Società Intercomunale Servizi Idrici S.r.l.
Piazza Risorgimento, 1 – Alba (CN) – Tel. 0173440366 – Fax. 0173293467 – sisiacque@pec.sisiacque.it

RISANAMENTO DEL COLLETTORE CONSORTILE AFFERENTE ALL'IMPIANTO DI GOVONE NEL TRATTO DI C.SO LANGHE NEL COMUNE DI ALBA IN FUNZIONE DEGLI OBIETTIVI DI QUALITA' DI CUI ALLA DIRETTIVA 2060/CE

AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo strutture

CODICE DOCUMENTO	ELABORATO
3507-03-00700.DOC	**1.7**

00	**OTTOBRE 2021**	**S. GRIVA**	**A. DENINA**	**R. BERTERO**	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

SERVIZI DI INGEGNERIA

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI OPERATORI ECONOMICI

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

HY.M. STUDIO Ingegneria idraulica

ARCHEOLOGA

ANNA LORENZATTO

HYDRODATA S.p.A.
via Pomba 23 - 10123 TORINO tel. 011 55 92 811, fax 011 56 20 620
e-mail: hydrodata@hydrodata.it sito web: www.hydrodata.it

HY.M. STUDIO associazione professionale
via Pomba 23 - 10123 TORINO tel. 011 56 13 103, fax 011 55 92 891
e-mail: hym@hymstudio.it sito web: www.hymstudio.it

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO
Dott. Ing. ROBERTO BERTERO n. 7570 L

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CUNEO
613 Dott. Ing. Aldo Denina

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

1. GENERALITÀ 1

2. NORMATIVA VIGENTE 1

3. MATERIALI PREVISTI 2
   3.1 Calcestruzzo cordolo di testata 2
   3.2 Calcestruzzo camere interrate 2
   3.3 Acciaio per c.a. 2
   3.4 Acciaio per paratia micropali 3

4. PRESTAZIONI DI PROGETTO – CLASSE DELLE STRUTTURE – VITA UTILE 4

5. STATI LIMITE 4

6. PARAMETRI GEOTECNICI 5

7. PARAMETRI SISMICI 6

8. METODO DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI 7

9. METODO DI CALCOLO CAMERE INTERRATE 8

ALLEGATO 1 - ANALISI E VERIFICHE PARATIE DI PALI Φ600 - CAMERA DI SPINTA 11

ALLEGATO 2 - ANALISI E VERIFICHE CAMERA DI SPINTA CILINDRICA IN C.A. 52
   FASE 1 - SPINTA MANUFATTO MICROTUNNEL 53
   Pareti verticali di spessore 100 cm 56
   Platea di fondo di spessore 80 cm 61
   FASE 2 - CONDIZIONE DI ESERCIZIO 65
   Soletta di copertura di spessore 80 cm 68

1. GENERALITÀ

Oggetto della presente relazione è il calcolo dei manufatti previsti nel Progetto Definitivo relativo agli "Interventi di risanamento del collettore consortile afferente all'impianto di Govone nel tratto di C.so Langhe nel Comune di Alba in funzione degli obiettivi di qualità di cui alla direttiva 2060/CE", siti nel comune di Alba (CN).

Nello specifico gli interventi tipologici in progetto, maggiormente significativi sono i seguenti:

- Paratia di pali secanti - camera di spinta disposta in pianta con geometria circolare con diametro in asse di 11.60 m, realizzata al fine di effettuare gli scavi per la realizzazione della camera di spinta, di altezza di scavo massima di 7.70 m, mediante pali Φ600 con piede sito a -14.0 m da piano campagna, posti in opera con interasse 80 cm, ed interposto un palo di completamento armato con tubolare metallico in acciaio S275 De=139,7 mm e sp= 8 mm. La paratia di pali viene vincolata in testa mediante un cordolo in c.a. di sezione 60x80 cm e vincolata internamente da un anello di contrasto in c.a. di sezione 100x100 cm il cui asse centrale è posto ad una profondità dal piano campagna di 3.50 m, adeguatamente fissato alla paratia di pali in c.a (Allegato 1);

- Camera di spinta costituita da una platea di fondo di spessore 80 cm nella quale è incastrato un anello di spinta circolare di spessore 100 cm di altezza netta 3.90 m, avente. La soletta di copertura di spessore 80 cm è incastrata al di sopra del cordolo perimetrale di testata della paratia di pali compenetrati . All'interno dell'anello di spinta sono previsti n°2 fori di diametro netto 2.16 m, al fine di permettere la spinta del manufatto in microtunneling. Vengono eseguite le verifiche di tale manufatto in 2 condizioni di carico principali: condizione di spinta e condizione di esercizio. La spinta sulle pareti avviene per mezzo di martinetti idraulici che trasferiscono un carico complessivo ipotetico di circa 600 ton. Le verifiche di tale manufatto dovranno essere ri-eseguite qualora le spinte di ipotesi risultino superiori a quanto stimato.

All'interno del progetto in essere è prevista la realizzazione di altri 2 manufatti, camera di estrazione e camera di sfioro, che sono stati analizzati e verificati in maniera analoga.

Si riportano nel seguito le analisi e le verifiche strutturali, in condizioni statiche e sismiche, ai sensi delle normative vigenti, dei manufatti maggiormente significativi. I manufatti non riportati in relazione sono stati analizzati e verificati in maniera analoga.

Il comune dove vengono realizzate le opere in progetto è quello di Alba (CN), sito in zona sismica 4, a bassa sismicità.

2. NORMATIVA VIGENTE

- D.M. 17 gennaio 2018 – "Nuove Norma Tecniche per le costruzioni"
- Circolare 11 febbraio 2019, "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

3. MATERIALI PREVISTI

3.1 Calcestruzzo cordolo di testata

- Calcestruzzo con Classe di resistenza C 25/30
- R_{ck} = resistenza cubica del calcestruzzo = 30 N/mm^2
- f_{ck} = resistenza cilindrica a compressione = 0.83 R_{ck} = 24.90 N/mm^2
- f_{cm} = valore medio della resistenza cilindrica = f_{ck} + 8 = 32.8 N/mm^2
- f_{ctm} = resistenza media a trazione semplice assiale = 0.30 $f_{ck}^{2/3}$ = 2.558 N/mm^2
- f_{cfm} = resistenza a trazione per flessione = 1.2 f_{ctm} = 3.07 N/mm^2
- E_{cm} = modulo elastico = 22000 $(f_{cm}/10)^{0.3}$ = 31418 N/mm^2
- v = coefficiente di Poisson = 0.20
- Classe di consistenza: S4
- Classe d'esposizione ambientale: XC2
- Copriferro ≥ 50 mm

3.2 Calcestruzzo camere interrate

- Calcestruzzo con Classe di resistenza C 28/35
- R_{ck} = resistenza cubica del calcestruzzo = 35 N/mm^2
- f_{ck} = resistenza cilindrica a compressione = 0.83 R_{ck} = 29.1 N/mm^2
- f_{cm} = valore medio della resistenza cilindrica = f_{ck} + 8 = 37.1 N/mm^2
- f_{ctm} = resistenza media a trazione semplice assiale = 0.30 $f_{ck}^{2/3}$ = 2.8 N/mm^2
- f_{cfm} = resistenza a trazione per flessione = 1.2 f_{ctm} = 3.07 N/mm^2
- E_{cm} = modulo elastico = 22000 $(f_{cm}/10)^{0.3}$ = 32588 N/mm^2
- v = coefficiente di Poisson = 0.20
- Classe di consistenza: S4
- Classe d'esposizione ambientale: XC2, XA1
- Copriferro ≥ 50 mm

3.3 Acciaio per c.a.

- Tipo B450C
- f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm^2
- f_{yt} = tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm^2
- $(f_t/f_y)_k \geq 1.15$ e < 1.35
- $(f_t/f_{ynom})_k \leq 1.25$
- Allungamento $(A_{gt})_k \geq 7.5\%$
- γ_s = coefficiente di sicurezza dell'acciaio per c.a. = 1.15
- f_{yd} = resistenza di calcolo = 450 : 1.15 = 391.30 N/mm^2
- f_{bd} = resistenza tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo = f_{bk} : γ_c = 5.755 : 1.5 = 3.837 N/mm^2
- f_{bk} = resistenza tangenziale caratteristica = 2.25 x η x f_{ctk} = 2.25 x 1.0 x 2.558 = 5.755 N/mm^2

3.4 Acciaio per paratia micropali

- Acciaio tipo S355
- f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento ≥ 355 N/mm^2
- f_{tk} tensione caratteristica a rottura ≥ 510 N/mm^2

4. PRESTAZIONI DI PROGETTO – CLASSE DELLE STRUTTURE – VITA UTILE

Le opere in progetto risultano essere di classe d'uso II

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

ed è di tipo 2 *(opere ordinarie)*

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva[1]	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

con vita nominale ≥ 50 anni, C_U = coefficiente d'uso = 1.0, V_R = vita di riferimento = C_U x V_N = 50 anni.

5. STATI LIMITE

La sicurezza e le prestazioni dei manufatti sono state valutate in relazione agli Stati Limite che si possono verificare durante la loro vita nominale. In particolare le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU), sia di tipo geotecnico (GEO e di equilibrio di corpo rigido (EQU,) che di tipo strutturale (STR)*
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali ed ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$ delle azioni o direttamente $E_{dj} = E_{kj} \cdot \gamma_{Ej}$

Inoltre si è considerata:

V_N = vita nominale dell'opera ≥ 50 anni

Classe d'uso di tipo II con coefficiente C_U = 1.0

V_R = periodo di riferimento = $V_N \cdot C_U$ = 50 anni

6. PARAMETRI GEOTECNICI

Come si è visto dagli esiti del sondaggio, pur con qualche incertezza, lo scavo delle condotte avverrà in prevalenza nella coltre di alterazione del substrato marnoso e, secondariamente, in particolare nei pressi della camera di estrazione, nelle alluvioni recenti del Cherasca.

In particolare possono essere distinte, e caratterizzate anche sulla base delle analisi di laoratorio, le seguenti unità litotecniche.

Una coltre superficiale – UL1 - costituita da terreni di riporto, di varia natura ma a prevalente componente sabbioso

ghiaiosa, per cui possono essere ipotizzate i seguenti parametri geotecnici:

- ϕ'_P = 30°;
- c- c_u = 0;
- γ = 18 kN/m^3.

Le alluvioni del Cherasca - UL2 – per lo più sabbie con limo argillose, con locali passate ciottolose e ghaiose soprattutto alla base, per cui possono essere definiti i seguenti parametri geotecnici

- ϕ'_P = 30°;
- c_u = 2 kPa (0,02 kg/cm^2);
- γ = 19,5 kN/m^3;
- LL = 17%.

Il substrato marnoso distinto in una coltre superficiale alterata, a prevalente componente argillosa e quindi potenzialmente plastica e spingente (UL3A) e il substrato integro con consistenza sublapidea (UL3B).

Per la coltre di alterazione costituita da limi con argilla (UL3A) possono essere stimati, anche sulla base delle analisi

di laoratorio e delle prove penetrometriche i seguenti parametri geotecnici

- ϕ'_P = 25°;
- c_u = 10 kPa (0,1 kg/cm^2);
- c = 2 kPa (0,02 kg/cm^2);
- γ = 20 kN/m^3;

Infine, per le marne inalterate (UL3B), vengono definiti i seguenti parametri geotecnici

- ϕ'_P = 27°;
- c_u = 10 kPa (0,1 kg/cm2);
- c = 2 kPa (0,02 kg/cm2);
- γ = 20 kN/m3.
- LL = 41,5%;
- LP = 25,7%;
- IP = 15,8%.

L'assetto stratigrafico è riportato all'interno di una tavola dedicata, allegata al progetto.

7. PARAMETRI SISMICI

L'azione dell'azione sismica di progetto è effettuata in funzione della "pericolosità sismica di base" del sito mediante opportune formule spettrali variabili in relazione alla probabilità di superamento, nel periodo di riferimento adottato e, pertanto, in relazione al particolare stato limite considerato (SLV = Stato limite di Salvaguardia della Vita e SLD = Stato Limite di Danno).

I valori base dei parametri utili che consentono di definire le suddette azioni sismiche, per sito di riferimento rigido orizzontale sono quelli della "*Accelerazione orizzontale massima al sito"* (a_g), del *"Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione"* (F_o) e del *"Periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione"* (T_C) che, come detto sono variabili a seconda dello stato limite considerato.

Tali valori sono definiti interpolando tra i valori forniti per i vertici del reticolo di riferimento più prossimi al sito.
L'azione sismica non è tenuta in conto nella valutazione delle sollecitazioni relative ai manufatti "provvisori" come le camere di spinta.

Il Comune dove saranno realizzate le opere in progetto è quello di Alba (CN) ed è posizionato secondo i seguenti valori:

Latitudine: 44.693
Longitudine: 8.028
Si hanno i seguenti parametri sismici:

In particolare, per lo SLV si sono adottati i seguenti parametri sismici:
P_r = periodo di ritorno = 475 anni
a_g = accelerazione massima del sito = 0.048 g
F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale = 2.683
T^*_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale = 0.29
Ai fini della definizione sismica di progetto, il terreno interessato dall'intervento può essere classificato di categoria "E"

E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con V_s > 800 m/s).

8. METODO DI CALCOLO PARATIE DI MICROPALI

PARATIE è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto ad un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura A. PARATIE non è quindi idoneo a studiare problemi in cui vi siano importanti effetti tridimensionali.

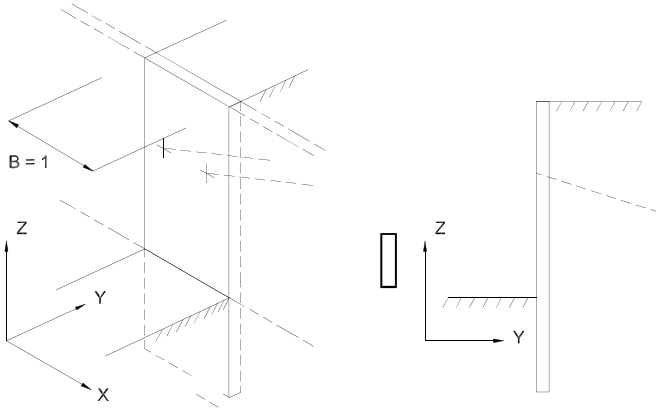


Figura A

La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “TRAVE SU SUOLO ELASTICO”: le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidezza flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

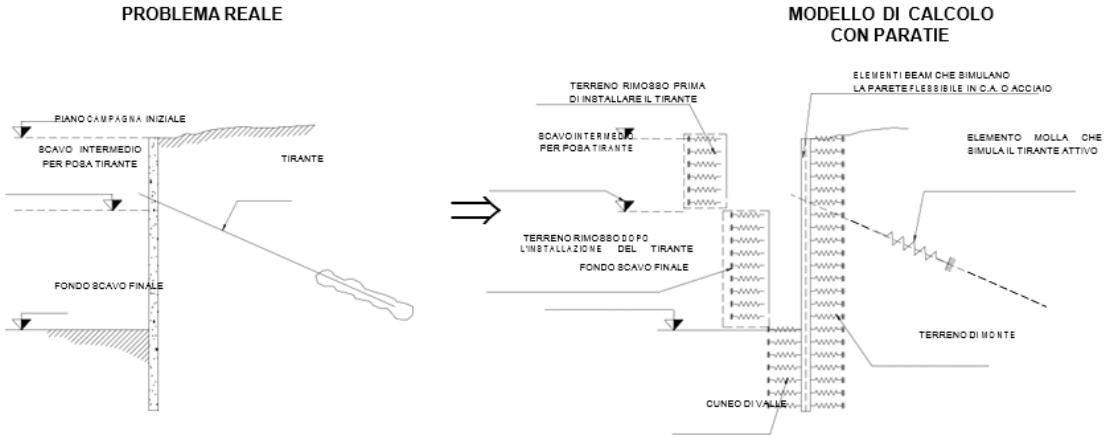


Figura B

Il limite di questo schema sta nell’ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidezza flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi STATICA INCREMENTALE: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elasto-plastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe (1996))

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria)
L'analisi sismica è affrontata con il metodo pseudostatico di Mononobe-Okabe.
Si riportano le analisi e verifiche in condizioni statiche e sismiche delle paratia di pali come previsto in normativa.

9. METODO DI CALCOLO CAMERE INTERRATE

Le strutture sono state modellate con il software agli elementi finiti "Mastersap Top 2021" della AMV Software.

Le strutture e il loro comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche sono state adeguatamente valutate, interpretate e trasferite nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale.

A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevalente sulle altre due, vengono modellati con elementi "beam", il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all'estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi "truss" oppure con elementi "beam" opportunamente svincolati. Piastre, muri e volte, ovvero elementi di tipo bidimensionale, sono modellati con elementi di tipo shell.

I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidezze nello spazio. Questi elementi consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni travi di fondazione. Al di sotto delle platee di fondazione il terreno si è modellato come un letto di molle alla Winkler. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse.

Sulla base di dati di bibliografia, per terreni analoghi a quelli in situ si adotta coefficiente di Winkler pari a 10000 kN/m^3.

I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidezza flessionale e tagliante dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali.

Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine e si può simulare il comportamento di elementi resistenti a sola trazione o compressione.

La presenza di diaframmi orizzontali, se rigidi, nel piano viene gestita attraverso l'impostazione di un'apposita relazione fra i nodi strutturali coinvolti, che ne condiziona il movimento relativo. Relazioni analoghe possono essere impostate anche fra elementi contigui.

E' stata impiegata un'analisi dinamica in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme al D.M. 17.01.2018. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite.

La struttura è stata analizzata e verificata in condizioni elastiche applicando al modello un coefficiente di struttura q = 1.0

Si è eseguita la valutazione della capacità portante delle platee di fondazione mediante l'approccio 2 DA2 (A1+M1+R3) in condizioni statiche e sismiche, attraverso il metodo proposto dal Eurocodice 7.

La formula trinomia indicata all'interno dell'EC7 per il calcolo del carico limite è:

$$q_{ult} = \frac{c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c}{\gamma_{Mc}} + \frac{\gamma'_{terreno} \cdot D \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q}{\gamma_{M\gamma}} + \frac{0.5 \cdot \gamma'_{terreno} \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma}{\gamma_{M\gamma}}$$

Il carico limite dei terreni posti al di sotto delle opere di fondazione, in condizioni sismiche, è stato adeguatamente valutato dal programma attraverso l'analisi dell'inclinazione del carico a seguito di azioni orizzontali e l'utilizzo dei coefficienti correttivi, fattori di inclinazione K_{hk} (effetto cinematico) e K_{hi} (effetto inerziale).

- K_{hk}: (effetto cinematico) produce la variazione del contributo associato a N_γ e si riflette sul coefficiente i_γ, il quale deve anche tener conto dell'effetto inerziale K_{hi};
- K_{hi}: (effetto inerziale) produce le variazioni dei termini a cui compartecipano N_c e N_q perché si riflette nell'inclinazione del carico attraverso i coefficienti i_c e i_q.

Per considerare entrambi gli effetti K_{hk} e K_{hi} all'interno della formula trinomia che include N_γ, in base alla formulazione di Carfi, Maugeri e Motta ("Effetto dell'inerzia del terreno sul fattore di capacità portante N_γ" Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2004 - IARG 2004 Trento, 7-9 luglio 2004), si calcolano due coefficienti correttivi:

$e_{\gamma k} = (1 - K_{hk}/\tan\Phi)^{0.45}$
$e_{\gamma i} = (1 – 0.7 \times K_{hi})^5$

All'interno del software FEM Mastersap TOP 2019, le pressioni triangolari causate dalla presenza del terreno all'esterno dei serbatoi e dall'acqua all'interno degli stessi sono stati applicati manualmente, secondo le seguenti relazioni della geotecnica e dell'idraulica:

TERRENO - Condizioni di spinta a riposo: (terreno spingente con caratteristiche inferiori)

γ = peso specifico terreno = 19.5 kN/m^3
Φ = angolo di attrito interno = 30°
c = coesione = 0 kPa
k_0 = coefficiente di spinta a riposo = 1 - sin Φ= 0.50

La spinta in terreni non in falda vale:

$$e = \gamma \times h \times k_0$$

ACQUA

La pressione idrostatica applicata alle strutture vale:

$$e_{H2O} = \gamma_w \times h_w$$

dove:

γ_w = peso specifico dell'acqua = 10 kN/m^3
h_w = altezza acqua

Sono stati inoltre valutati tutti i possibili effetti o le azioni anche transitorie che possano essere significative e avere implicazione per la struttura.

