



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

Impianto idroelettrico di PIZZONE II

# Progetto Definitivo per Autorizzazione VOLUME C - GALLERIA DI ACCESSO DI SERVIZIO E PER L'ESERCIZIO

FILE NAME: GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00.docx

ORDINE APPARTENENZA				Ingegnere	
PROVINCIA/REGIONE				Verona	
NUM. MATRICOLA				1542	
00	29-11-22	REVISIONE	G. Dankert	G. Panni	G. Sembenelli
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED

## GRE VALIDATION

		F. Torasso
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT PLANT	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC.	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	1	4	I	T	H	1	6	0	7	1	0	0	0	5	0	0

CLASSIFICATION: <b>PUBLIC</b>	UTILIZATION SCOPE: <b>PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE</b>
-------------------------------	--



HGT Design & Execution



GRE CODE

**GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00**

PAGE

2 di/of 42

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
2.1. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	4
2.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
2.3. BIBLIOGRAFIA .....	4
3. MATERIALI DI FONDAZIONE .....	5
4. CAMERA PRINCIPALE .....	6
4.1. SEZIONE TIPO .....	6
4.2. STABILITA' DELLA MASSA ROCCIOSA .....	7
4.3. STABILITA' STRUTTURALE DI CUNEI CINEMATICAMENTE AMMISSIBILI .....	31
5. GALLERIA DEI TRASFORMATORI .....	39
5.1. SEZIONE TIPO .....	39

## 1. INTRODUZIONE

Stantec S.p.A. (di seguito "**Stantec**"), in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel di sviluppare un Progetto Definitivo per autorizzazione per valutare la possibilità di convertire uno schema idroelettrico tradizionale esistente in un nuovo impianto di pompaggio / generazione ubicato in provincia di Isernia.

Lo schema proposto include la realizzazione di nuove vie d'acqua, che comprendono il tratto di imbocco di monte con il pozzo paratoie, il tratto principale della condotta a monte e a valle della centrale, che include la galleria, i pozzi piezometrici di monte e valle e la condotta forzata in pozzo verticale di circa 400 m di lunghezza.

Oggetto del presente documento sono la descrizione e la verifica delle opere in sotterraneo legate alla realizzazione della centrale, ossia:

- Camera principale, dove verranno alloggiare le turbine;
- Camera trafo, dove verranno alloggiati i trasformatori e da dove si staccheranno le linee ad alta tensione;
- le gallerie di collegamento tra le due camere.

Il presente Documento fa parte del dossier sulle opere in sotterraneo che comprende:

ZONA	OPERE	VOLUME
Opere in sotterraneo	Generale	
Imbocco di montagna spaccata	Pozzo paratoie di monte Galleria a monte del pozzo paratoie	A
Galleria di monte a valle del pozzo paratoie	Galleria a valle del pozzo paratoie Pozzo piezometrico di monte Condotta forzata	B
Galleria di valle	Galleria Pozzo piezometrico e paratoie	B
Centrale	Camera principale macchine Camera dei trasformatori Pozzi di risalita barre	C
Galleria di accesso	Centrale Pozzo piezometrico di valle Pozzo piezometrico di monte Galleria di monte	D

**Tabella 1-1- Assegnazione Delle Sezioni Di Analisi Ai Volumi**

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

- Relazioni e Disegni delle opere inclusi nella presente progettazione

Document Code	Description
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.047	Relazione descrittiva e di calcolo dei manufatti in sotterraneo
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.048	Volume A - Galleria di monte e pozzo paratoie
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.049	Volume B - Galleria a valle del pozzo paratoie e relativi pozzi
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050	Volume C - Gallerie di accesso di servizio e per l'esercizio
GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.051	Volume D - Centrale in sotterraneo
GRE.EEC.D.14.IT.H.16071.00.052	Vie d'Acqua - Planimetria Generale e tracciamento
GRE.EEC.D.14.IT.H.16071.00.053 a 063	Vie d'Acqua - Profilo generale completo
GRE.EEC.D.14.IT.H.16071.00.103 a 130	Set completo dei disegni della Centrale

**Tabella 2-1- Documentazione di Progetto**

### 2.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- NTD 2014. Norme Tecniche per la Progettazione e la Costruzione degli Sbarramenti di Ritenuta (dighe e traverse) (Serie generale - n. 156), Rome, Italy: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- NTC, 2018. Norme tecniche per le costruzioni, Ministero dei Trasporti e Infrastrutture, M. D. I. E. D Roma: Amministrazione Presso L'Istituto Poligrafico E Zecca Dello Stato.

