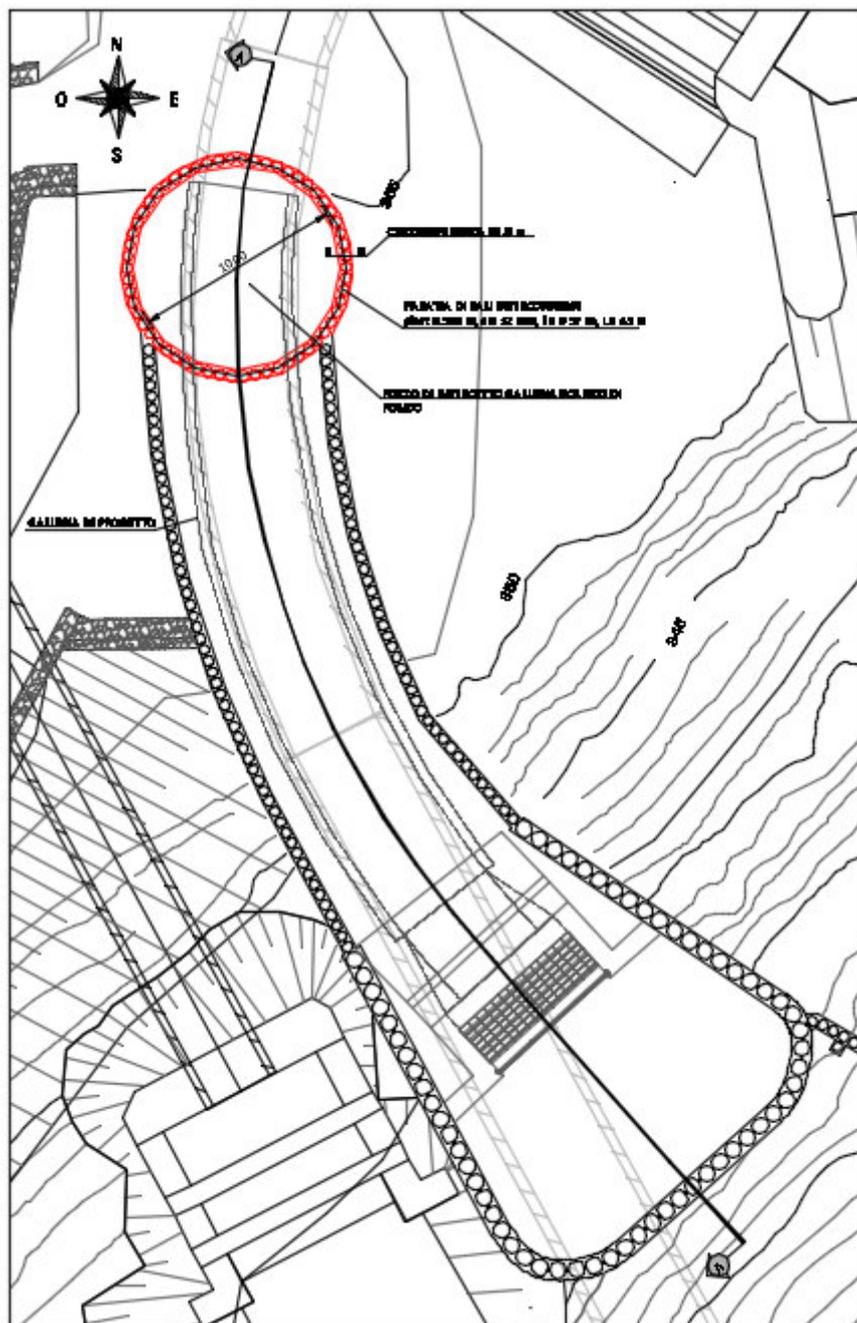
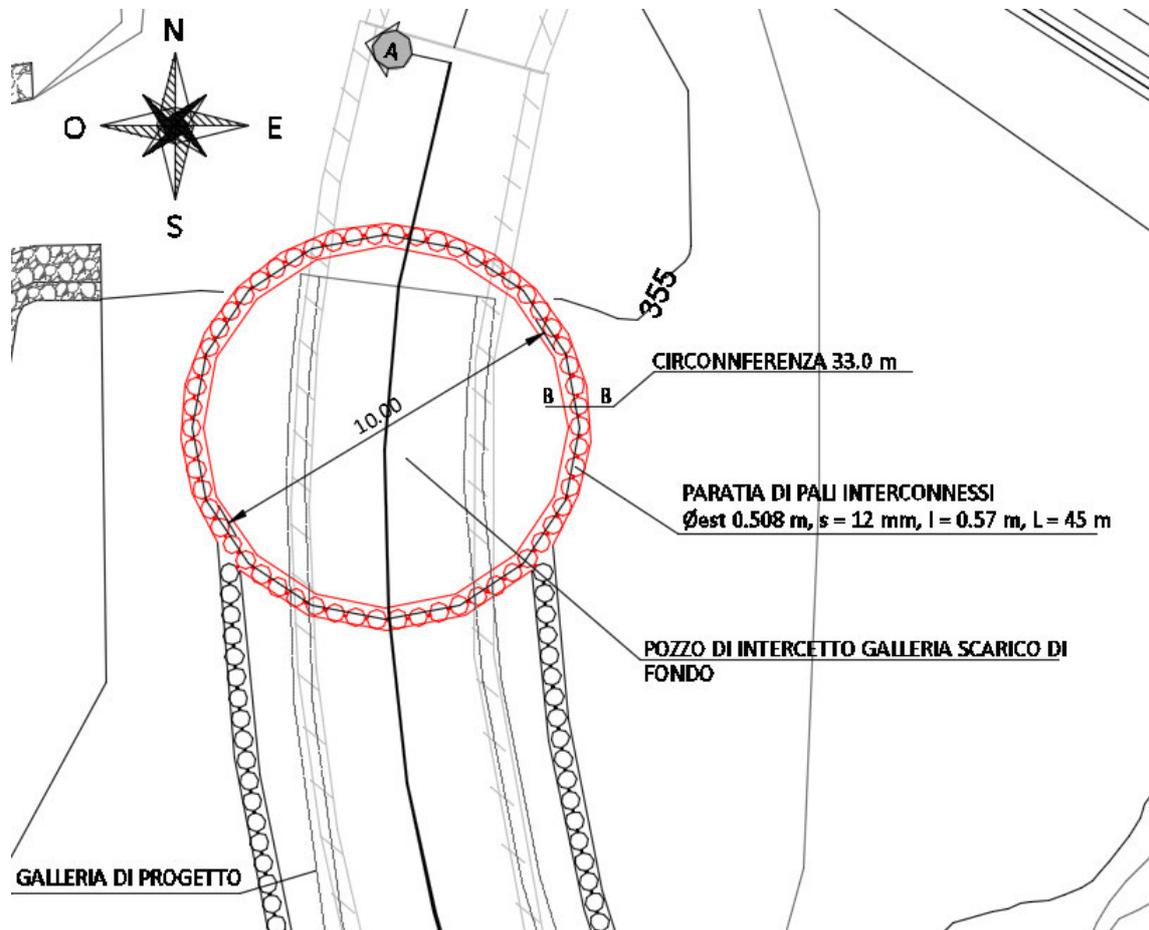


Figura 1 – Ubicazione delle opere

Il seguente particolare della planimetria individua il pozzo costituito da una paratia di pali interconnessi diametro 508 mm, spessore 12 mm disposti ad interasse 0,57 m. (su una circonferenza di 33 metri totali) e di profondità 45 metri:



**Figura 2 – Pozzo di intercetto galleria**

Nelle seguenti due figure viene mostrata in sezione la disposizione del pozzo e la sviluppata della circonferenza del pozzo dove sono evidenziati i fori per l'innesto della galleria di fondo:

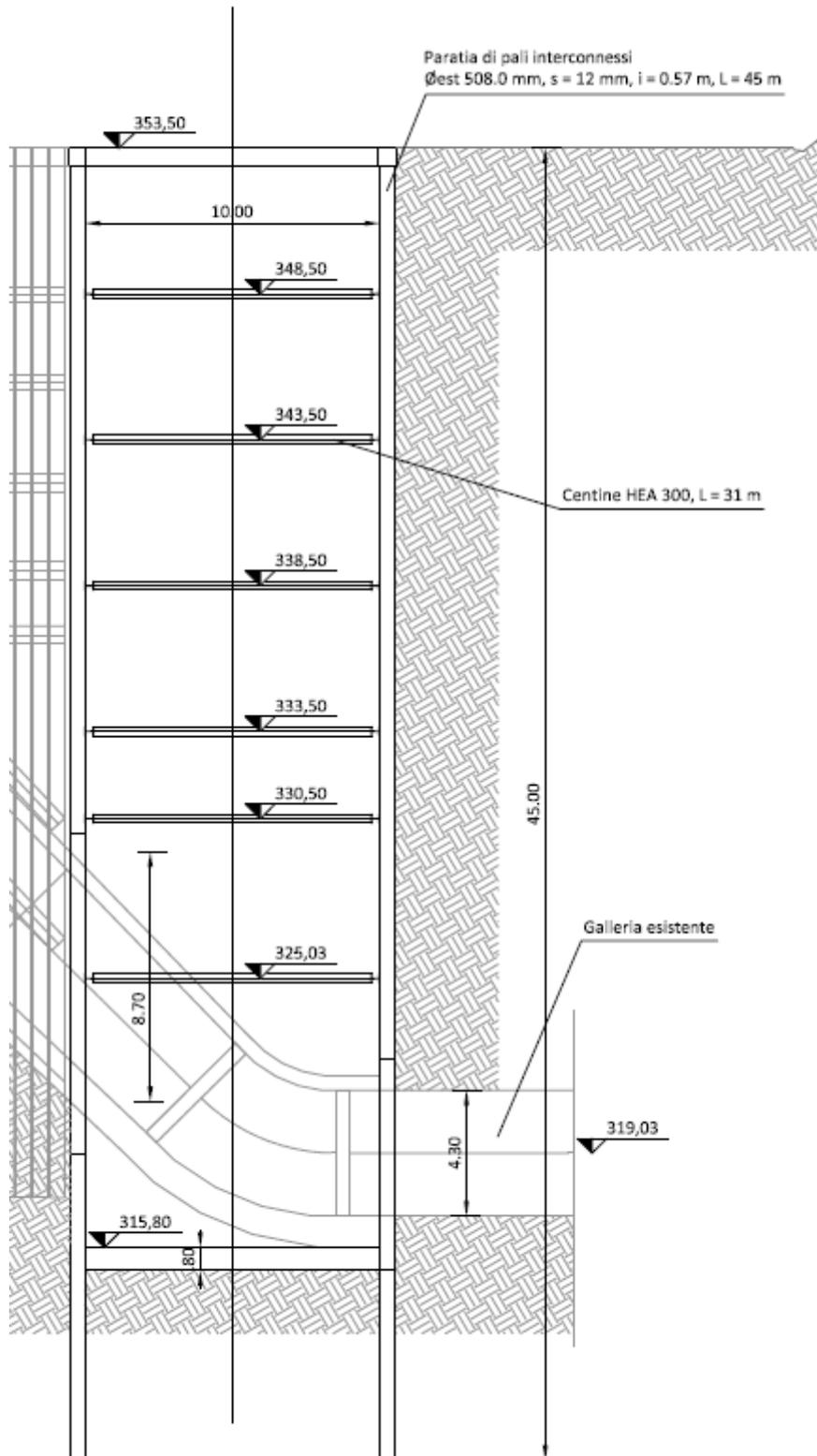
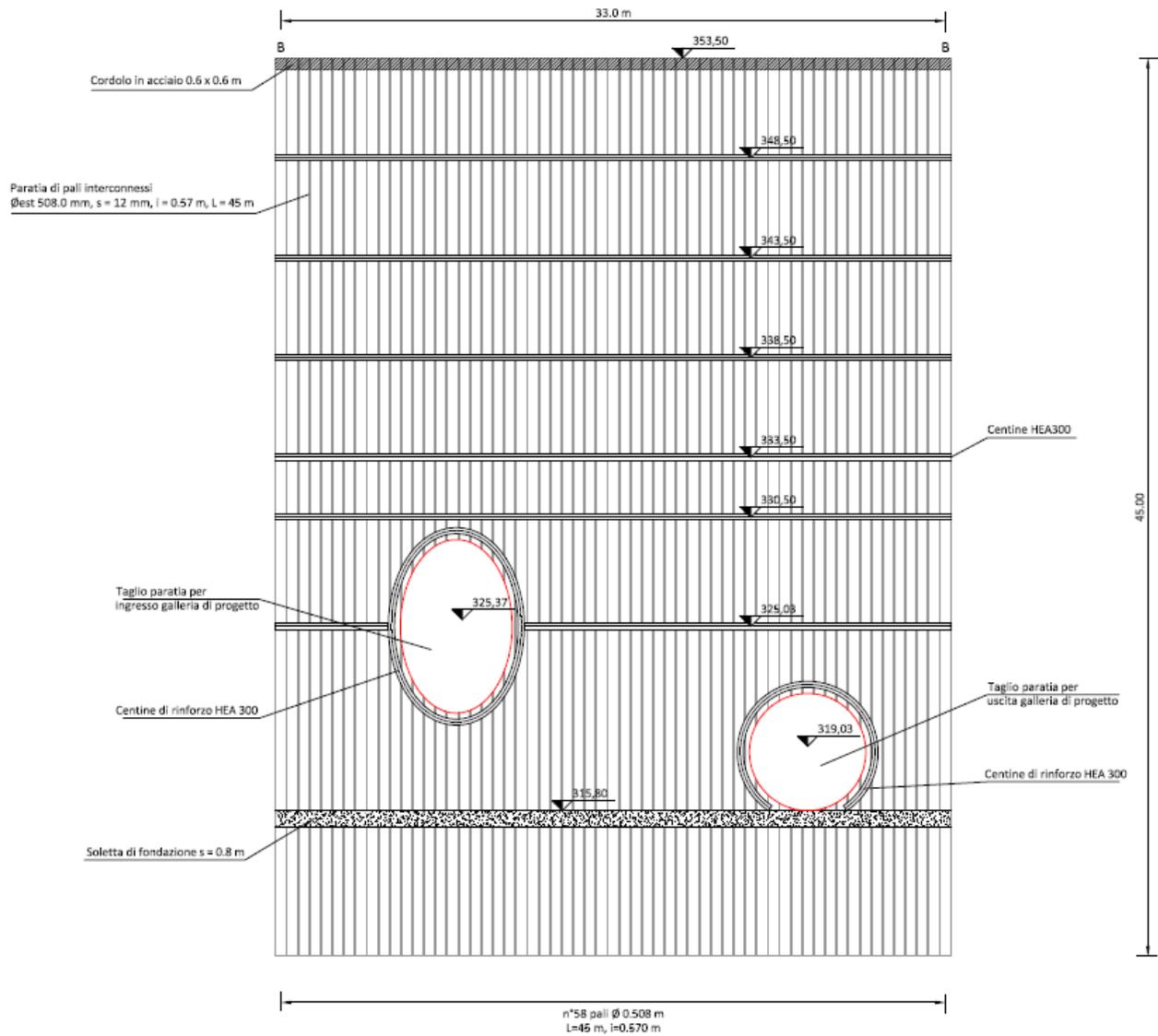


Figura 3 – Sezione pozzo



**Figura 4 – Sviluppata pozzo**

Per la descrizione e le caratteristiche dei pali interconnessi, nonché per le caratteristiche dei terreni attraversati si rimanda alle altre relazioni di progetto.

## **5. METODO DI CALCOLO E MODELLI**

### **5.1. Premessa**

Il calcolo di pozzi appartiene alla categoria di strutture tradizionalmente calcolate in condizioni assialsimmetriche per le quali il calcolo dei pali risultano sollecitate in maniera inferiore rispetto alle usuali condizioni bidimensionali che sono chiaramente più gravose.

Tale analisi ha un significato fisico fintanto che permangono le condizioni assialsimmetriche ovvero fino al momento in cui vengono praticate le aperture per la realizzazione dei raccordi con la galleria esistente verso valle e la nuova galleria verso l'opera di scarico. In tale momento si perdono le condizioni assialsimmetriche e prevalgono delle spinte di tipo spiccatamente tridimensionale che necessitano di un'analisi ad hoc.

Considerato quanto sopra, diversamente da quanto eseguito per le altre strutture di sostegno, per le quali il calcolo è stato effettuato con riferimento ad opere di sostegno tramite l'applicativo Paratie Plus in condizioni bidimensionali, le analisi del pozzo sono state realizzate con un modello tridimensionale che ripercorre le effettive fasi di realizzazione del pozzo e delle aperture praticate sul suo perimetro.

### **5.2. Descrizione del codice di calcolo**

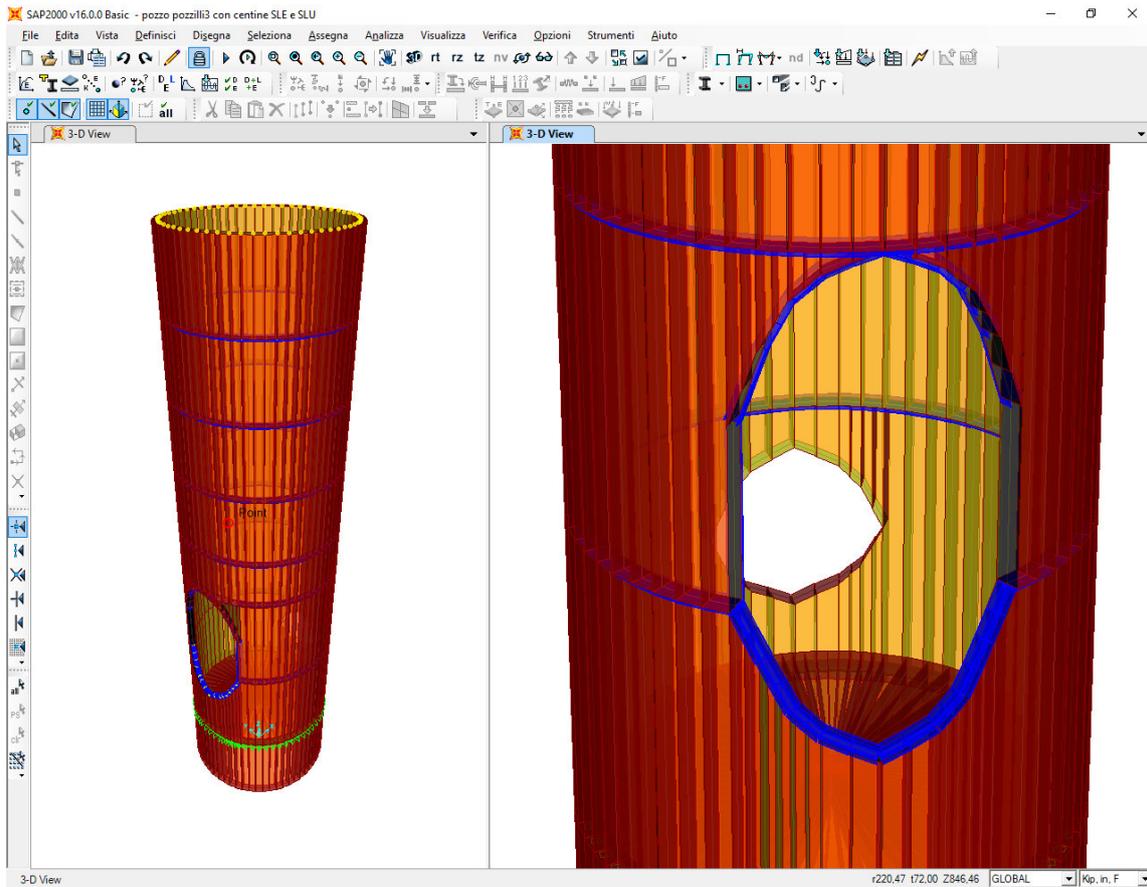
Le analisi finalizzate al dimensionamento delle strutture sono state pertanto condotte con il programma di calcolo SAP2000 v.16 distribuito dalla Computers&Structures inc.

Il pozzo è schematizzato con elementi shell (area) dello spessore e caratteristiche della paratia considerata. Gli elementi shell sono disposti secondo la geometria tridimensionale del pozzo comprensivi delle parti forate in fase successiva per la realizzazione e il passaggio dei manufatti.

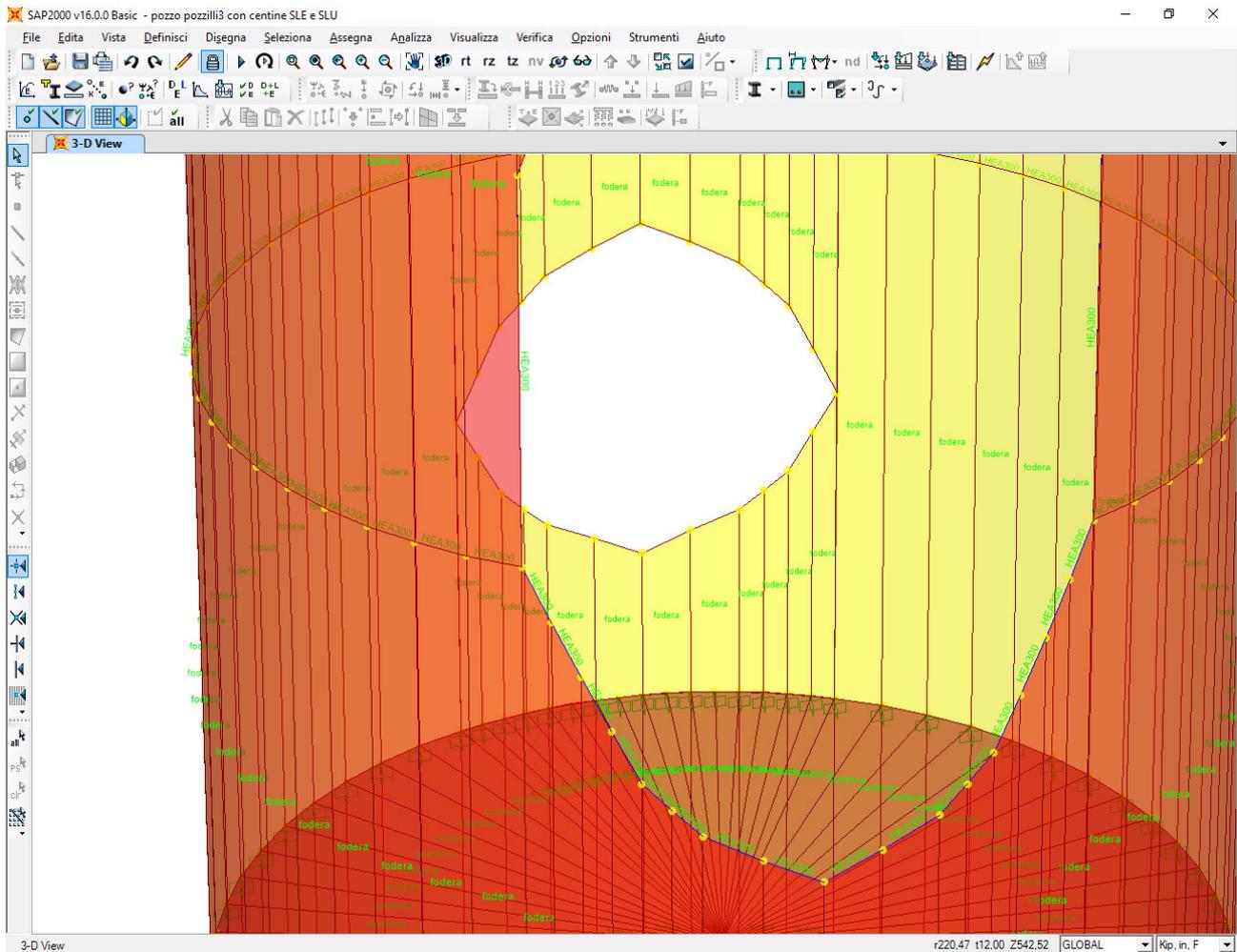
I carichi sono schematizzati secondo degli schemi nodali a pressione crescente a seconda della profondità di scavo secondo i carichi desunti dalle caratteristiche del terreno e riportati nel seguente paragrafo secondo le caratteristiche desunte dalla relazione di calcolo a cui si rimanda.

Nel modello sono inserite anche le centine HEA300 alle quote indicate da progetto, nonché in corrispondenza dei fori (contorno dei fori).

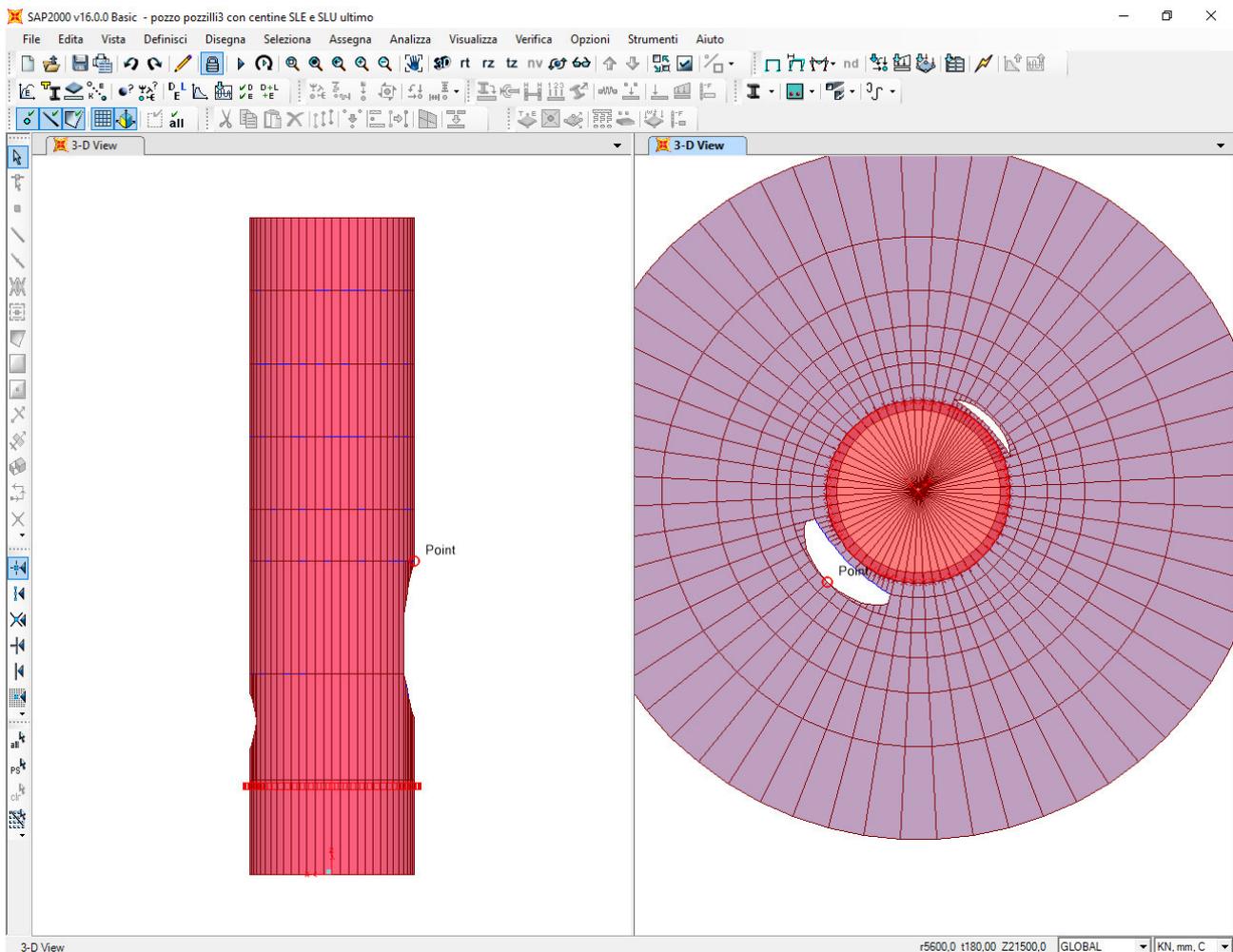
In corrispondenza del tappo di fondo del pozzo posto a quota -38,50 e di spessore 80 cm. vengono posti i vincoli del sistema costituiti da incasti in corrispondenza dell'attacco paratia-soletta di fondo. Il tappo di fondo poggia su molle areali alla winkler che schematizzano la costante di sottofondo.



**Figura 5 – Visualizzazione del modello tridimensionale del pozzo**



**Figura 6 – Visualizzazione elementi del modello tridimensionale del pozzo**



**Figura 7 – Visualizzazione modello tridimensionale del pozzo in vista laterale e dall'alto**

### 5.3. Condizioni di Carico

Si considera la spinta del terreno e dell'acqua in cui è immerso il pozzo. Per quanto riguarda la quota di falda essa parte a quota -3,5 da piano campagna. In ogni caso a favore di sicurezza verrà considerata una situazione SLU con il carico idrostatico che parte da piano campagna (in tale condizione viene considerato un incremento di carico di 1,3 per la spinta del terreno). La spinta del terreno è calcolata sulla base dei parametri del terreno relativi alla parte alterata (fino a 11 metri di profondità) e poi alla parte in roccia.