Si ritiene che i modelli utilizzati siano sufficientemente rappresentativi del comportamento reale delle strutture.

ALLEGATO 1 - Analisi e verifiche paratie di pali Φ600 - camera di spinta

Descrizione della Stratigrafia e degli Strati di Terreno

Tipo : HORIZONTAL
Quota : 0 m
OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL
Quota : -2.5 m
OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL
Quota : -9 m
OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	γ dry	γ sat	ø'	øcv	øp	c'	Su	Modulo Elastico	Eu	Evc	Eur	Ah	Av	exp	Pa	Rur/Rvc	Rvc	Ku	Kvc	Kur
		kN/m³	kN/m³	°	°	°	kPa	kPa			kPa	kPa				kPa		kPa	kN/m³	kN/m³	kN/m³
1	UL2	19.5	19.5	30			2		Constant		40000	64000									
2	UL3A	20	20	25			10		Constant		60000	96000									
3	UL3B	20	20	27			10		Constant		100000	160000									

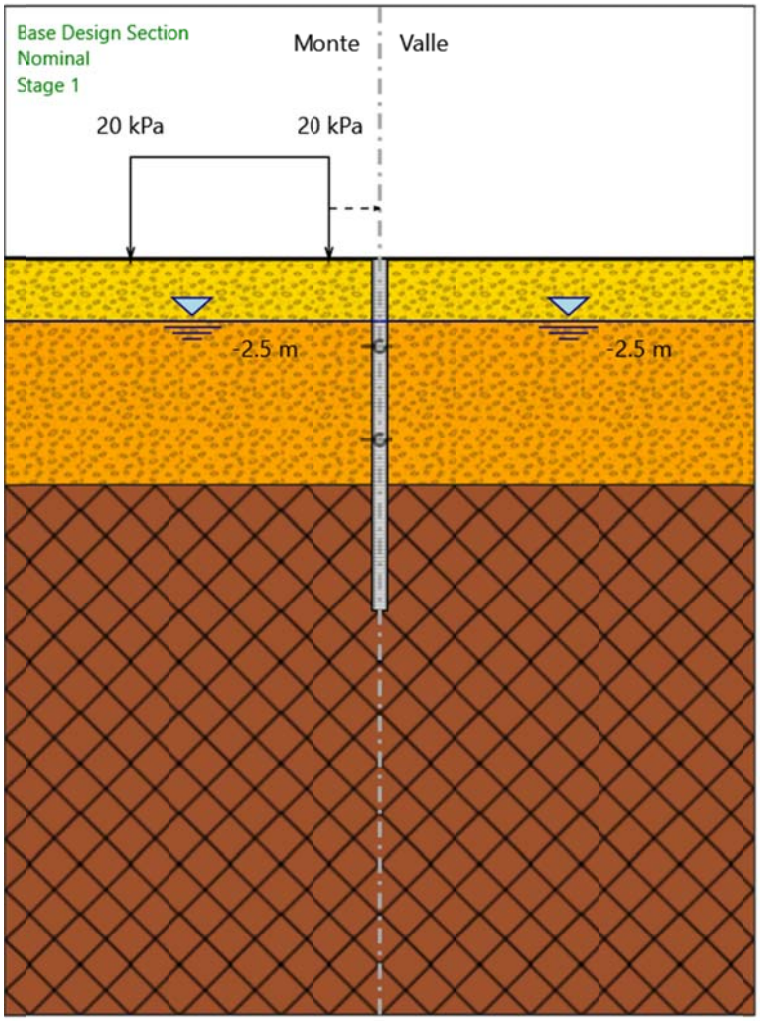
Descrizione Pareti

X : 0 m
Quota in alto : 0 m
Quota di fondo : -14 m
Muro di sinistra

Sezione : Default Section
Area equivalente : 0.551984243052114 m
Inerzia equivalente : 0.0143 m^4/m
Materiale calcestruzzo : C25/30
Tipo sezione : Secant
Spaziatura : 0.8 m
Diametro : 0.6 m
Efficacia : 1

Fasi di Calcolo

Stage 1



Stage 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -2.5 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

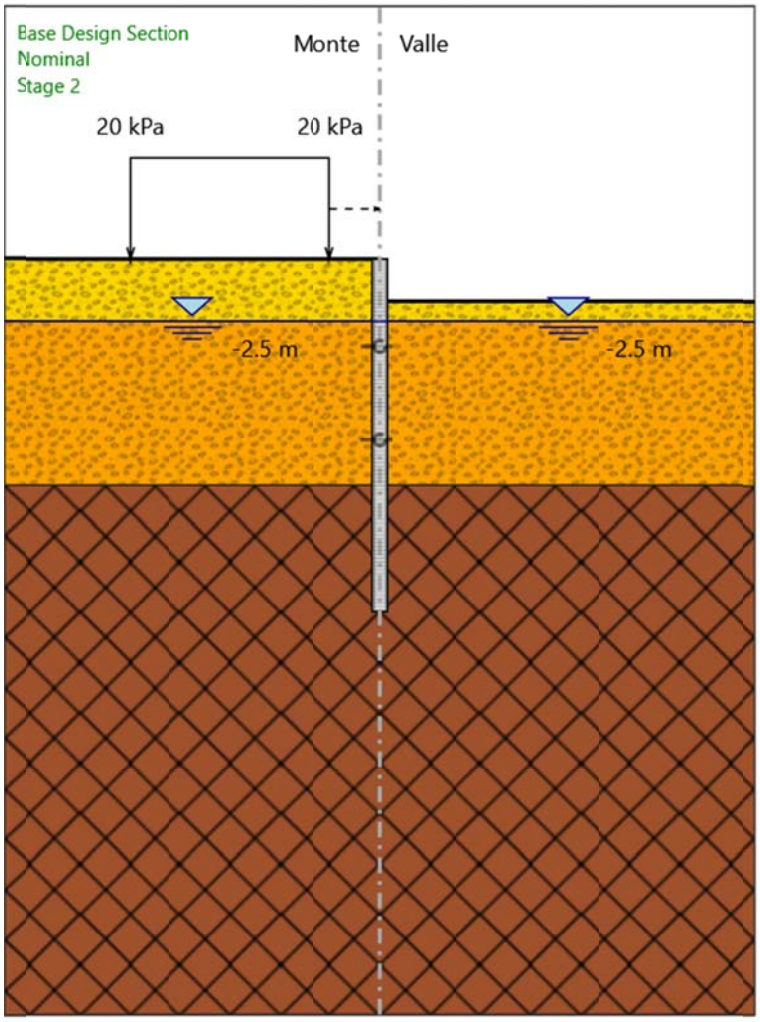
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

Stage 2



Stage 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -1.7 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-1.7 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -2.5 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

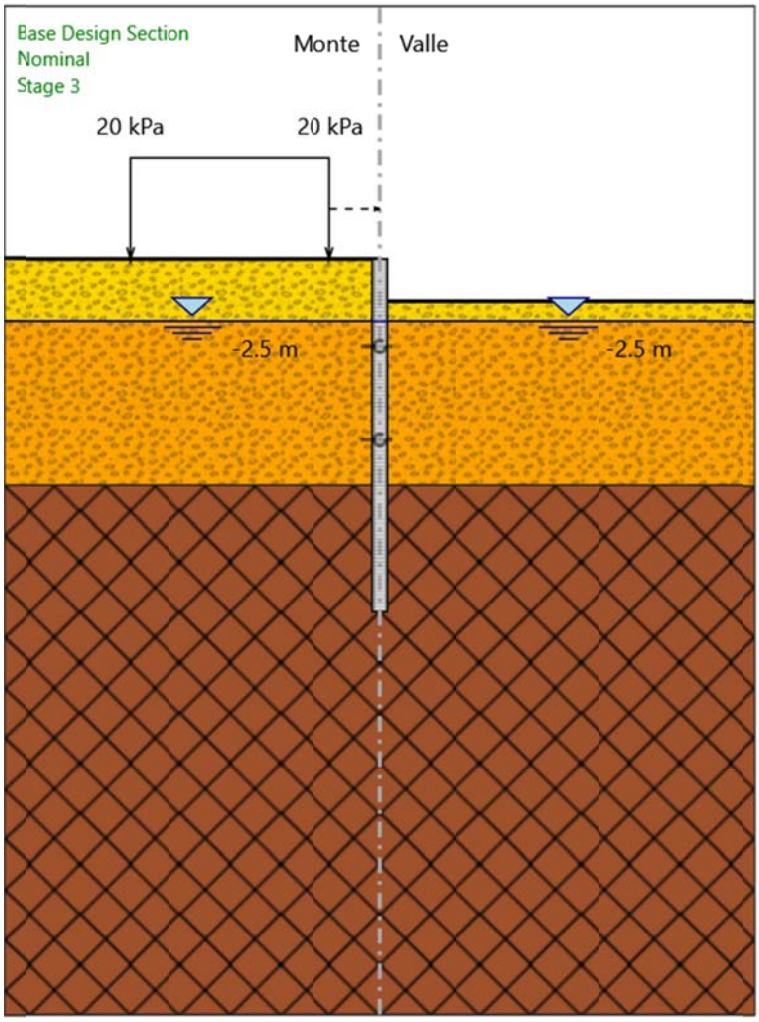
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

Stage 3



Stage 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -1.7 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-1.7 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -2.5 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

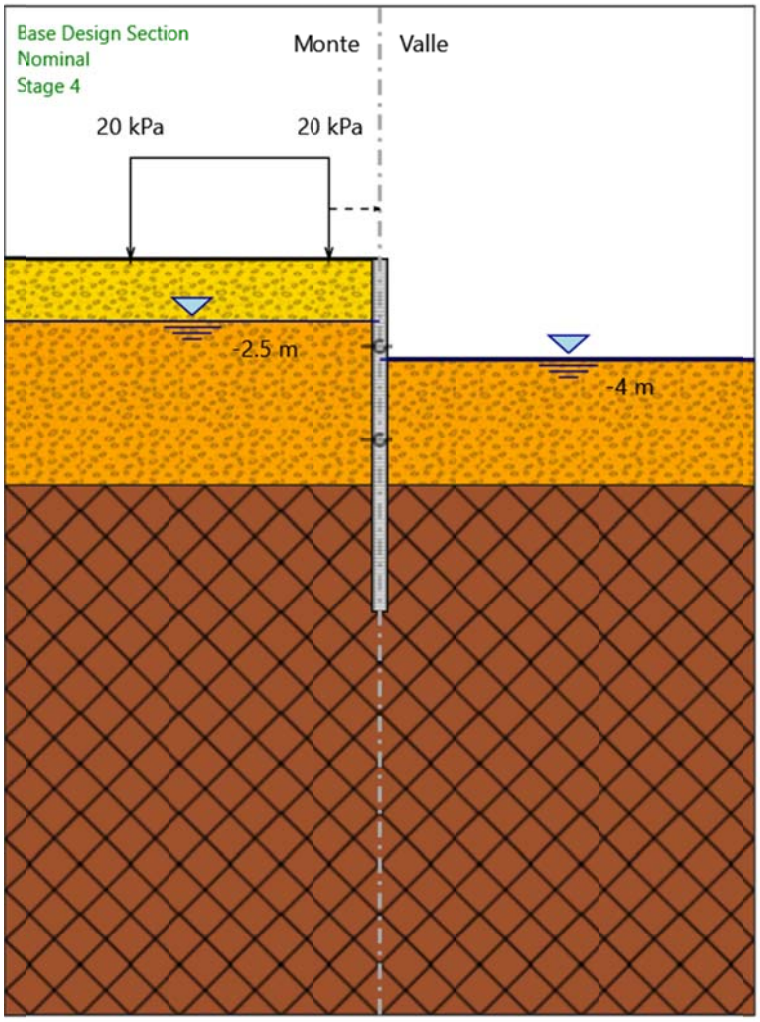
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

Stage 4



Stage 4

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -4 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-4 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -4 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

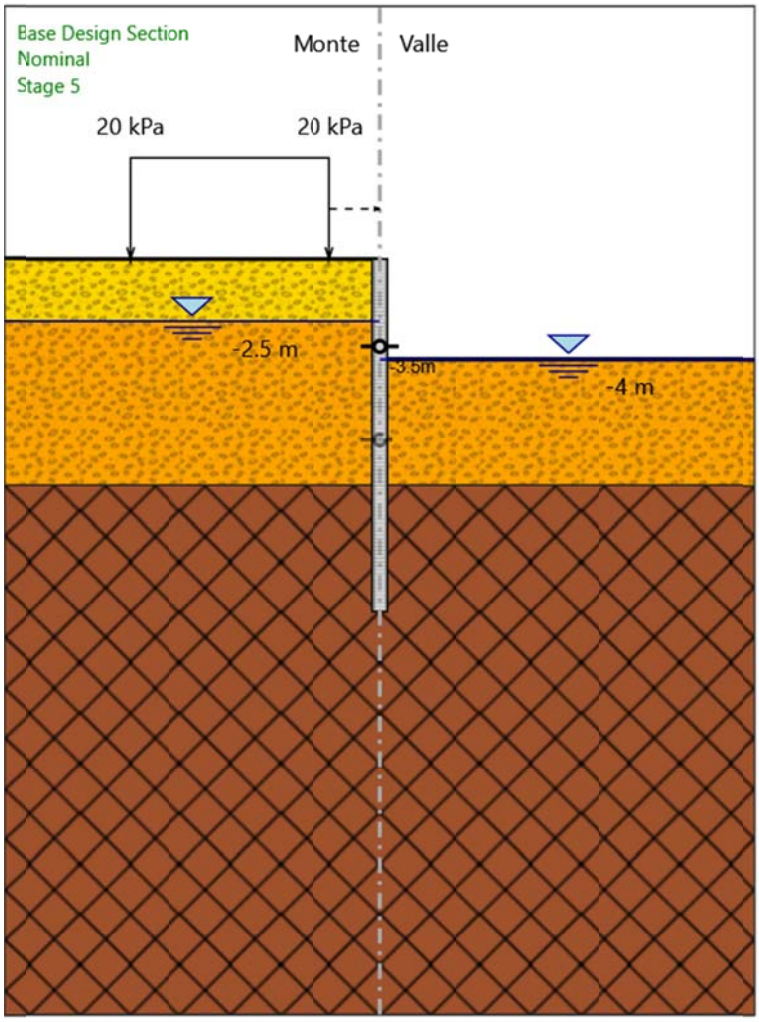
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

Stage 5



Stage 5

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -4 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-4 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -4 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

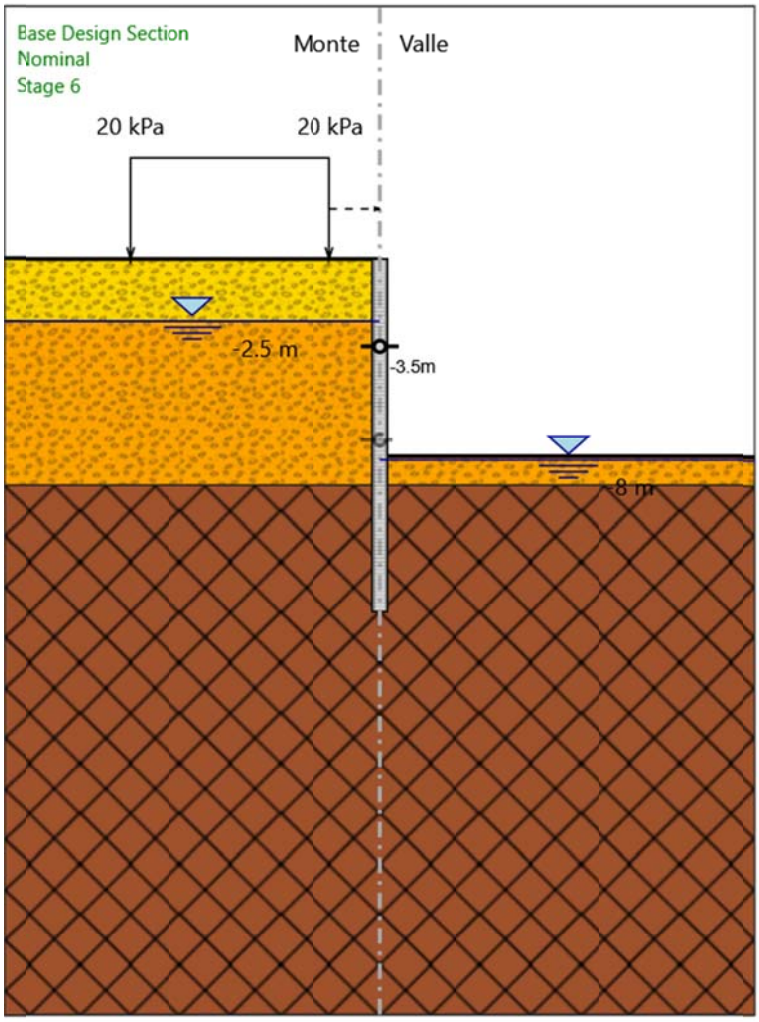
Vincolo fisso : FixedSupport_New

X : 0 m

Z : -3.5 m

Angolo : 0 °

Stage 6



Stage 6

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -7.85 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-7.85 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -8 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

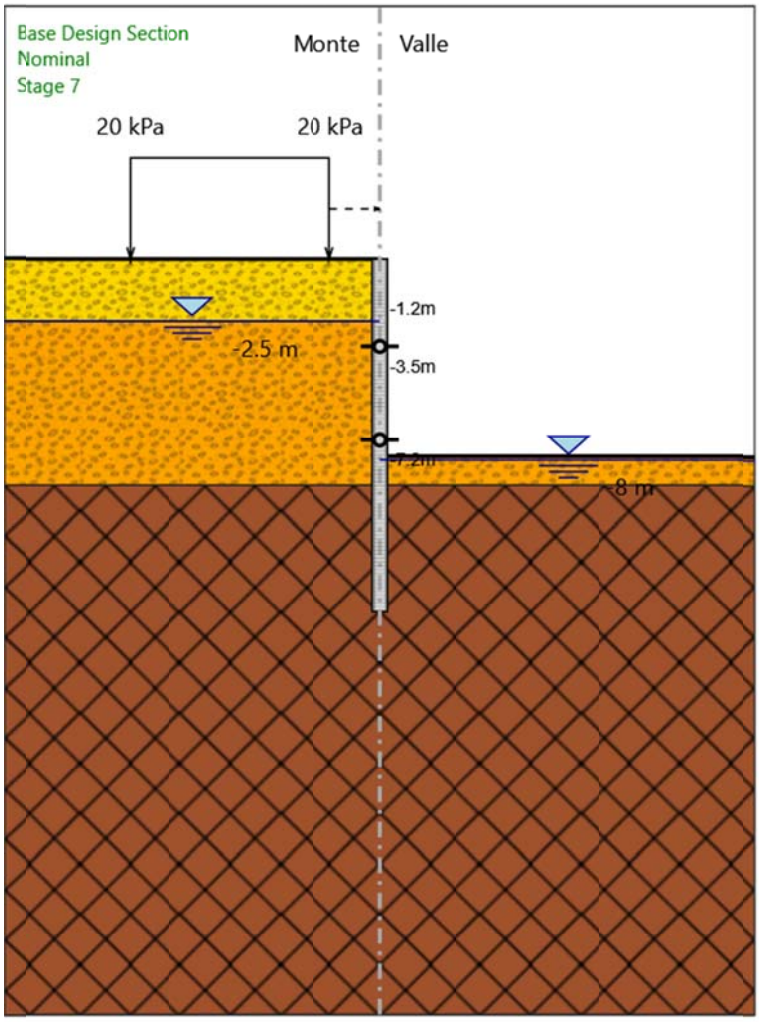
Vincolo fisso : FixedSupport_New

X : 0 m

Z : -3.5 m

Angolo : 0 °

Stage 7



Stage 7

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -7.85 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-7.85 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -8 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