### 2.3. BIBLIOGRAFIA

- Carranza-Torres, C. & Fairhurst, C., 2000. Application of the convergence-confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion.
- EM 1110-2-2104, 2016. Strength design for reinforced concrete hydraulic structures, Washington: US Army Corps of Engineers.
- EM 1110-2-2901, 1997. Tunnels and shafts in rock: engineering and design, Washington: Department of the Army, US Army Corps of Engineers.
- Hashash, Y. M. y otros, 2001. Seismic design and analysis of underground structures.. Tunnelling and underground space technology, pp. 16(4), 247-293.
- Hoek, E., 2000. Practical rock engineering s.l.:s.n.
- Panet et al , 2001. The convergence-confinement method, s.l.: AFTES.
- Power, M. S., Rosidi, D. & Kaneshiro, J., 1996. Screening, evaluation, and retrofit design of tunnels., s.l.: Report Draft. National Center for Earthquake Engineering Research..
- Puppo & Bertero, s.f. Tuneles con comportamiento reologico, s.l.: s.n.
- Ranken, Ghaboussi & Hendron, 1978. Analysis of ground-liner interaction for tunnels, s.l.: s.n.

### 3. MATERIALI DI FONDAZIONE

Lo scavo si sviluppa attraverso una sola litologia, il calcare di Monte Mattone, la cui stratificazione è disposta in modo favorevole rispetto allo scavo delle camere principali essendo l'immersione parallela all'asse delle camere.

Esiste un sistema di spaccature, visibile sui fianchi del crinale, all'interno del quale si trova la centrale, con immersione perpendicolare al precedente e inclinazione superiore a 70° sull'orizzontale. Sulla base delle informazioni disponibili, riportate nel profilo, una di queste fratture potrebbe interessare la camera trafo o le gallerie di servizio che da essa si staccano. L'esistenza ed effettiva posizione di tali fratture e le loro caratteristiche alla profondità della centrale (potrebbero essere più chiuse che nella parte alta del crinale) andranno confermate sia nei successivi sviluppi progettuali che all'apertura del cantiere.

Il profilo, per le varie parti della centrale, può essere schematizzato come riportato in Tabella 3-1.

Le caratteristiche salienti dei materiali attraversati dagli scavi sono riportate in Tabella 3-1- **Profilo semplificato lungo il tracciato**

Tratto	Litologia
<b>Camera principale</b>	calcare
<b>Camera Trafo</b>	Calcare con possibilità di essere intercettata da discontinuità importante in modo sfavorevole
<b>Gallerie di collegamento</b>	Calcare con possibilità di essere intercettate da discontinuità importante in modo favorevole

**Tabella 3-1- Profilo semplificato lungo il tracciato**

Parametro unità	sigma_ci MPa	GSI [%]	mi [m]	D [-]	Poisson [-]	K0 [-]	psi Deg	gamma_r kN/m3
<b>Calcari</b>	60	65	10	0	0,25	0.8	8	26
<b>Calcare fratturato</b>	45	55	10	0	0,25	0.8	5	26

**Tabella 3-2 - Materiali Di Fondazione**

## 4. CAMERA PRINCIPALE

### 4.1. SEZIONE TIPO

La camera principale (Figura 4-1), dove verranno alloggiare le turbine, è una vasta cavità lunga circa 100 m e alta, nel punto di scavo più profondo, oltre 40 m. Una volta completata, la parte profonda verrà riempita con i getti di solidarizzazione di seconda fase, per cui l'altezza libera finale sarà attorno ai 30 m.

Lo scavo procederà a partire dall'estremità orientale e si svilupperà per fasi a scendere, come indicato nella relazione generale e nei disegni di progetto. In particolare, si eseguirà prima lo scavo della calotta, eventualmente in due fasi, ossia il nucleo centrale e poi gli allarghi laterali, e successivamente gli scavi di ribasso, con installazione dei supporti ogni 2-3 m, in funzione delle caratteristiche locali della roccia.