La seguente tabella riassume i carichi considerati, mentre le figure seguenti mostrano i medesimi carichi inseriti nel modello di calcolo

z m	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\sigma_v$ kPa	k0 -	$\sigma'h$ SLE kPa	u SLE kPa	u SLU kPa	$\sigma'h$ SLE kPa	$\sigma'h$ SLU kPa
0	20	0	0,5	0	0	0	0,00	0,00
-0,5	20	10	0,5	5	0	5	5,00	11,50
-1	20	20	0,5	10	0	10	10,00	23,00
-1,5	20	30	0,5	15	0	15	15,00	34,50
-2	20	40	0,5	20	0	20	20,00	46,00
-2,5	20	50	0,5	25	0	25	25,00	57,50
-3	10	55	0,5	27,5	0	30	27,50	65,75
-3,5	10	60	0,5	30	0	35	30,00	74,00
-4	10	65	0,5	32,5	5	40	37,50	82,25
-4,5	10	70	0,5	35	10	45	45,00	90,50
-5	10	75	0,5	37,5	15	50	52,50	98,75
-5,5	10	80	0,5	40	20	55	60,00	107,00
-6	10	85	0,5	42,5	25	60	67,50	115,25
-6,5	10	90	0,5	45	30	65	75,00	123,50
-7	10	95	0,5	47,5	35	70	82,50	131,75
-7,5	10	100	0,5	50	40	75	90,00	140,00
-8	10	105	0,5	52,5	45	80	97,50	148,25
-8,5	10	110	0,5	55	50	85	105,00	156,50
-9	10	115	0,5	57,5	55	90	112,50	164,75
-9,5	10	120	0,5	60	60	95	120,00	173,00
-10	10	125	0,5	62,5	65	100	127,50	181,25
-10,5	10	130	0,5	65	70	105	135,00	189,50
-11	12	136	0,5	68	75	110	143,00	198,40
-11,5	12	142	0,5	71	80	115	151,00	207,30
-12	12	148	0,5	74	85	120	159,00	216,20
-12,5	12	154	0,5	77	90	125	167,00	225,10
-13	12	160	0,5	80	95	130	175,00	234,00
-13,5	12	166	0,5	83	100	135	183,00	242,90
-14	12	172	0,5	86	105	140	191,00	251,80
-14,5	12	178	0,5	89	110	145	199,00	260,70
-15	12	184	0,5	92	115	150	207,00	269,60
-15,5	12	190	0,5	95	120	155	215,00	278,50
-16	12	196	0,5	98	125	160	223,00	287,40
-16,5	12	202	0,5	101	130	165	231,00	296,30
-17	12	208	0,5	104	135	170	239,00	305,20
-17,5	12	214	0,5	107	140	175	247,00	314,10
-18	12	220	0,5	110	145	180	255,00	323,00
-18,5	12	226	0,5	113	150	185	263,00	331,90
-19	12	232	0,5	116	155	190	271,00	340,80
-19,5	12	238	0,5	119	160	195	279,00	349,70
-20	12	244	0,5	122	165	200	287,00	358,60
-20,5	12	250	0,5	125	170	205	295,00	367,50
-21	12	256	0,5	128	175	210	303,00	376,40
-21,5	12	262	0,5	131	180	215	311,00	385,30
-22	12	268	0,5	134	185	220	319,00	394,20
-22,5	12	274	0,5	137	190	225	327,00	403,10
-23	12	280	0,5	140	195	230	335,00	412,00
-23,5	12	286	0,5	143	200	235	343,00	420,90
-24	12	292	0,5	146	205	240	351,00	429,80
-24,5	12	298	0,5	149	210	245	359,00	438,70
-25	12	304	0,5	152	215	250	367,00	447,60
-25,5	12	310	0,5	155	220	255	375,00	456,50
-26	12	316	0,5	158	225	260	383,00	465,40
-26,5	12	322	0,5	161	230	265	391,00	474,30
-27	12	328	0,5	164	235	270	399,00	483,20
-27,5	12	334	0,5	167	240	275	407,00	492,10
-28	12	340	0,5	170	245	280	415,00	501,00
-28,5	12	346	0,5	173	250	285	423,00	509,90
-29	12	352	0,5	176	255	290	431,00	518,80
-29,5	12	358	0,5	179	260	295	439,00	527,70
-30	12	364	0,5	182	265	300	447,00	536,60
-30,5	12	370	0,5	185	270	305	455,00	545,50
-31	12	376	0,5	188	275	310	463,00	554,40
-31,5	12	382	0,5	191	280	315	471,00	563,30
-32	12	388	0,5	194	285	320	479,00	572,20
-32,5	12	394	0,5	197	290	325	487,00	581,10
-33	12	400	0,5	200	295	330	495,00	590,00
-33,5	12	406	0,5	203	300	335	503,00	598,90
-34	12	412	0,5	206	305	340	511,00	607,80
-34,5	12	418	0,5	209	310	345	519,00	616,70
-35	12	424	0,5	212	315	350	527,00	625,60
-35,5	12	430	0,5	215	320	355	535,00	634,50
-36	12	436	0,5	218	325	360	543,00	643,40
-36,5	12	442	0,5	221	330	365	551,00	652,30
-37	12	448	0,5	224	335	370	559,00	661,20
-37,5	12	454	0,5	227	340	375	567,00	670,10
-38	12	460	0,5	230	345	380	575,00	679,00
-38,5	12	466	0,5	233	350	385	583,00	687,90
-39	12	472	0,5	236	355	390	591,00	696,80
-39,5	12	478	0,5	239	360	395	599,00	705,70
-40	12	484	0,5	242	365	400	607,00	714,60
-40,5	12	490	0,5	245	370	405	615,00	723,50
-41	12	496	0,5	248	375	410	623,00	732,40
-41,5	12	502	0,5	251	380	415	631,00	741,30
-42	12	508	0,5	254	385	420	639,00	750,20
-42,5	12	514	0,5	257	390	425	647,00	759,10
-43	12	520	0,5	260	395	430	655,00	768,00
-43,5	12	526	0,5	263	400	435	663,00	776,90
-44	12	532	0,5	266	405	440	671,00	785,80
-44,5	12	538	0,5	269	410	445	679,00	794,70
-45	12	544	0,5	272	415	450	687,00	803,60

Prima di effettuare le verifiche si calcolano le sollecitazioni nelle varie condizioni di carico che assume il pozzo durante le fasi realizzative al fine di verificare la più gravosa tra tutte le possibili situazioni durante la fase realizzativa dell'opera.

Si considerano diverse condizioni di carico in funzione delle varie configurazioni dell'opera durante le fasi costruttive una volta realizzato il pozzo, ovvero corrispondenti a quelle riportate nella tavola NSF0507CRA (NUOVO SCARICO DI FONDO: FASI DI REALIZZAZIONE).

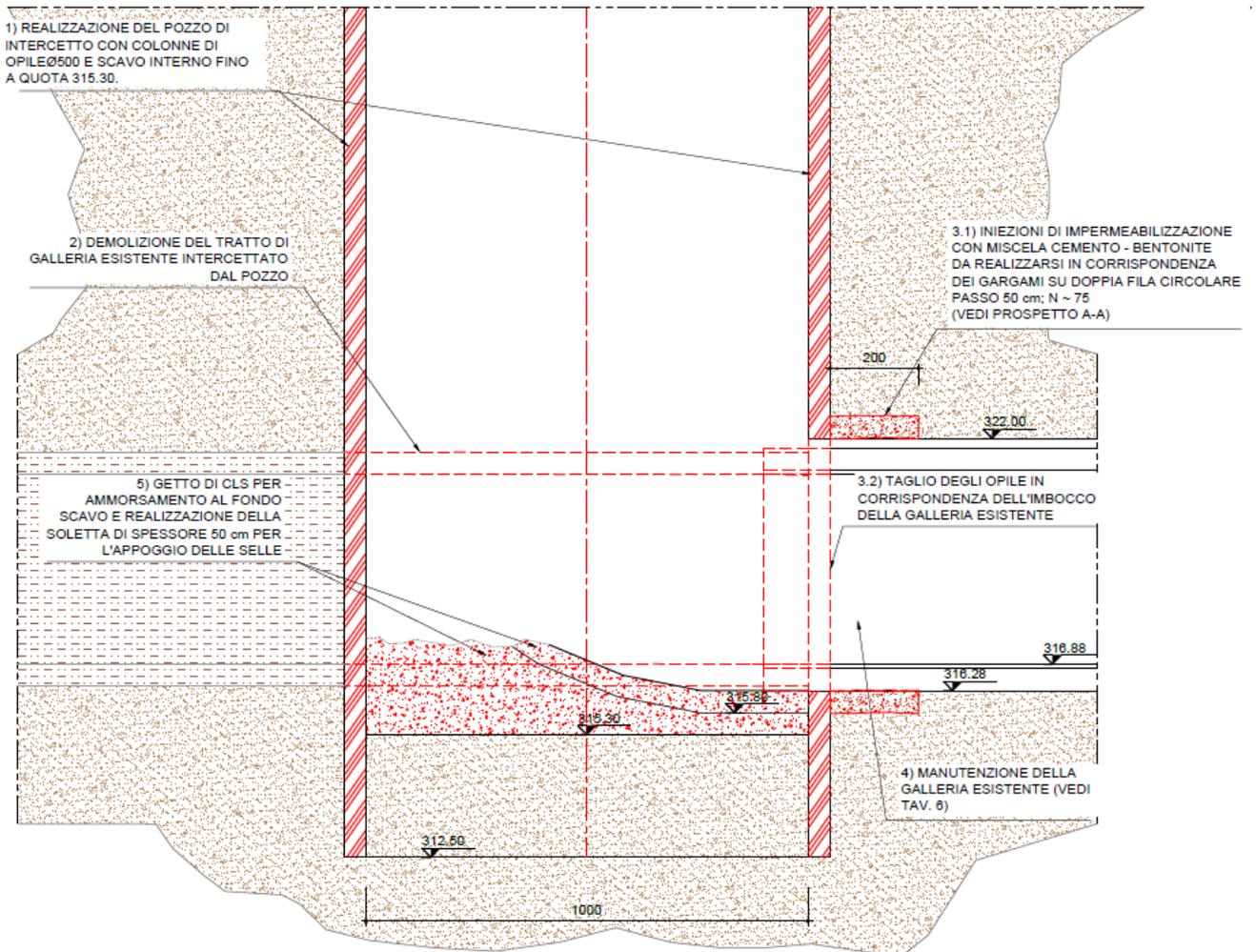
## 6. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI FASE 1 E FASE 2

La prima condizione di carico corrisponde alla fase costruttiva 1 (e la fase 2 analoga alla precedente), realizzata la paratie e il pozzo, effettuato lo scavo del pozzo e realizzato l'apertura del pozzo lato valle:

### FASE COSTRUTTIVA 1

SCALA 1:100

N.B. misure in cm

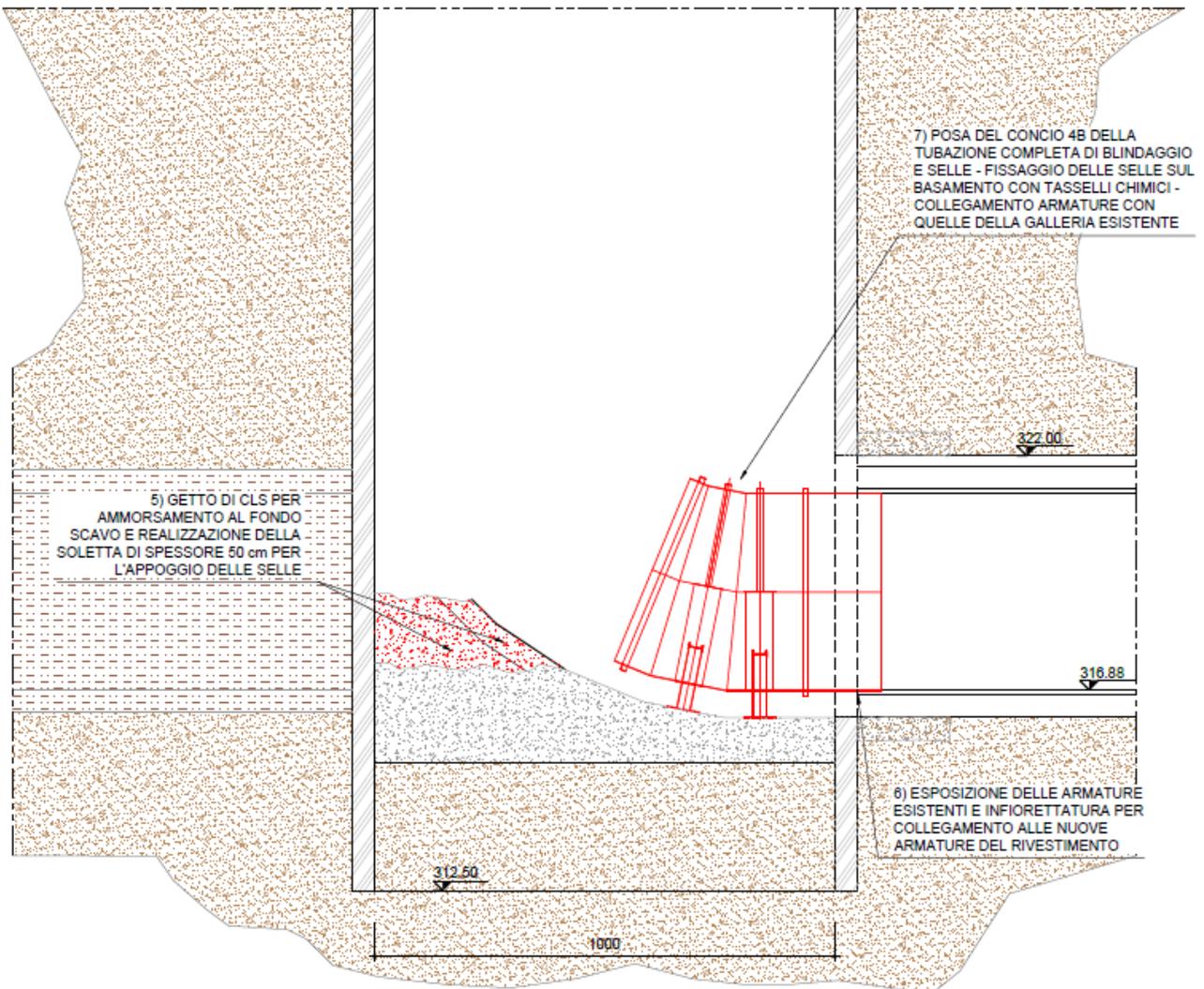


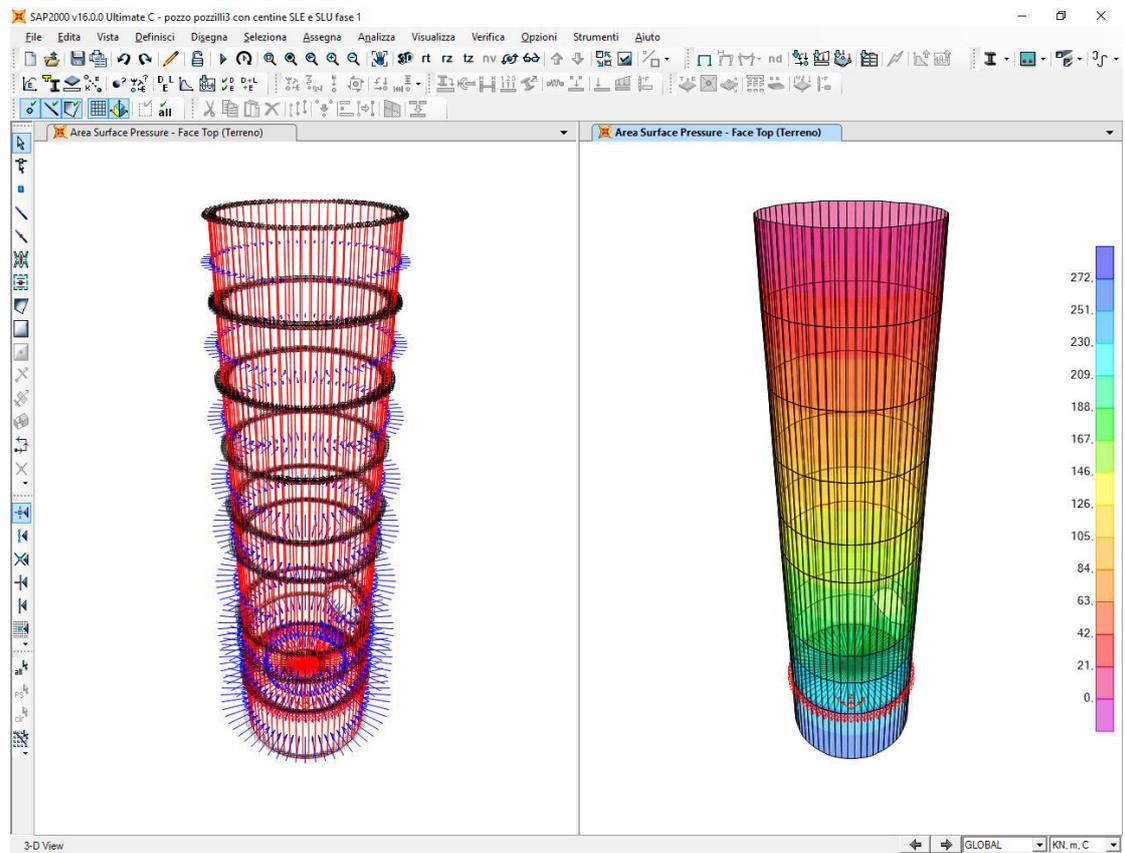
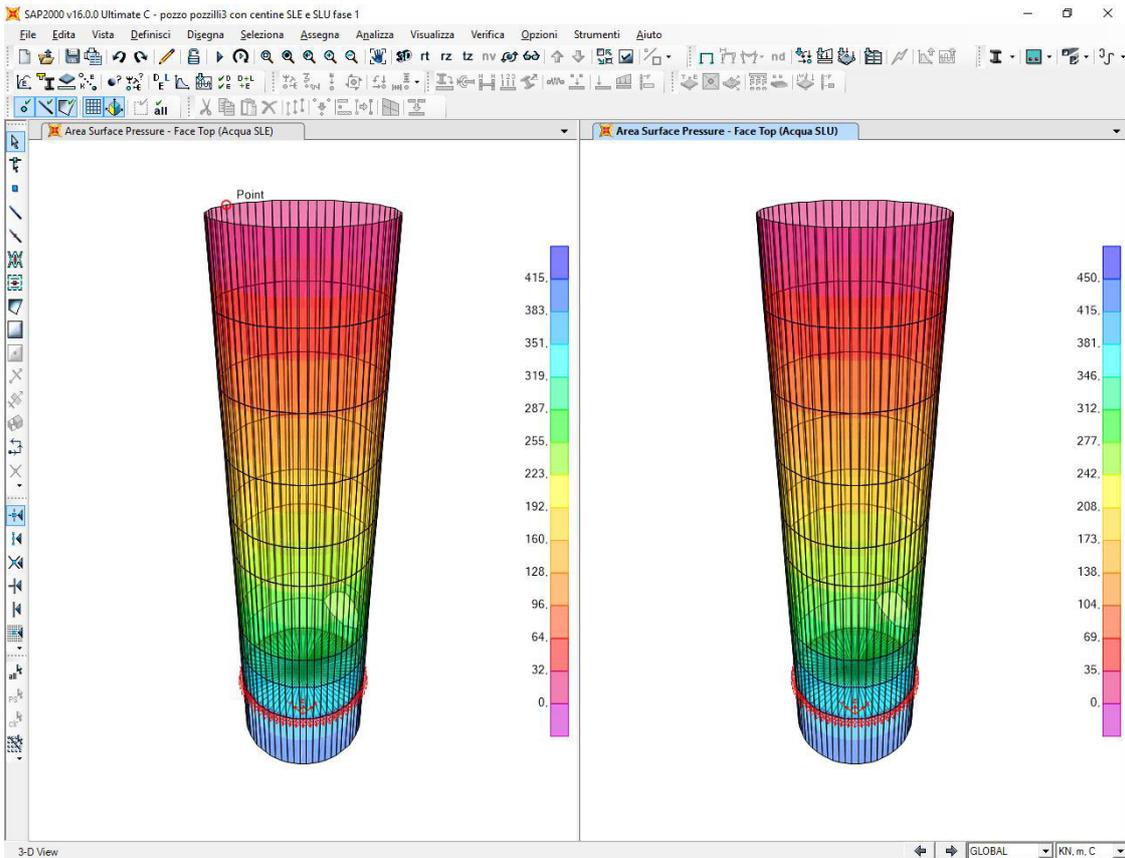
F  
S  
N

## FASE COSTRUTTIVA 2

SCALA 1:100

N.B. misure in cm





Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni e spostamenti.

### 6.1. SPOSTAMENTI

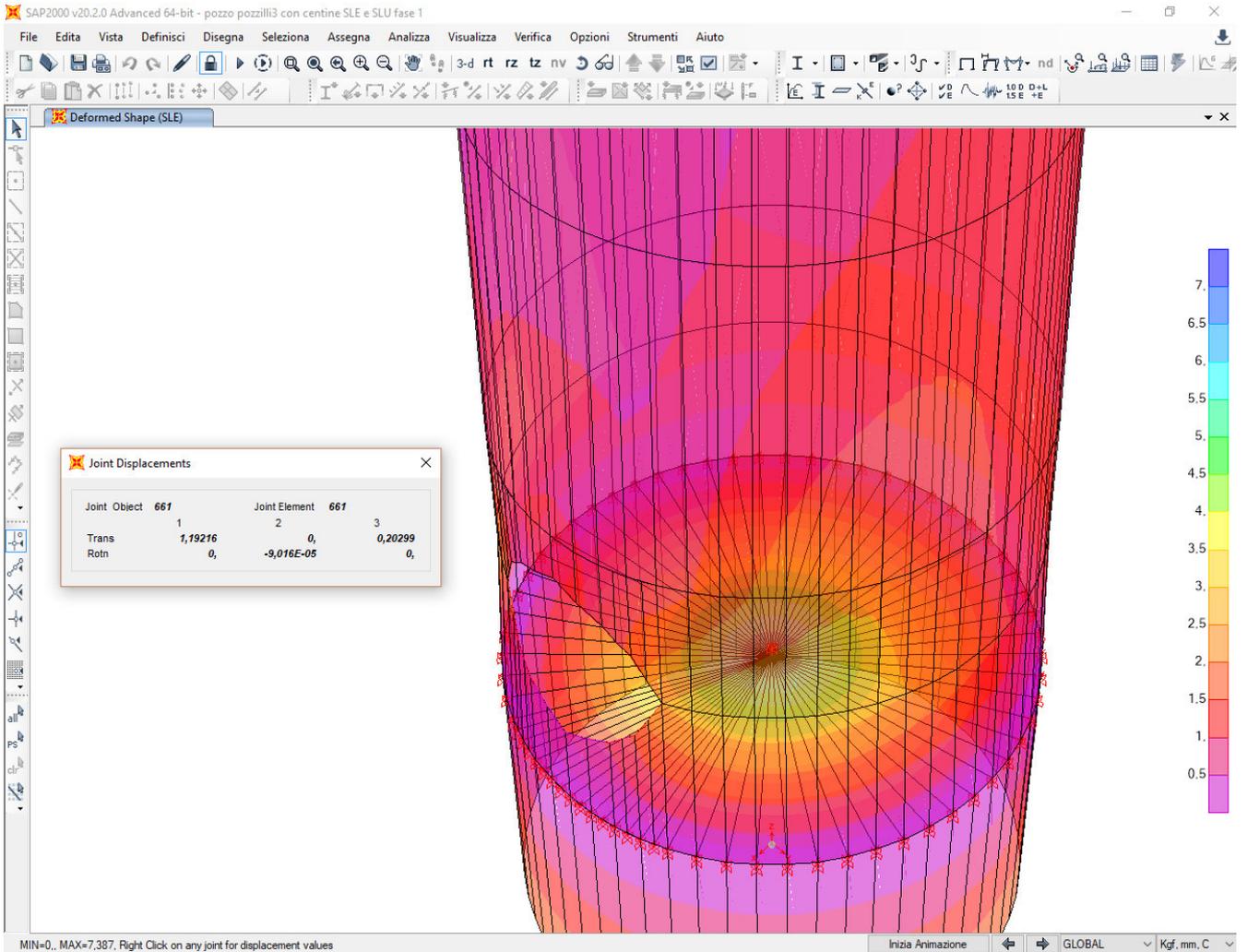
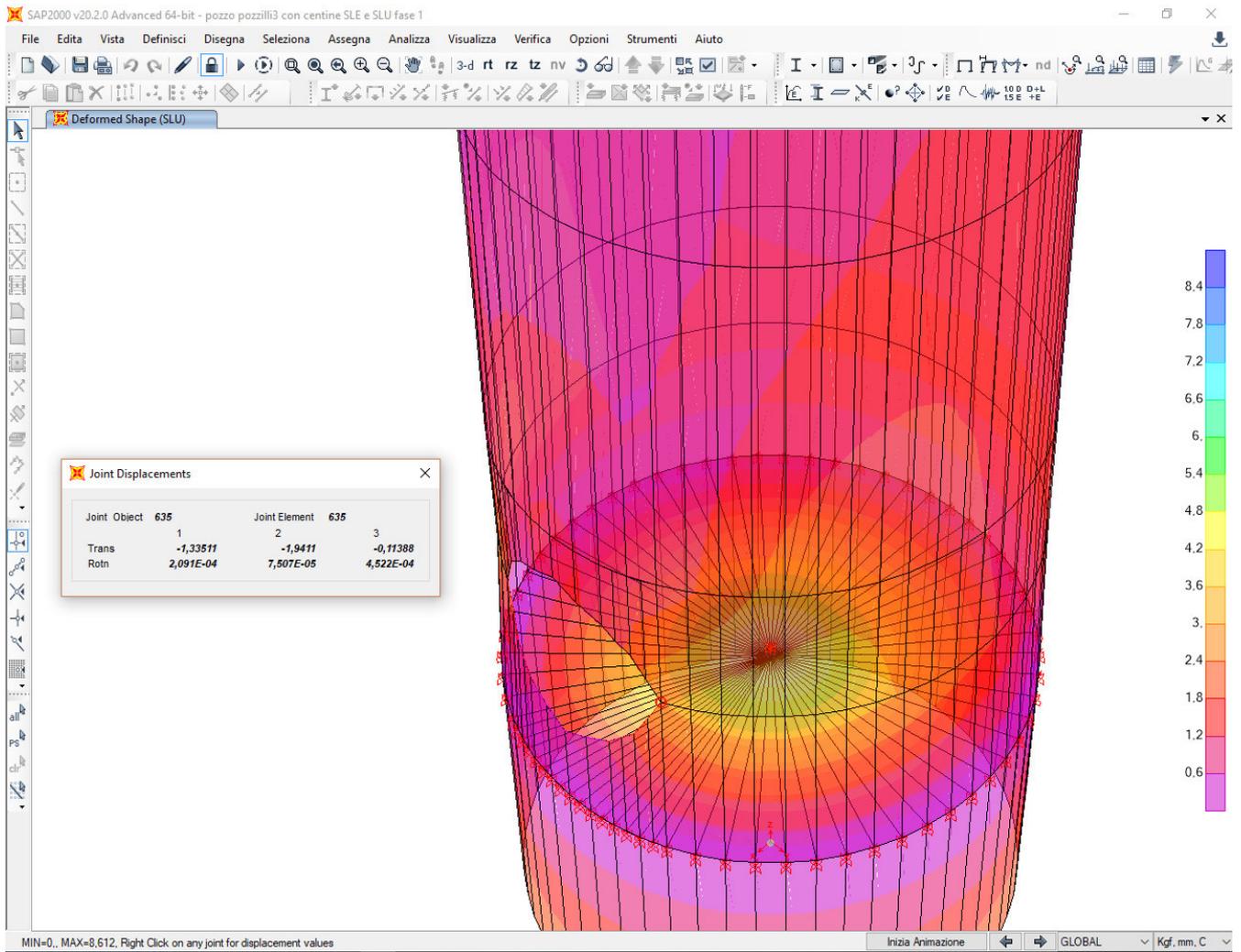


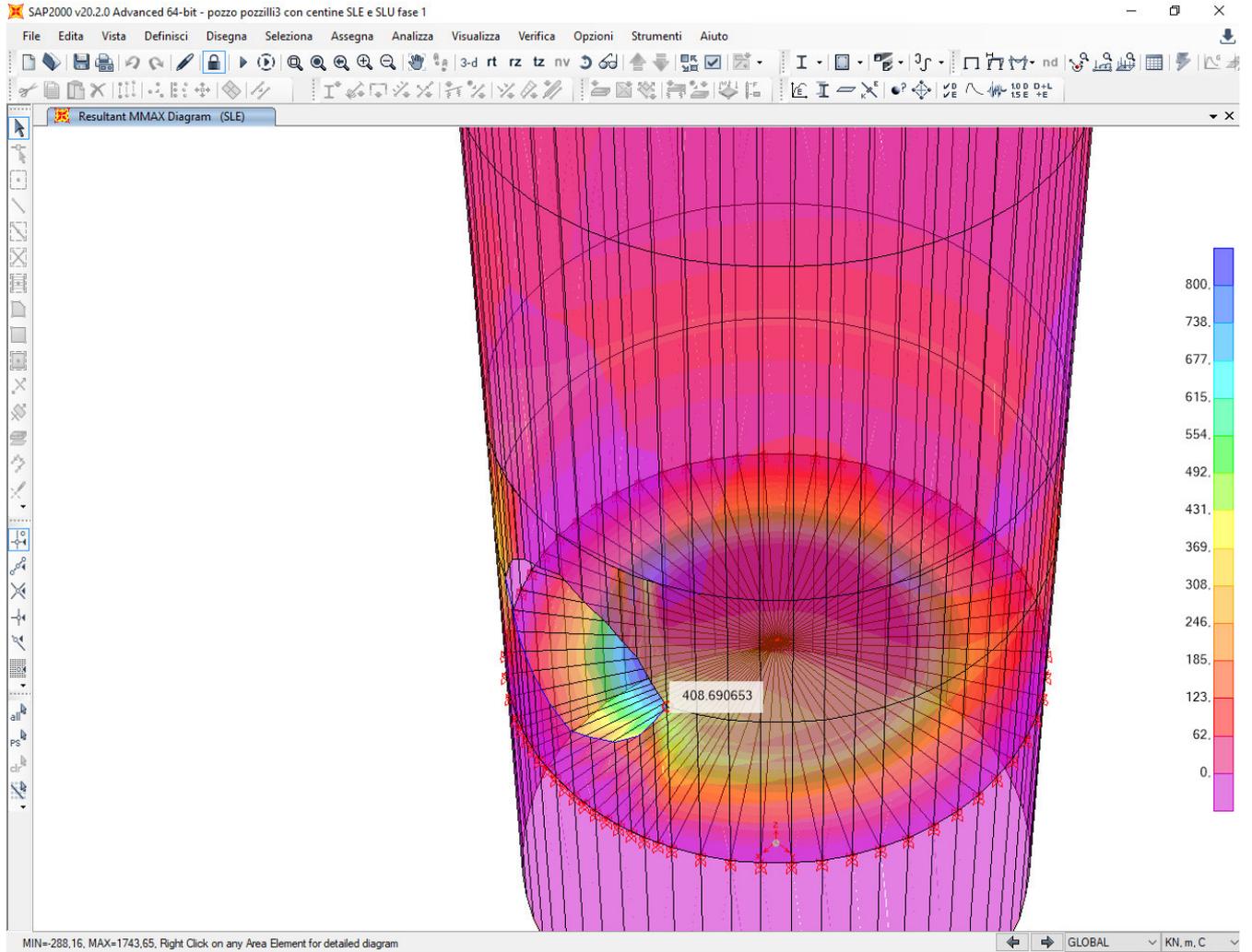
Figura 8 – Spostamenti massimi in mm in condizione SLE