Vincolo fisso : FixedSupport

X : 0 m

Z : -1.2 m

Angolo : 0 °

Vincolo fisso : FixedSupport_New

X : 0 m

Z : -3.5 m

Angolo : 0 °

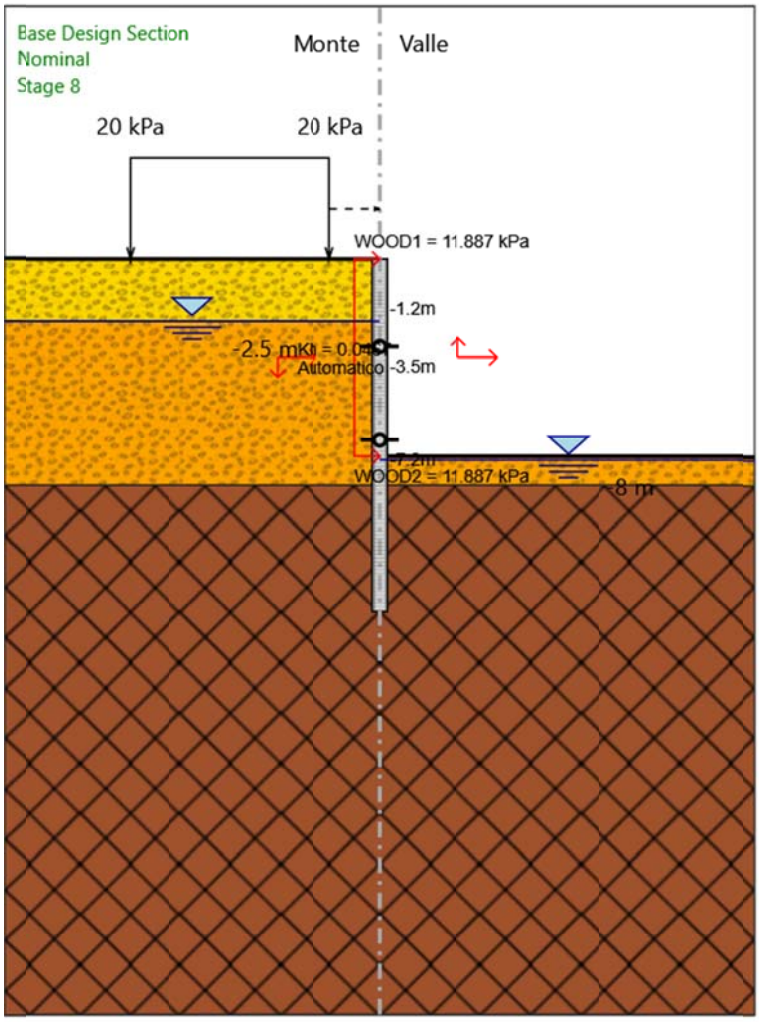
Vincolo fisso : FixedSupport_New_New

X : 0 m

Z : -7.2 m

Angolo : 0 °

Stage 8



Stage 8

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -7.85 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-7.85 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2.5 m

Falda di destra : -8 m

Carichi

Carico lineare in superficie : SurfaceSurcharge

X iniziale : -10 m

X finale : -2 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -14 m

Sezione : Default Section

Vincolo fisso : FixedSupport

X : 0 m

Z : -1.2 m

Angolo : 0 °

Vincolo fisso : FixedSupport_New

X : 0 m

Z : -3.5 m

Angolo : 0 °

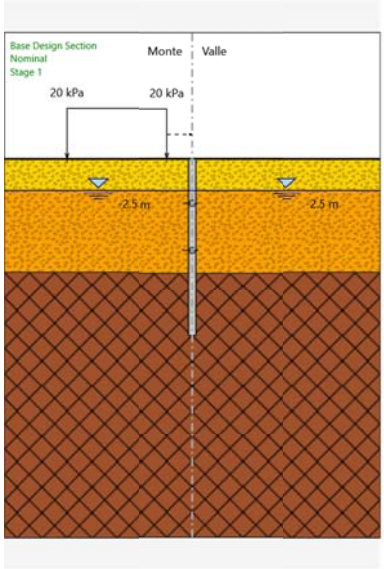
Vincolo fisso : FixedSupport_New_New

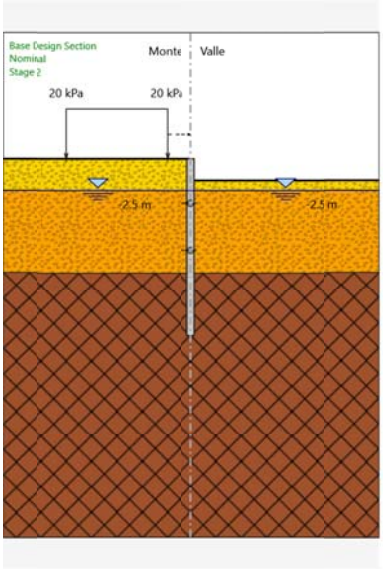
X : 0 m

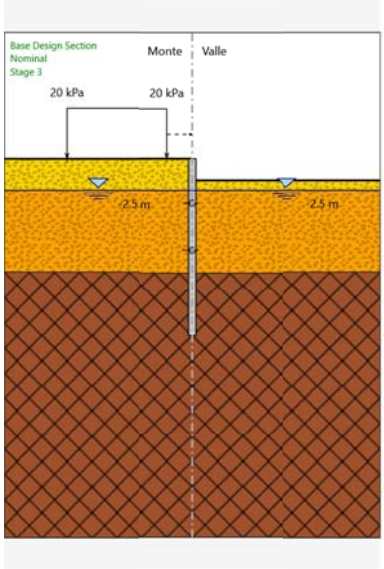
Z : -7.2 m

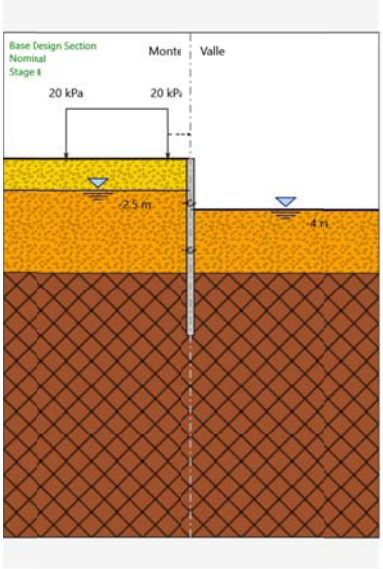
Angolo : 0 °

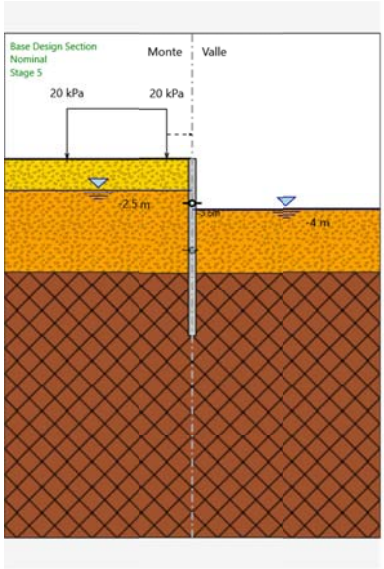
Tabella Configurazione Stage (Nominal)

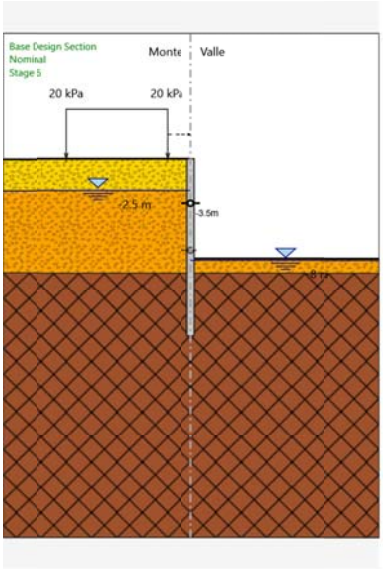


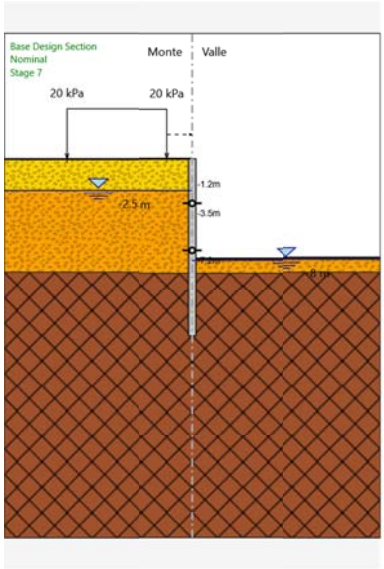


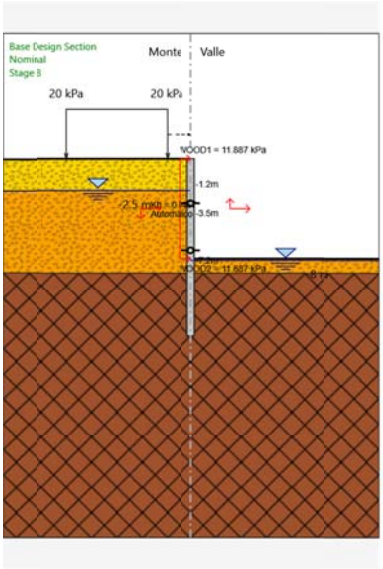





Base Design Section
Nominal
Stage 5
Monte
Valle
20 kPa
20 kPa
-2.5 m
-3.5m
-4 m


Base Design Section
Nominal
Stage 5
Monte
Valle
20 kPa
20 kPa
-2.5 m
-3.5m


Base Design Section
Nominal
Stage 7
Monte
Valle
20 kPa
20 kPa
-1.2m
-2.5 m
-3.5m


Base Design Section
Nominal
Stage 8
Monte
Valle
20 kPa
20 kPa
WOOD1 = 11.887 kPa
-1.2m
-2.5 m
-3.5m

Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seism_load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F_WaterDR)	Pressioni Acqua Lato Valle (F_WaterRes)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UPL_QDStab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_HYD_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_QDStab)
Simbolo	**γG**	**γG**	**γQ**	**γQ**	**γQE**	**γG**	**γG**	**γGdst**	**γGstb**	**γQdst**	**γGdst**	**γGstb**	**γQdst**
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Nome	Parziale su tan(ø') (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	**γϕ**	**γc**	**γcu**	**γqu**	**γγ**
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	**γRe**	**γap**	**γat**	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1.2	1.1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

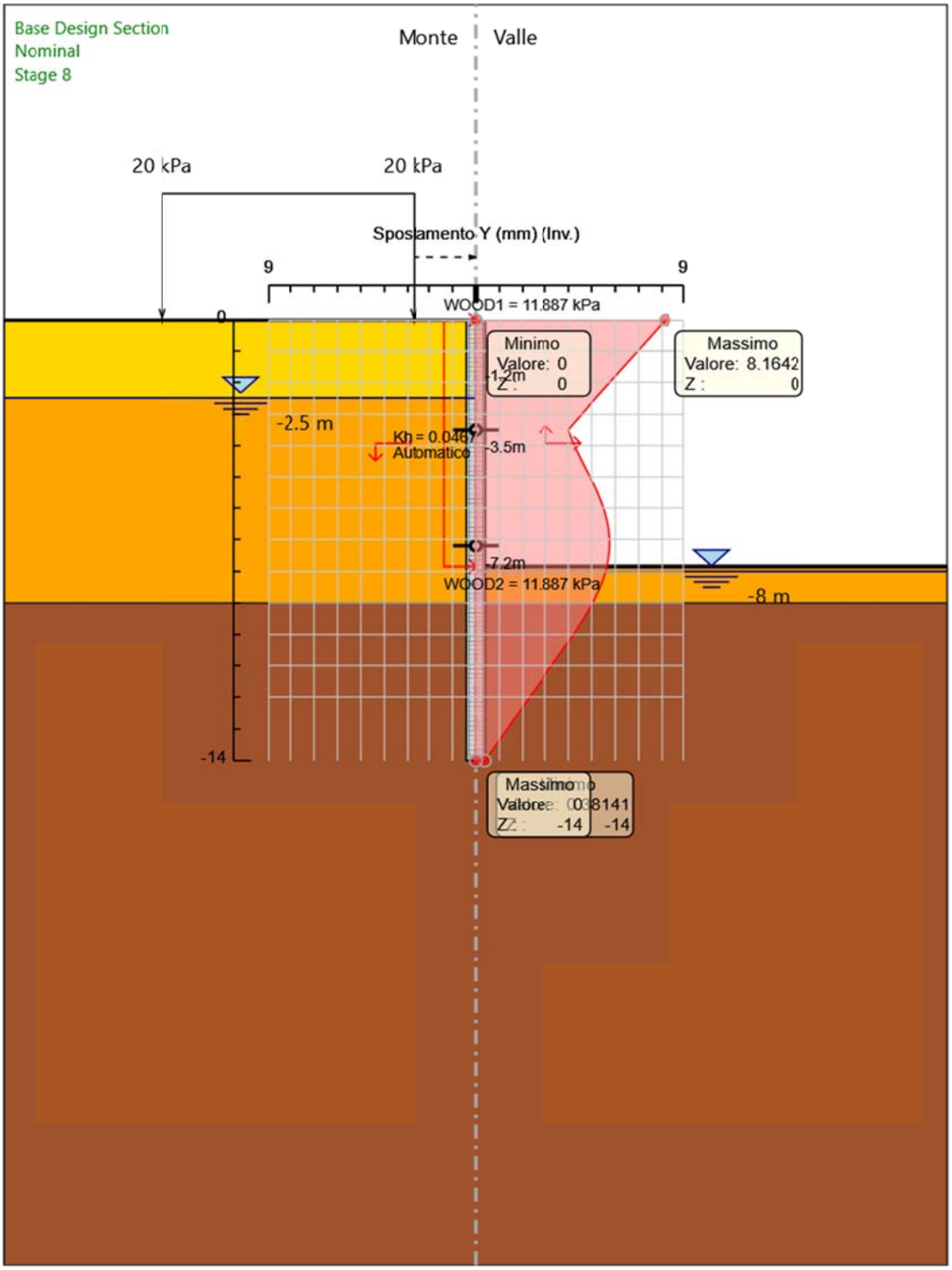
Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8

NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA STR	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA GEO	V	V	V	V	V	V	V	V

Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

Grafico Inviluppi Spostamento



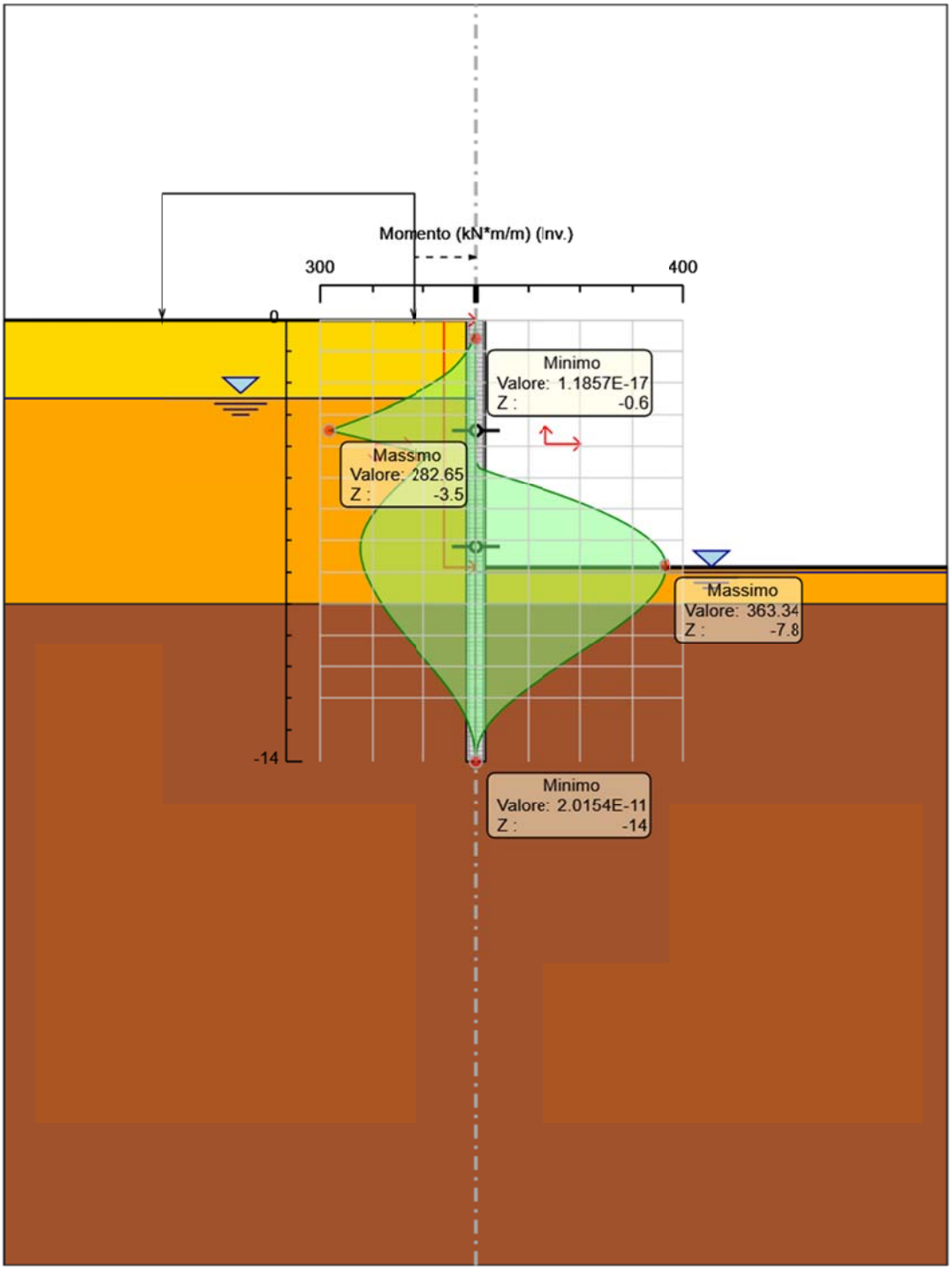
Spostamento

Tabella Inviluppi Momento WallElement

Selected Design Assumptions	Inviluppi: Momento	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.2	0.215	0
-0.4	1.732	0
-0.6	4.958	0
-0.8	9.9	0
-1	16.564	0
-1.2	24.954	0
-1.4	35.071	0
-1.6	46.911	0
-1.8	62.638	0
-2	80.996	0
-2.2	101.526	0
-2.4	124.128	0
-2.6	148.696	0
-2.8	175.334	0
-3	203.896	0
-3.2	234.232	0
-3.4	266.185	0
-3.5	282.654	0
-3.7	232.208	0
-3.9	183.024	0
-4.1	135.215	0
-4.3	90.861	0
-4.5	103.561	0
-4.7	116.375	6.898
-4.9	129.147	39.991
-5.1	141.728	79.224
-5.3	153.963	116.407
-5.5	165.701	151.429
-5.7	176.785	184.18
-5.9	187.064	214.548
-6.1	196.382	242.426
-6.3	204.586	267.702
-6.5	211.52	290.267
-6.7	217.03	310.012
-6.9	220.96	326.828
-7.1	223.157	340.606
-7.2	223.601	346.315
-7.4	223.26	355.334
-7.6	221.478	361.044
-7.8	218.44	363.337
-8	214.32	362.104
-8.2	209.277	358.562
-8.4	203.463	352.845
-8.6	197.013	345.092
-8.8	190.056	335.436
-9	182.704	324.017
-9.2	175.065	310.969
-9.4	166.668	296.748
-9.6	157.652	281.505
-9.8	148.138	265.395
-10	138.235	248.569
-10.2	128.035	231.181
-10.4	117.615	213.39
-10.6	107.086	195.354
-10.8	96.542	177.229
-11	86.122	159.173
-11.2	75.964	141.344
-11.4	66.183	123.899
-11.6	56.871	106.996
-11.8	48.111	90.792
-12	39.973	75.444
-12.2	32.511	61.109
-12.4	25.769	47.945
-12.6	19.78	36.108
-12.8	14.563	25.755
-13	10.132	17.044

Selected Design Assumptions	Inviluppi: Momento	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
-13.2	6.495	10.131
-13.4	4.156	5.174
-13.6	2.216	2.048
-13.8	0.673	0.431
-14	0	0

Grafico Inviluppi Momento



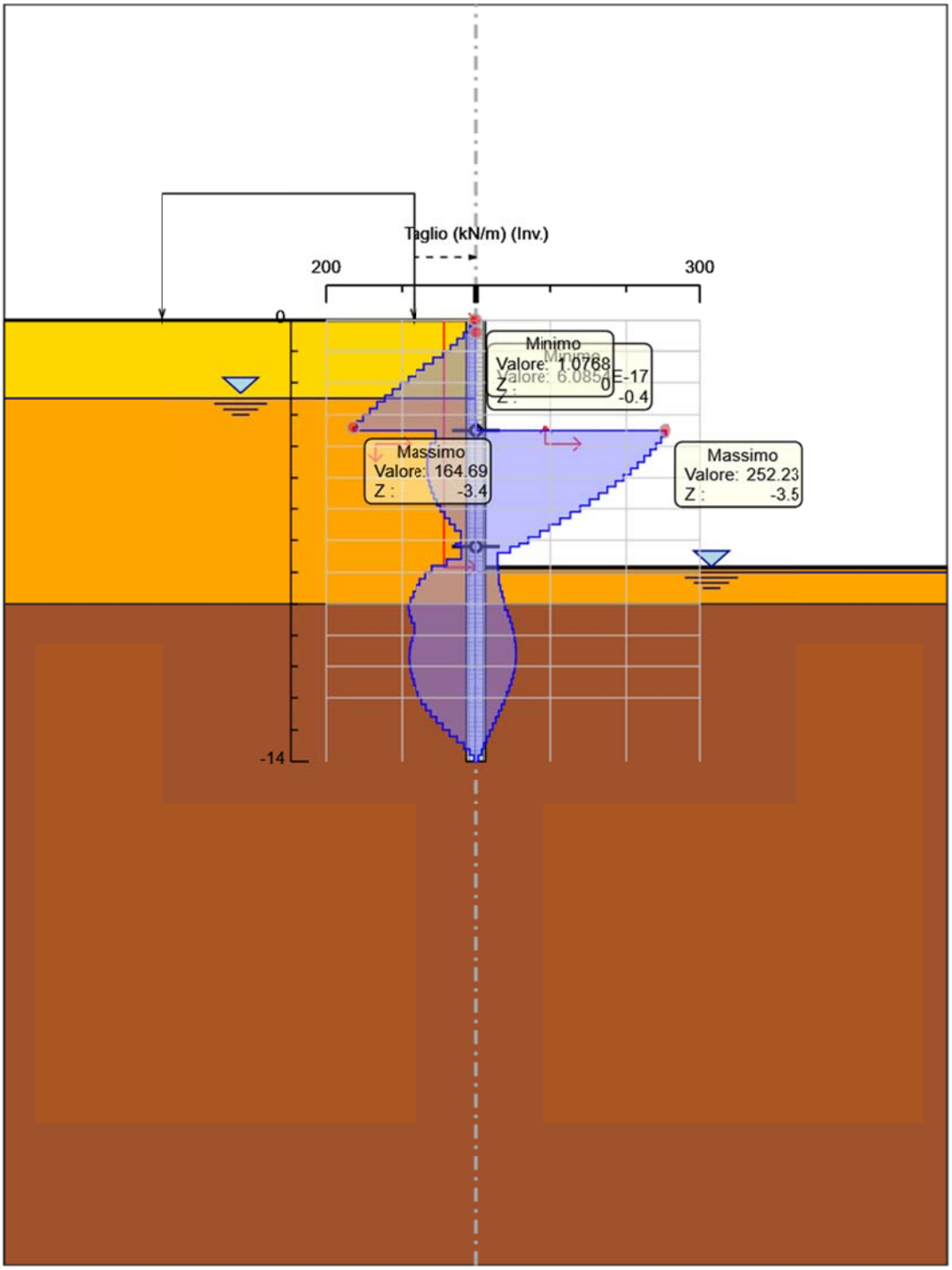
Momento

Tabella Inviluppi Taglio WallElement

Selected Design Assumptions	Inviluppi: Taglio	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
0	1.077	0
-0.2	7.584	0
-0.4	16.128	0
-0.6	24.711	0
-0.8	33.322	0
-1	43.499	0
-1.2	56.27	0
-1.4	68.583	0
-1.6	80.426	0
-1.8	91.788	0
-2	102.654	0
-2.2	113.009	0
-2.4	122.838	0
-2.6	133.193	0
-2.8	142.808	0
-3	151.678	0
-3.2	159.767	0.705
-3.4	164.687	1.477
-3.5	164.687	252.231
-3.7	52.88	252.231
-3.9	60.109	245.917
-4.1	62.188	239.043
-4.3	63.501	231.589
-4.5	64.067	223.58
-4.7	64.067	214.997
-4.9	63.863	205.865
-5.1	62.906	196.165
-5.3	61.175	185.919
-5.5	58.686	175.109
-5.7	55.421	163.755
-5.9	51.395	151.842
-6.1	46.589	139.388
-6.3	41.02	126.377
-6.5	34.669	112.827
-6.7	27.552	98.724
-6.9	19.652	84.082
-7.1	26.693	68.889
-7.2	26.693	57.092
-7.4	19.279	45.094
-7.6	38.395	28.548
-7.8	58.165	29.313
-8	66.728	30.168
-8.2	74.111	30.277
-8.4	80.301	32.248
-8.6	85.309	34.788
-8.8	89.124	36.757
-9	91.756	38.198
-9.2	91.756	41.984
-9.4	90.523	45.079
-9.6	87.949	47.57
-9.8	84.129	49.518
-10	86.936	51
-10.2	88.954	52.097
-10.4	90.184	52.645
-10.6	90.625	52.718
-10.8	90.625	52.718
-11	90.279	52.102
-11.2	89.145	50.789
-11.4	87.224	48.905
-11.6	84.516	46.56
-11.8	81.021	43.801
-12	76.741	40.692
-12.2	71.674	37.309
-12.4	65.822	33.711
-12.6	59.185	29.949
-12.8	51.763	26.083

Selected Design Assumptions	Inviluppi: Taglio	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
-13	43.556	22.155
-13.2	34.564	18.183
-13.4	24.788	14.179
-13.6	15.629	10.152
-13.8	8.084	7.717
-14	2.156	3.362

Grafico Inviluppi Taglio



Taglio

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
NTC2018: A2+M2+R1	Stage 1	Left Wall	LEFT	17
NTC2018: A2+M2+R1	Stage 6	Left Wall	RIGHT	97.16

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
NTC2018: A2+M2+R1	Stage 4	Left Wall	LEFT	105.65
NTC2018: A2+M2+R1	Stage 1	Left Wall	RIGHT	150.64

Inviluppo Risultati Elementi Strutturali

Elemento strutturale	Design Assumption	Stage	FixedSupport Sollecitazione kN/m
FixedSupport	NTC2018: SISMICA GEO	Stage 8	26.86
FixedSupport_New	NTC2018: A2+M2+R1	Stage 8	421.23
FixedSupport_New_New	NTC2018: SISMICA GEO	Stage 8	74.4

Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali

Normative Verifiche	
Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

Coefficienti per Verifica Tiranti	
GEO FS	1
ξa3	1.8
γs	1.15

Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA STR	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA GEO	V	V	V	V	V	V	V	V

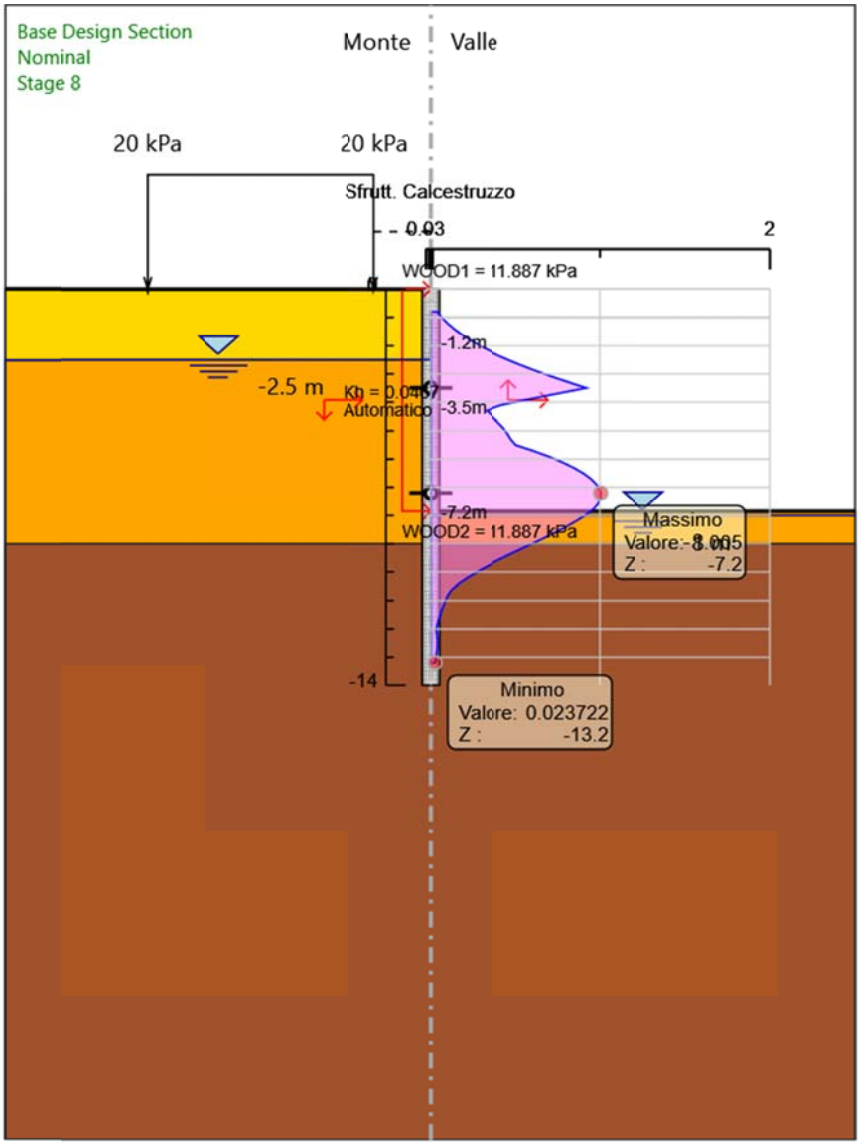
Risultati Caver

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver
-0.8	0.038
-1	0.064
-1.2	0.096
-1.4	0.134
-1.6	0.179
-1.8	0.231
-2	0.289
-2.2	0.354
-2.4	0.425
-2.6	0.503
-2.8	0.586
-3	0.676
-3.2	0.771
-3.4	0.87
-3.5	0.922
-3.7	0.752
-3.9	0.586
-4.1	0.425
-4.3	0.327
-4.5	0.367
-4.7	0.404
-4.9	0.435
-5.1	0.46
-5.3	0.479
-5.5	0.509
-5.7	0.609
-5.9	0.699
-6.1	0.778
-6.3	0.847
-6.5	0.904
-6.7	0.949
-6.9	0.981
-7.1	1
-7.2	1.000
-7.4	1.000
-7.6	0.988
-7.8	0.958
-8	0.913
-8.2	0.86
-8.4	0.803
-8.6	0.74
-8.8	0.674
-9	0.605
-9.2	0.534
-9.4	0.464
-9.6	0.396
-9.8	0.331
-10	0.271
-10.2	0.215
-10.4	0.167
-10.6	0.124
-10.8	0.099
-11	0.085
-11.2	0.072
-11.4	0.06
-11.6	0.049
-11.8	0.04
-12	0.031
-12.2	0.036
-12.4	0.038
-12.6	0.038
-12.8	0.035
-13	0.03

Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver
-13.2	0.024

Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver

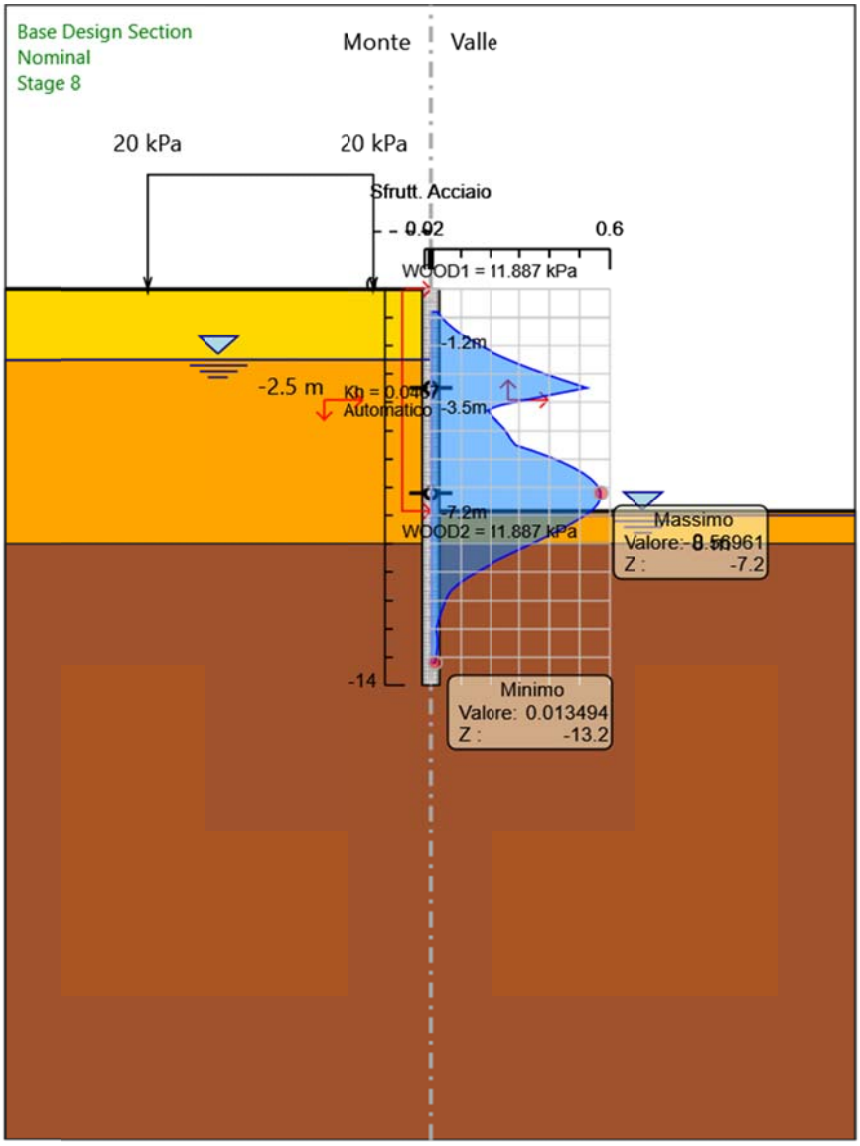


Inviluppi
Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Armature - Caver
-0.8	0.022
-1	0.036
-1.2	0.054
-1.4	0.076
-1.6	0.102
-1.8	0.131
-2	0.165
-2.2	0.201
-2.4	0.242
-2.6	0.286
-2.8	0.333
-3	0.384
-3.2	0.438
-3.4	0.495
-3.5	0.525
-3.7	0.427
-3.9	0.333
-4.1	0.242
-4.3	0.186
-4.5	0.209
-4.7	0.23
-4.9	0.247
-5.1	0.262
-5.3	0.273
-5.5	0.288
-5.7	0.345
-5.9	0.396
-6.1	0.441
-6.3	0.48
-6.5	0.512
-6.7	0.538
-6.9	0.556
-7.1	0.567
-7.2	0.57
-7.4	0.569
-7.6	0.56
-7.8	0.543
-8	0.517
-8.2	0.488
-8.4	0.455
-8.6	0.419
-8.8	0.382
-9	0.343
-9.2	0.302
-9.4	0.263
-9.6	0.224
-9.8	0.188
-10	0.153
-10.2	0.122
-10.4	0.094
-10.6	0.07
-10.8	0.057
-11	0.048
-11.2	0.041
-11.4	0.034
-11.6	0.028
-11.8	0.023
-12	0.018
-12.2	0.02
-12.4	0.022
-12.6	0.022
-12.8	0.02
-13	0.017
-13.2	0.013

Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver

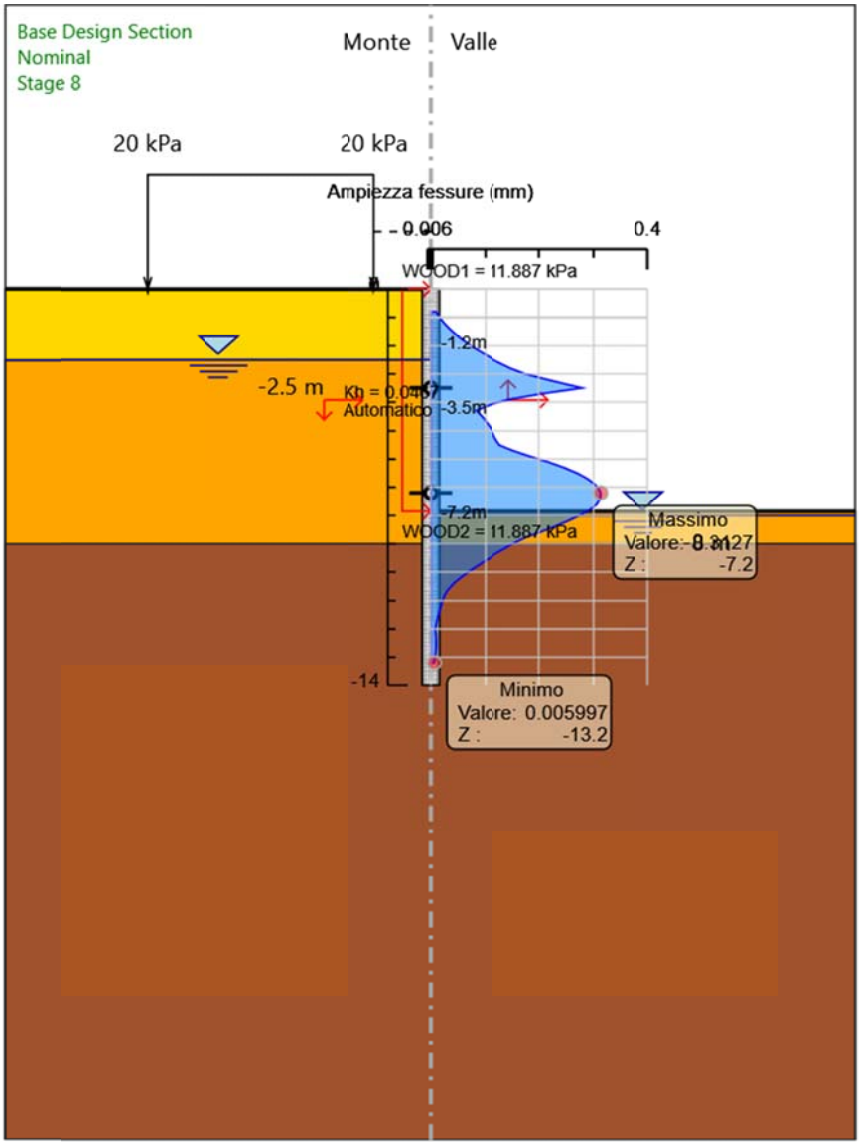


Inviluppi
Tasso di Sfruttamento Armature - Caver

Tabella Inviluppi Apertura Fessure - Caver : LEFT

Inviluppi Apertura Fessure - Caver	LEFT
Z (m)	Apertura Fessure - Caver (mm)
-0.8	0.01
-1	0.016
-1.2	0.024
-1.4	0.034
-1.6	0.045
-1.8	0.058
-2	0.073
-2.2	0.09
-2.4	0.107
-2.6	0.127
-2.8	0.148
-3	0.175
-3.2	0.215
-3.4	0.257
-3.5	0.279
-3.7	0.207
-3.9	0.148
-4.1	0.107
-4.3	0.083
-4.5	0.093
-4.7	0.102
-4.9	0.11
-5.1	0.116
-5.3	0.121
-5.5	0.128
-5.7	0.154
-5.9	0.184
-6.1	0.217
-6.3	0.246
-6.5	0.27
-6.7	0.289
-6.9	0.303
-7.1	0.311
-7.2	0.313
-7.4	0.312
-7.6	0.306
-7.8	0.293
-8	0.274
-8.2	0.252
-8.4	0.228
-8.6	0.201
-8.8	0.173
-9	0.153
-9.2	0.135
-9.4	0.117
-9.6	0.1
-9.8	0.084
-10	0.068
-10.2	0.054
-10.4	0.042
-10.6	0.031
-10.8	0.025
-11	0.021
-11.2	0.018
-11.4	0.015
-11.6	0.012
-11.8	0.01
-12	0.008
-12.2	0.009
-12.4	0.01
-12.6	0.01
-12.8	0.009
-13	0.008
-13.2	0.006