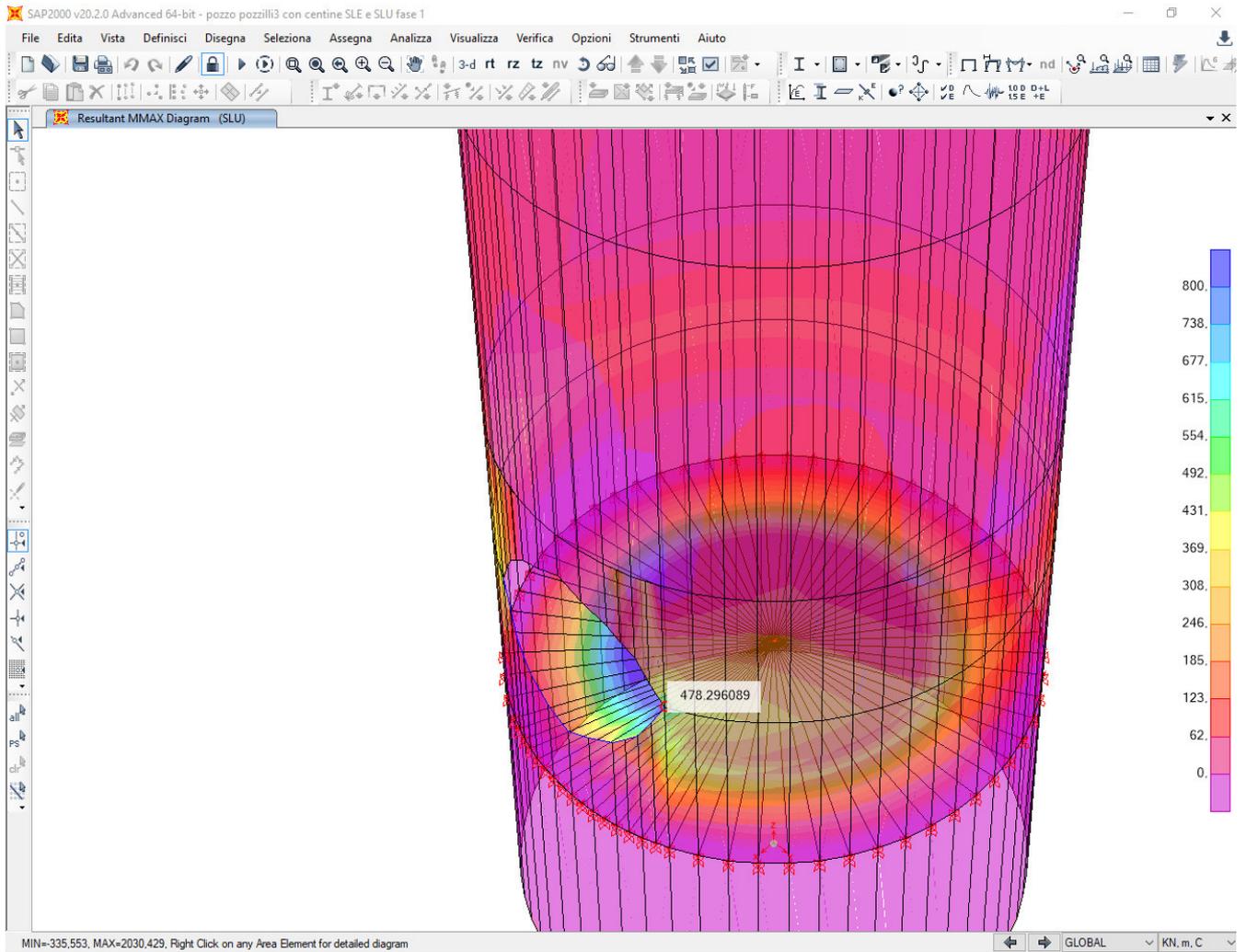
**Figura 9 – Spostamenti massimi in mm in condizione SLU**

## 6.2. SOLLECITAZIONI

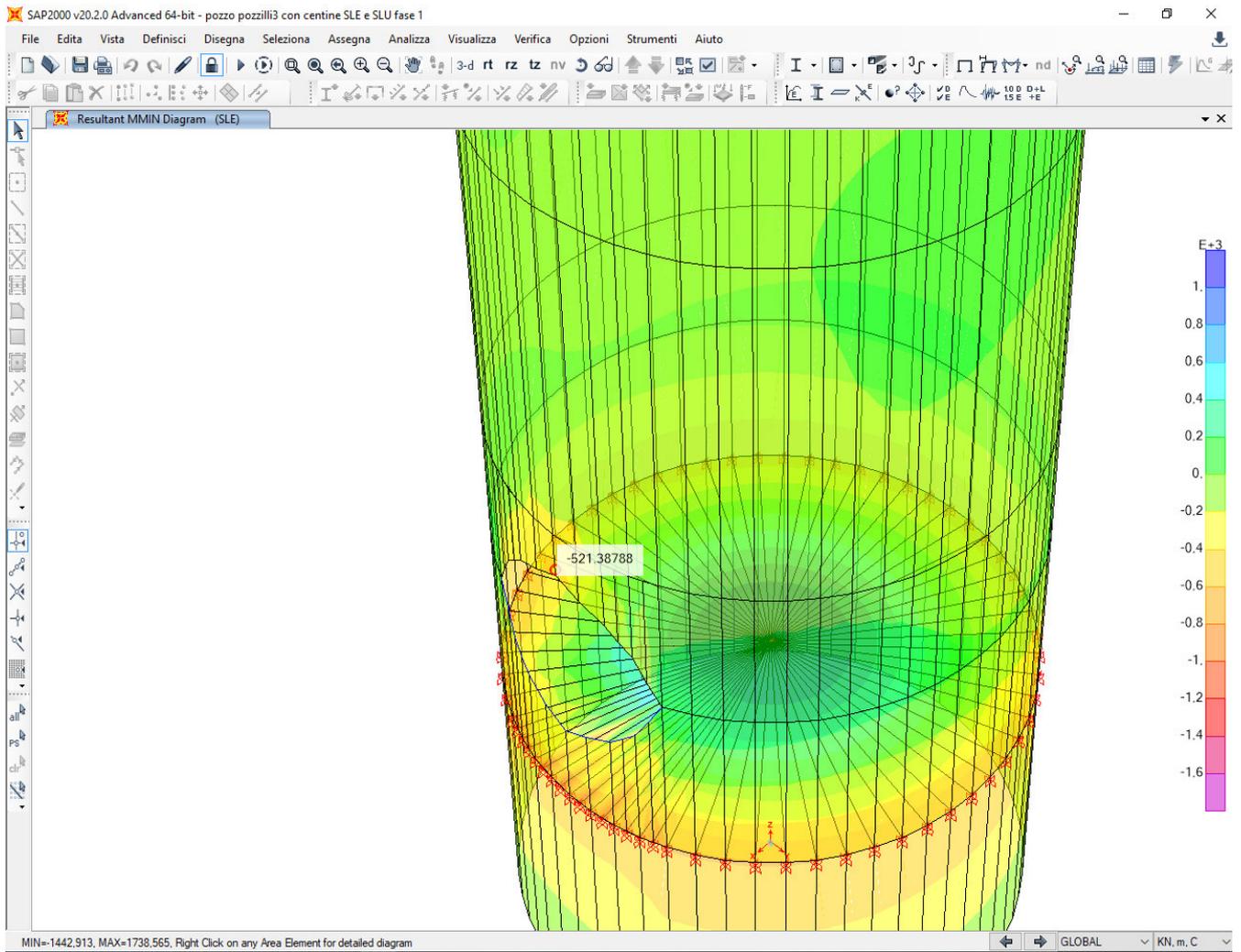
Si riporta nel seguito l'involuppo delle sollecitazioni (momento flettente e taglio) per i pali interconnessi:



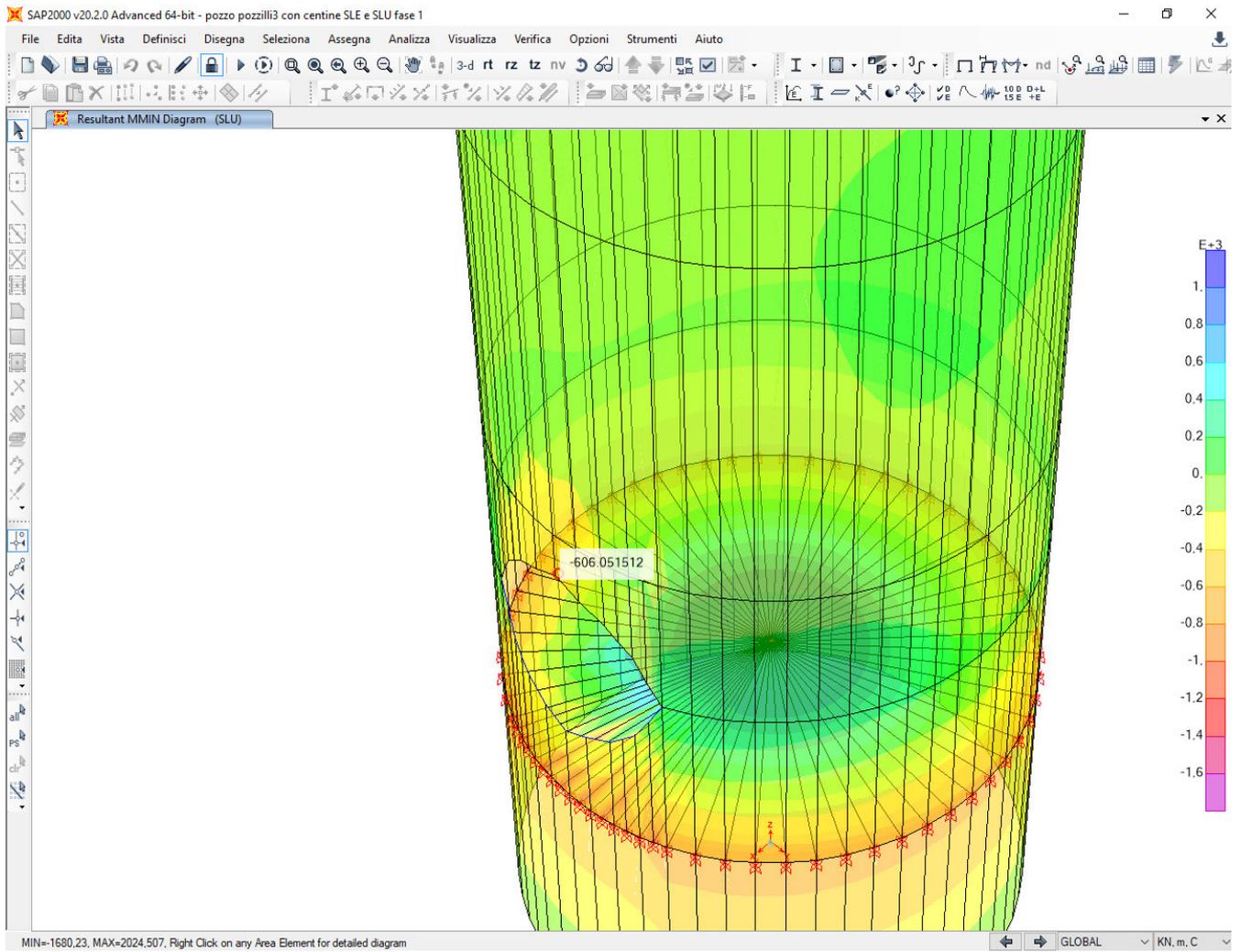
**Figura 10 – Momento Mmax (kNm) in condizione SLE**



**Figura 11 – Momento  $M_{max}$  (kNm) in condizione SLU**



**Figura 12 – Momento Mmin (kNm) in condizione SLE**



**Figura 13 – Momento Mmin (kNm) in condizione SLU**

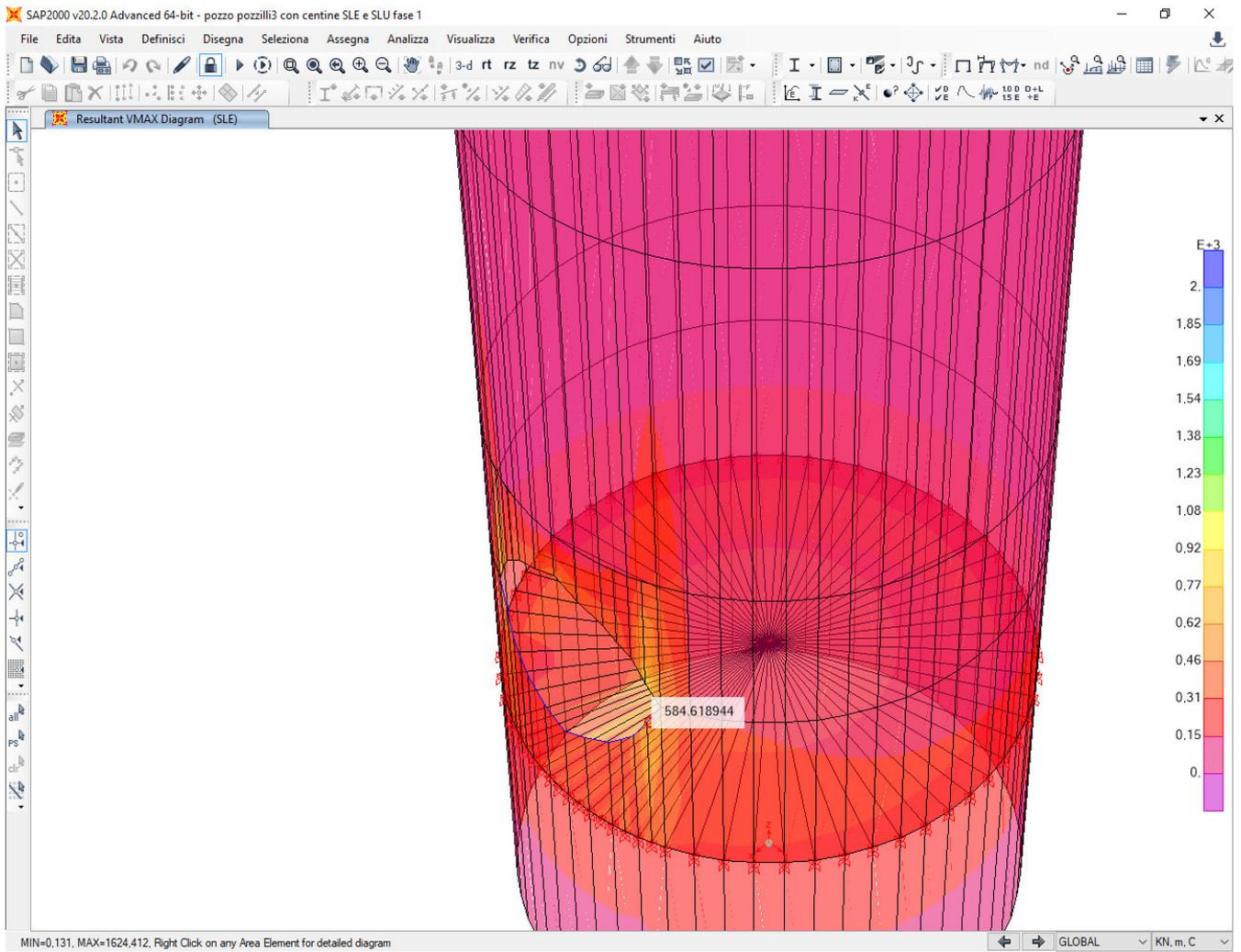
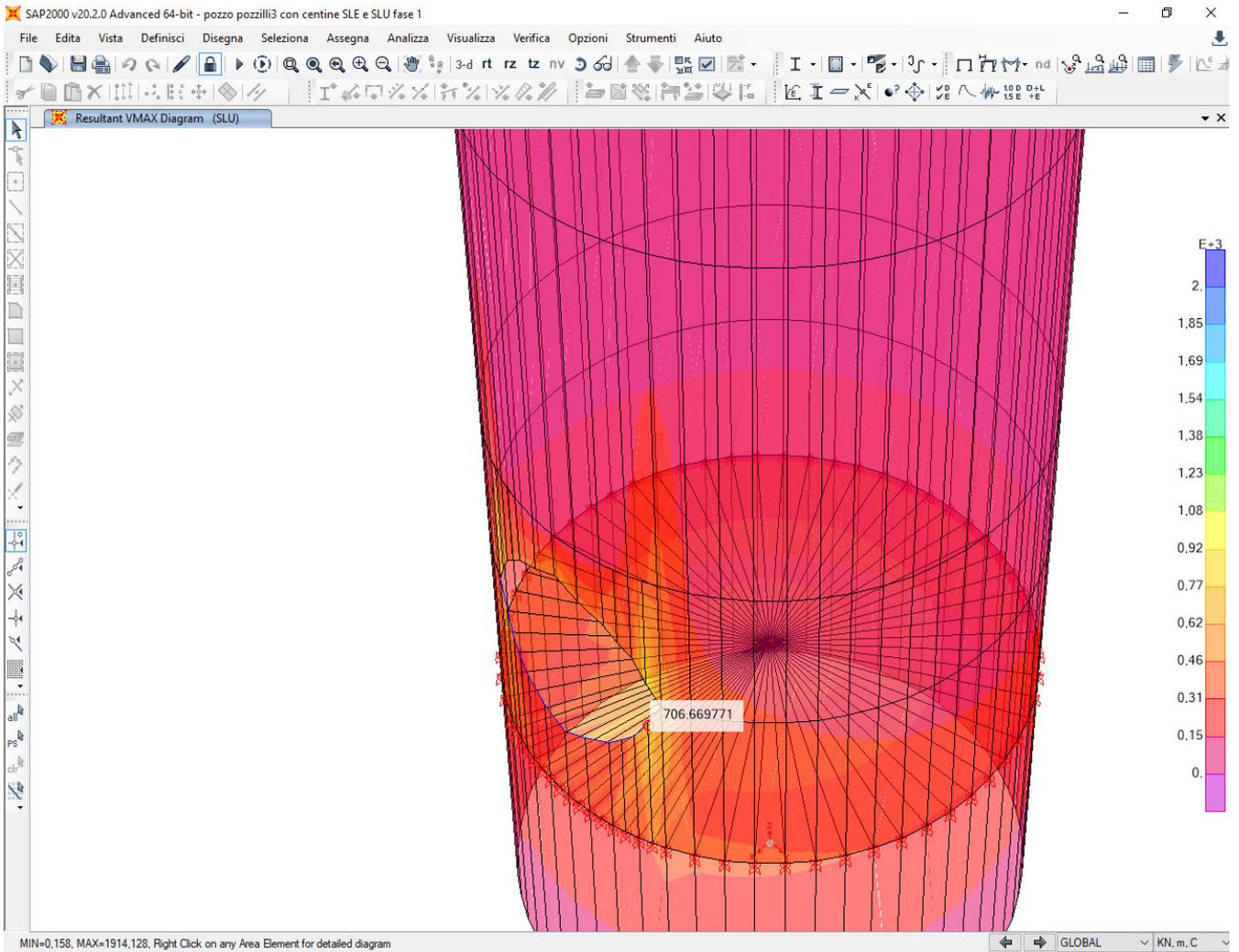


Figura 14 – Taglio Vmax (kN) in condizione SLE



**Figura 15 – Taglio Vmax (kN) in condizione SLU**

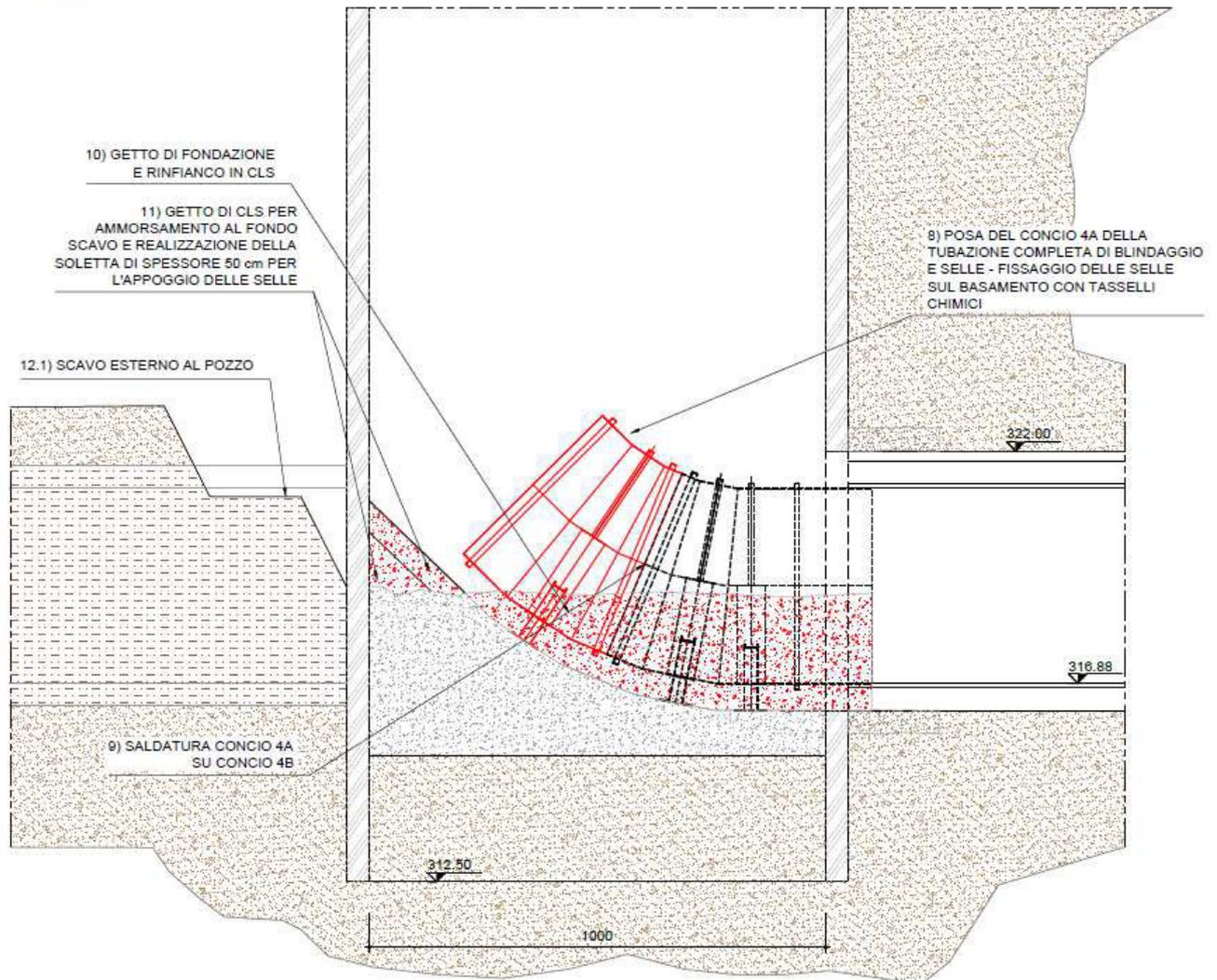
## 7. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI FASE 3

Nella fase 3 è stato considerato il momento in cui avviene lo scavo all'interno delle paratie giustapposte, connesse al pozzo, caso in cui si perde il confinamento assialsimmetrico del pozzo.

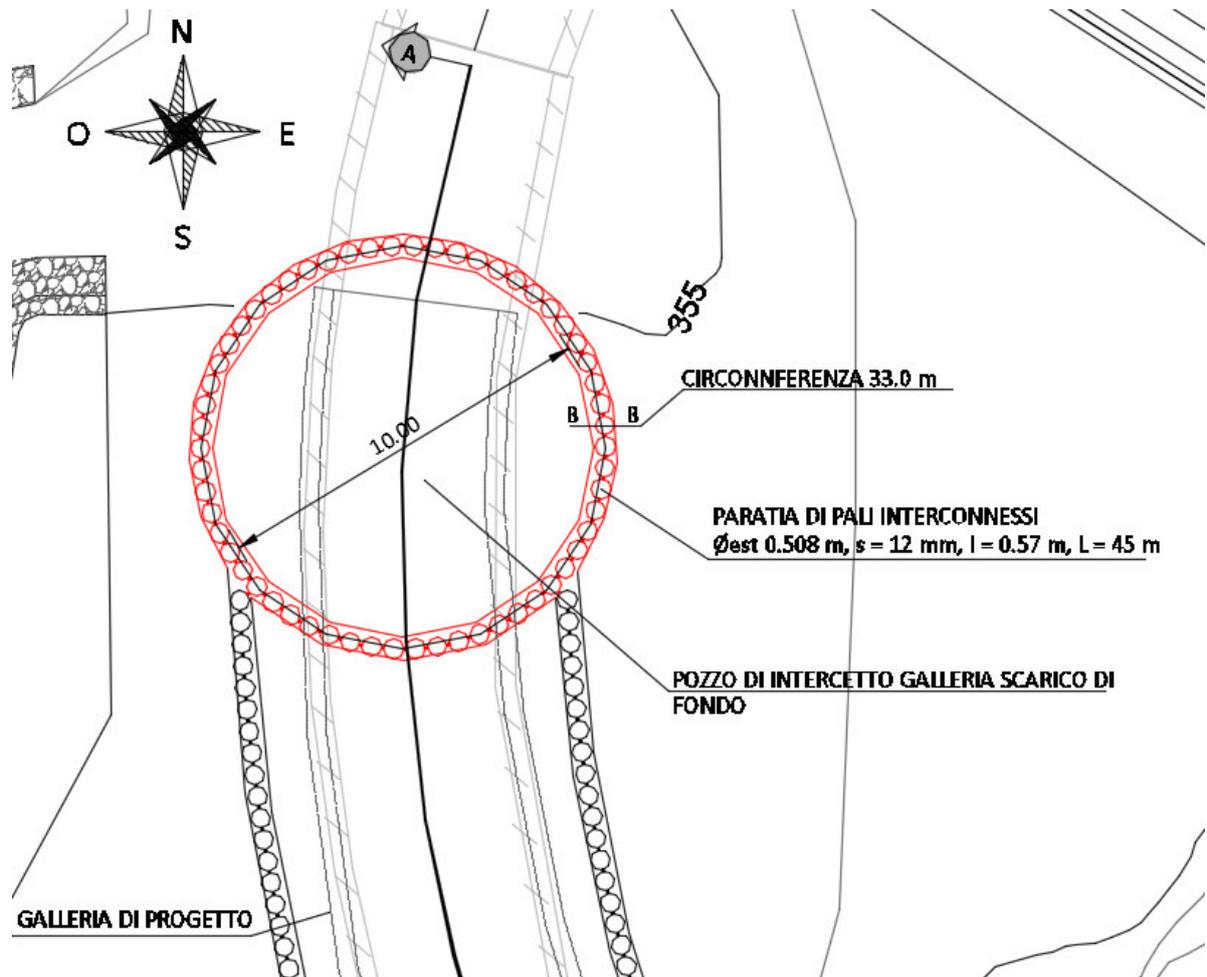
### FASE COSTRUTTIVA 3

SCALA 1:100

N.B. misure in cm

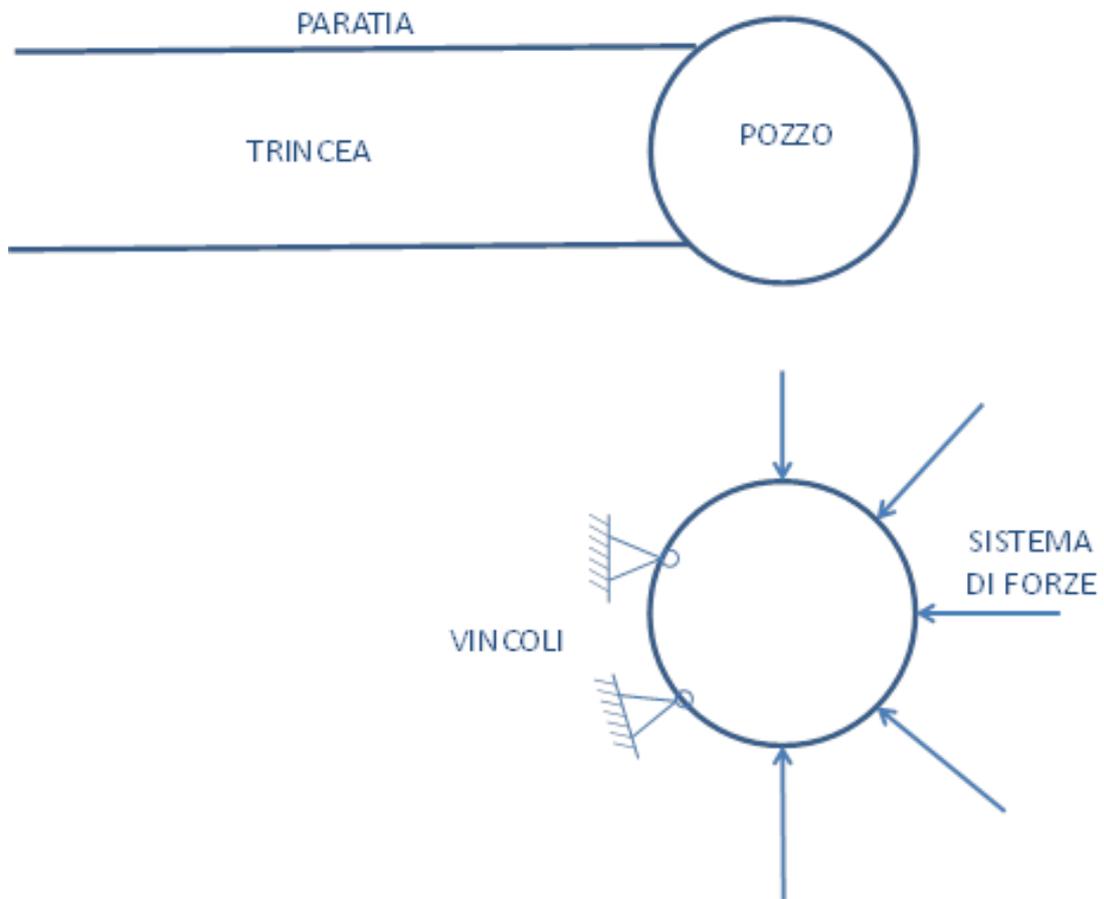


In tali condizioni si procede dunque dell'eliminazione del carico di terreno e acqua sulla porzione di pozzo interna alle due paratie, fino a piano campagna (mantenendo i carichi sulla restante parte del pozzo), con contestuale inserimento di vincoli di appoggio in corrispondenza delle parti del pozzo a contatto con le paratie longitudinali alla galleria di progetto.