Grafico Inviluppi Apertura Fessure - Caver

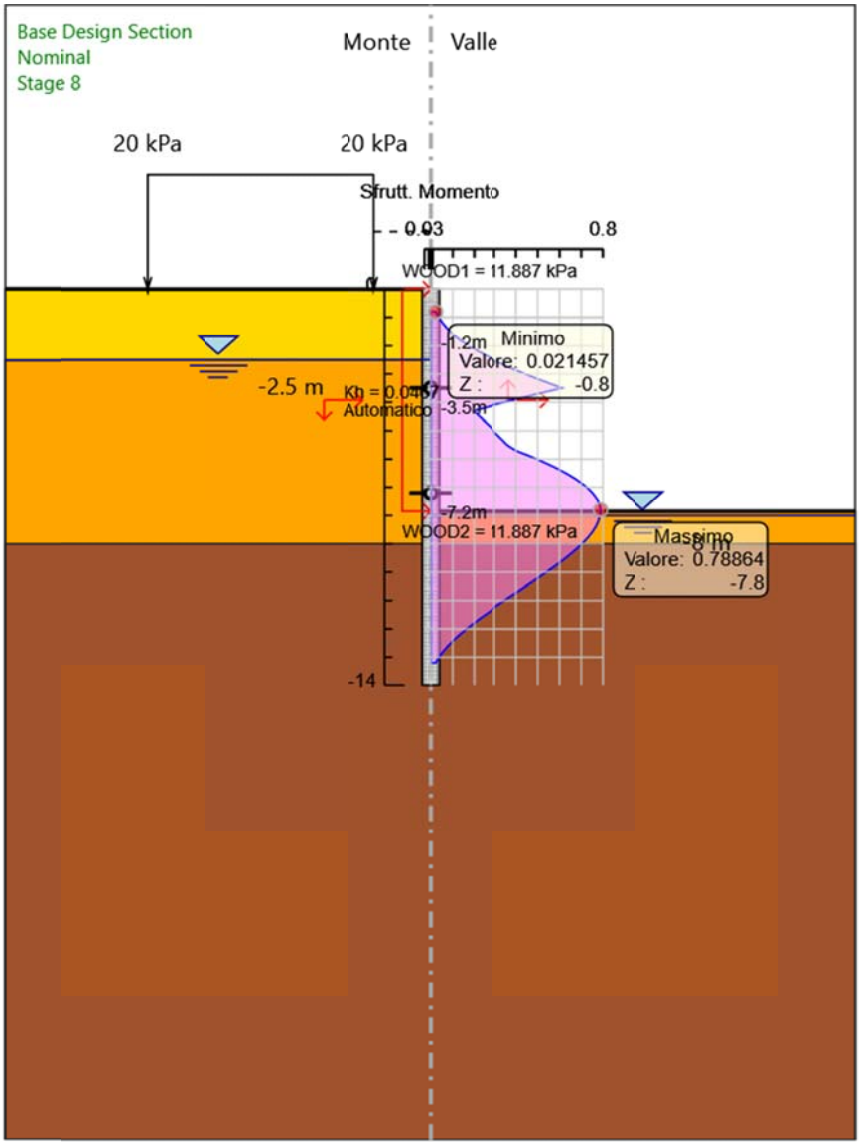


Inviluppi
Apertura Fessure - Caver

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver
-0.8	0.021
-1	0.036
-1.2	0.054
-1.4	0.076
-1.6	0.102
-1.8	0.136
-2	0.176
-2.2	0.22
-2.4	0.269
-2.6	0.322
-2.8	0.38
-3	0.442
-3.2	0.508
-3.4	0.577
-3.5	0.613
-3.7	0.503
-3.9	0.397
-4.1	0.293
-4.3	0.197
-4.5	0.224
-4.7	0.252
-4.9	0.28
-5.1	0.307
-5.3	0.334
-5.5	0.359
-5.7	0.4
-5.9	0.466
-6.1	0.526
-6.3	0.581
-6.5	0.63
-6.7	0.673
-6.9	0.709
-7.1	0.739
-7.2	0.752
-7.4	0.771
-7.6	0.784
-7.8	0.789
-8	0.786
-8.2	0.778
-8.4	0.766
-8.6	0.749
-8.8	0.728
-9	0.703
-9.2	0.675
-9.4	0.644
-9.6	0.611
-9.8	0.576
-10	0.54
-10.2	0.502
-10.4	0.463
-10.6	0.424
-10.8	0.385
-11	0.345
-11.2	0.307
-11.4	0.269
-11.6	0.232
-11.8	0.197
-12	0.164
-12.2	0.133
-12.4	0.104
-12.6	0.078
-12.8	0.056
-13	0.037
-13.2	0.022

Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

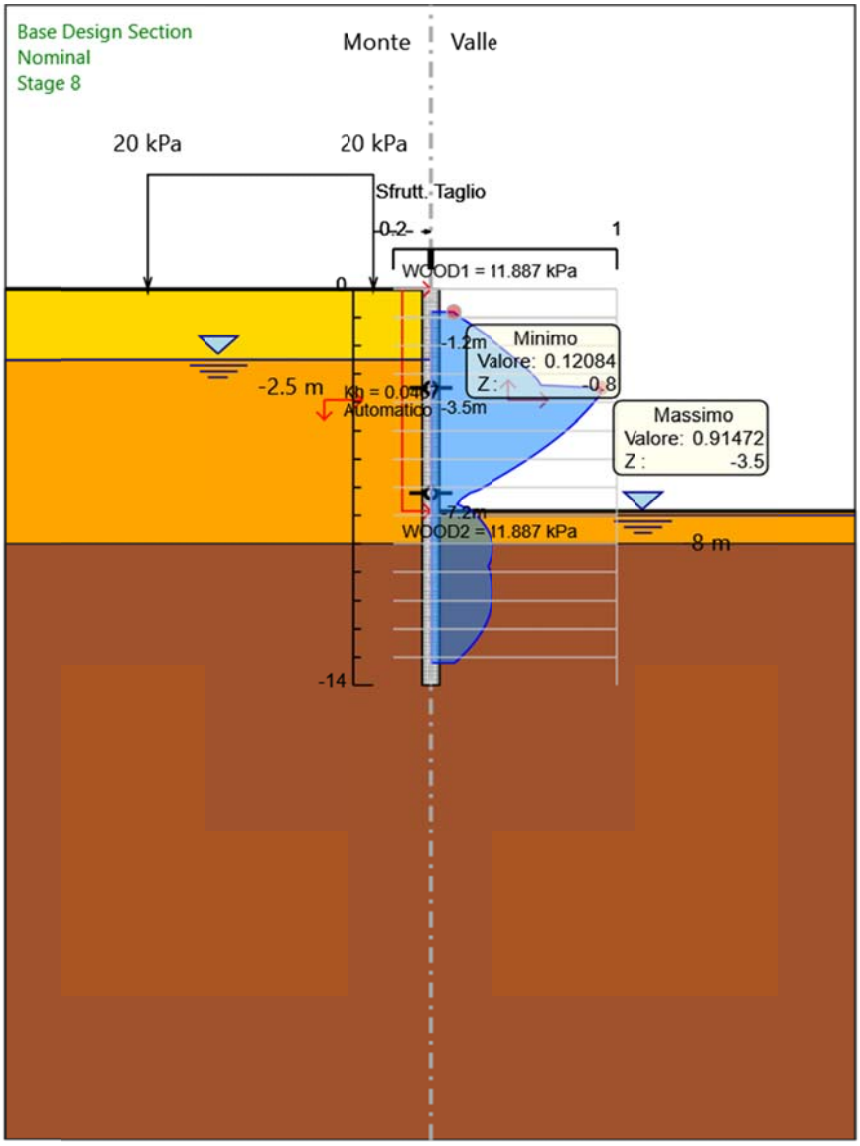


Inviluppi
Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
-0.8	0.121
-1	0.158
-1.2	0.204
-1.4	0.249
-1.6	0.292
-1.8	0.333
-2	0.372
-2.2	0.41
-2.4	0.445
-2.6	0.483
-2.8	0.518
-3	0.55
-3.2	0.579
-3.4	0.597
-3.5	0.915
-3.7	0.915
-3.9	0.892
-4.1	0.867
-4.3	0.84
-4.5	0.811
-4.7	0.78
-4.9	0.747
-5.1	0.711
-5.3	0.674
-5.5	0.635
-5.7	0.594
-5.9	0.551
-6.1	0.505
-6.3	0.458
-6.5	0.409
-6.7	0.358
-6.9	0.305
-7.1	0.25
-7.2	0.207
-7.4	0.164
-7.6	0.139
-7.8	0.211
-8	0.242
-8.2	0.269
-8.4	0.291
-8.6	0.309
-8.8	0.323
-9	0.333
-9.2	0.333
-9.4	0.328
-9.6	0.319
-9.8	0.305
-10	0.315
-10.2	0.323
-10.4	0.327
-10.6	0.329
-10.8	0.329
-11	0.327
-11.2	0.323
-11.4	0.316
-11.6	0.306
-11.8	0.294
-12	0.278
-12.2	0.26
-12.4	0.239
-12.6	0.215
-12.8	0.188
-13	0.158
-13.2	0.125

Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver



Inviluppi
Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver

ALLEGATO 2 - Analisi e verifiche camera di spinta cilindrica in c.a.

STAMPA DEI DATI DI PROGETTO

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	**Camera di spinta - fase 1**
Intestazione del lavoro	**Camera di spinta**
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kN
Unita' di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC-2018

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Localita'	Alba
Longitudine (WGS84)	8.03526
Latitudine (WGS84)	44.7009
Categoria del suolo	E
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	50
Comportamento strutturale	Dissipativo

PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	30	0.0192	2.6060	0.16	2.39	1.60	0.301
SLD	50	0.0240	2.5910	0.19	2.23	1.60	0.377
SLV	475	0.0477	2.6840	0.29	1.88	1.60	0.749
SLE	475	0.0477	2.6840	0.29	1.88	1.60	0.749
SLC	975	0.0563	2.7920	0.31	1.84	1.60	0.884

STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=1
Fattore q per comportamento non dissipativo	qorND = 1
Duttilita'	Bassa Duttilita'

SLV PER FONDAZIONI

Modalita'	Spettro SLV per fondazioni con amplificazione
Coeff.di amplificazione	1.100

PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Presente
Fattore di comportamento qv per sisma verticale per SLV e fondazioni	1.5
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC - Eurocodice 8
λ	0.3
μ	0.3

CARICHI PER ELEMENTI BIDIMENSIONALI

Carico di superficie nella direzione locale z, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.inerziale	Aliq.inerz.SLD
Pressione terreno	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	1.000000	1.2000	1.2000
Sovrapressione veicoli	2	Condizione 2	Variabile: Autorimesse	10.000000	0.0000	0.0000

CONDIZIONI DI CARICO AI NODI

Num.cond.carico	Descrizione
1	Spinta martinetti

Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
76		-7.50e+02				
77		-7.50e+02				
78		-7.50e+02				
119		-7.50e+02				
121		-7.50e+02				
162		-7.50e+02				
163		-7.50e+02				
164		-7.50e+02				

COMBINAZIONI DI CARICO

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.600
2	Statica - spinta manufatto	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.000
4	Frequente	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.700
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.600

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.600

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

CARICHI NODALI

Num. comb. car.	Descrizione	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	Dinamica							
2	Statica - spinta manufatto							
		163		-1.13e+03				
		164		-1.13e+03				
		162		-1.13e+03				
		77		-1.13e+03				
		76		-1.13e+03				
		78		-1.13e+03				
		121		-1.13e+03				
		119		-1.13e+03				
3	Rara							
4	Frequente							
5	Quasi permanente							
6	S.L.D.							

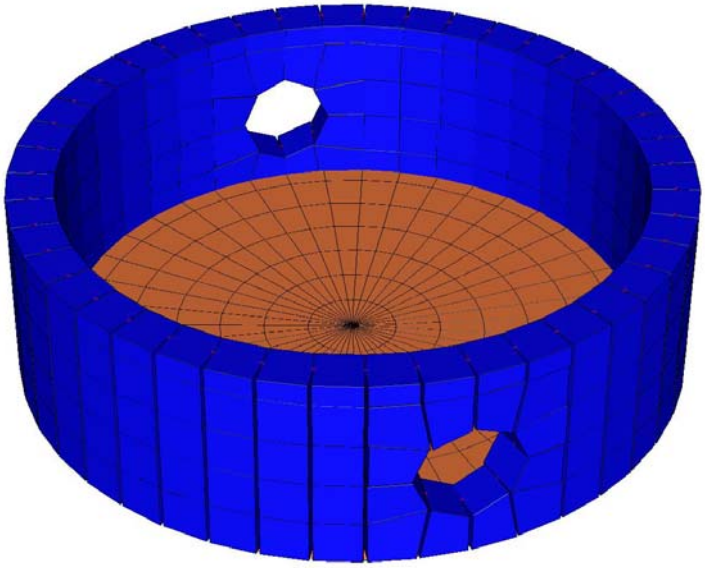


Figura 1 – Modello 3d - Fase 1 - Spinta microtunnel

Eseguendo una semplificazione a favore di sicurezza si trascura il contributo resistente della paratia di pali Φ600 posta nell'intorno del manufatto, durante la fase di spinta.

Pareti verticali di spessore 100 cm

Sollecitazioni

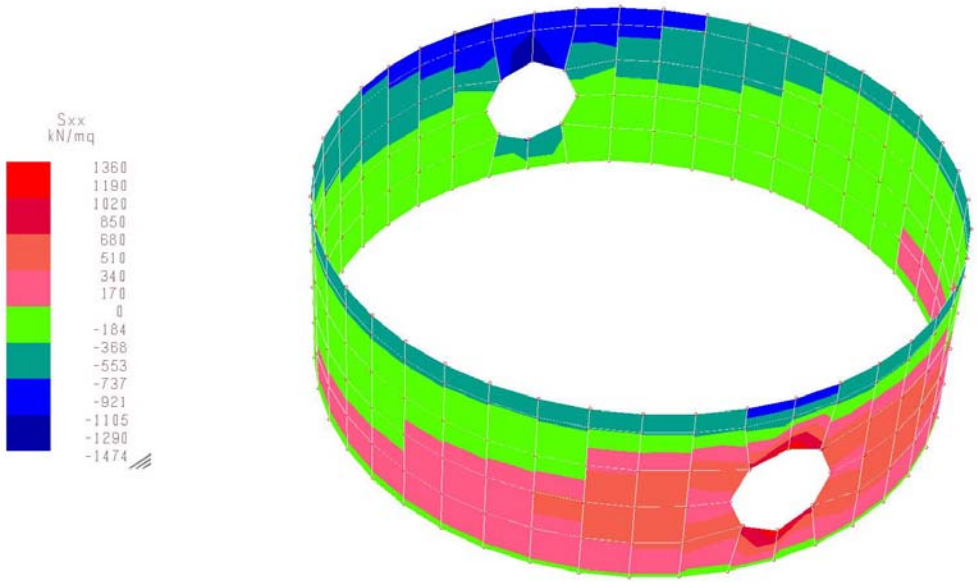


Figura 2 – Inviluppo sollecitazioni tensioni membranali S_{xx} [kN/m^2]

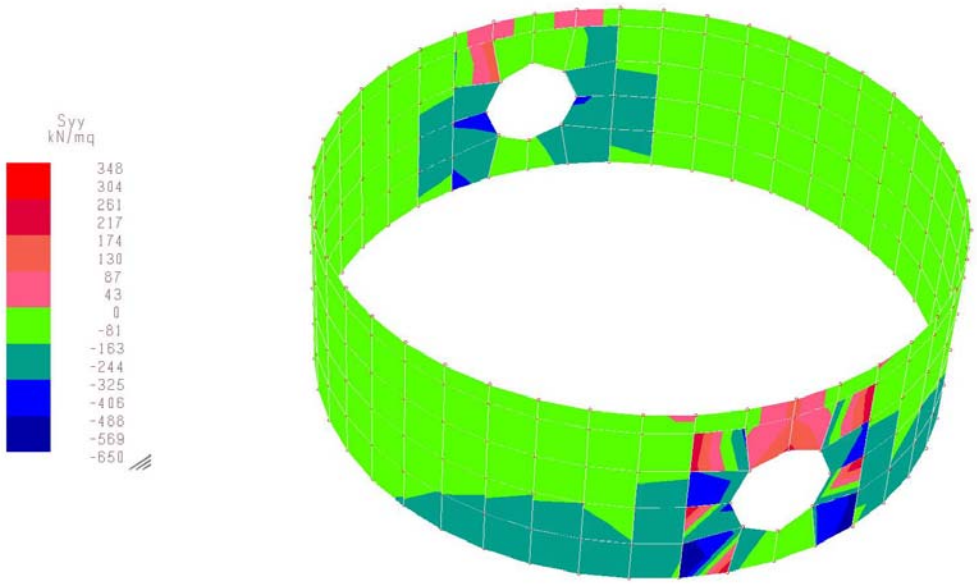


Figura 3 – Inviluppo sollecitazioni tensioni membranali S_{yy} [kN/m^2]

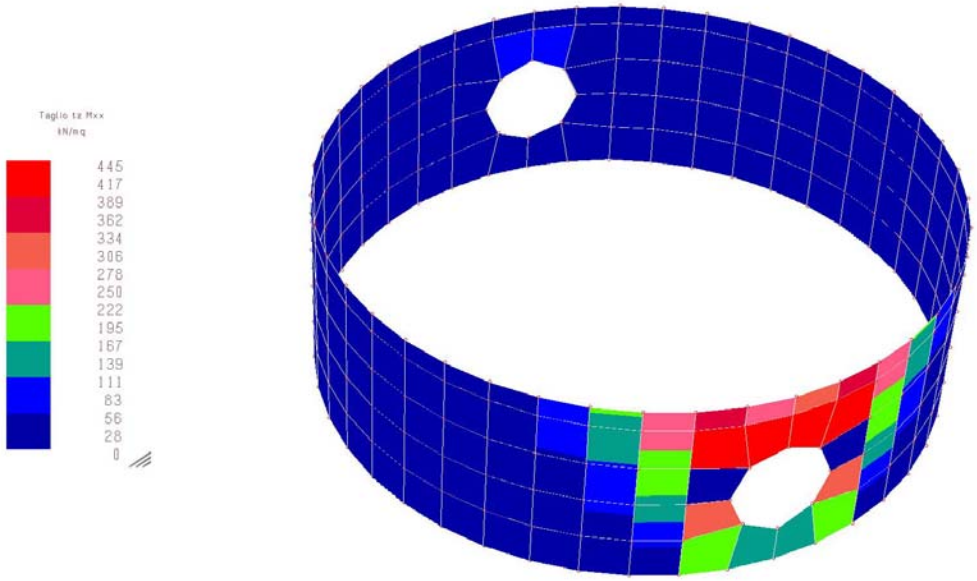


Figura 4 – Inviluppo sollecitazioni di taglio t_z a seguito di M_{xx} [kN/m^2]

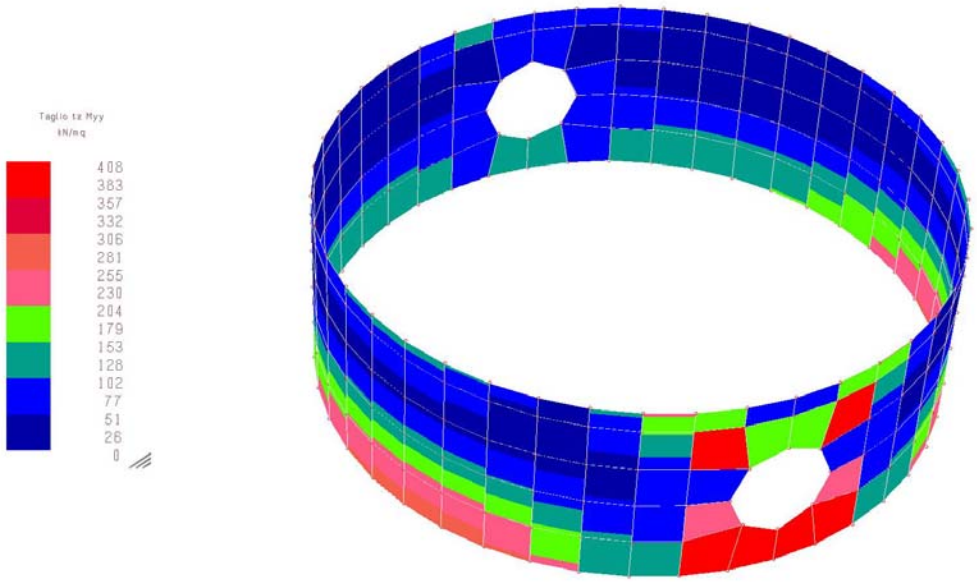


Figura 5 – Inviluppo sollecitazioni di taglio t_z a seguito di M_{yy} [kN/m^2]

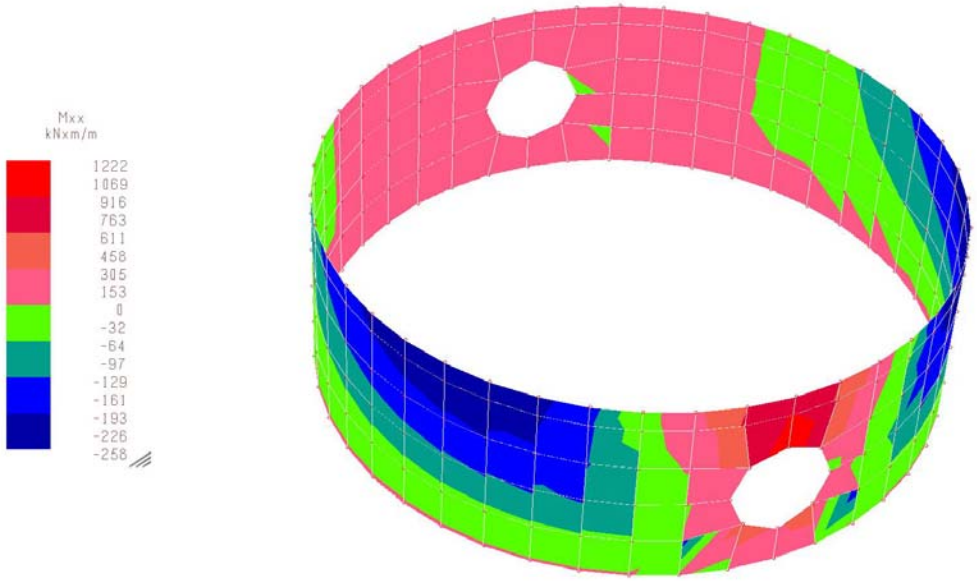


Figura 6 – Inviluppo sollecitazioni di momento flettente M_{xx} [kNm/m]

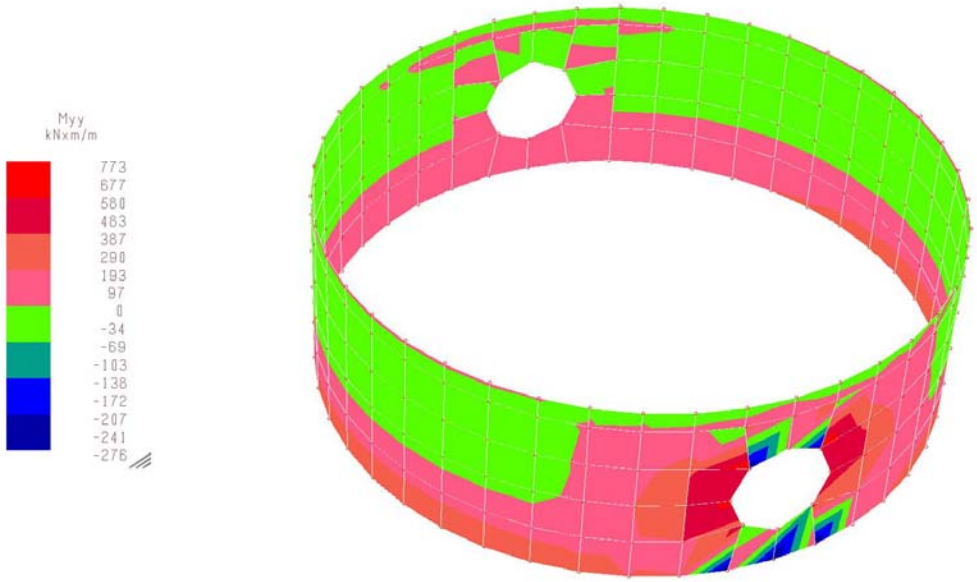


Figura 7 – Inviluppo sollecitazioni di momento flettente M_{yy} [kNm/m]

Verifiche

Sulla base delle massime sollecitazioni di progetto, le pareti della camera di spinta risultano armate verticalmente con 1+1Φ20/20 (con raffittimento con 1+1Φ22/20 in corrispondenza dell'intorno dei fori per la spinta dei manufatti), orizzontalmente con 1+1Φ16/20 (con raffittimento con 1+1Φ22/20 in corrispondenza dell'intorno dei fori per la spinta dei manufatti) e ganci 6Φ10/mq.
Il software di calcolo, sulla base dell'armatura base verticale (y) ed orizzontale (x) è in grado di indicare il quantitativo aggiuntivo di armatura da prevedersi al fine di rendere soddisfatte le verifiche da normativa.

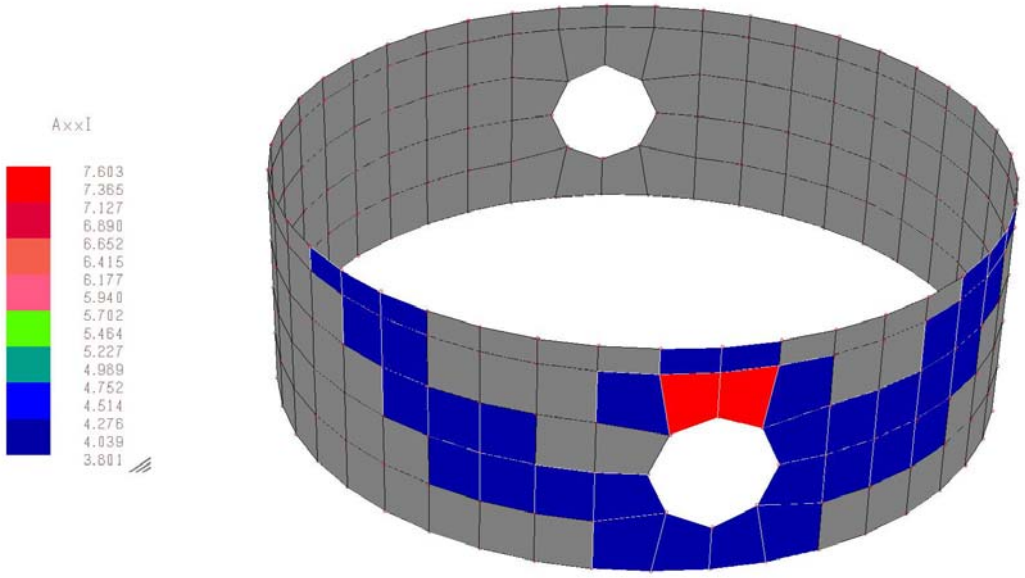


Figura 8 – Armatura aggiuntiva direzione x, inferiori [cmq/m]

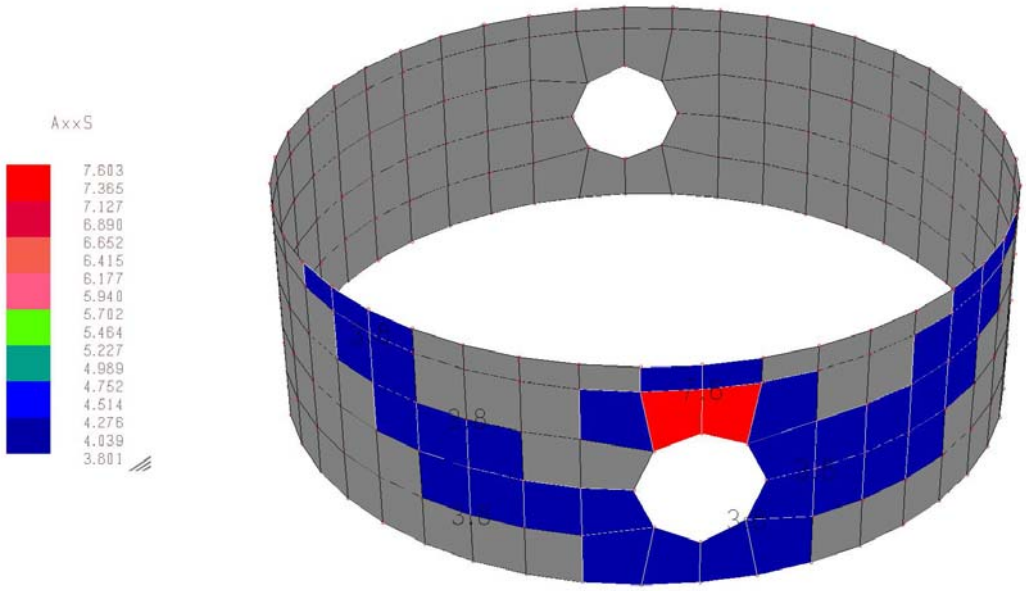


Figura 9 – Armatura aggiuntiva direzione x, superiori [cmq/m]

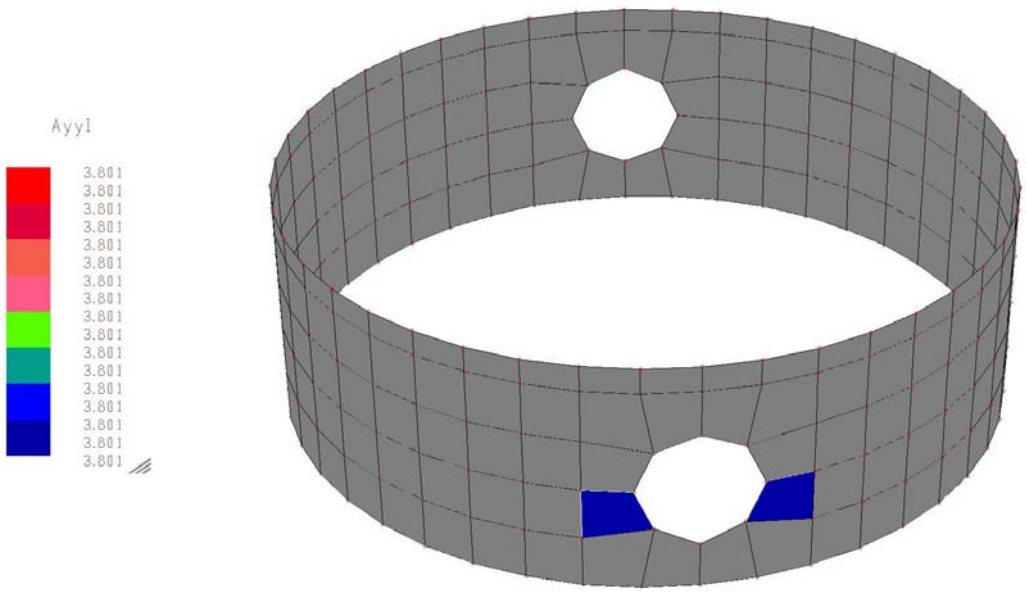


Figura 10 – Armatura aggiuntiva direzione y, inferiori [cmq/m]

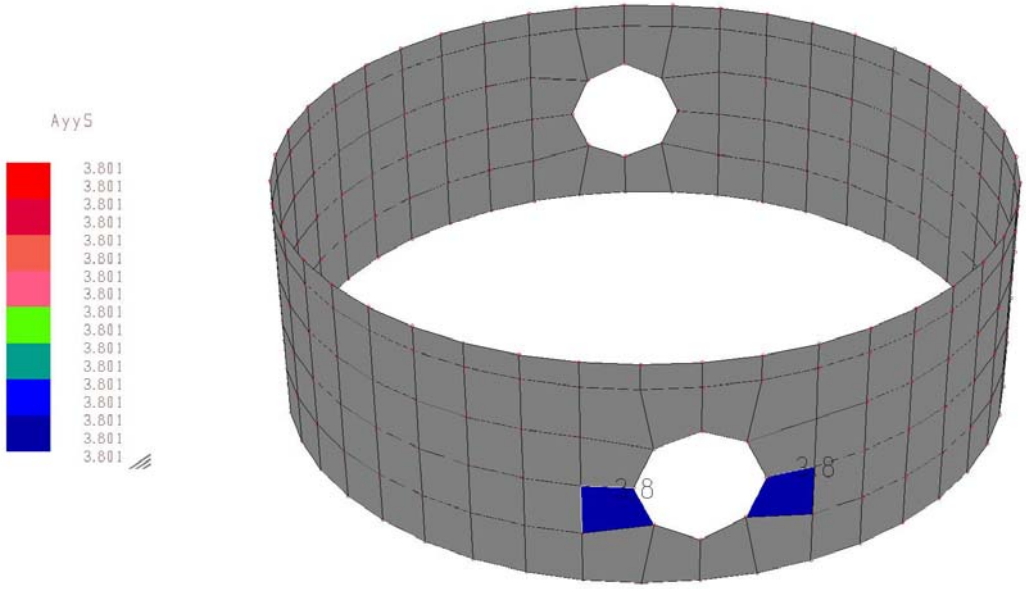


Figura 11 – Armatura aggiuntiva direzione y, superiori [cmq/m]

Platea di fondo di spessore 80 cm

Sollecitazioni

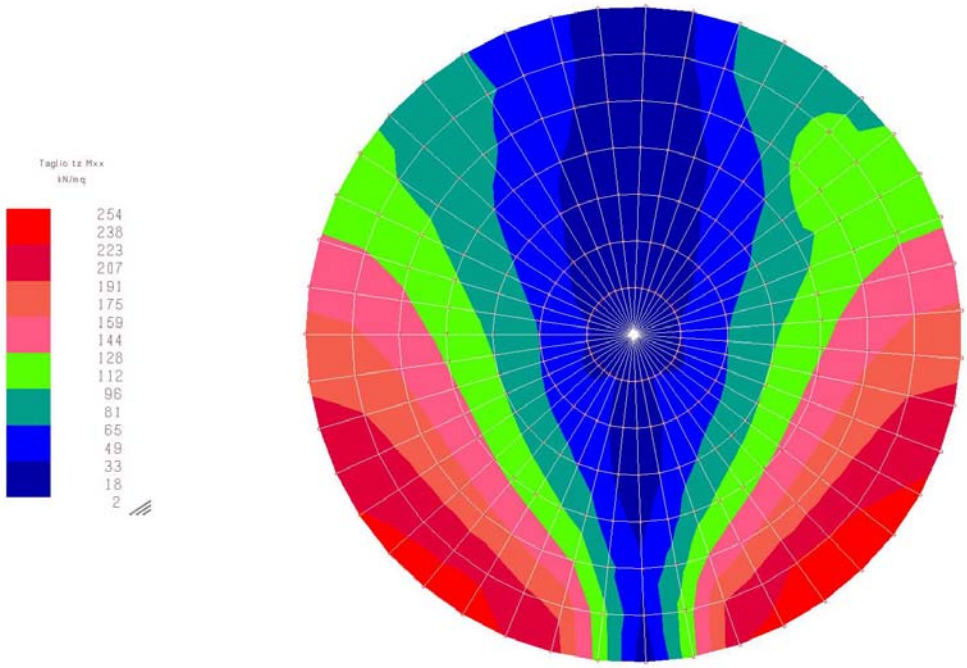


Figura 12 – Inviluppo sollecitazioni di taglio t_z a seguito di M_{xx} [kN/m^2]

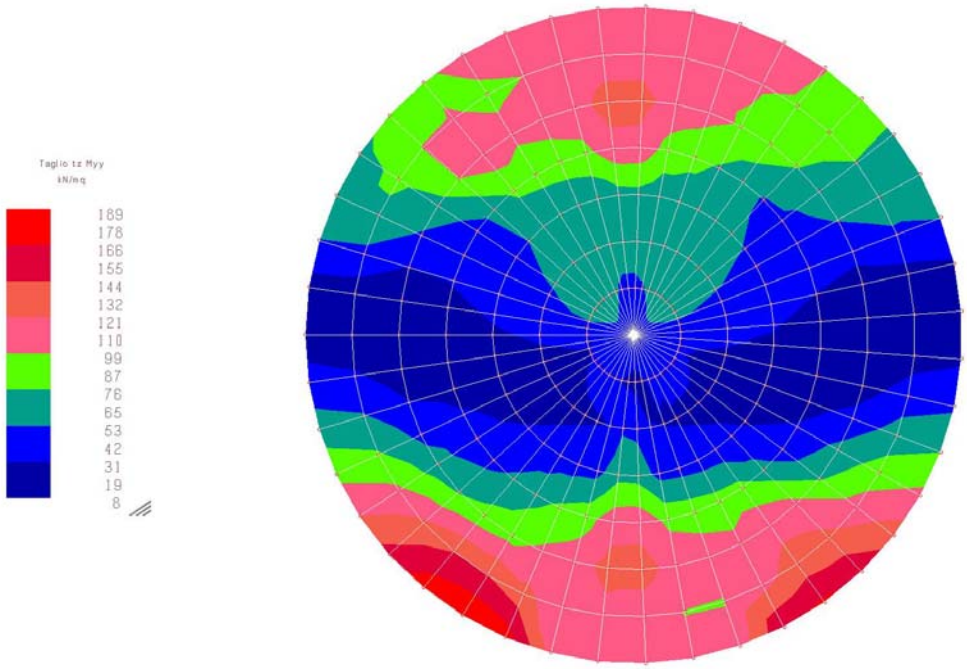


Figura 13 – Inviluppo sollecitazioni di taglio t_z a seguito di M_{yy} [kN/m^2]