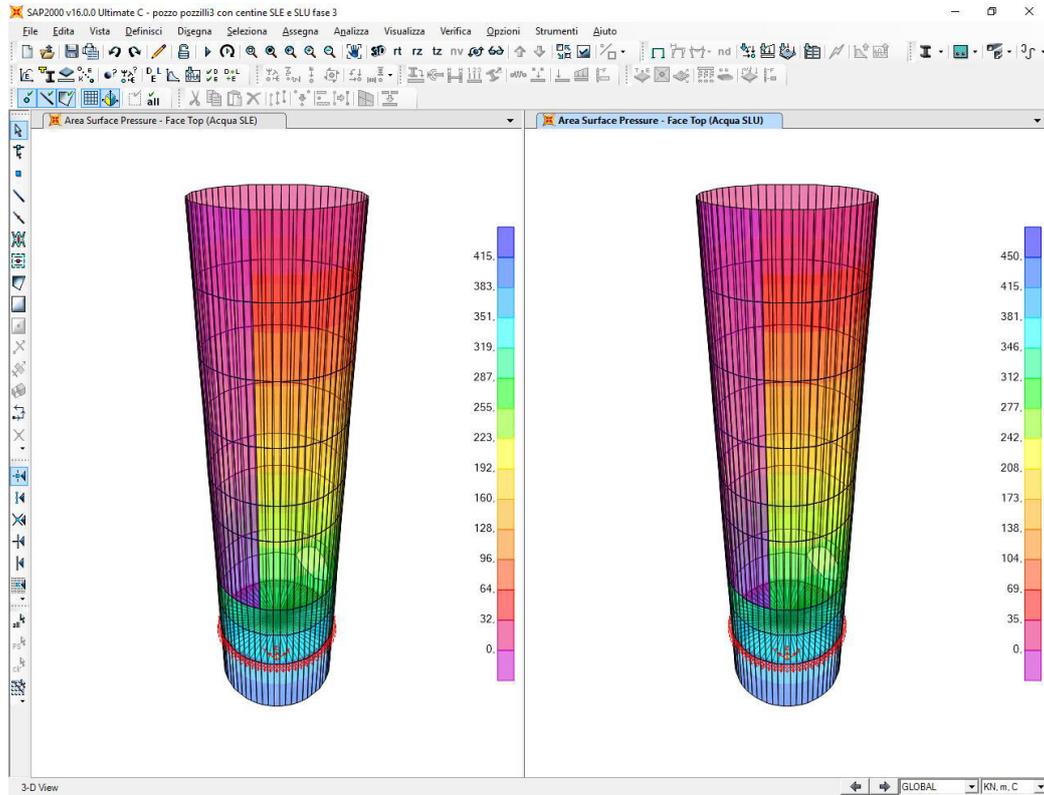
**Figura 16: Pozzo di cui al calcolo**

:

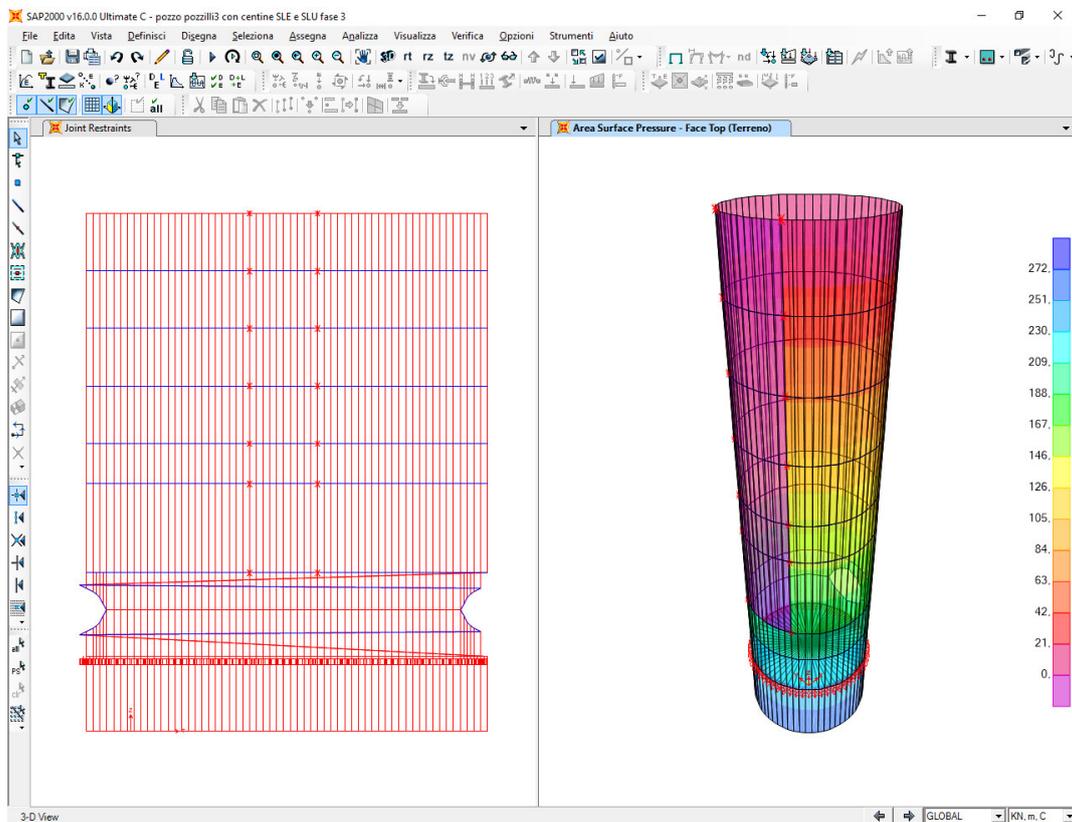


**Figura 17: Schema esemplificativo della situazione di carico e vincolo del pozzo**

Si riportano di seguito i carichi e i vincoli inseriti nel modello:



**Figura 18: Carichi**



**Figura 19: Vincoli**

Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni e spostamenti nella nuova configurazione di carico e vincolo:

### 7.1. SPOSTAMENTI

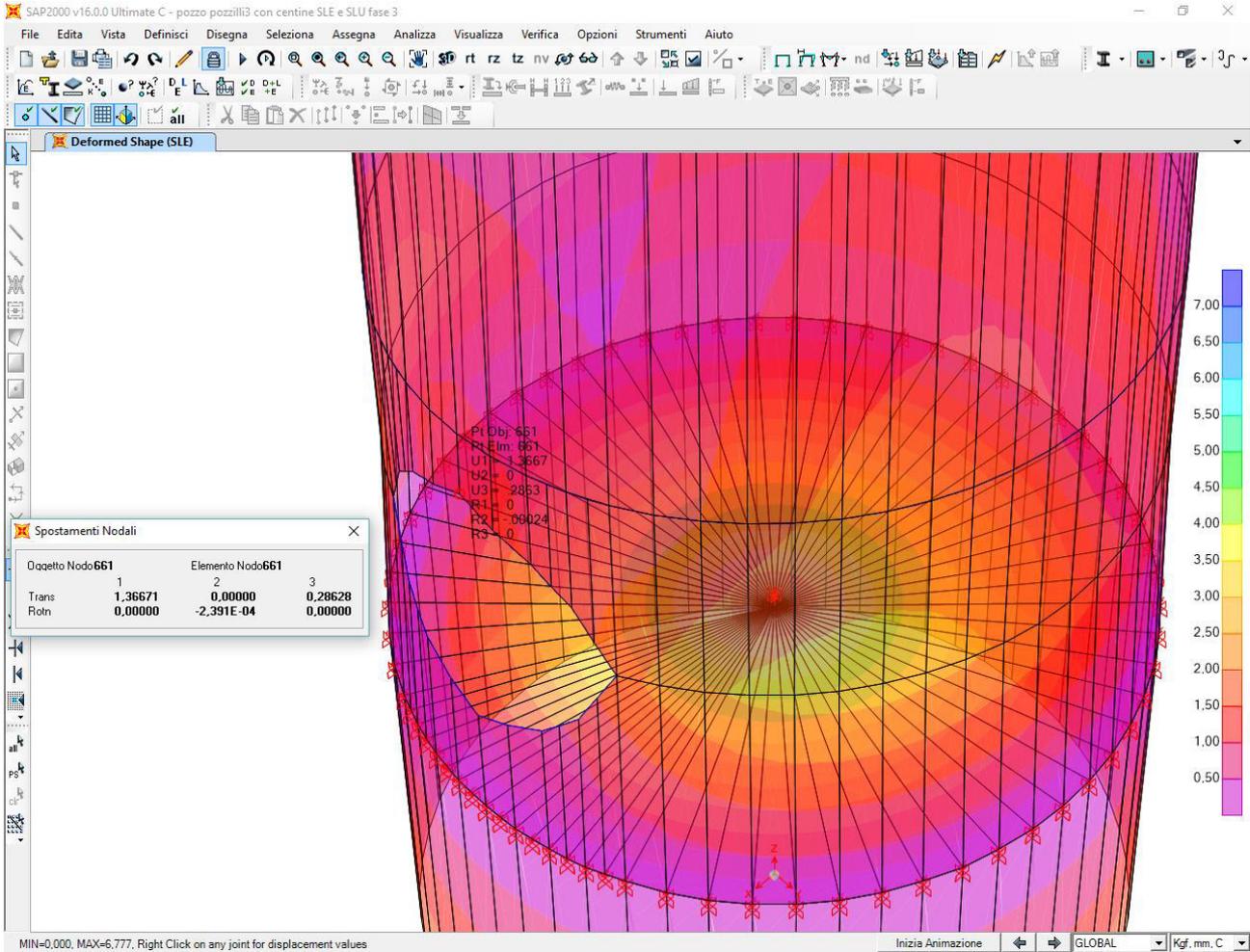
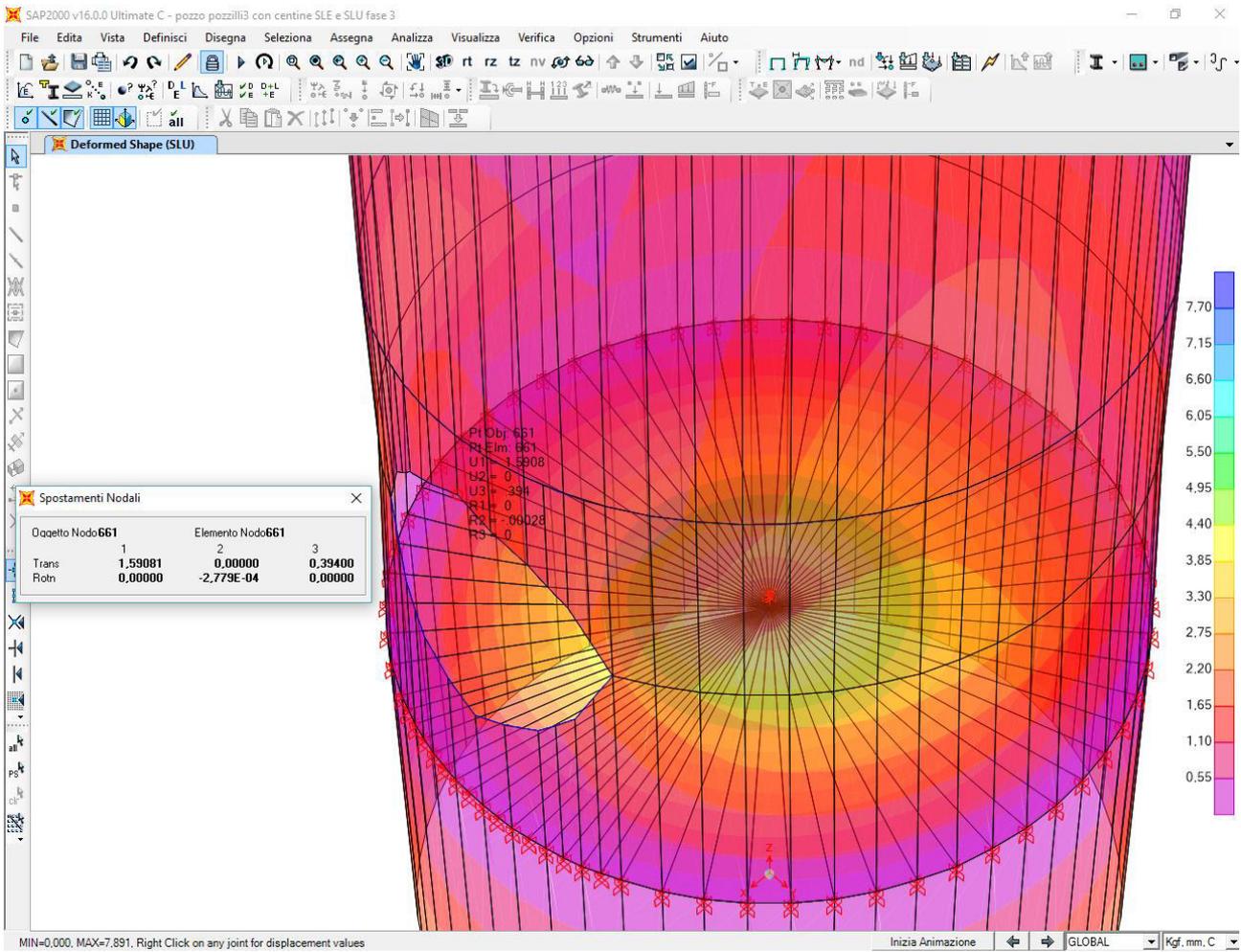


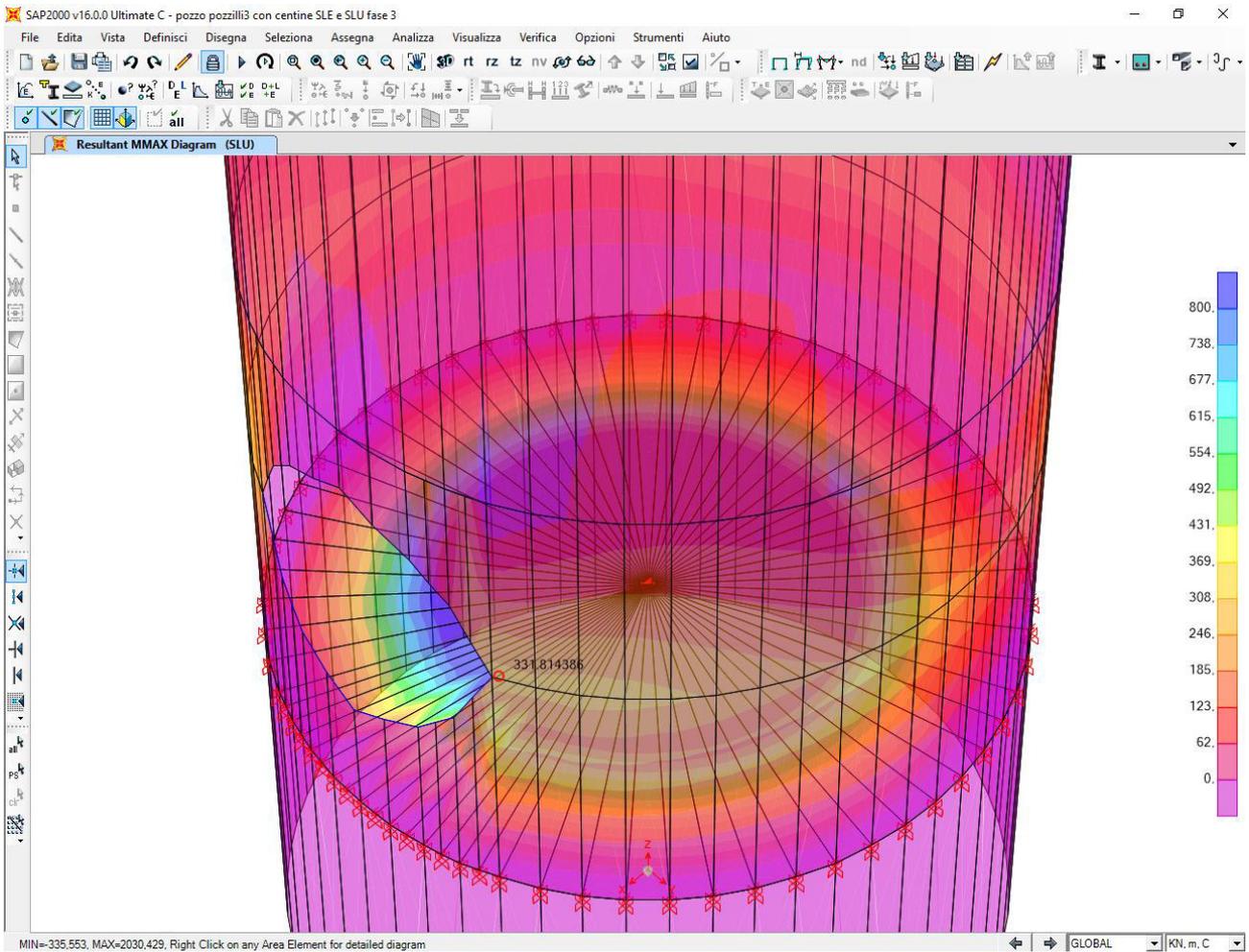
Figura 20: Spostamenti massimi in mm in condizione SLE



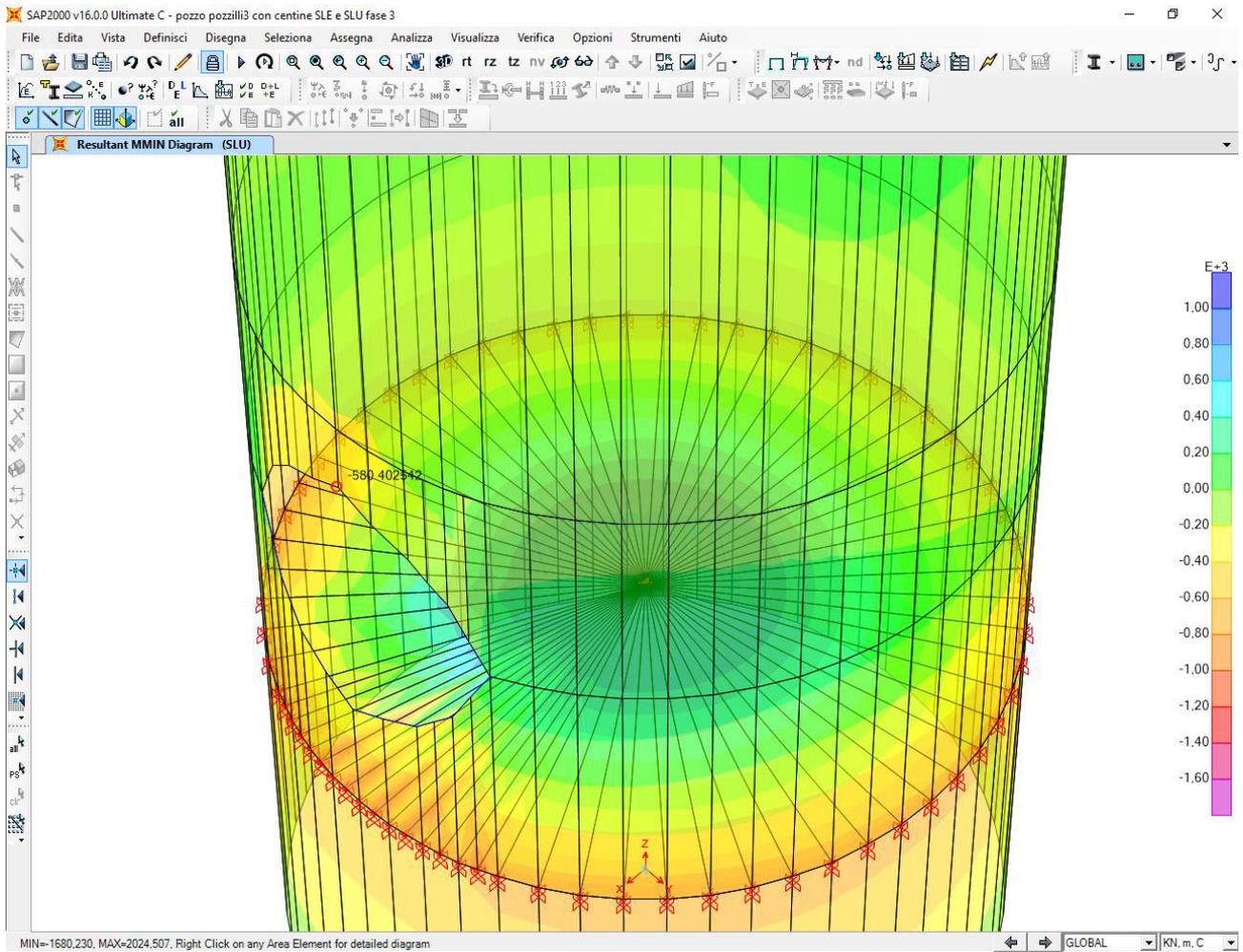
**Figura 21: Spostamenti massimi in mm in condizione SLU**

## 7.2. SOLLECITAZIONI

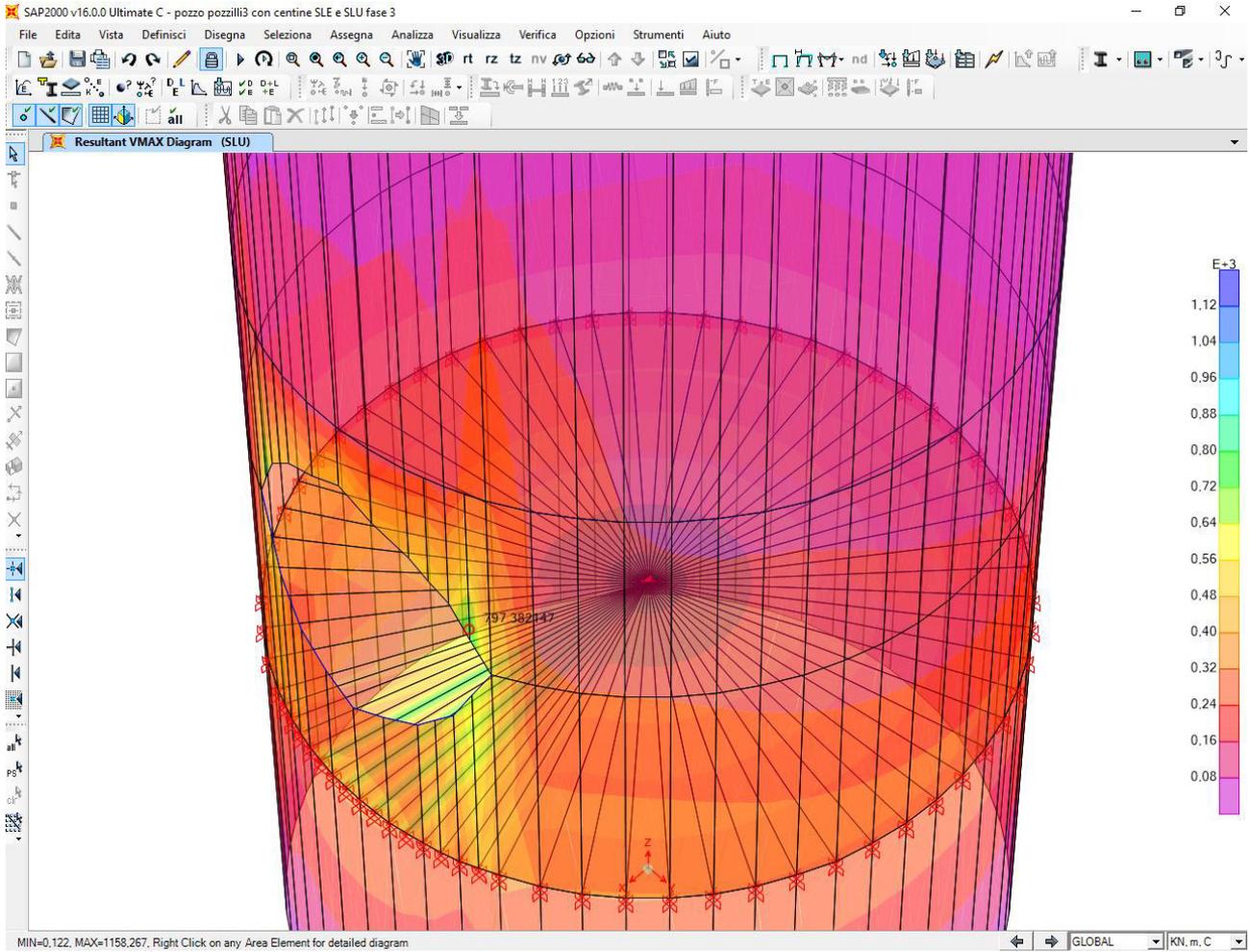
Si riporta nel seguito l'involuppo delle sollecitazioni (momento flettente e taglio) per i pali interconnessi:



**Figura 22: Momento Mmax (kNm) in condizione SLU**



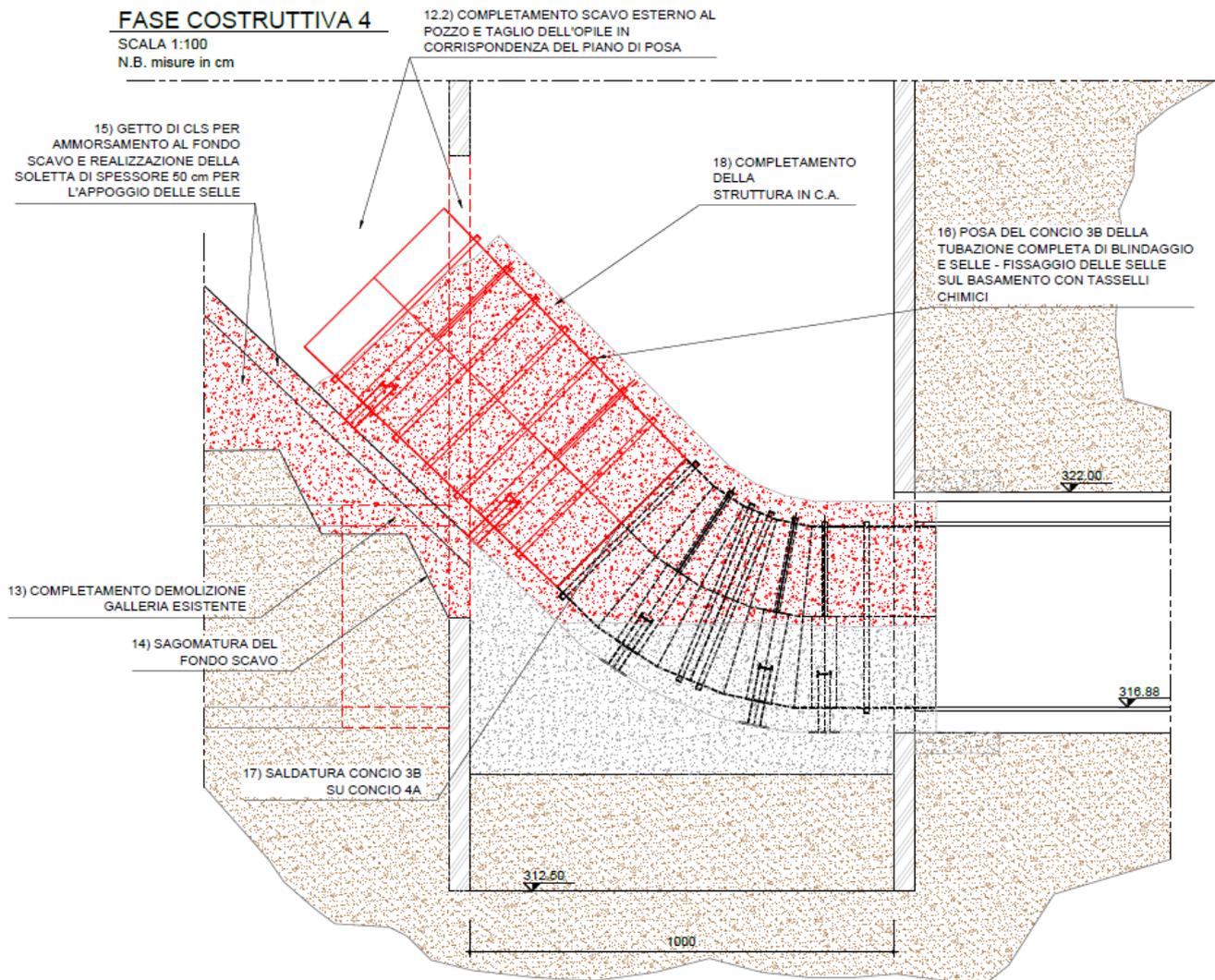
**Figura 23: Momento Mmin (kNm) in condizione SLU**



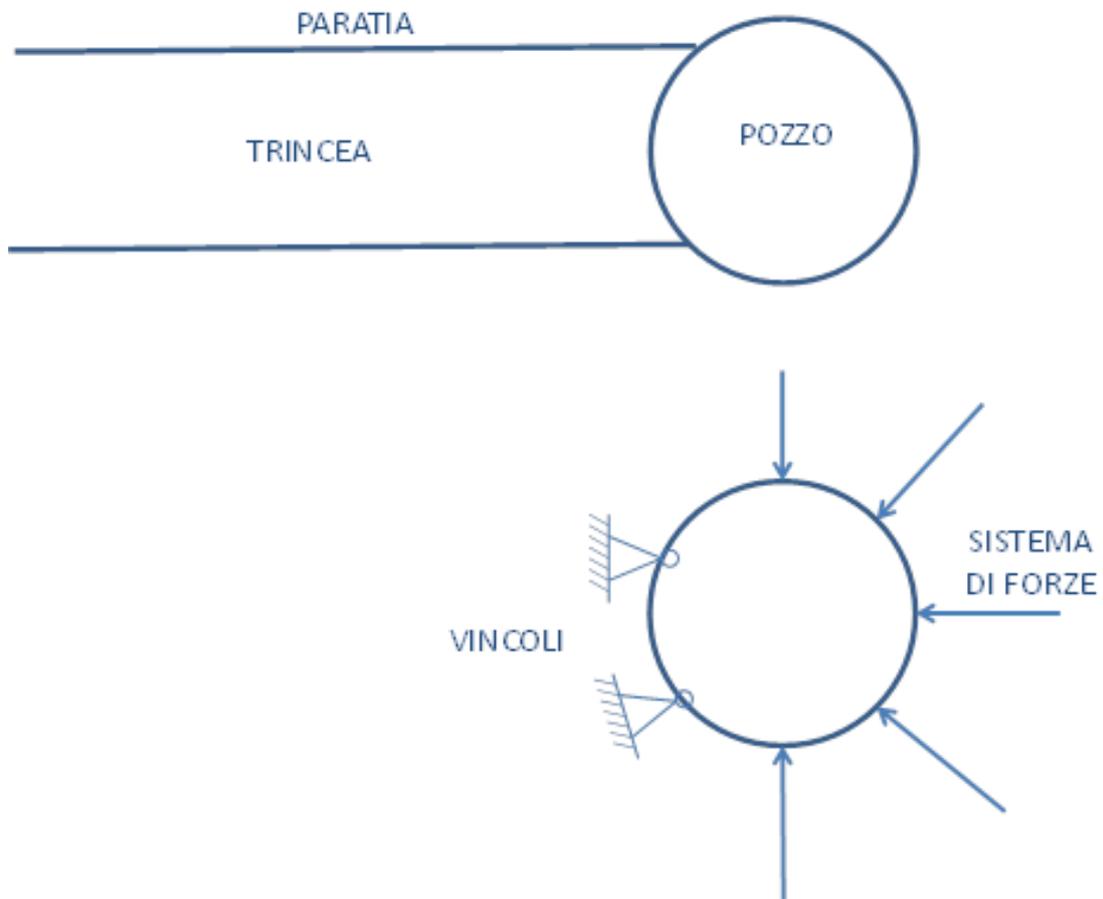
**Figura 24: Taglio Vmax (kNm) in condizione SLU**

## 8. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI FASE 4, 5 E 6

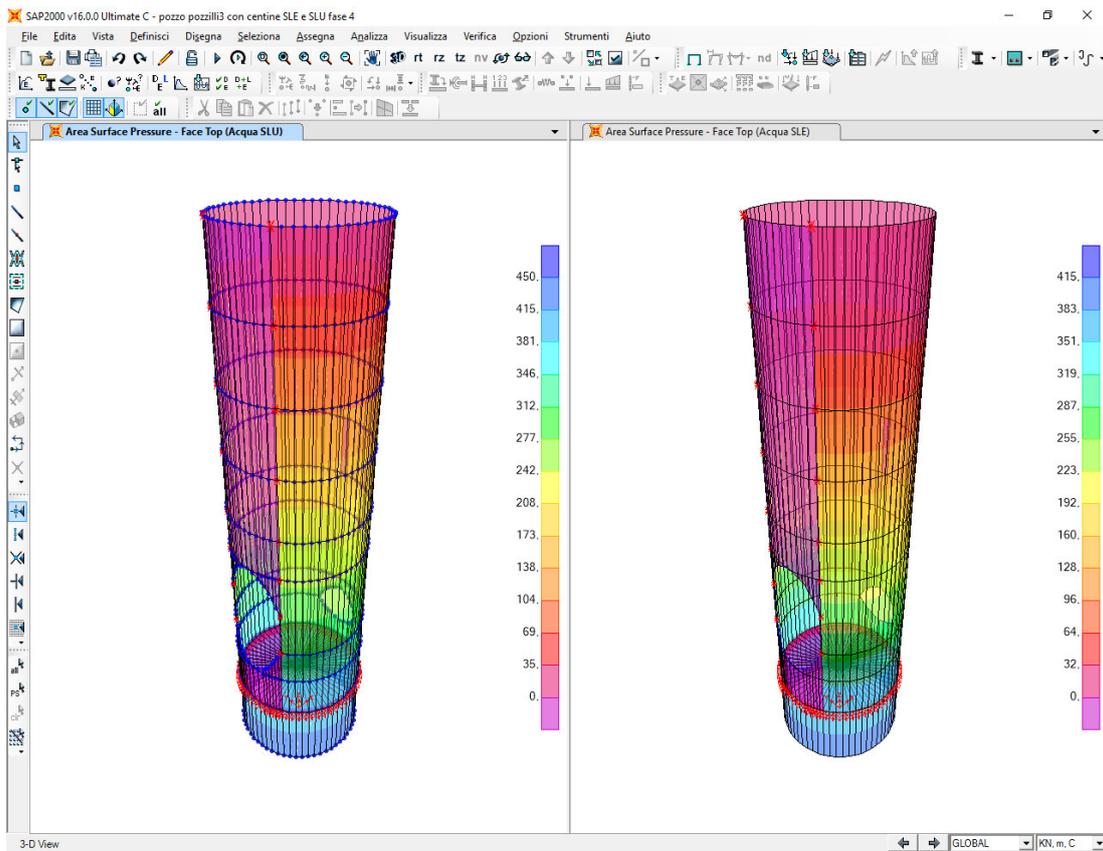
La fase 4 è analoga alla fase 3 con l'aggiunta del foro lato monte del pozzo. Nelle fasi costruttive 5 e 6 viene completato il manufatto al di fuori del pozzo tra le paratie, per cui in tali fasi la situazione di carico sul pozzo è analoga alla presente fase 4:



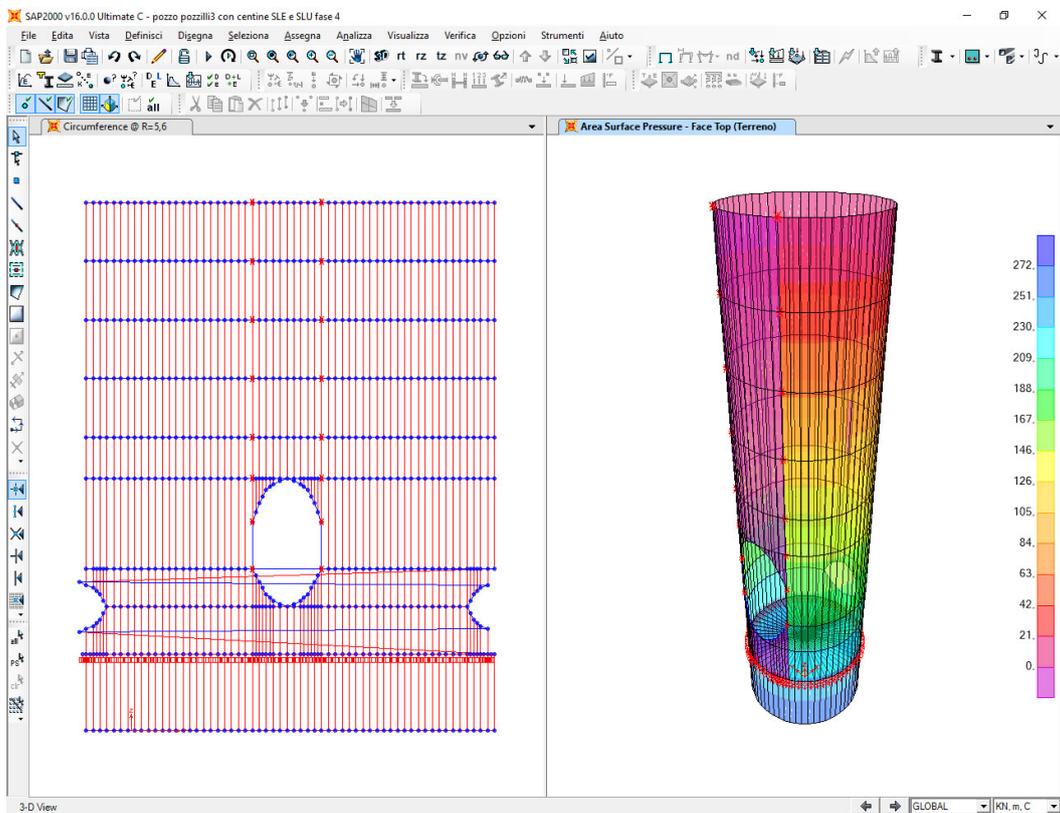
Lo schema di vincoli e carichi è analogo a quello della fase 3:



**Figura 25: Schema esemplificativo della situazione di carico e vincolo del pozzo**



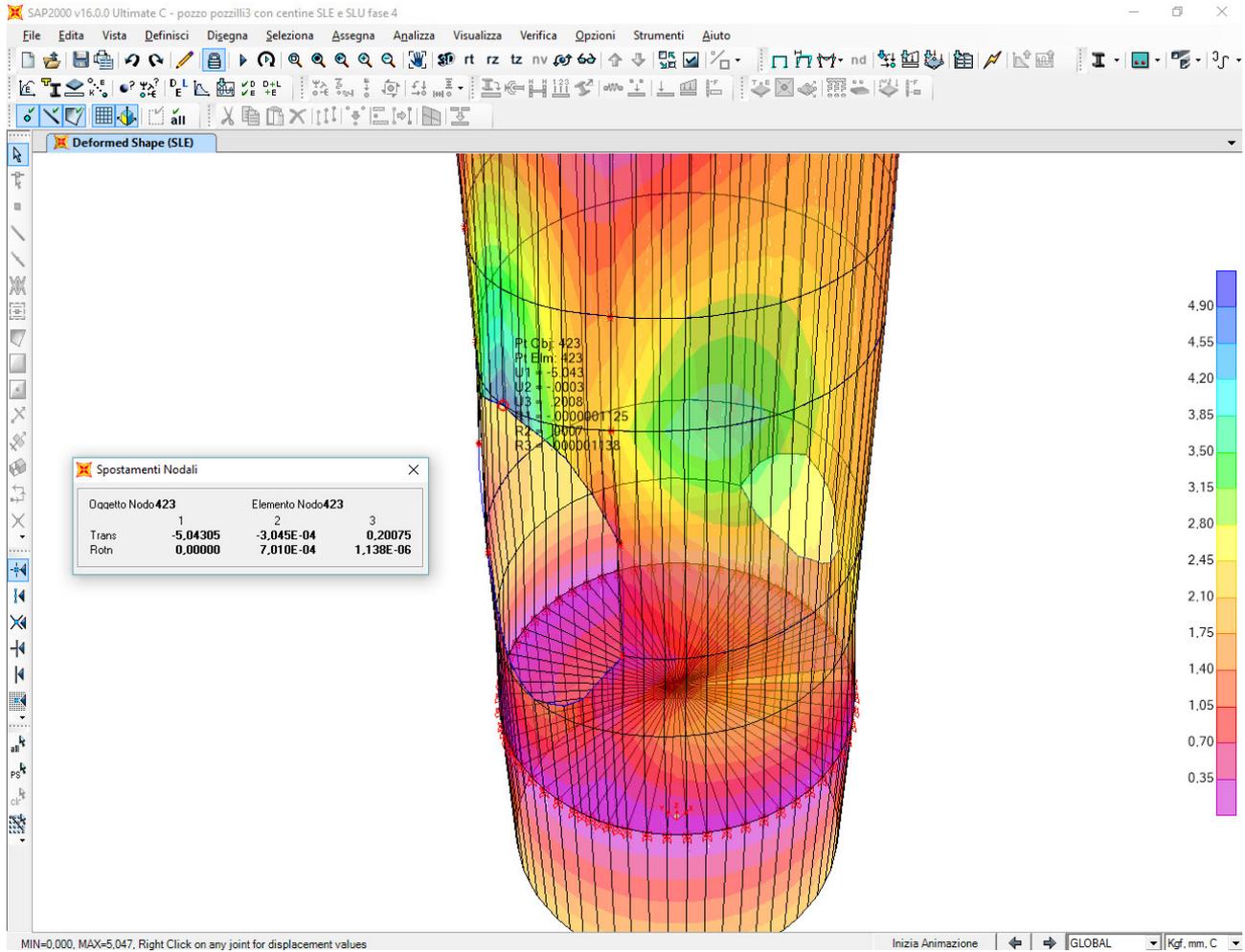
**Figura 26: Carichi**



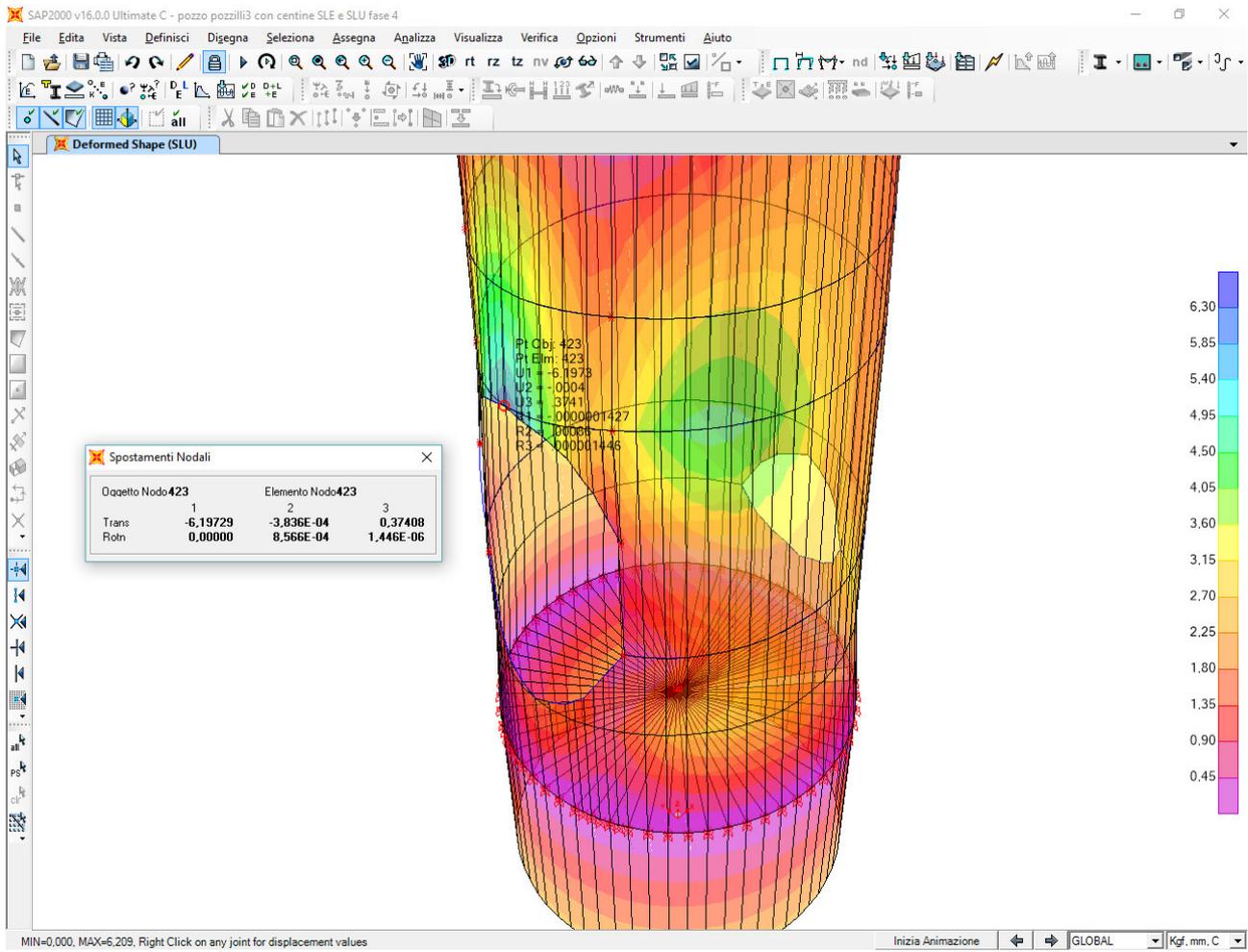
**Figura 27: Vincoli**

Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni e spostamenti nella nuova configurazione di carico e vincolo:

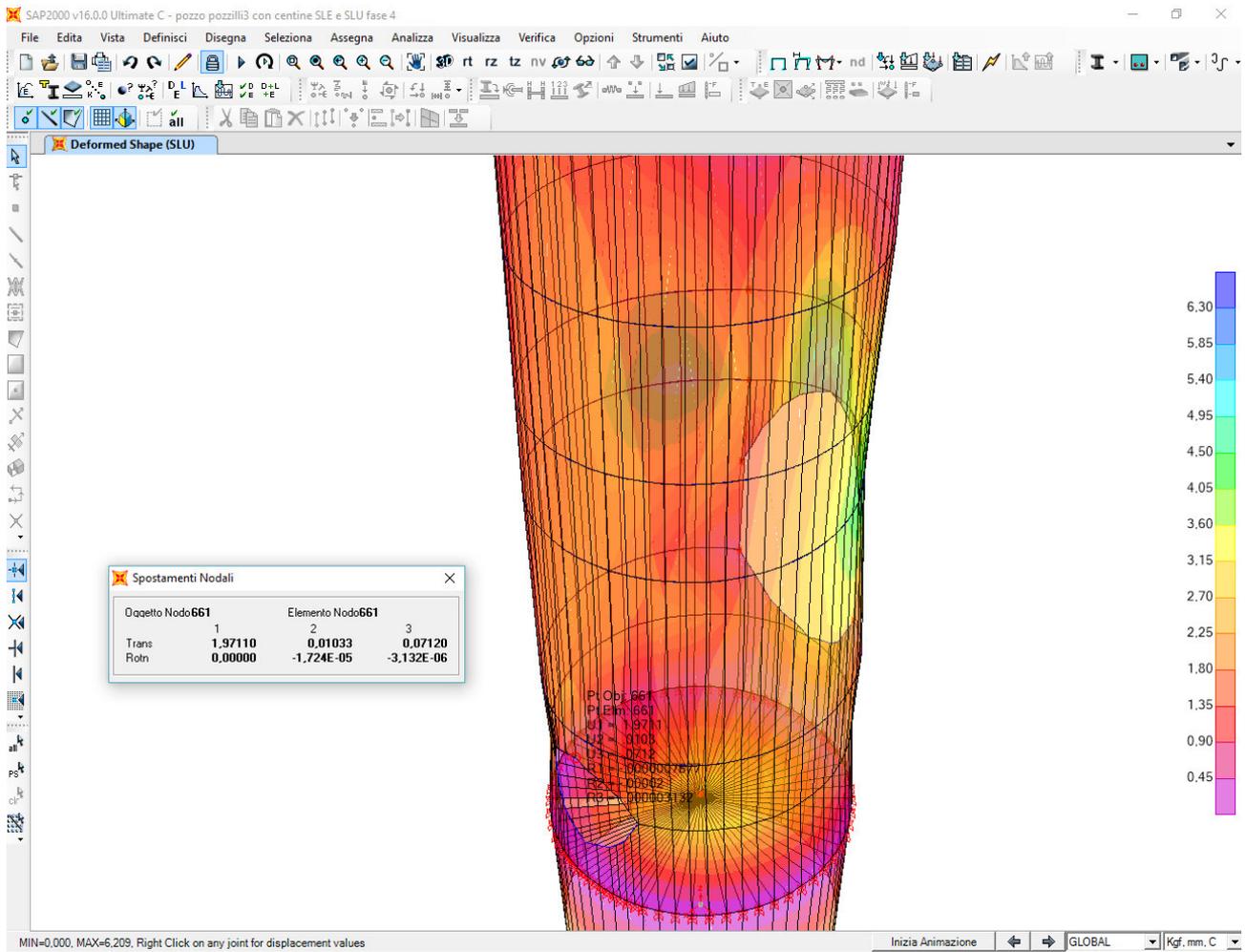
### 8.1. SPOSTAMENTI



**Figura 28: Spostamenti massimi in mm in condizione SLE**



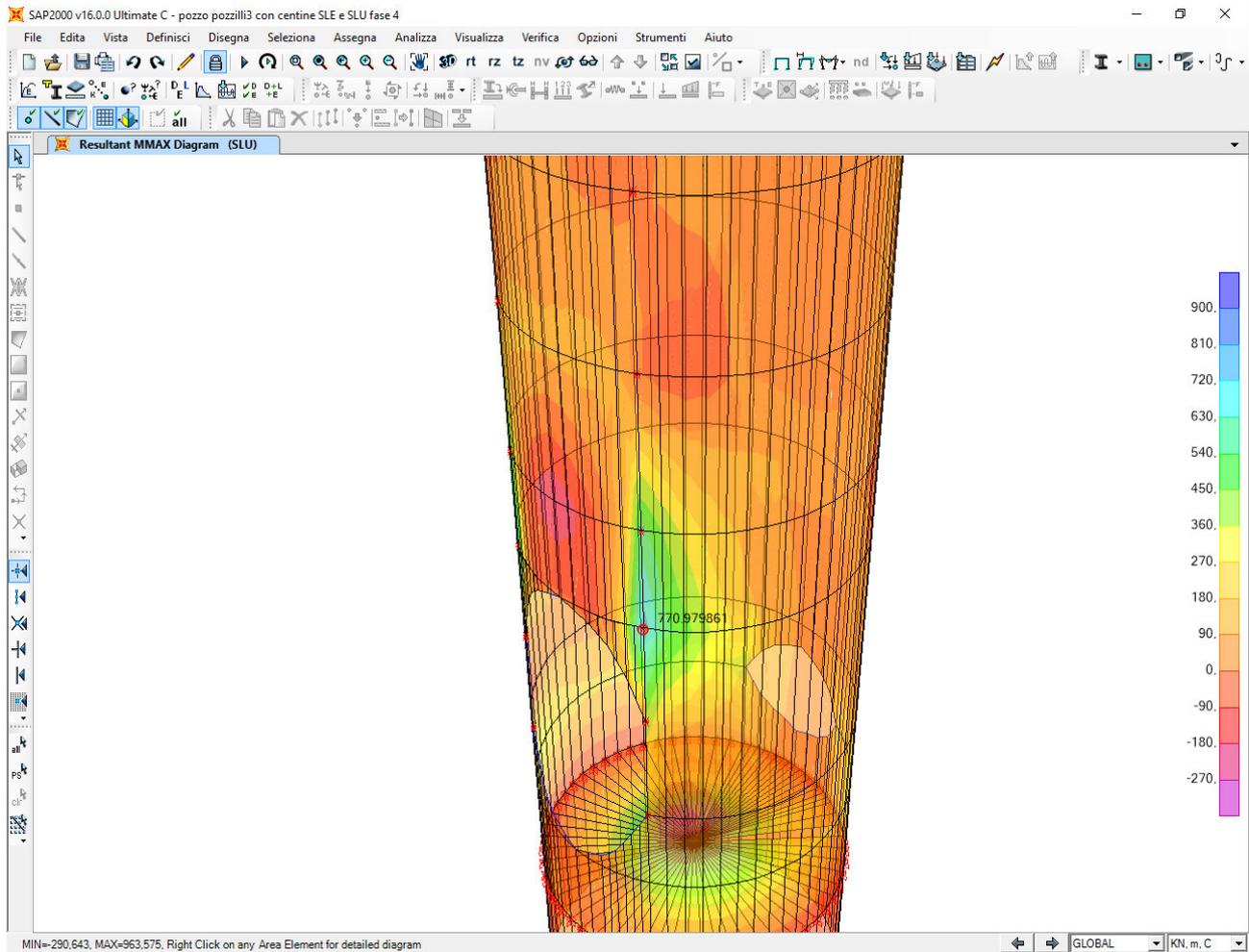
**Figura 29: Spostamenti massimi in mm in condizione SLU**



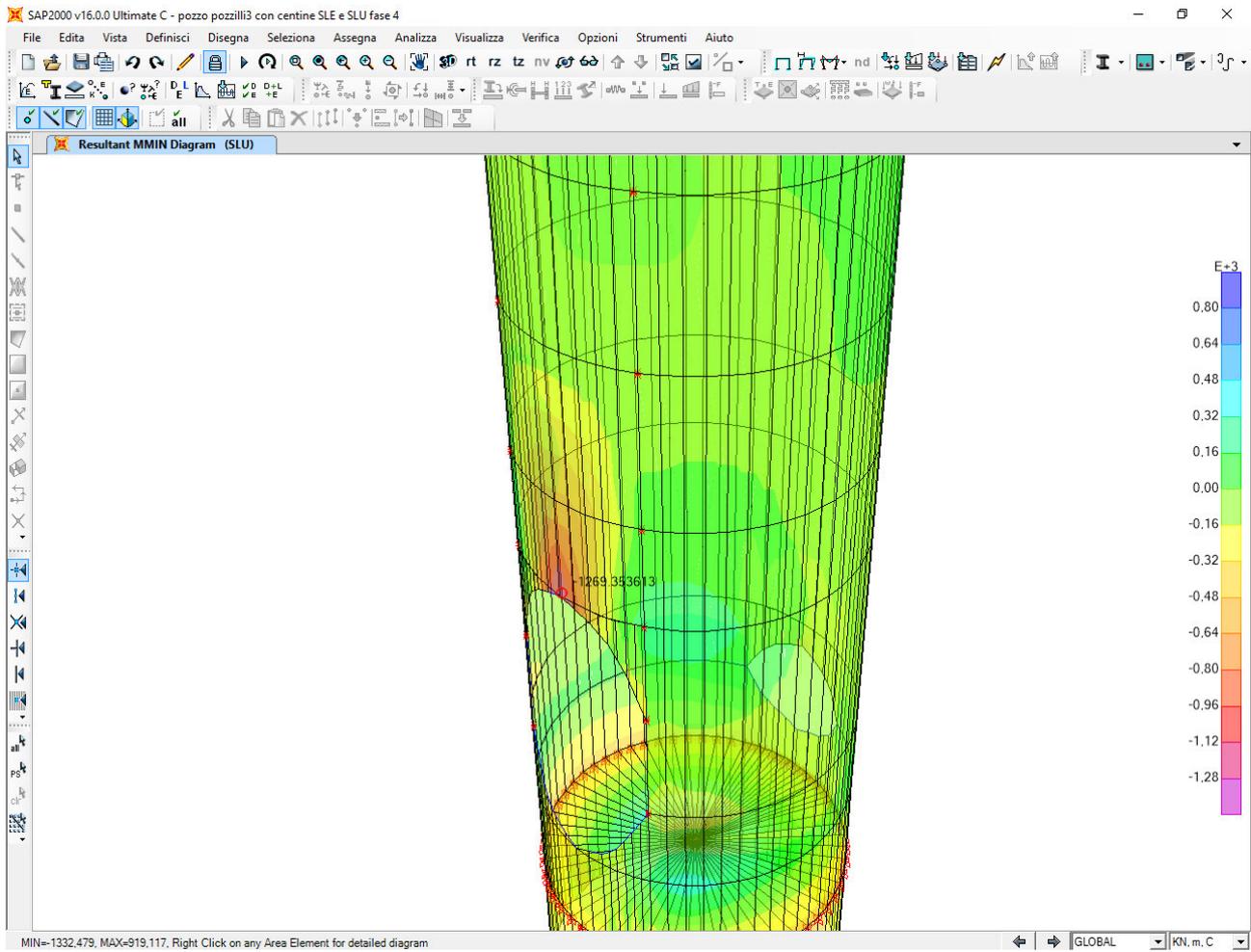
**Figura 30: Spostamenti in mm in condizione SLU (lato opposto)**