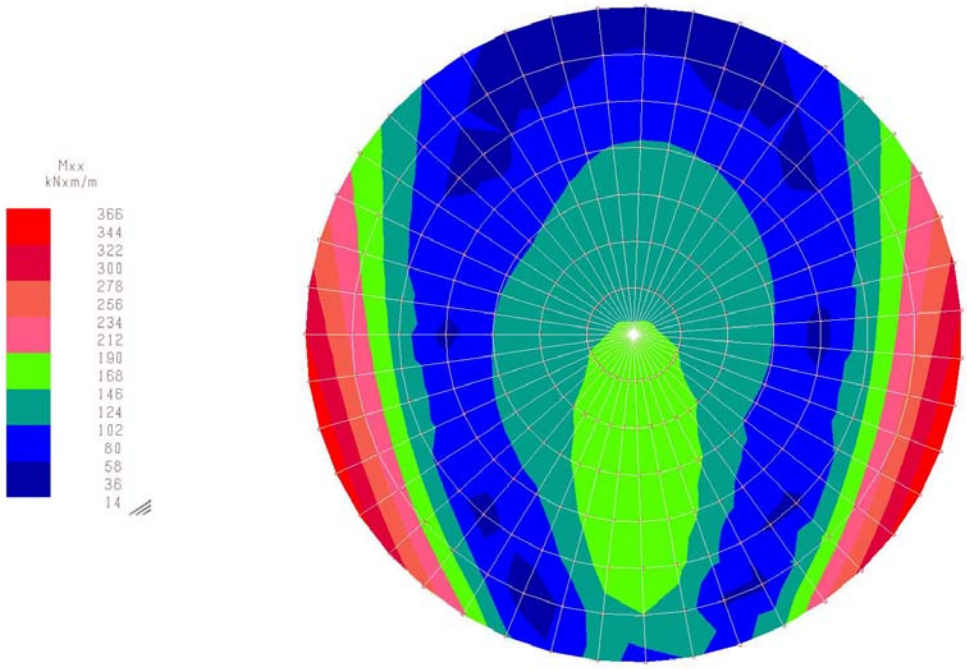


Figura 14 – Inviluppo sollecitazioni di momento flettente M_{xx} [kNm/m]

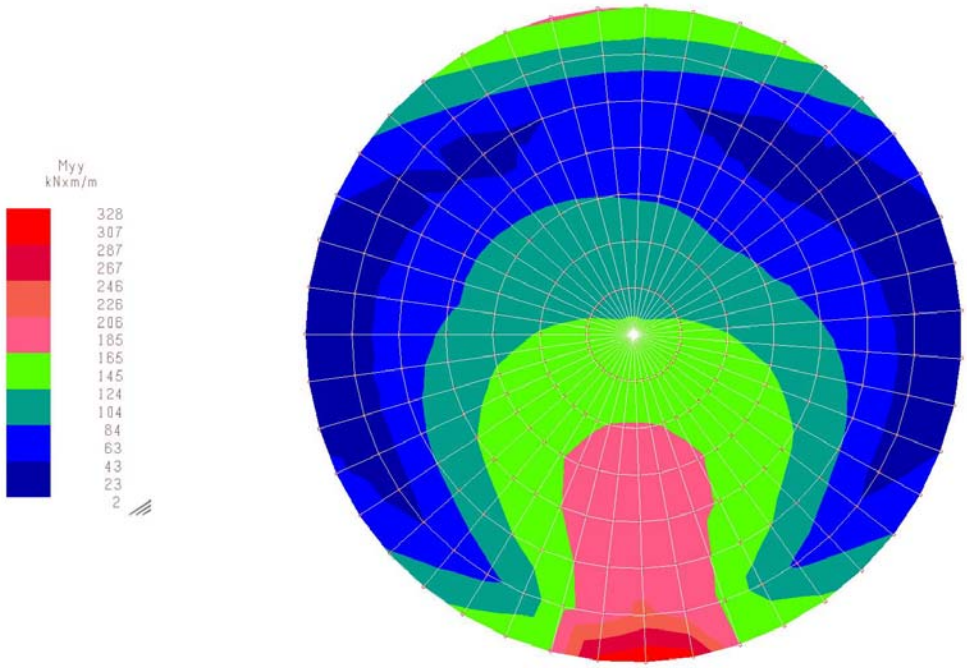


Figura 15 – Inviluppo sollecitazioni di momento flettente M_{yy} [kNm/m]

Verifiche

Sulla base delle massime sollecitazioni di progetto, la platea della camera di spinta risulta armata con doppia maglia sup+inf 1+1Φ20/20
Il software di calcolo, sulla base dell'armatura base verticale (y) ed orizzontale (x) è in grado di indicare il quantitativo aggiuntivo di armatura da prevedersi al fine di rendere soddisfatte le verifiche da normativa.

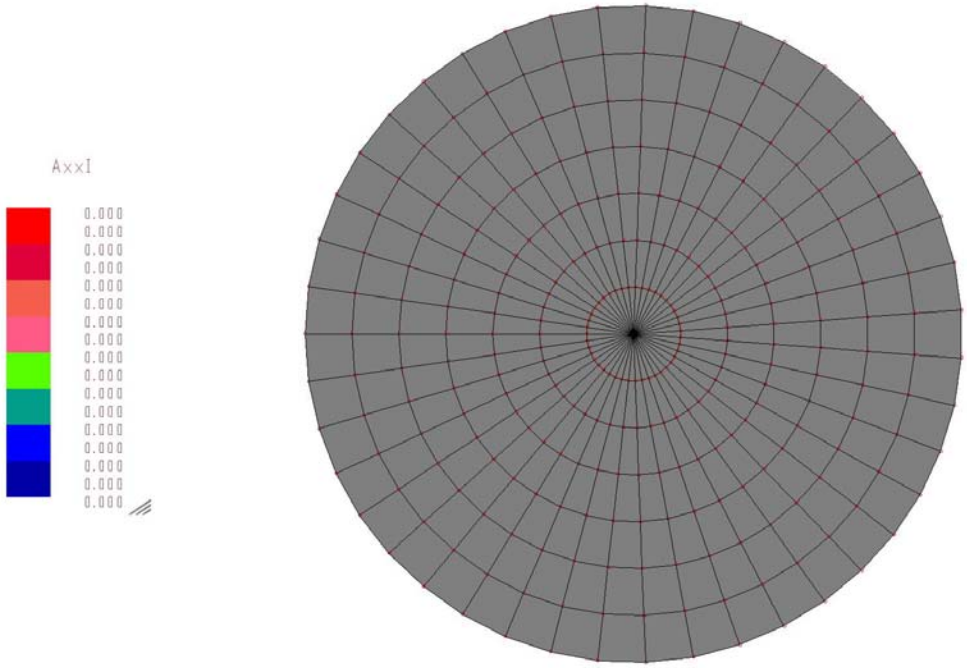


Figura 16 – Armatura aggiuntiva direzione x, inferiori [cmq/m]

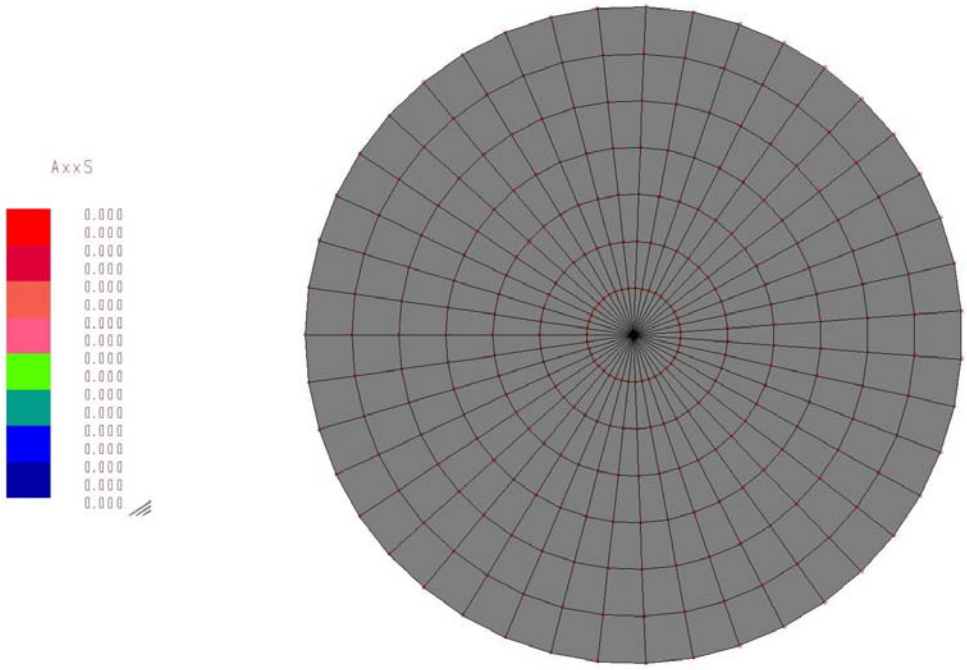


Figura 17 – Armatura aggiuntiva direzione x, superiori [cmq/m]

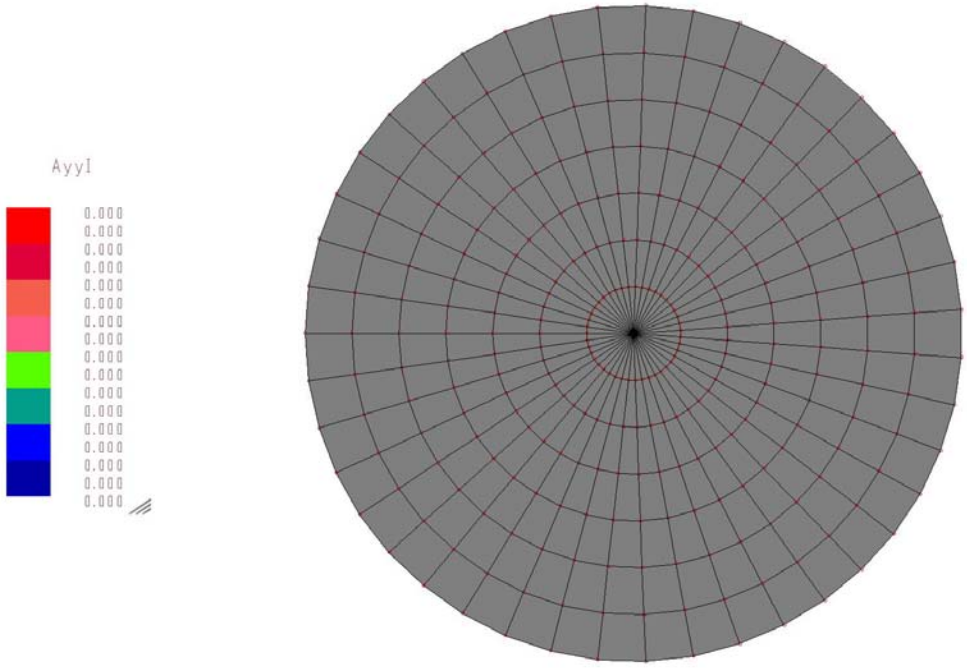


Figura 18 – Armatura aggiuntiva direzione y, inferiori [cmq/m]

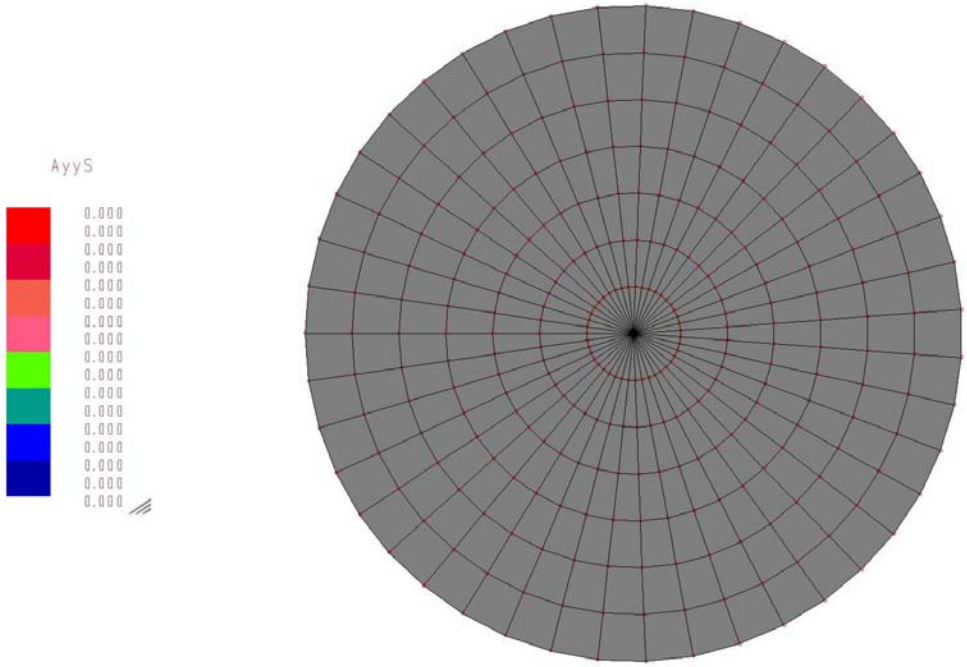


Figura 19 – Armatura aggiuntiva direzione y, superiori [cmq/m]

FASE 2 - CONDIZIONE DI ESERCIZIO

STAMPA DEI DATI DI PROGETTO

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	**Modello camera di spinta**
Intestazione del lavoro	**Camera di spinta**
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kN
Unita' di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC-2018

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	II
Vita di riferimento	50 anni
Localita'	Alba
Longitudine (WGS84)	8.03526
Latitudine (WGS84)	44.7009
Categoria del suolo	E
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	50
Comportamento strutturale	Dissipativo

PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	30	0.0192	2.6060	0.16	2.39	1.60	0.301
SLD	50	0.0240	2.5910	0.19	2.23	1.60	0.377
SLV	475	0.0477	2.6840	0.29	1.88	1.60	0.749
SLE	475	0.0477	2.6840	0.29	1.88	1.60	0.749
SLC	975	0.0563	2.7920	0.31	1.84	1.60	0.884

STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=1
Fattore q per comportamento non dissipativo	qorND = 1
Duttilita'	Bassa Duttilita'

SLV PER FONDAZIONI

Modalita'	Spettro SLV per fondazioni con amplificazione
Coeff.di amplificazione	1.100

PARAMETRI SISMICI

Angolo del sisma nel piano orizzontale	0
Sisma verticale	Presente
Fattore di comportamento qv per sisma verticale per SLV e fondazioni	1.5
Combinazione dei modi	CQC
Combinazione componenti azioni sismiche	NTC - Eurocodice 8

λ	0.3
μ	0.3

CARICHI PER ELEMENTI BIDIMENSIONALI

Carico di superficie nella direzione locale z, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.inerziale	Aliq.inerz.SLD
Pressione terreno	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	1.000000	1.2000	1.2000
Sovrapressione veicoli	2	Condizione 2	Variabile: Autorimesse	10.000000	0.0000	0.0000

Carico di superficie nella direzione globale V, agente sulla superficie reale

Descrizione	Codice	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Valore	Aliq.inerziale	Aliq.inerz.SLD
q1k	3	Condizione 2	Variabile: Autorimesse	9.000000	0.0000	0.0000
Rivestimento fondo h.70 cm	4	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	17.500000	1.0000	1.0000
Cameretta piena	5	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	52.299999	1.0000	1.0000

CONDIZIONI DI CARICO AI NODI

Num.cond.carico	Descrizione	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	Tandem mezzeria							
		102			-1.50e+02			
		124			-1.50e+02			
		863			-1.50e+02			
		864			-1.50e+02			
2	Tandem appoggio	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		346			-1.50e+02			
		362			-1.50e+02			
		363			-1.50e+02			
		364			-1.50e+02			

COMBINAZIONI DI CARICO

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.600
2	Statica - Tandem mezzeria	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.500
7	Statica - Tandem appoggio	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.000
4	Frequente	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.700
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.600
8	QP - mezzeria	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.000
9	QP - appoggio	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	1.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Autorimesse	Condizione 2	0.600

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

CARICHI NODALI

Num. comb. car.	Descrizione							
1	Dinamica	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		102			-1.50e+02			
		864			-1.50e+02			
		863			-1.50e+02			
		124			-1.50e+02			
2	Statica - Tandem mezzeria	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		102			-2.25e+02			
		864			-2.25e+02			
		863			-2.25e+02			
		124			-2.25e+02			
3	Rara							
4	Frequente							
5	Quasi permanente							
6	S.L.D.							
7	Statica - Tandem appoggio	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		362			-2.25e+02			
		363			-2.25e+02			
		346			-2.25e+02			
		364			-2.25e+02			
8	QP - mezzeria	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		102			-1.50e+02			
		864			-1.50e+02			
		863			-1.50e+02			
		124			-1.50e+02			
9	QP - appoggio	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		362			-1.50e+02			

Num. comb. car.	Descrizione	
	363	-1.50e+02
	346	-1.50e+02
	364	-1.50e+02

Ai fini delle verifiche in fase di esercizio, si modella unicamente la soletta di copertura incastrata al di sopra del cordolo di coronamento dei pali D600.