## 8.2. SOLLECITAZIONI

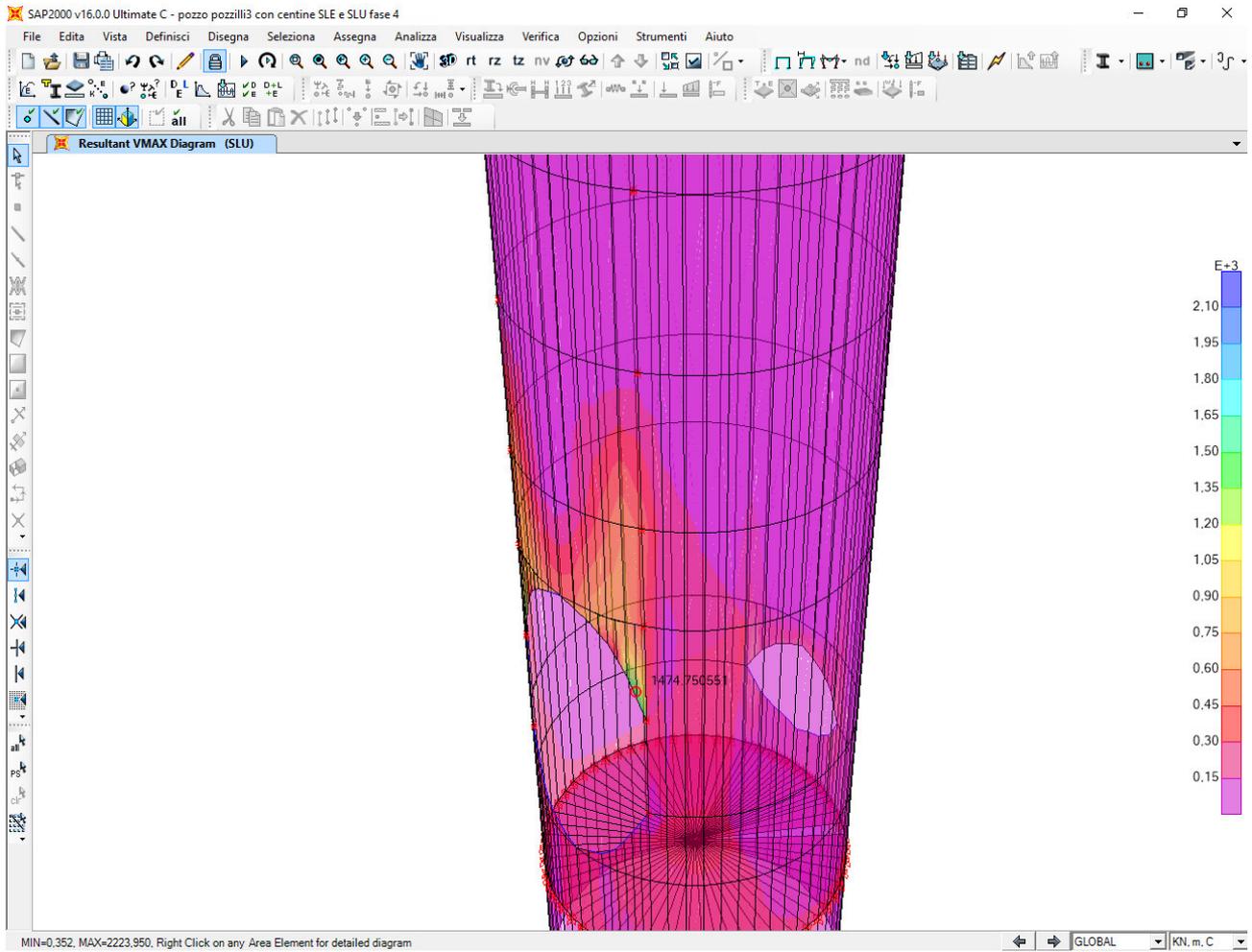
Si riporta nel seguito l'involuppo delle sollecitazioni (momento flettente e taglio) per i pali interconnessi:



**Figura 31: Momento Mmax (kNm) in condizione SLU**



**Figura 32: Momento Mmin (kNm) in condizione SLU**

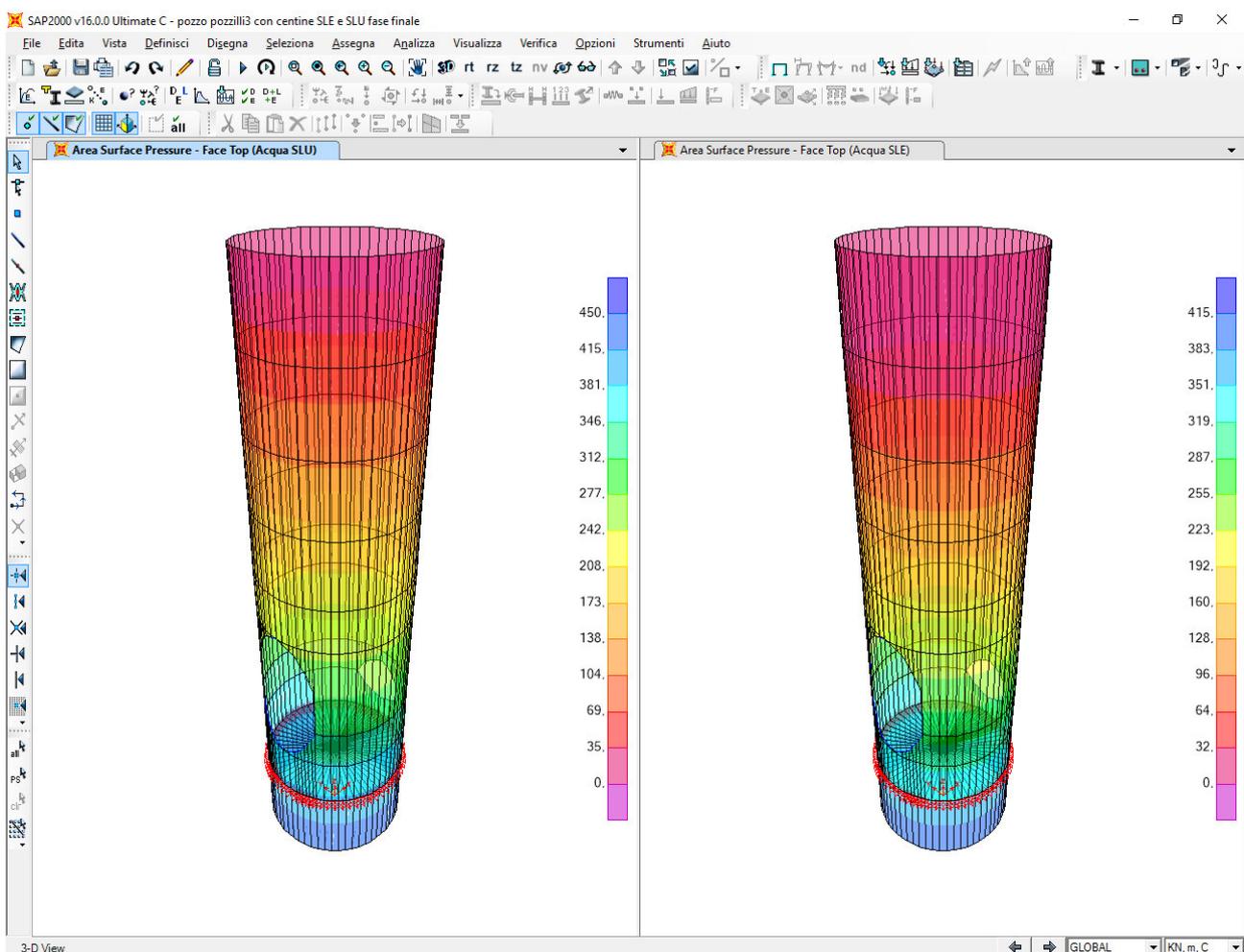


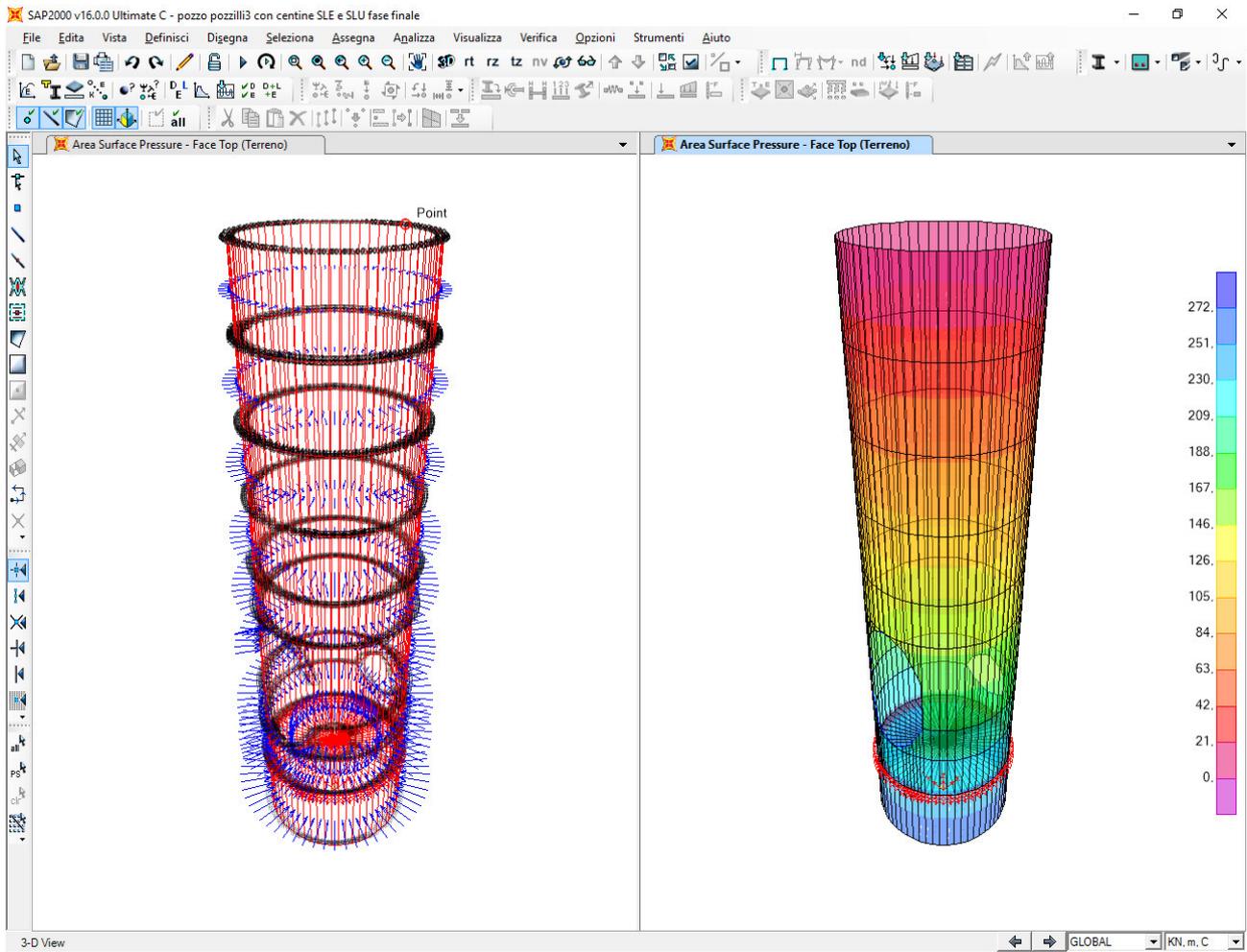
**Figura 33: Taglio Vmax (kNm) in condizione SLU**

## 9. ANALISI STRUTTURALE E CALCOLO SOLLECITAZIONI NELLA FASE PRECEDENTE AL RIEMPIMENTO DEL POZZO

L'ultima fase considerata è quella precedente al riempimento del pozzo con il carico assialsimmetrico su tutto il pozzo (dopo il riempimento al di sopra del manufatto realizzato tra le paratie) e la presenza di entrambi i fori a monte e a valle della struttura del pozzo. A favore di sicurezza non si considerano i vincoli inseriti nelle precedenti fasi in corrispondenza dell'arrivo delle paratie sul pozzo.

Si ricorda che a seguito di questa fase il pozzo al di sopra della nuova tubazione verrà riempito fino a piano campagna perdendo la sua funzione strutturale.





Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni e spostamenti.

### 9.1. SPOSTAMENTI

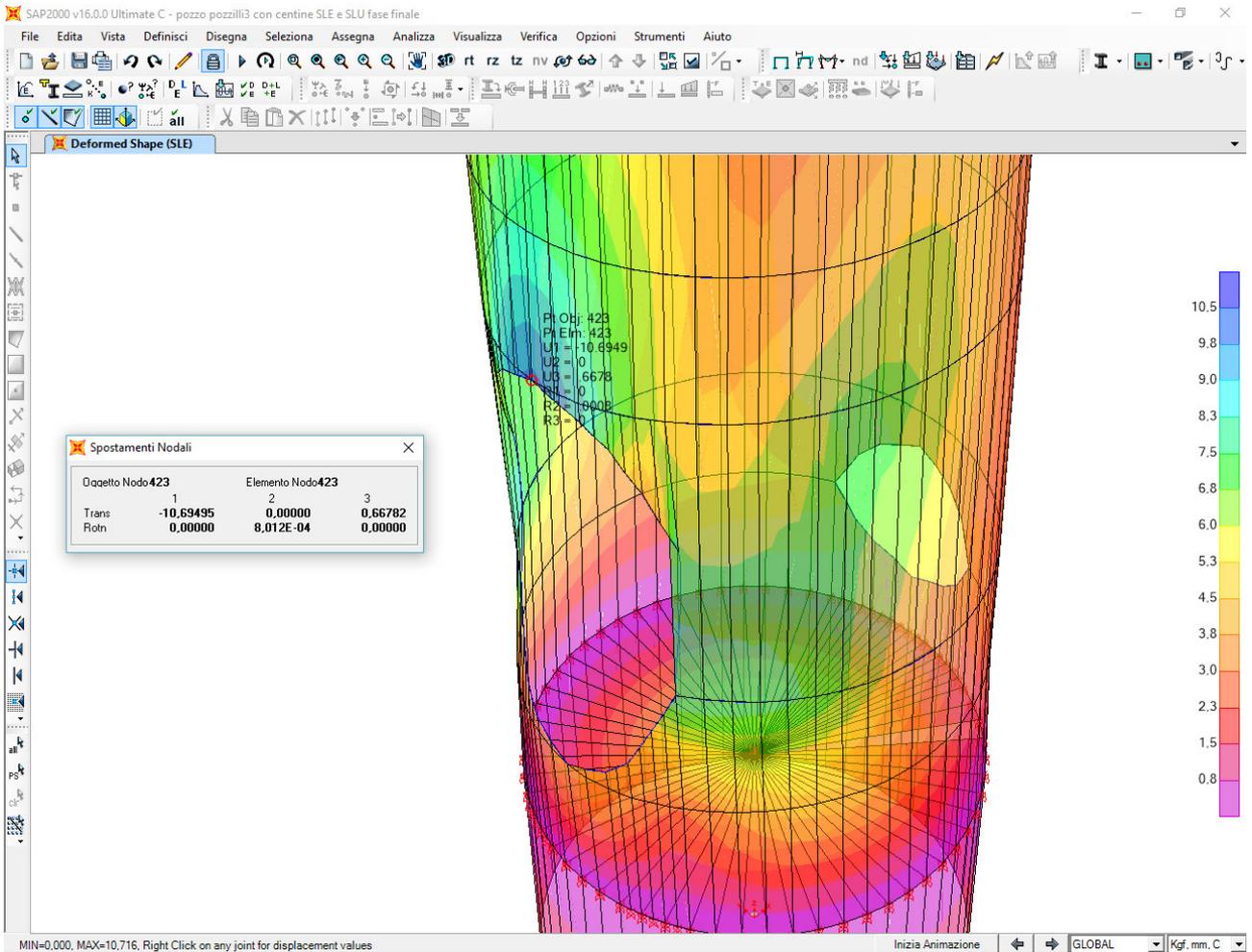
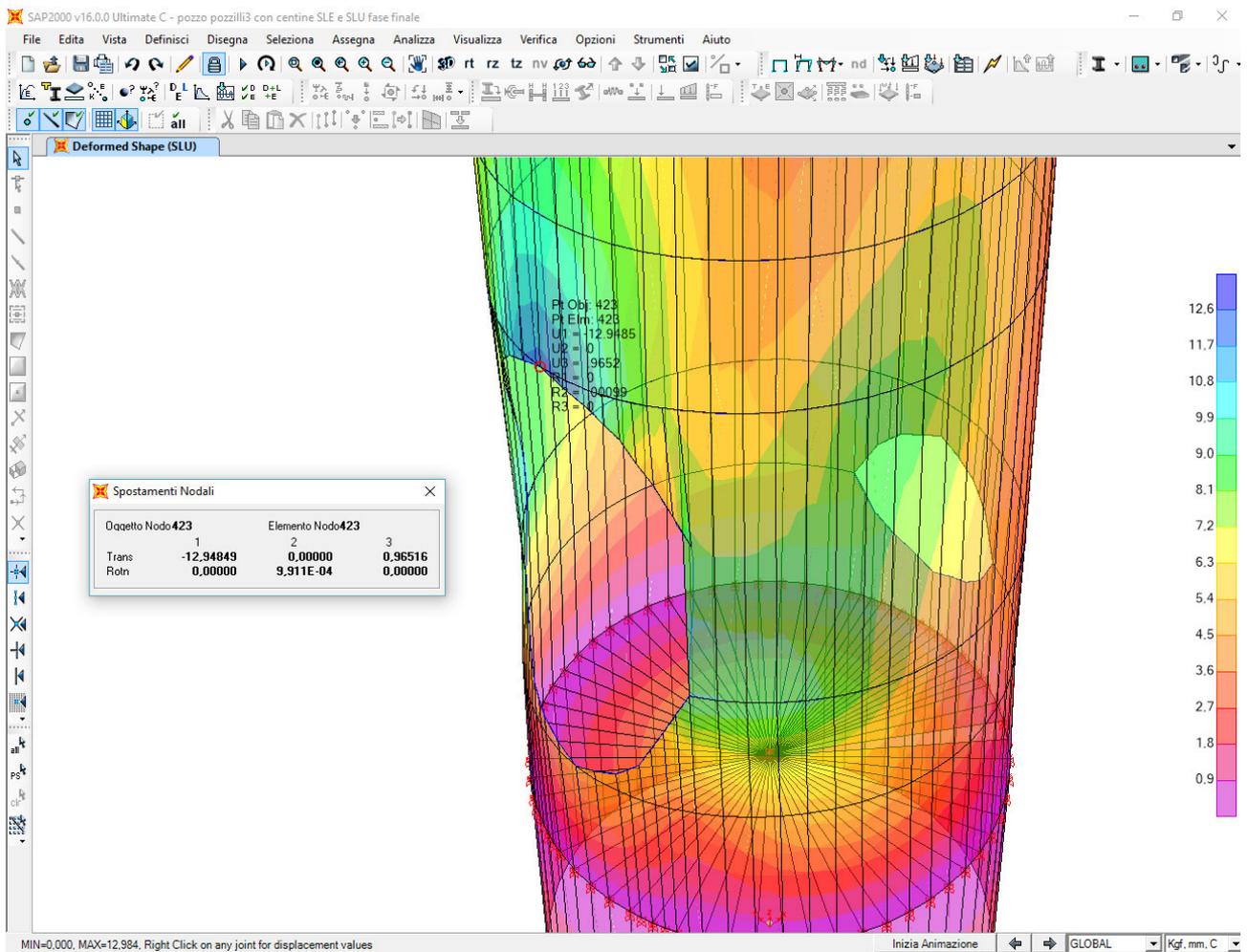


Figura 34 – Spostamenti massimi in mm in condizione SLE



**Figura 35 – Spostamenti massimi in mm in condizione SLU**

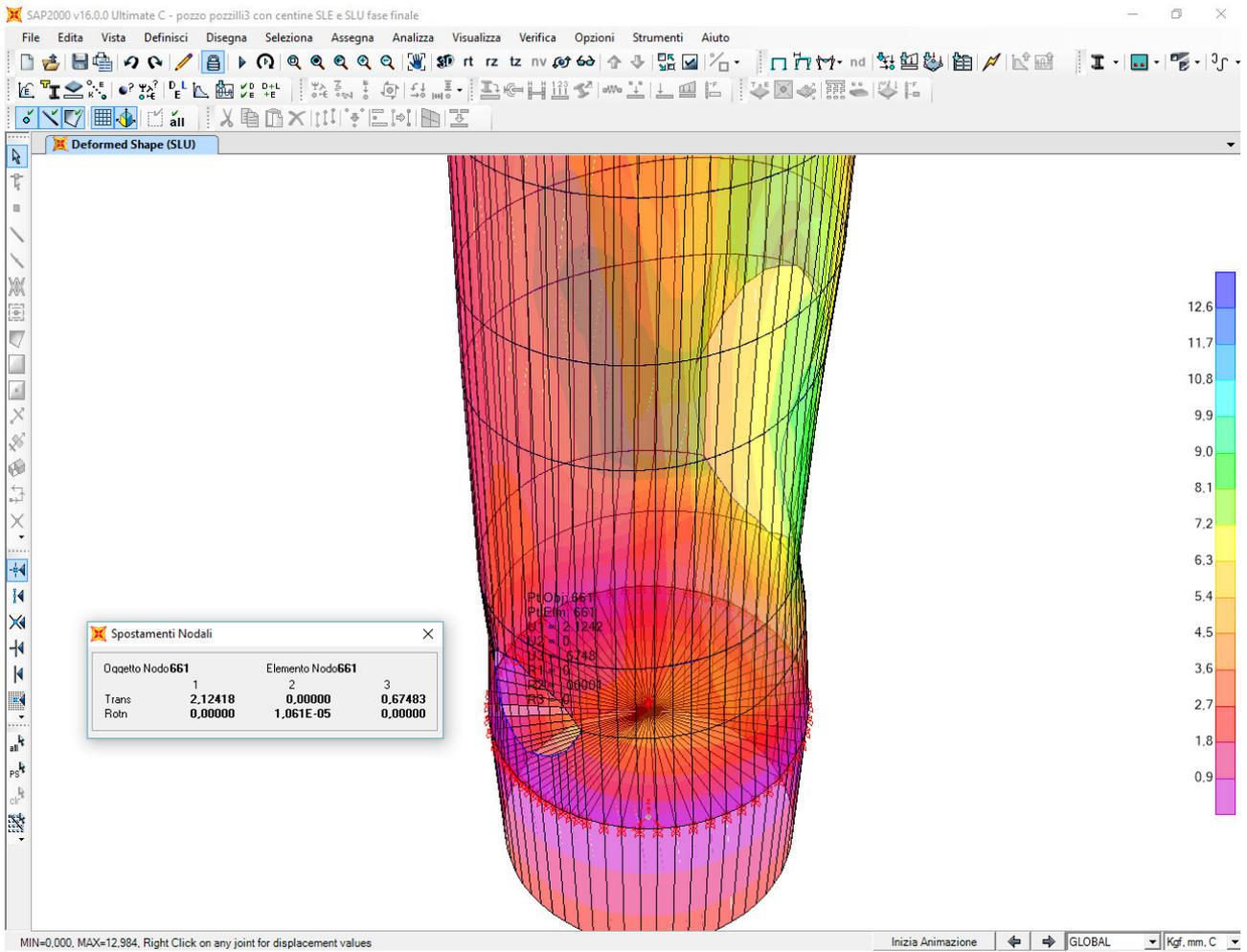
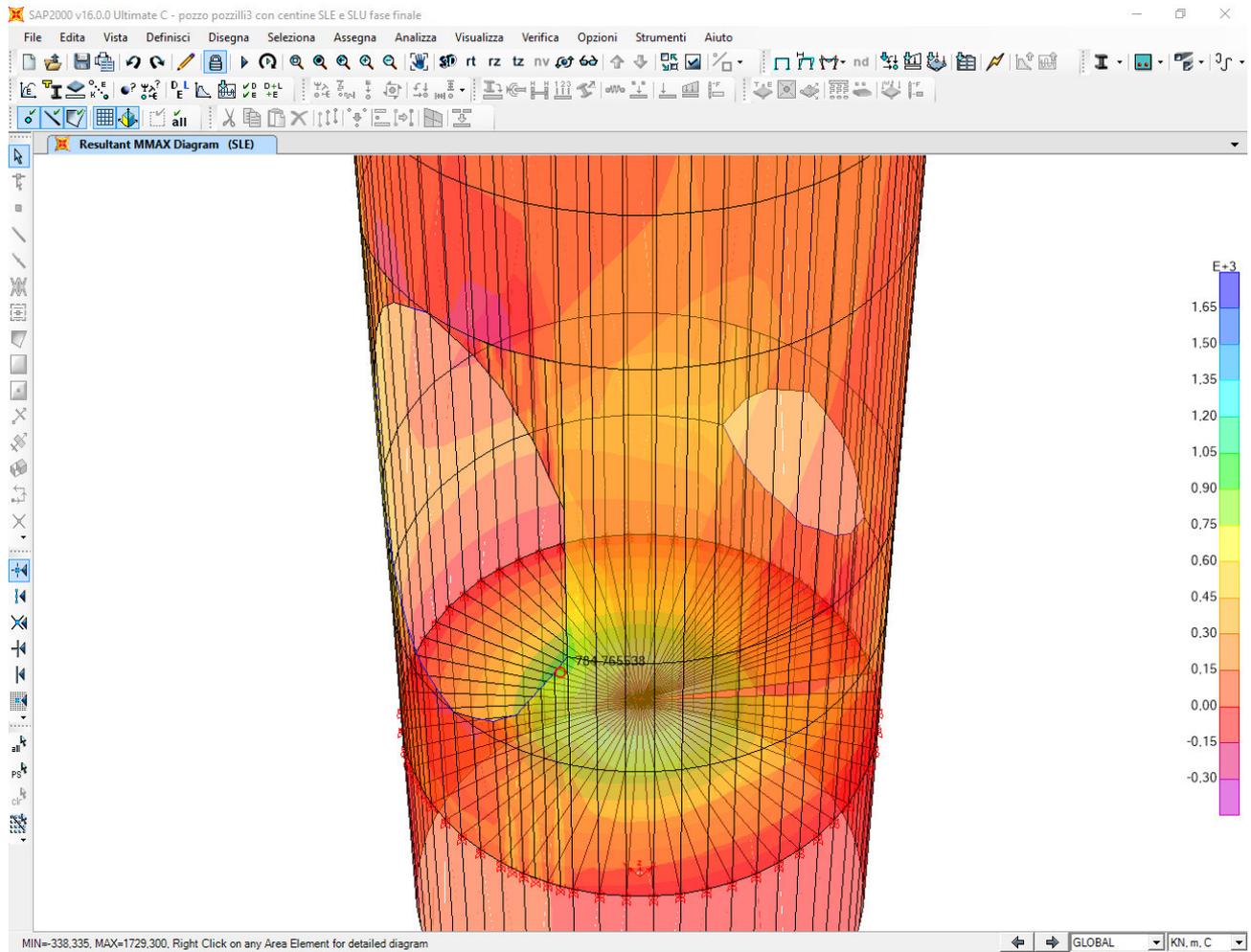


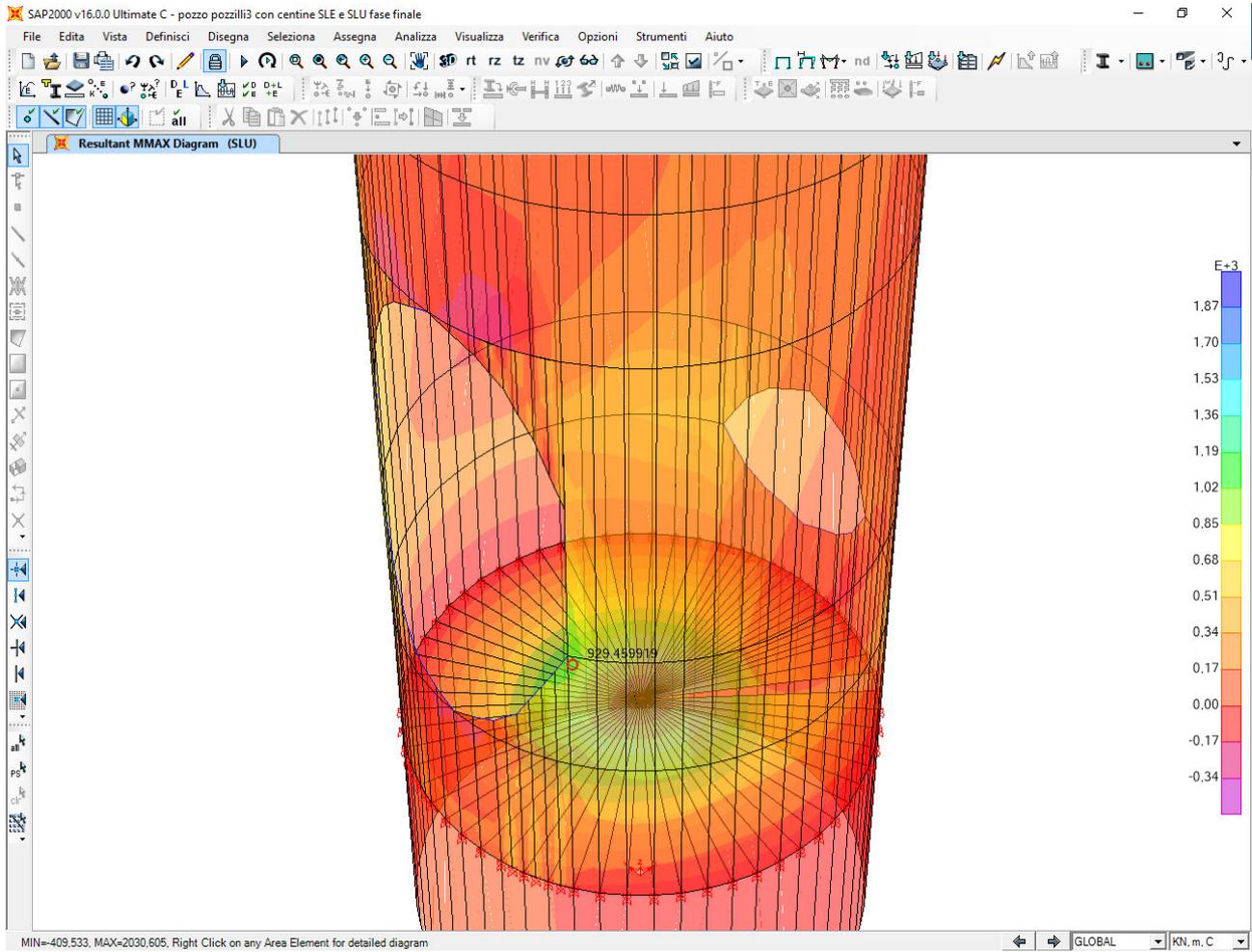
Figura 36 – Spostamenti in mm in condizione SLU (lato opposto)

## 9.2. SOLLECITAZIONI

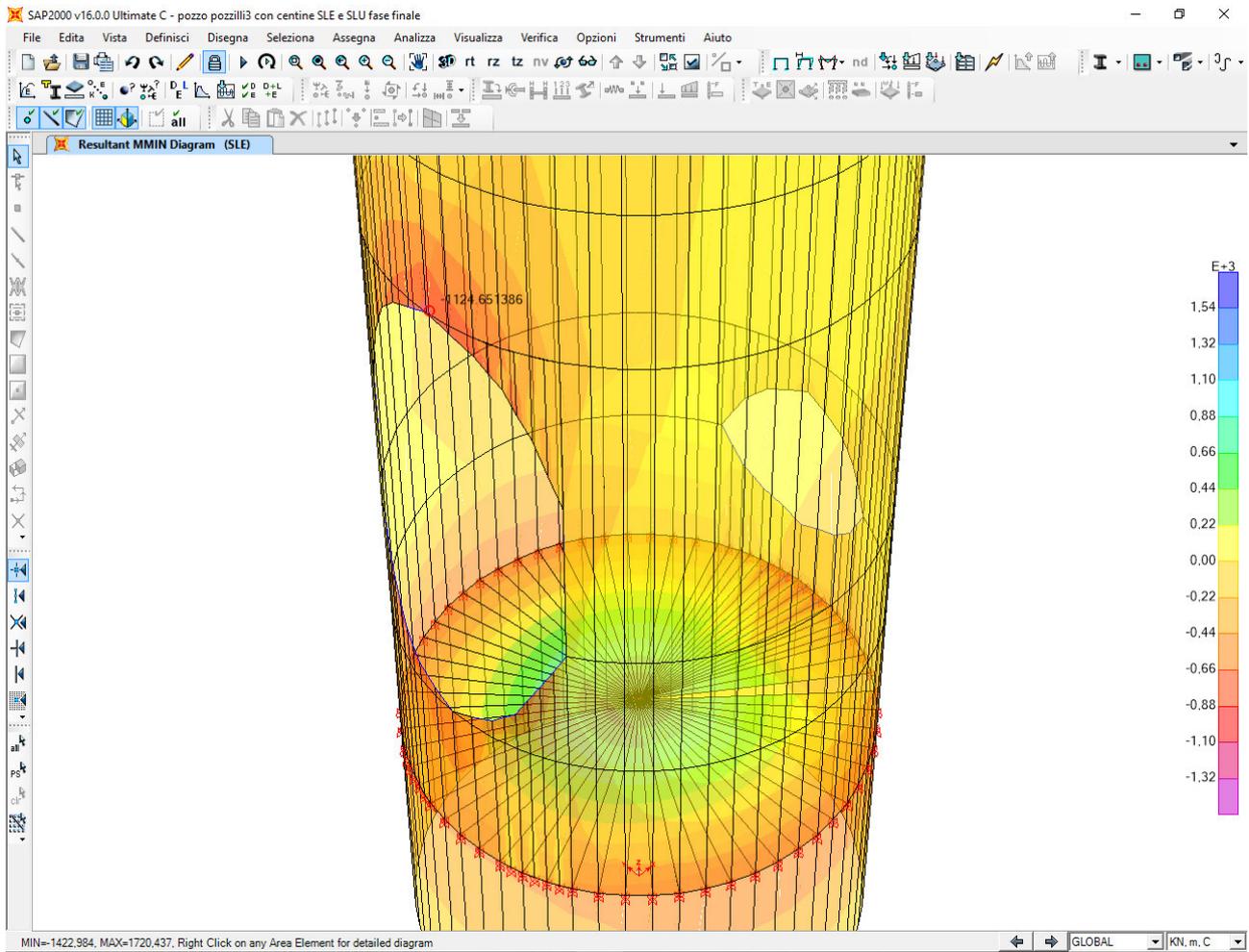
Si riporta nel seguito l'involuppo delle sollecitazioni (momento flettente e taglio) per i pali interconnessi:



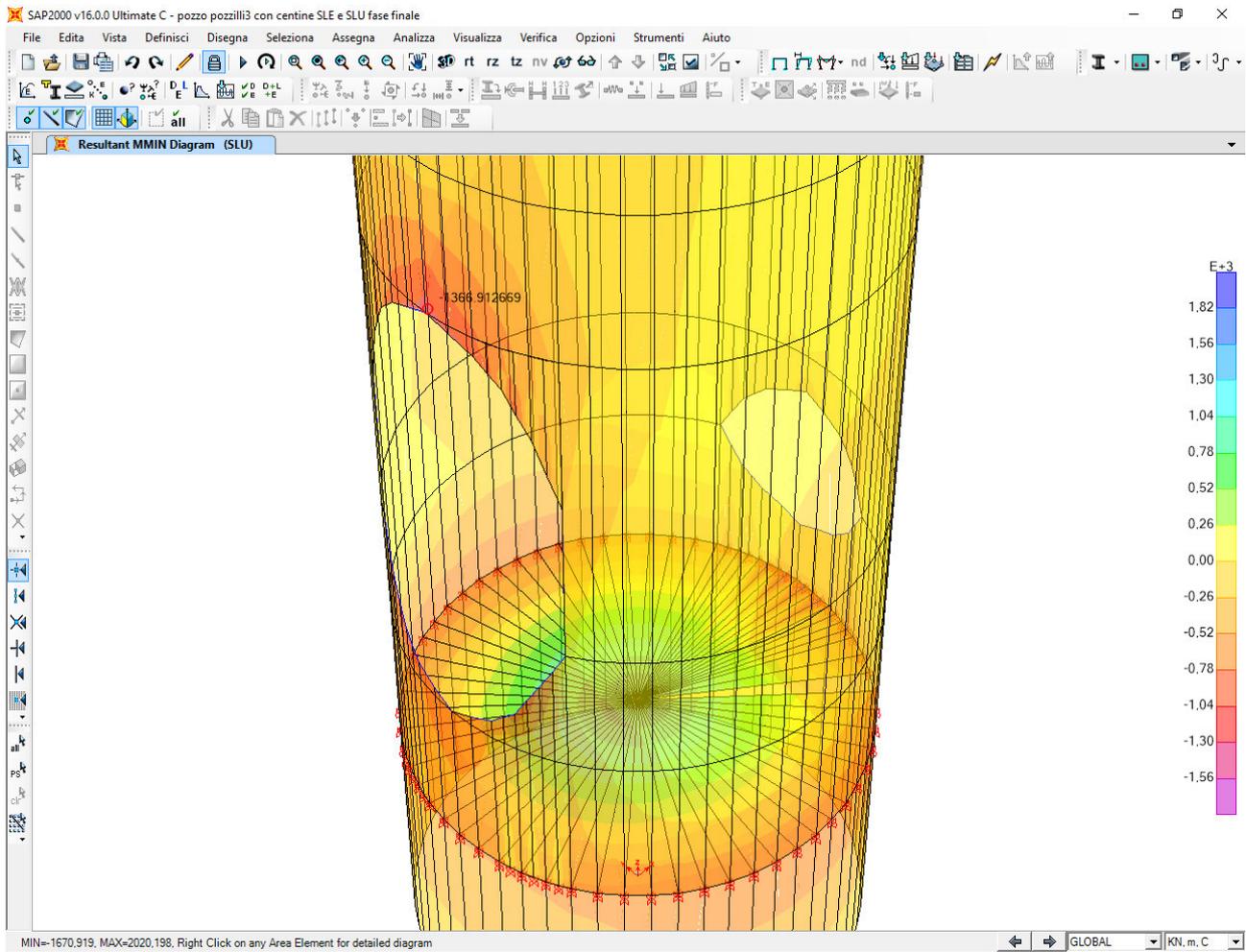
**Figura 37 – Momento Mmax (kNm) in condizione SLE**



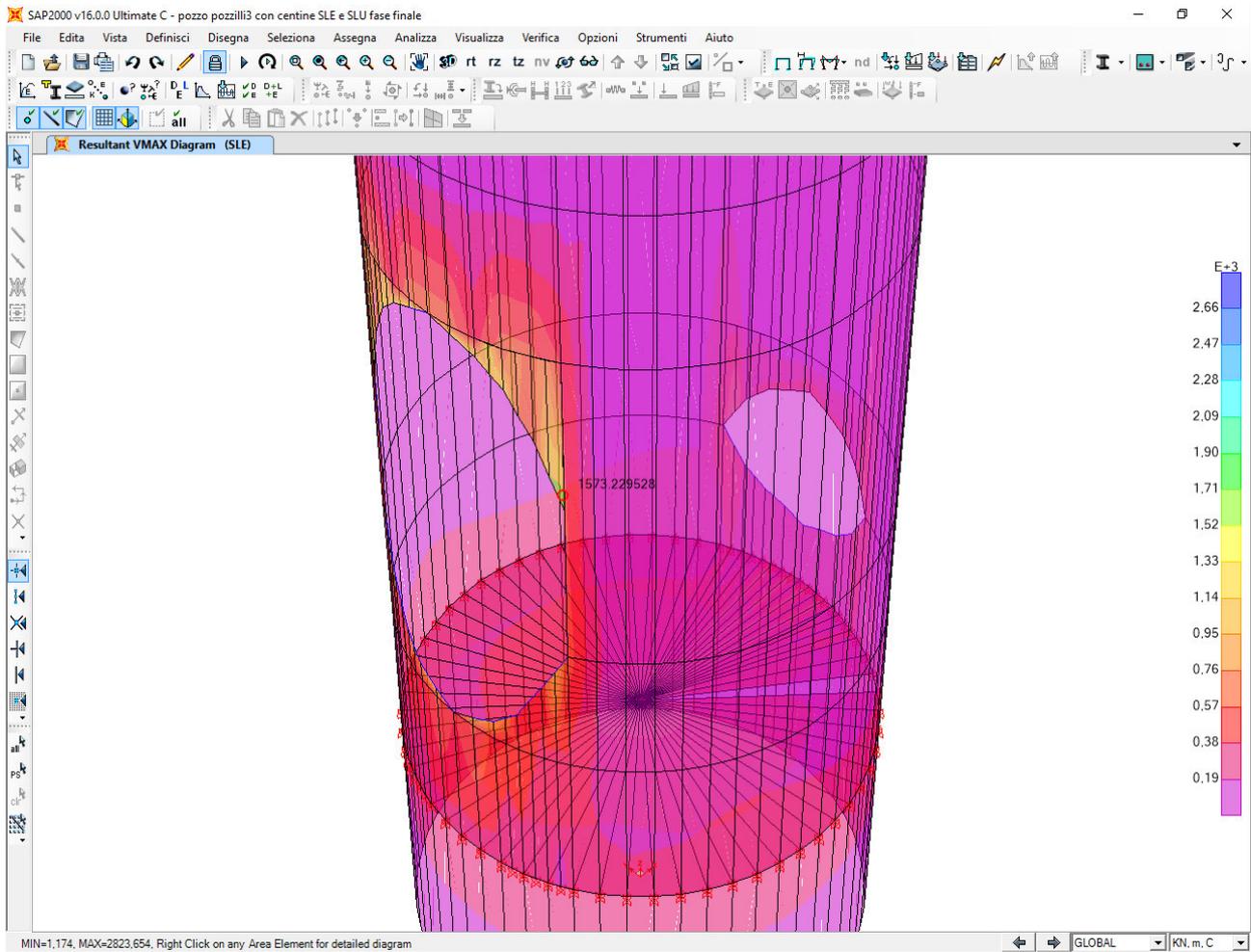
**Figura 38 – Momento Mmax (kNm) in condizione SLU**



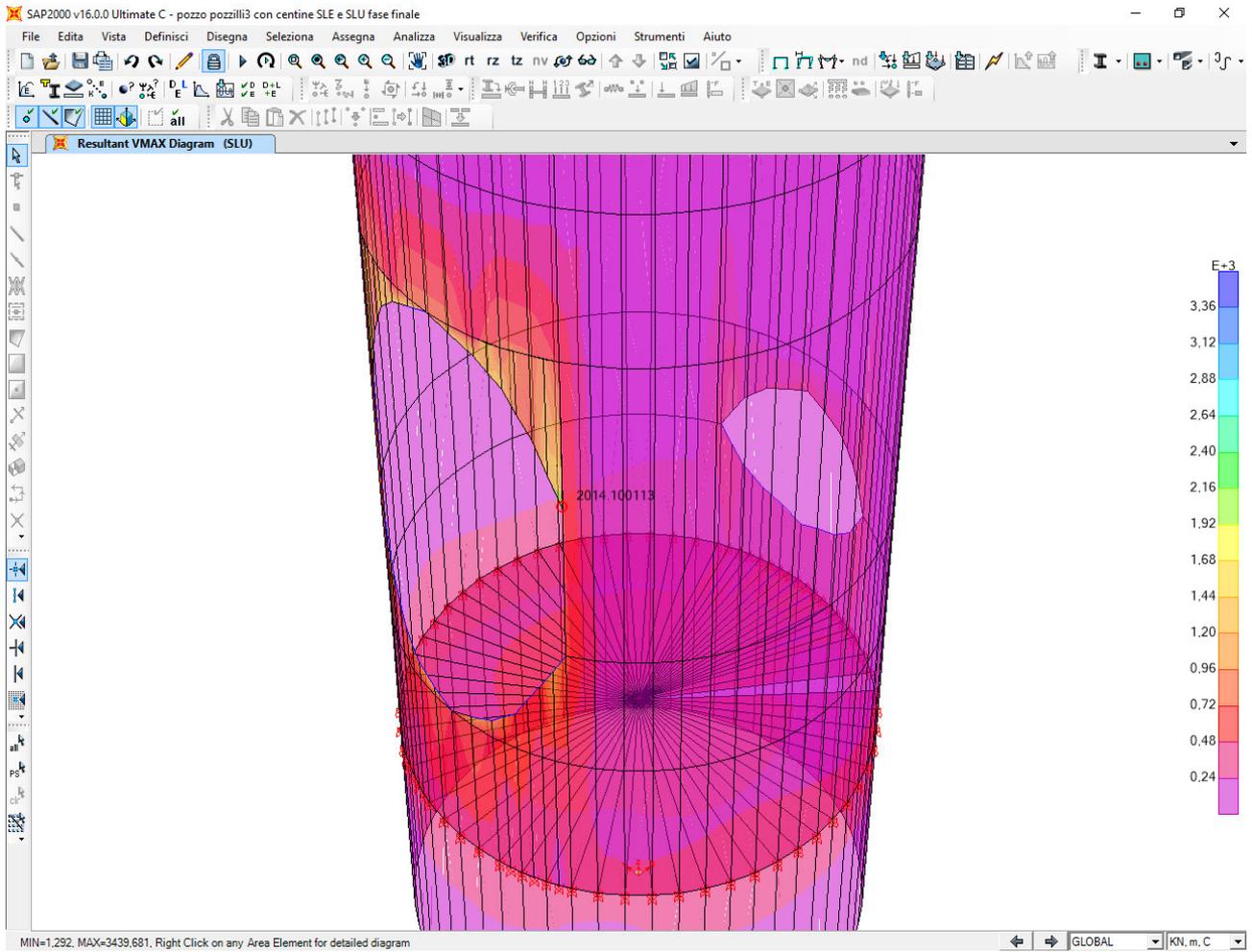
**Figura 39 – Momento Mmin (kNm) in condizione SLE**



**Figura 40 – Momento Mmin (kNm) in condizione SLU**



**Figura 41 – Momento Vmax (kN) in condizione SLE**



**Figura 42 – Momento Vmax (kN) in condizione SLU**

	Ripristino scarico di fondo della Diga di Pozzillo nel Comune di Regalbuto (Enna) – Progetto Definitivo	OPS401REA_Relazione di calcolo pozzo di intercetto galleria scarico di fondo	pag. 55
			mar-19

## 10. VERIFICHE AGLI SLU

Come si può notare dai diagrammi riportati nei paragrafi precedenti relativi alle varie fasi, gli spostamenti e le sollecitazioni di taglio e momento risultano maggiori al caso riportato nel capitolo 9 precedente relativo alla condizione in fase finale.

Le verifiche STR delle sezioni dei pali interconnessi verranno pertanto effettuate con le sollecitazioni derivanti dal modello di carico costituito dai carichi assialsimmetrici su tutto il pozzo, con i due fori realizzati (fase finale).

A margine risulta opportuno riportare che le forze trasmesse dal pozzo ai pali di “appoggio”, interconnessi ad esso, sono, per simmetrie, dirette nel piano della paratia e pertanto non ci sono incrementi di spinta sull’opera di sostegno.

### 10.1. Verifica STR sezioni pali interconnessi

Analogamente alle assunzioni riportate nella relazione di calcolo di cui la presente è un addendum, le verifiche delle sezioni acciaio + calcestruzzo, cioè quelle realizzate con riempimento in calcestruzzo di pali di acciaio interconnessi sono svolte affidando cautelativamente tutto il compito della resistenza all’acciaio.

Il calcestruzzo all’interno può pertanto essere considerato da un lato un presidio per eventuali fenomeni di corrosione, e come “riserva” di resistenza non considerata in progetto.

Essendo i pali allineati si confronterà la resistenza di progetto per unità di lunghezza con le sollecitazioni esposte al capitolo precedente. Al fine di confrontare le sollecitazioni per unità di lunghezza, dato che i pali sono a interasse 57 cm., le sollecitazioni saranno ridotte per 0,57.

Le verifiche strutturali, che risultano soddisfatte, sono sintetizzate di seguito.

**DATI DI INPUT**

Tipo di acciaio utilizzato

S 460 N/NL

Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	$\gamma_{M0}$	1,05	[-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	$\gamma_{M2}$	1,25	[-]

**Caratteristiche del profilo**

Sezione trasversale del tubolare

Ø508/12

Diametro esterno del profilo tubolare (UTENTE)	$d_{ext}$	508,00	[mm]
Spessore del profilo tubolare (UTENTE)	$t$	12,00	[mm]
Diametro esterno del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche		508	[mm]
Spessore del profilo tubolare utilizzato nelle verifiche		12	[mm]

**Geometria della membratura**

Lunghezza geometrica della membratura	$L$	45,00	[m]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y	$\beta_y$	1,00	[-]
Coefficiente di lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	$\beta_z$	1,00	[-]
Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse y - y	$L_{cr,y}$	45000,00	[mm]
Lunghezza di libera inflessione attorno all'asse z - z	$L_{cr,z}$	45000,00	[mm]

**Coefficienti di momento equivalente**

*Nota: l'utente deve inserire i valori  $C_{my}$ ,  $C_{mz}$  con riferimento al prospetto B.3 - EN 1993 - 1 - 1: 2010, tenendo presente che utilizzando  $C_{my} = C_{mz} = 1.00$  la verifica sarà sempre "cautelativa".*

**Coefficienti di momento equivalente**

Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse y - y $C_{my}$	1,000	[-]
Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse z - z $C_{mz}$	1,000	[-]

**Caratteristiche di sollecitazione**

*Nota: la forza assiale è POSITIVA se di compressione*

Comb. [n°]	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	$T_{Ed}$ [kNm]	Verifica [-]
1		621,30	621,30	779,76	100,32		✓ 0,89
2		1142,28	1142,28	358,53	529,53		✓ 0,89

**RESISTENZA E STABILITA' DEI PROFILI TUBOLARI - NTC 2018**
**Materiali utilizzati**

Valore di snervamento dell'acciaio del profilo	$f_{yk}$	460 [N/mm <sup>2</sup> ]
Valore di rottura dell'acciaio del profilo	$f_{uk}$	540 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità dell'acciaio del profilo	E	210000 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio del profilo	G	80769 [N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	$\gamma_{M0}$	1,05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	$\gamma_{M1}$	1,05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	$\gamma_{M2}$	1,25 [-]

**Caratteristiche meccaniche del profilo**

Diametro esterno del profilo tubolare	$d_{ext}$	508,00 [mm]
Spessore del profilo tubolare	t	12,00 [mm]
Diametro interno	$d_{int}$	484,00 [mm]
Raggio esterno	$r_{ext}$	254,00 [mm]
Raggio interno	$r_{int}$	242,00 [mm]
Area della sezione trasversale	A	18699 [mm <sup>2</sup> ]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse forte	$I_y$	5,7536E+08 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,y}$	2,2652E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,y}$	2,9528E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	$A_{V,z}$	11904 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	$i_y$	175,41 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse debole	$I_z$	5,7536E+08 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,z}$	2,2652E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,z}$	2,9528E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	$A_{V,y}$	11904 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	$i_z$	175,41 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	$I_t$	1,151E+09 [mm <sup>4</sup> ]

**Caratteristiche di sollecitazione nella sezione di verifica**

Forza normale (positiva se di compressione)	$N_{Ed}$	[kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela all'anima	$V_{z,Ed}$	1142,28 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela alle ali	$V_{y,Ed}$	1142,28 [kN]
Momento flettente attorno all'asse maggiore di inerzia	$M_{y,Ed}$	358,53 [kNm]
Momento flettente attorno all'asse minore di inerzia	$M_{z,Ed}$	529,53 [kNm]
Momento torcente primario (alla Saint Venant)	$T_{Ed}$	[kNm]

**Classificazione della sezione trasversale di verifica**

Coefficiente $\varepsilon$	$\varepsilon$	0,715 [-]
Rapporto tra diametro esterno e spessore	$\rho$	42,333 [-]
Rapporto limite per la classe 1	$\rho_1$	25,543 [-]
Rapporto limite per la classe 2	$\rho_2$	35,761 [-]
Rapporto limite per la classe 3	$\rho_3$	45,978 [-]
<b>Classificazione della sezione trasversale</b>	<b>CL</b>	<b>3</b>

Verifiche di resistenza della sezione trasversale		
<b>Resistenza a trazione pura</b>		
Resistenza plastica a trazione	$N_{t,Rd}$	8191,84 [kN]
Verifica a trazione pura	$\rho_{Nt}$	0,000 [-]
<b>Resistenza a compressione pura</b>		
Resistenza a compressione pura	$N_{c,Rd}$	8191,84 [kN]
Verifica a compressione pura	$\rho_{Nc}$	0,000 [-]
<b>Resistenza a torsione e taglio</b>		
Diametro medio della sezione trasversale	$d_{med}$	496,00 [mm]
Area della sezione compresa nel diametro medio	$\Omega$	193220,51 [mm <sup>2</sup> ]
Tensioni tangenziali dovute al momento torcente	$\tau_{t,Ed}$	0,00 [N/mm <sup>2</sup> ]
Verifica tensionale per pura torsione	$\rho_T$	0,000 [-]
Resistenza plastica a taglio	$V_{pl,Rd}$	3010,93 [kN]
Resistenza plastica a taglio ridotta per effetto della torsione	$V_{pl,T,Rd}$	3010,93 [kN]
Verifica a taglio in direzione z - z	$\rho_{Vz}$	0,379 [-]
Verifica a taglio in direzione y - y	$\rho_{Vy}$	0,379 [-]
<b>Resistenza a flessione</b>		
Modulo di resistenza di calcolo per flessione attorno all'asse y - y	$W_y$	2,27E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Resistenza a flessione attorno all'asse y - y	$M_{oy,Rd}$	992,37 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse y - y	$\rho_{My}$	0,361 [-]
Modulo di resistenza di calcolo per flessione attorno all'asse z - z	$W_z$	2,27E+06 [mm <sup>3</sup> ]
Resistenza a flessione attorno all'asse z - z	$M_{oz,Rd}$	992,37 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse z - z	$\rho_{Mz}$	0,534 [-]
<b>Resistenza a flessione e taglio (per sezioni in classe 1 o 2)</b>		
Fattore di riduzione per la presenza della forza di taglio in direzione z - z	$\rho_{Vz,red}$	1,00 [-]
Fattore di riduzione per la presenza della forza di taglio in direzione y - y	$\rho_{Vy,red}$	1,00 [-]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse y - y	$M_{Vy,Rd}$	1293,59 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse y - y	$\rho_{My - Vz}$	ver. elastica [-]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse z - z	$M_{Vz,Rd}$	1293,59 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse z - z	$\rho_{Mz - Vy}$	ver. elastica [-]
<b>Resistenza a flessione, forza assiale e taglio</b>		
<a href="#">Calcolo plastico per sezioni in classe 1 o 2</a>		
Coefficiente n	n	0,000 [-]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse y - y	$M_{Ny,Rd}$	1293,59 [kNm]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse z - z	$M_{Nz,Rd}$	1293,59 [kNm]
Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo EN1993 - 1 - 1:2010)	$\rho_{N - My - Mz - pl}$	ver. elastica [-]
Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo cautelativo)	$\rho_{N - My - Mz - pl}$	ver. elastica [-]
<a href="#">Calcolo elastico per sezioni in classe 3</a>		
Momento globale agente nella sezione	$M_{tot,Ed}$	639,49 [kNm]
Taglio globale agente nella sezione	$V_{tot,Ed}$	1615,43 [kN]
Tensione normale massima	$\sigma_{x,Ed,fs}$	282,31 [N/mm <sup>2</sup> ]
Verifica relativa alle sole tensioni normali	$\rho_{el}$	0,644 [-]
Tensione tangenziale dovuta al taglio	$\tau_{V,Ed}$	135,70 [N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione tangenziale dovuta al momento torcente	$\tau_{t,Ed}$	0,00 [N/mm <sup>2</sup> ]
Verifica relativa alle tensioni totali	$\rho_{el - tot}$	0,703 [-]

**Verifiche di stabilità nel caso di presso - flessione biassiale**

utilizzando  $C_{my} = C_{mz} = 1.00$  la verifica sarà sempre "cautelativa".

Coefficienti di momento equivalente

Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse y - y	$C_{my}$	1,000 [-]
Coefficiente di momento equivalente per flessione attorno all'asse z - z	$C_{mz}$	1,000 [-]

Coefficienti di interazione

Coefficiente di interazione $k_{yy}$ per sezioni in classe 1 o 2	$k_{yy,1-2}$	1,000 [-]
Coefficiente di interazione $k_{yy}$ per sezioni in classe 3	$k_{yy,3}$	1,000 [-]
	<b><math>k_{yy}</math></b>	<b>1,000 [-]</b>
Coefficiente di interazione $k_{zz}$ per sezioni in classe 1 o 2	$k_{zz,1-2}$	1,000 [-]
Coefficiente di interazione $k_{zz}$ per sezioni in classe 3	$k_{zz,3}$	1,000 [-]
	<b><math>k_{zz}</math></b>	<b>1,000 [-]</b>
Coefficiente di interazione $k_{yz}$ per sezioni in classe 1 o 2	$k_{yz,1-2}$	0,600 [-]
Coefficiente di interazione $k_{yz}$ per sezioni in classe 3	$k_{yz,3}$	1,000 [-]
	<b><math>k_{yz}</math></b>	<b>1,000 [-]</b>
Coefficiente di interazione $k_{zy}$ per sezioni in classe 1 o 2	$k_{zy,1-2}$	0,600 [-]
Coefficiente di interazione $k_{zy}$ per sezioni in classe 3	$k_{zy,3}$	0,800 [-]
	<b><math>k_{zy}</math></b>	<b>0,800 [-]</b>

Verifiche di presso flessione biassiale

Verifica di presso flessione biassiale per sezioni di classe 1 o 2	$\rho_{buck, N - M - M}$	ver. elastica [-]
	$\rho_{buck, N - M - M}$	ver. elastica [-]
Verifica di presso flessione biassiale per sezioni di classe 3	$\rho_{buck, N - M - M}$	✔ 0,895 [-]
	$\rho_{buck, N - M - M}$	✔ 0,823 [-]
Tasso di lavoro massimo del profilo tubolare (resistenza e stabilità)	$\rho_{max}$	✔ 0,895 [-]

## 10.2. Verifica STR centine

La verifica delle centine costituite da profili HEA300 in acciaio di qualità S355JR (modellate come elementi frame nel modello) sono effettuate direttamente dal software SAP2000 secondo la normativa vigente NTC2018.