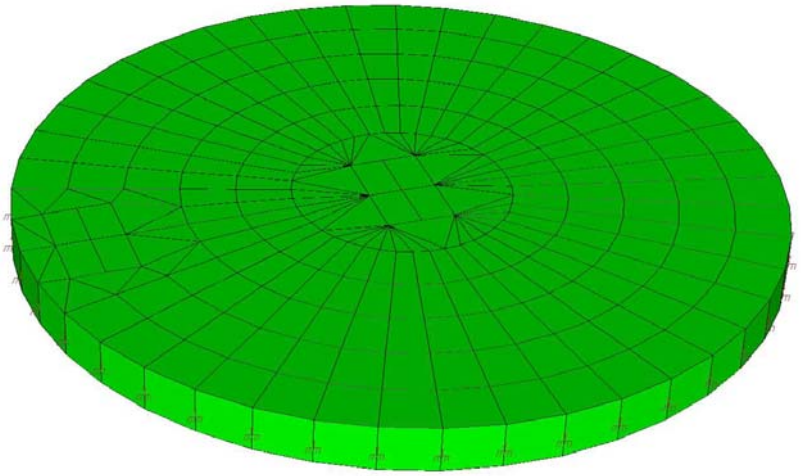


Figura 20 – Modello 3d - Fase 2 - Fase esercizio

Soletta di copertura di spessore 80 cm

<u>Sollecitazioni</u>

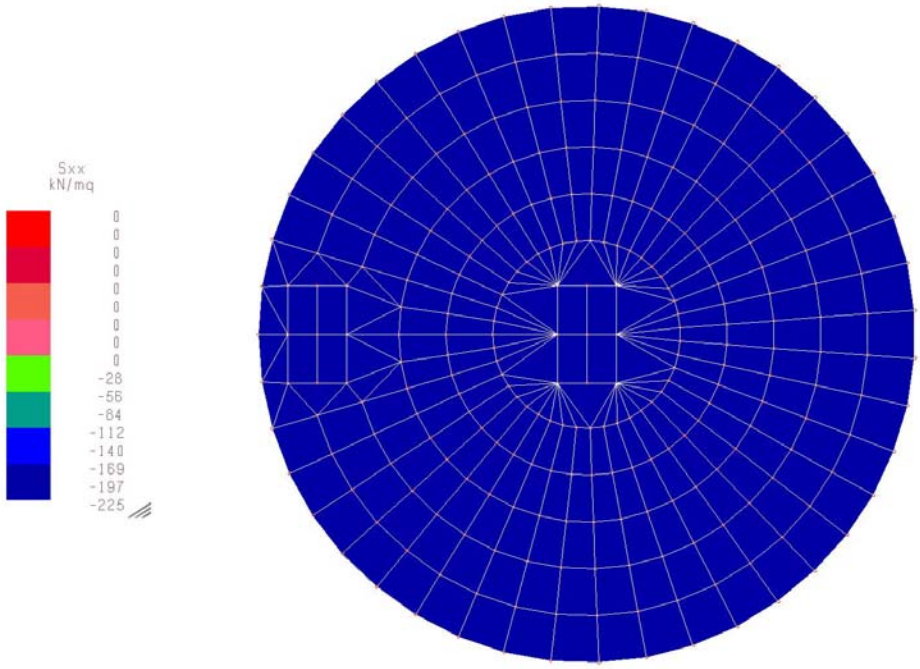


Figura 21 – Inviluppo sollecitazioni tensioni membranali S_{xx} [kN/m^2]

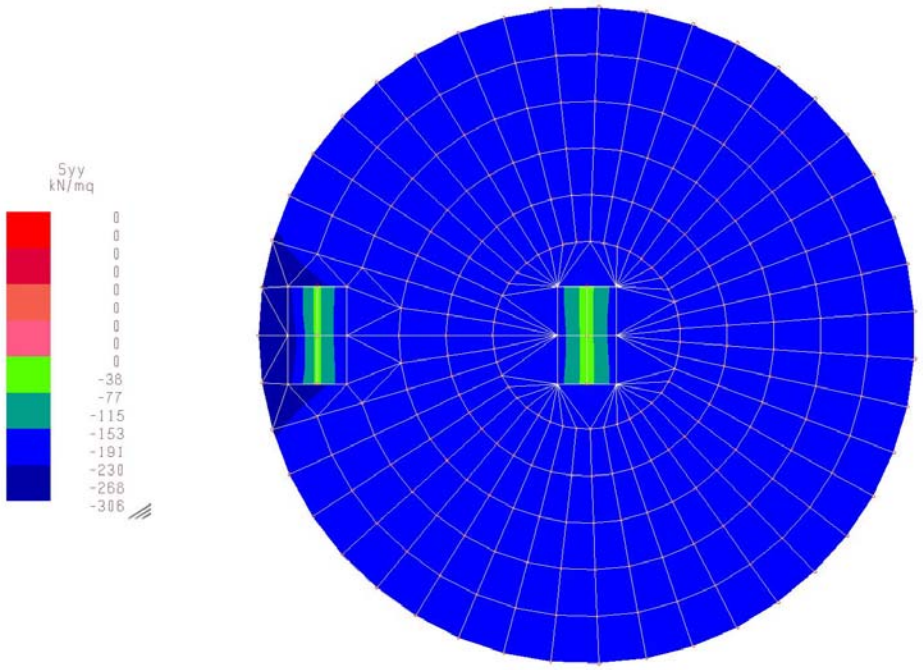


Figura 22 – Inviluppo sollecitazioni tensioni membranali S_{yy} [kN/m^2]

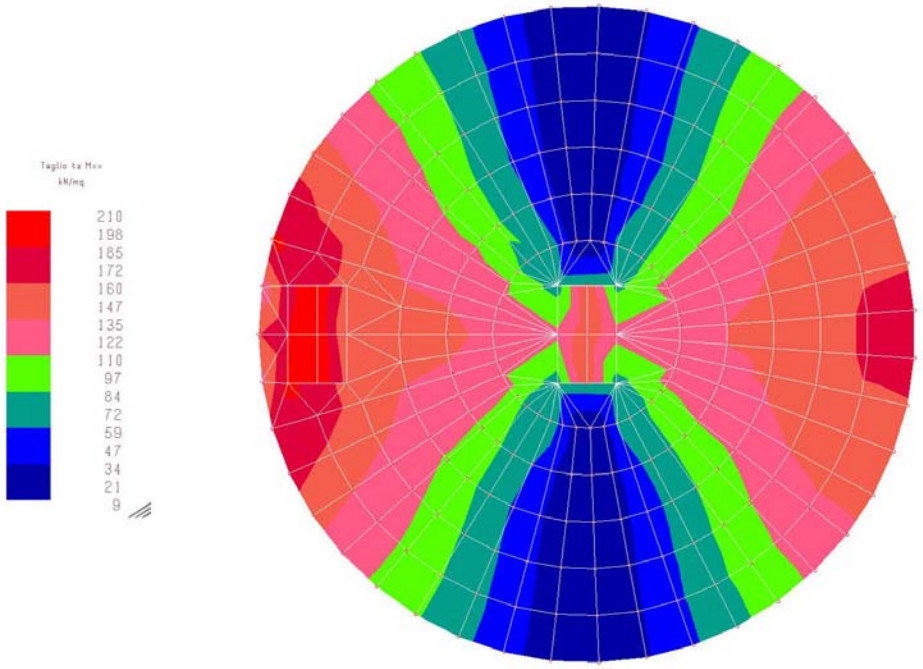


Figura 23 – Inviluppo sollecitazioni di taglio t_z a seguito di M_{xx} [kN/m^2]

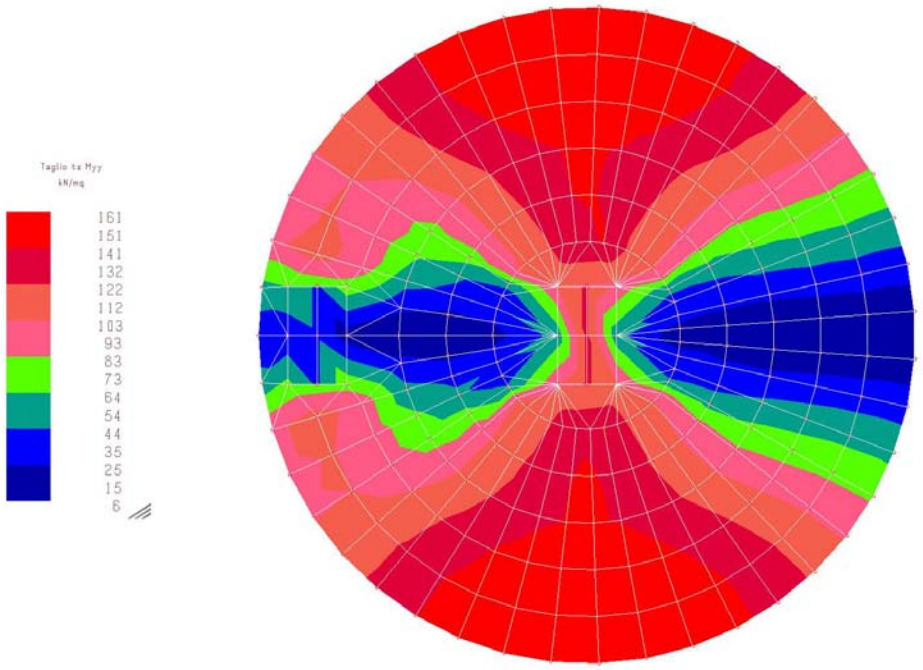


Figura 24 – Inviluppo sollecitazioni di taglio t_z a seguito di M_{yy} [kN/m^2]

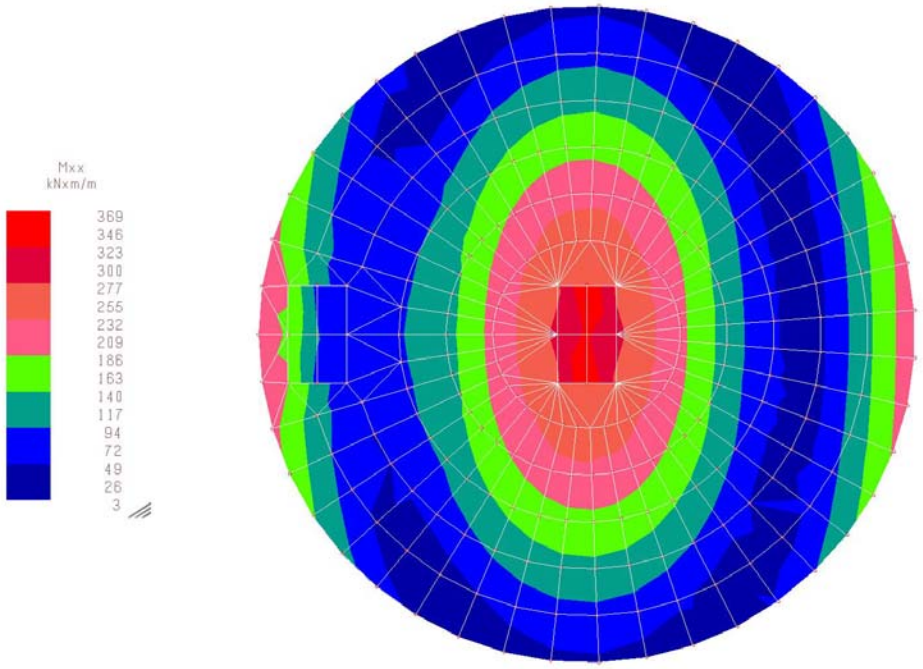


Figura 25 – Inviluppo sollecitazioni di momento flettente M_{xx} [kNm/m]

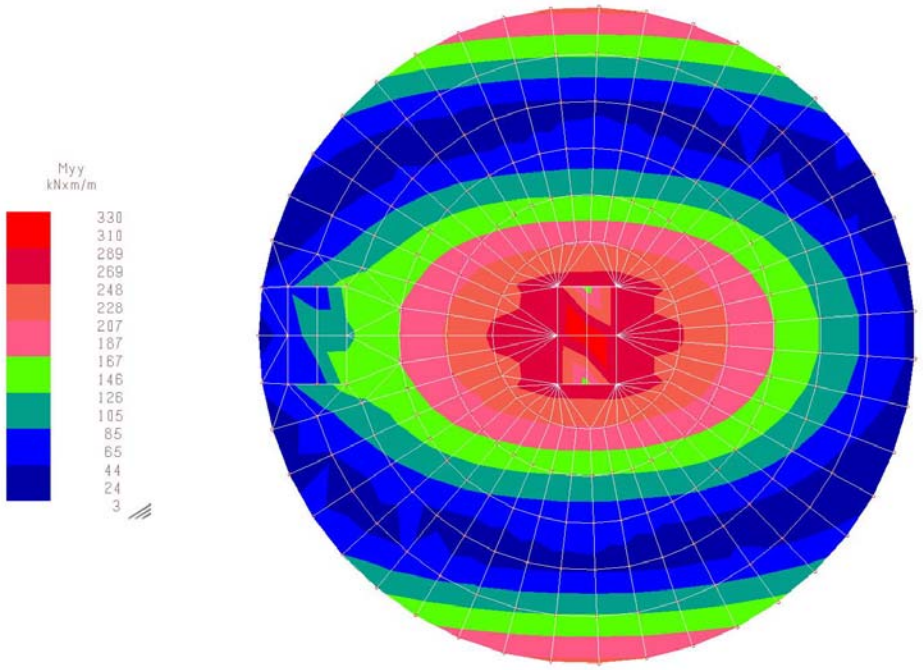


Figura 26 – Inviluppo sollecitazioni di momento flettente M_{yy} [kNm/m]

Verifiche

Sulla base delle massime sollecitazioni di progetto, la soletta di copertura della camera di spinta risulta armata con doppia maglia sup+inf 1+1Φ20/20
Il software di calcolo, sulla base dell'armatura base verticale (y) ed orizzontale (x) è in grado di indicare il quantitativo aggiuntivo di armatura da prevedersi al fine di rendere soddisfatte le verifiche da normativa.

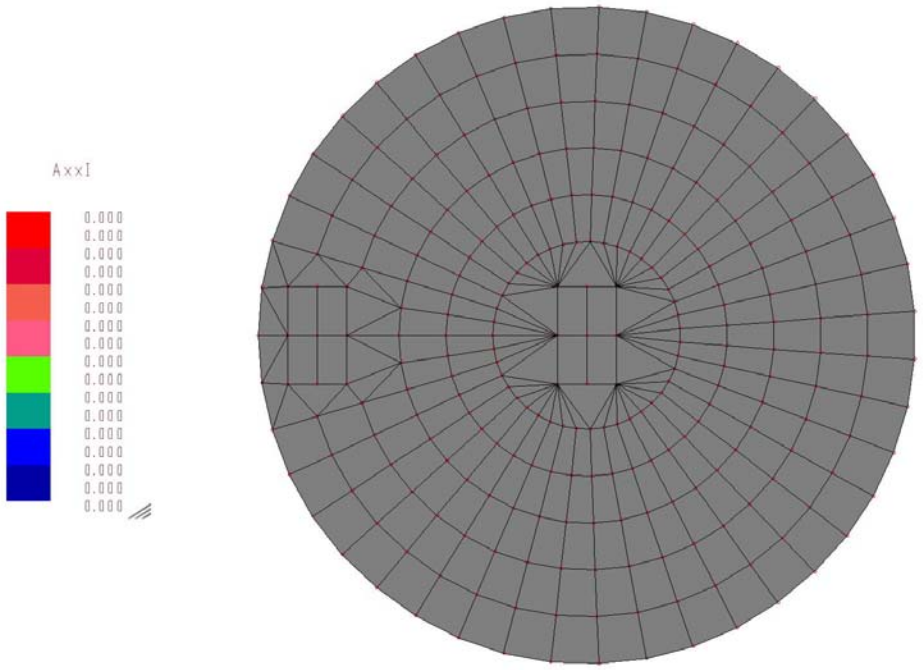


Figura 27 – Armatura aggiuntiva direzione x, inferiori [cmq/m]

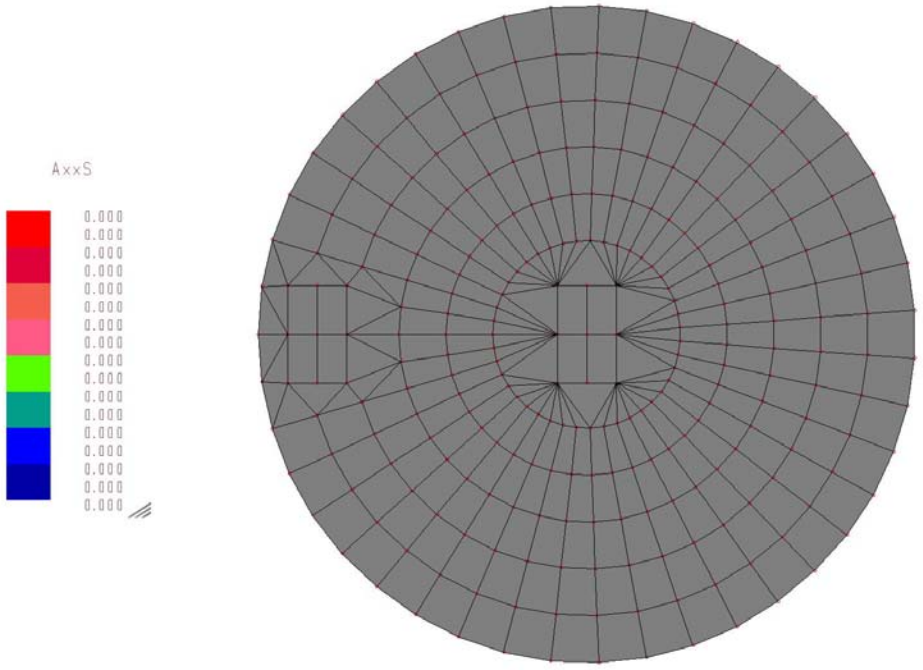


Figura 28 – Armatura aggiuntiva direzione x, superiori [cmq/m]

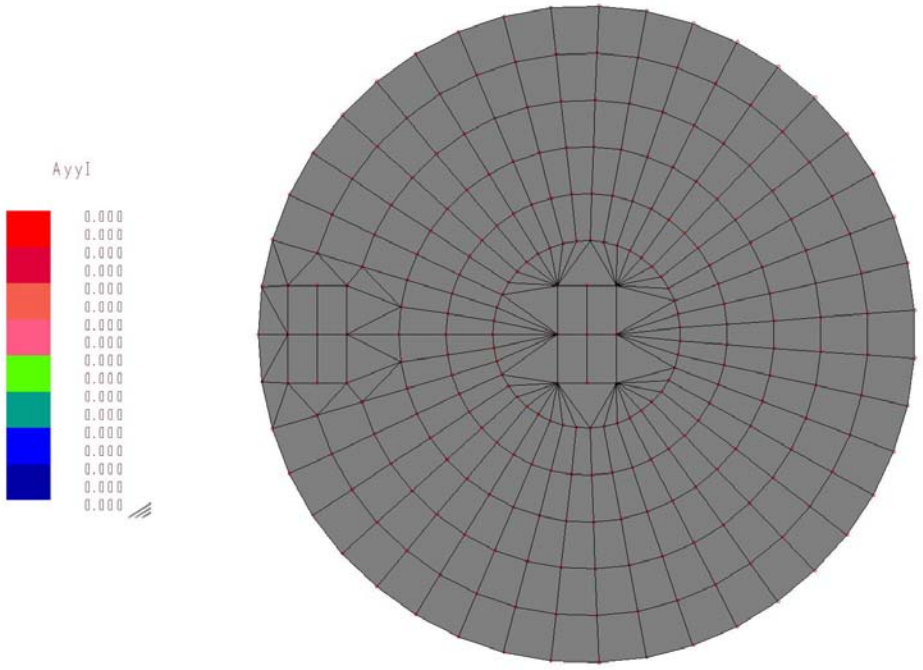


Figura 29 – Armatura aggiuntiva direzione y, inferiori [cmq/m]

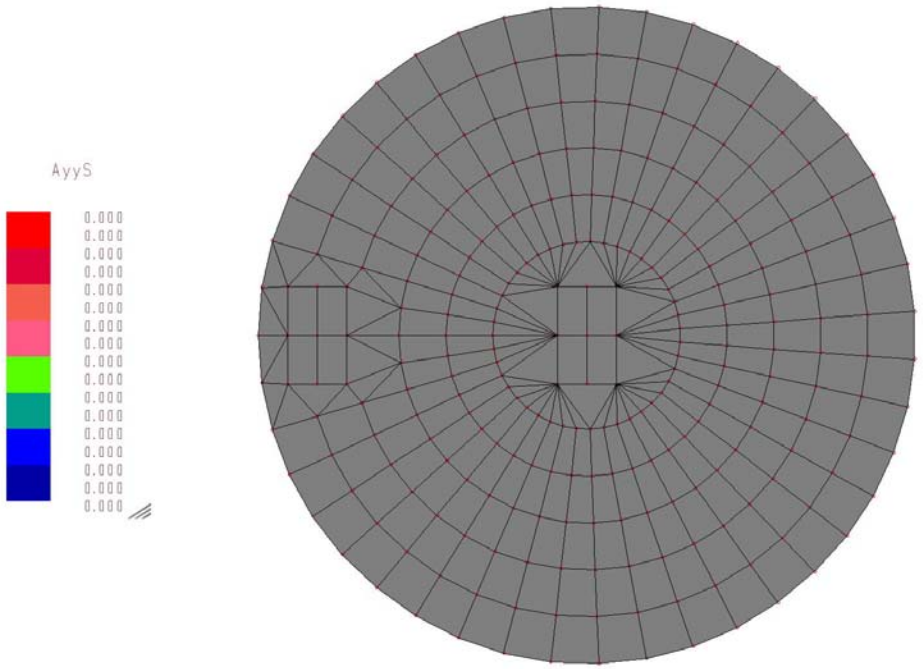


Figura 30 – Armatura aggiuntiva direzione y, superiori [cmq/m]