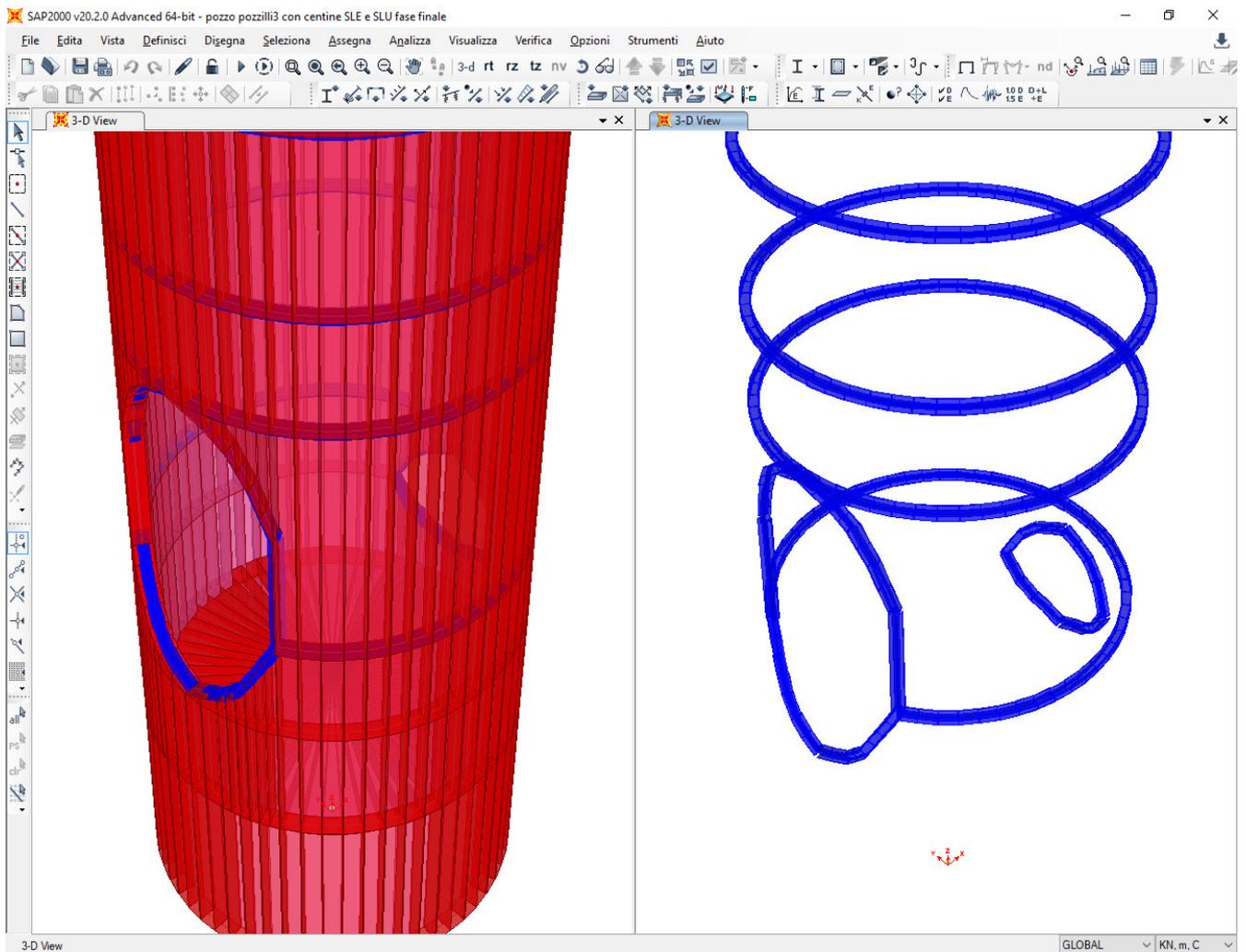


Figura 43 – Vista e dettaglio tridimensionale delle centine inserite nel programma di calcolo

Seguono le proprietà geometriche e meccaniche della sezione delle centine inserite nel programma:

**I/Wide Flange Section** [Close]

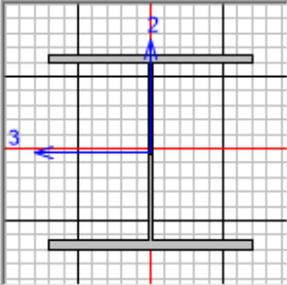
**Section Name**  **Display Color**

**Section Notes**

**Dimensions**

Outside height ( t3 )	<input type="text" value="290"/>
Top flange width ( t2 )	<input type="text" value="300"/>
Top flange thickness ( tf )	<input type="text" value="14"/>
Web thickness ( tw )	<input type="text" value="8,5"/>
Bottom flange width ( t2b )	<input type="text" value="300"/>
Bottom flange thickness ( tfb )	<input type="text" value="14"/>

**Section**



**Material**

**Property Modifiers**

**Properties**

 **Material Property Data**
✕

**General Data**

Material Name and Display Color	S355 <span style="float: right; width: 20px; height: 15px; background-color: blue; border: 1px solid blue;"></span>
Material Type	Steel <span style="float: right;">▼</span>
Material Grade	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Material Notes	<input style="width: 100%;" type="button" value="Modify/Show Notes..."/>

<b>Weight and Mass</b>	<b>Units</b>
Weight per Unit Volume	KN, m, C <span style="float: right;">▼</span>
Mass per Unit Volume	

**Isotropic Property Data**

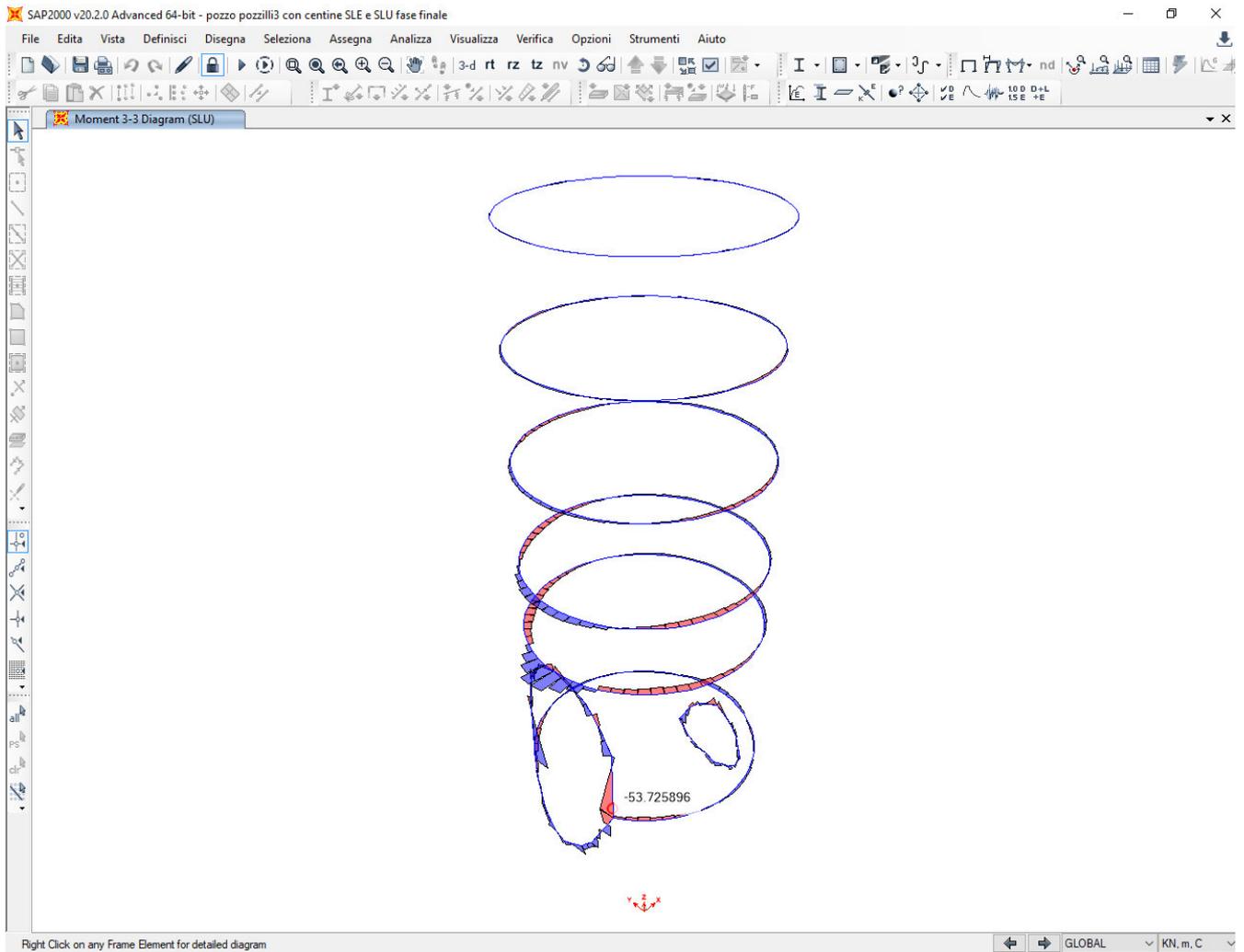
Modulus Of Elasticity, E	2,100E+08
Poisson, U	0,3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	80769231,

**Other Properties For Steel Materials**

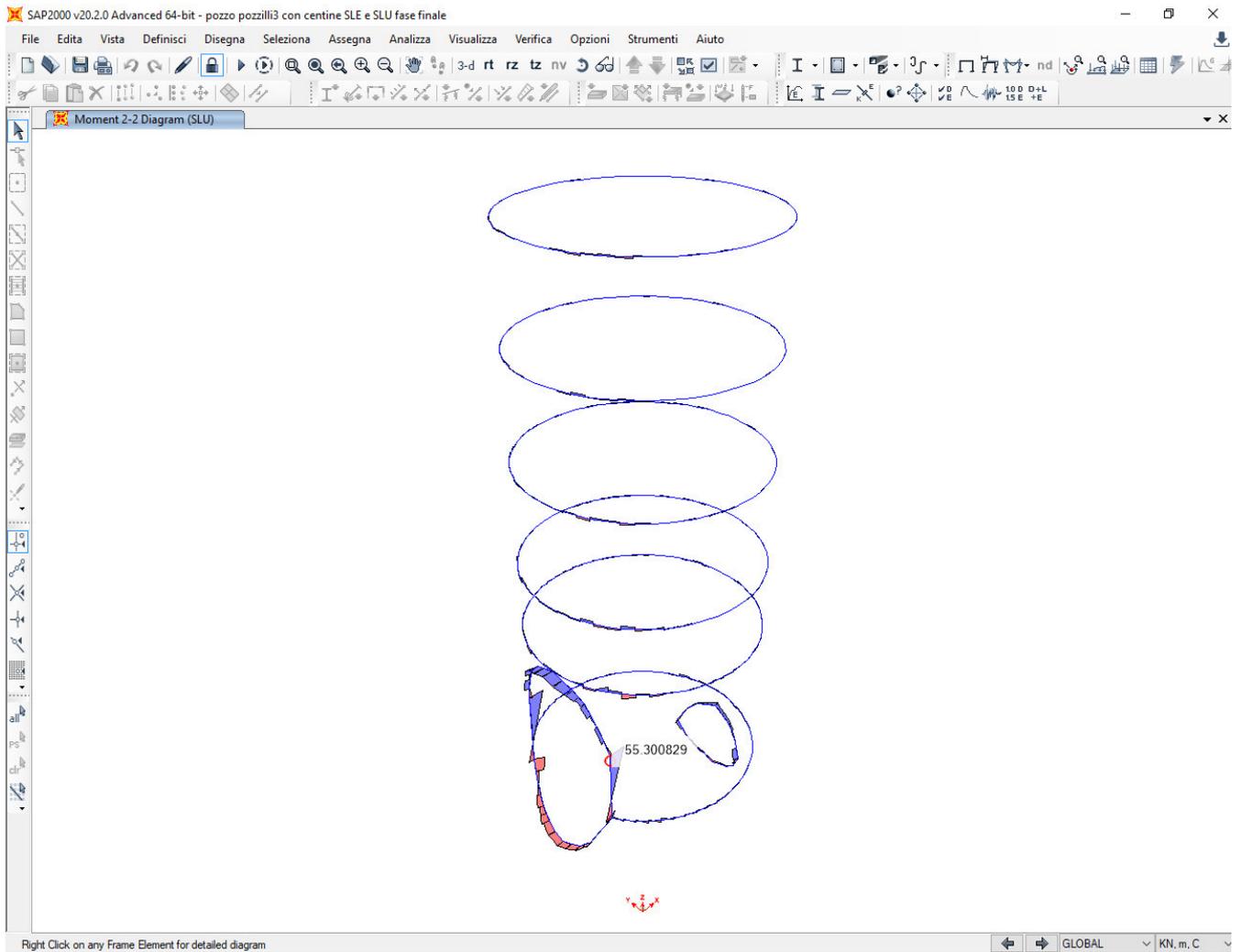
Minimum Yield Stress, Fy	355000,
Minimum Tensile Stress, Fu	510000,
Expected Yield Stress, Fye	390500,
Expected Tensile Stress, Fue	561000,

Switch To Advanced Property Display

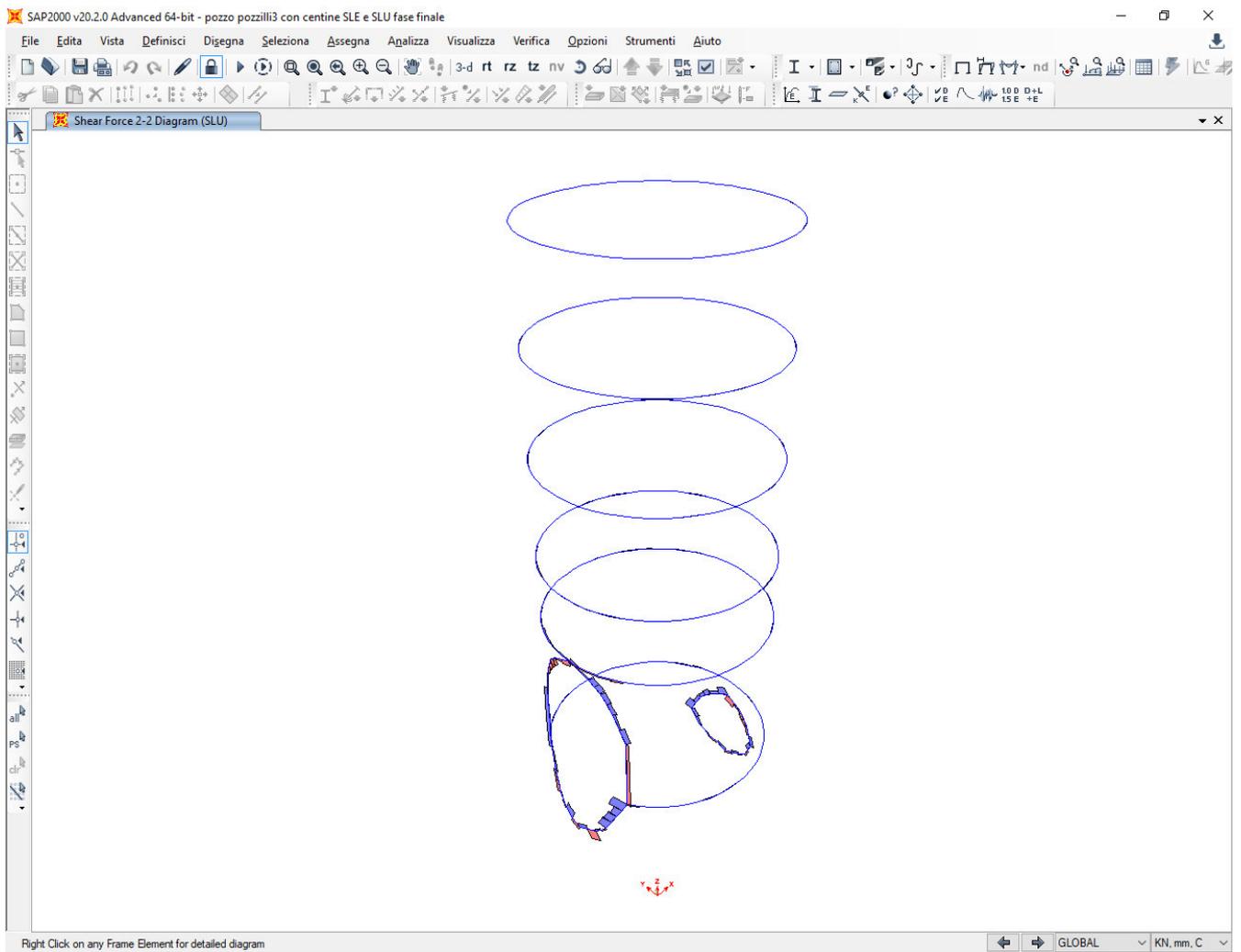
Le sollecitazioni allo stato limite ultimo nelle centine sono riportate nelle seguenti figure:



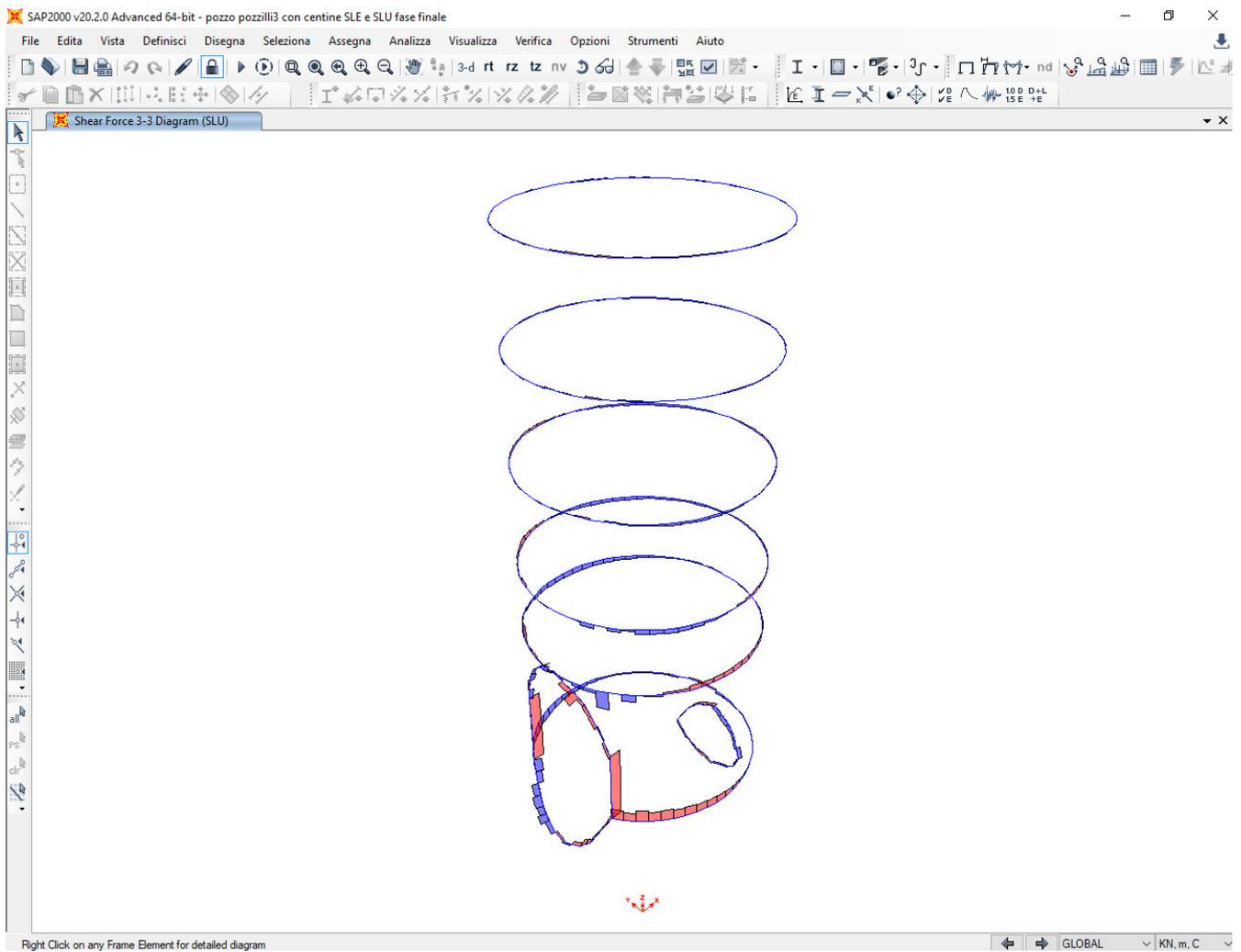
**Figura 44 – Momento M 3-3 (kNm) in condizione SLU**



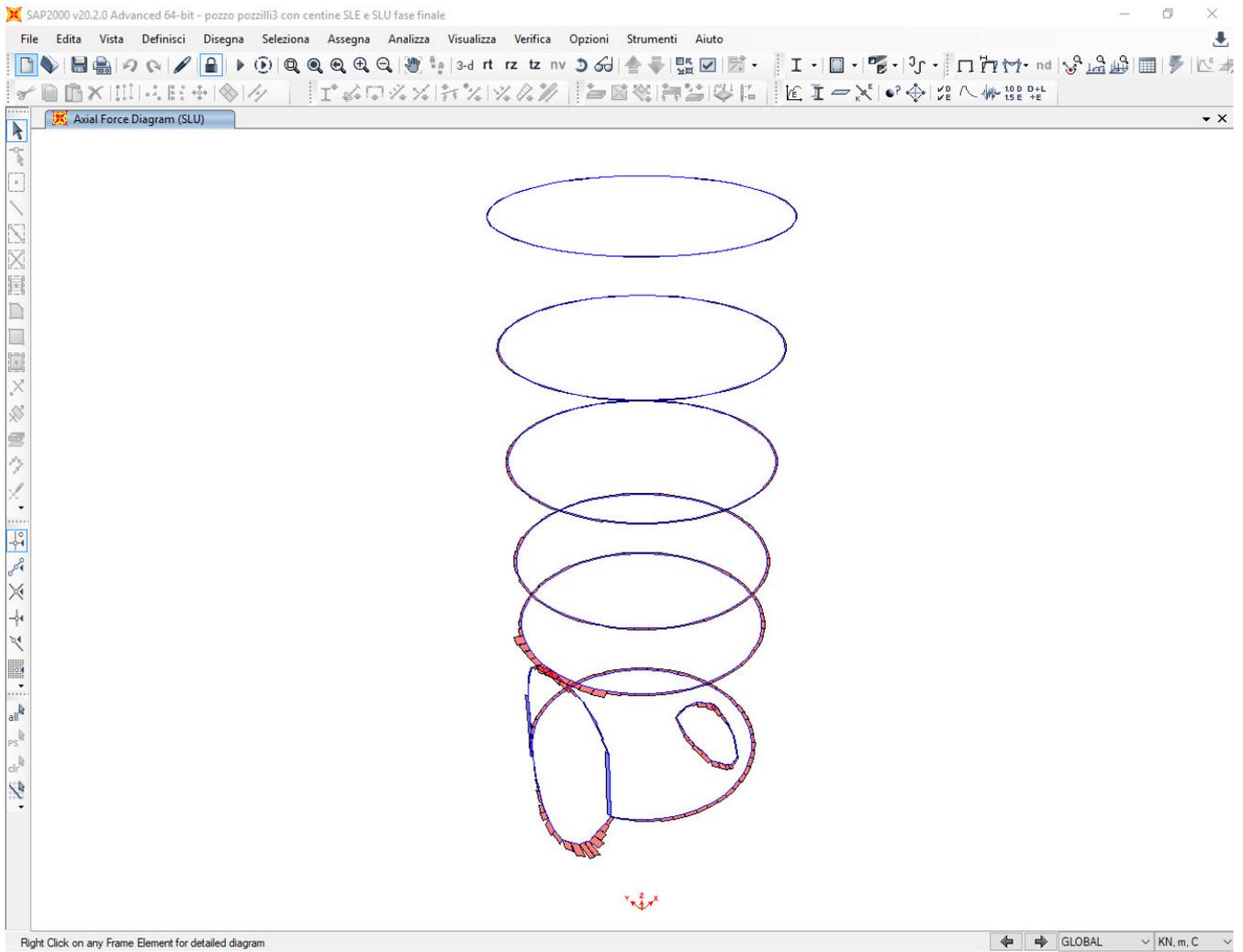
**Figura 45 – Momento M 2-2 (kNm) in condizione SLU**



**Figura 46 – Taglio V 2-2 (kN) in condizione SLU**

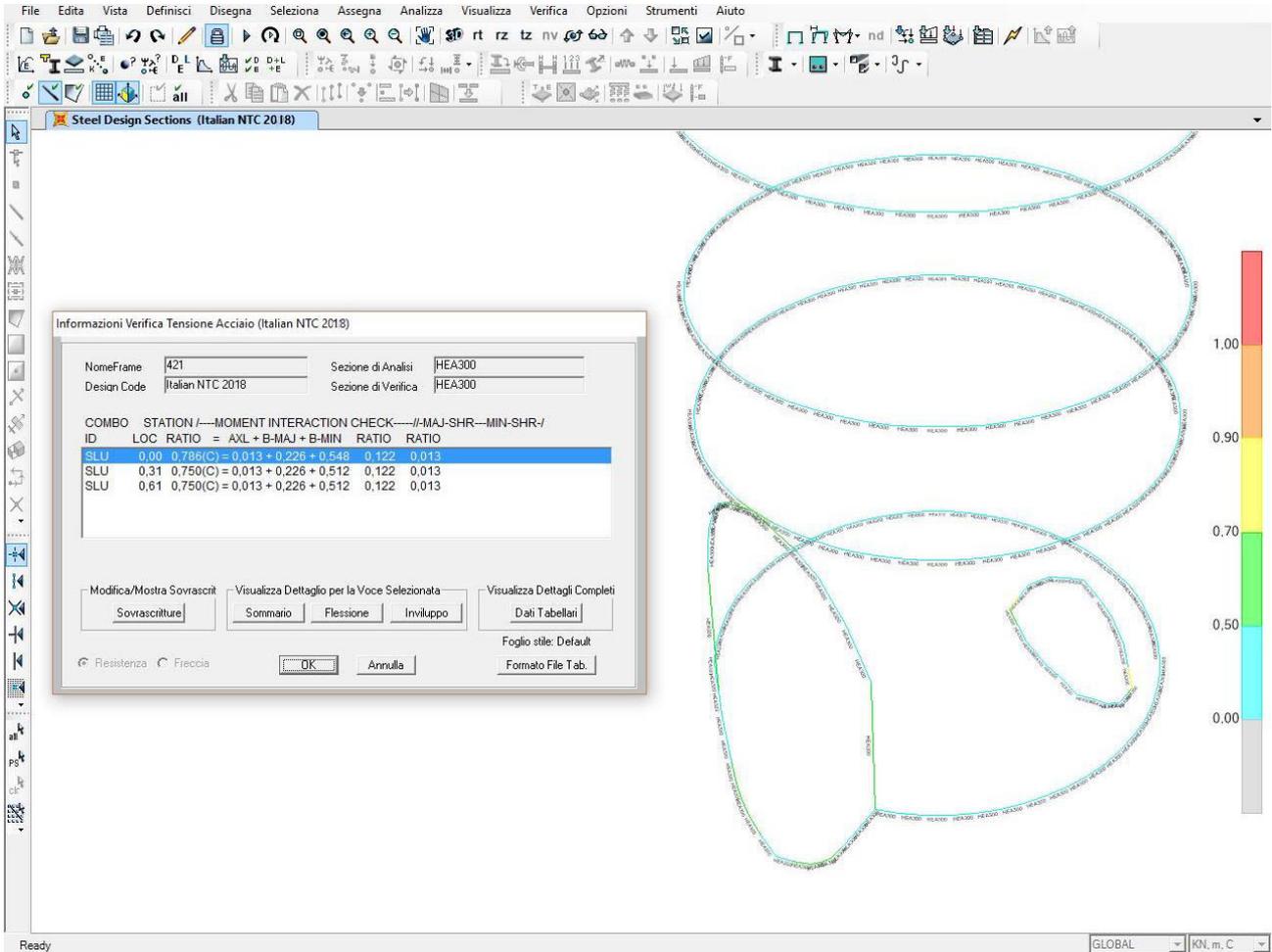


**Figura 47 – Taglio V 3-3 (kN) in condizione SLU**



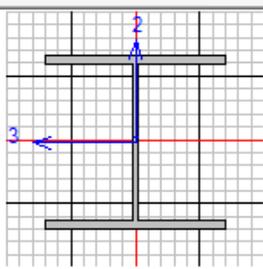
**Figura 48 – Forza assiale N (kN) in condizione SLU**

Segue la verifica degli elementi effettuata dal software per tutti gli elementi con indicazione del tasso di lavoro:



Steel Stress Check Data Italian NTC 2018

File Units: KN, m, C



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : 289    X Mid: -4,983    Combo: SLU    Design Type: Beam  
Length: 0,586    Y Mid: -2,539    Shape: HEA300    Frame Type: DCH-MRF  
Loc : 0,586    Z Mid: 21,500    Class: Class 3    Rolled : No

Interaction=Method B    MultiResponse=Envelopes    P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No

GammaM0=1,05    GammaM1=1,05    GammaM2=1,25  
An/Ag=1,00    RLLF=1,000    PLLF=0,750    D/C Lim=0,950

Aeff=0,011    eNy=0,000    eNz=0,000  
A=0,011    Iyy=1,728E-04    Iyy=0,128    Wel,yy=0,001    Weff,yy=0,001  
It=0,000    Izz=6,302E-05    Izz=0,077    Wel,zz=4,201E-04    Weff,zz=4,201E-04  
Iw=0,000    Iyz=0,000    h=0,290    Wpl,yy=0,001    Av,y=0,007  
E=210000000,0    fy=355000,000    fu=510000,000    Wpl,zz=6,348E-04    Av,z=0,002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,586	-1063,023	-18,086	2,295	-7,161	33,199	-0,007

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq 4.2.41)  
D/C Ratio: 0,787 = 0,787 < 0,950 OK  
= (NEd/Nb,Rd) (NTC Eq 4.2.41)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
Force	Capacity	Capacity	
Axial	-1063,023	3592,923	3592,923

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	3592,923	3902,218	2129,729	2129,729	1,000

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,490	1042670,168	0,060	0,468	1,000
MajorB(y-y)	c	0,490	1042670,168	0,060	0,468	1,000
Minor (z-z)	c	0,490	380126,268	0,100	0,480	1,000
MinorB(z-z)	c	0,490	380126,268	0,100	0,480	1,000
Torsional TF	c	0,490	2129,729	1,331	1,663	0,376

**MOMENT DESIGN**

	Med Moment	Med,span Moment	Mm,Ed Moment	Meq,Ed Moment
Major (y-y)	-18,086	-22,283	-20,185	-20,604
Minor (z-z)	2,295	21,896	12,096	14,056

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	403,029	403,029	403,029	403,029
Minor (z-z)	142,035	142,035	142,035	

	Curve d	AlphaLT 0,760	LambdaBarLT 0,302	PhiLT 0,584	ChiLT 0,936	psi 1,095	Mcr 4643,298
LTB							

	kyy	kyz	kzy	kzz
Factors	0,935	0,653	0,998	0,653

**SHEAR DESIGN**

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	7,161	0,007	481,100	0,015	OK
Minor (y)	33,199	0,007	1366,439	0,024	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW
Reduction	481,100	1,000	0,000

**CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS**

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	7,161	7,161