Lo scavo della centrale dovrà interrompersi forzatamente alla quota 628 m slm, circa, per consentire l'esecuzione/completamento dello scavo del pozzo della condotta forzata e relativo ramo di collegamento con la centrale. Successivamente si procederà allo scavo di approfondimento finale, seguito dai primi getti per la centrale.

Ogni fase prevede lo scavo completo lungo tutta la lunghezza da scavare.

Per lo scavo si userà esplosivo con microcariche e presplitting, in modo da minimizzare il disturbo alla roccia e non danneggiare le installazioni e i trattamenti che devono seguire a breve distanza.

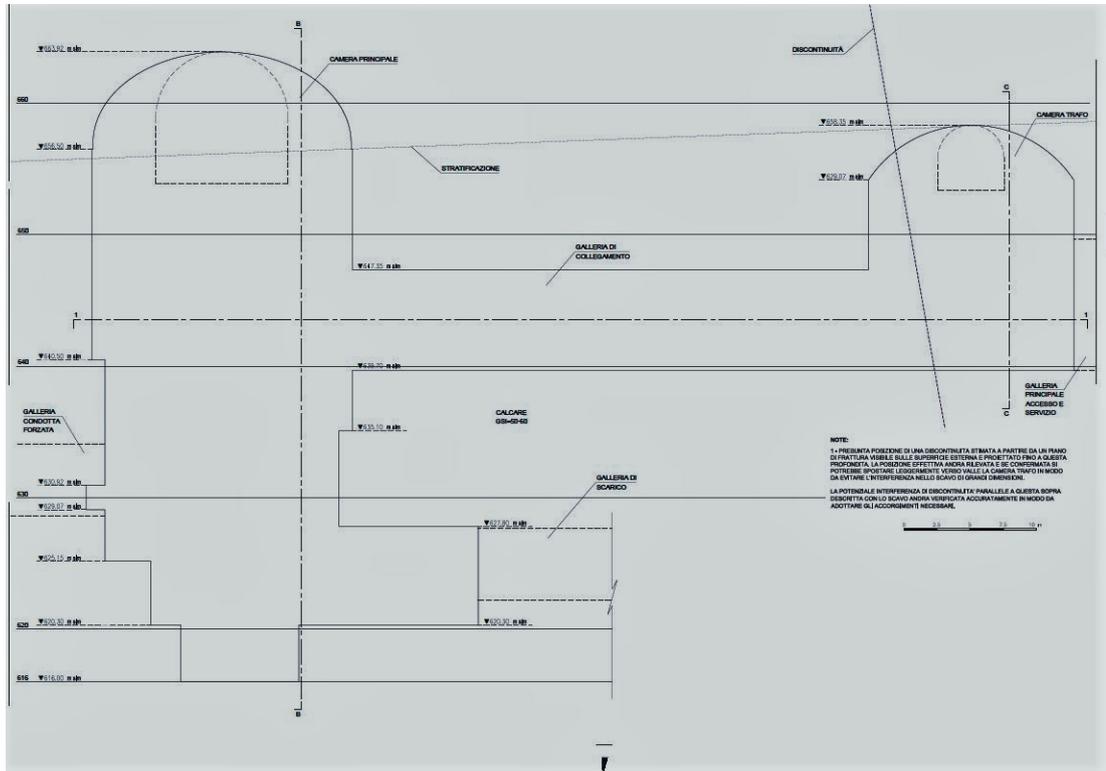
La stratificazione è disposta in generale favorevolmente rispetto allo scavo. Sono previsti sostegni sistematici mediante bulloni e calcestruzzo spruzzato, in relazione alla grande luce.

Lo scavo sarà immediatamente seguito da trattamenti di consolidamento mediante iniezione cementizia con perforazioni relativamente corte perpendicolari alla superficie di scavo. Ove necessario saranno eseguiti localmente trattamenti di impermeabilizzazione mediante iniezioni cementizie, per tamponare eventuali zone di umidità più marcata o venute localizzate.

Si prevede inoltre un sistema di drenaggio, per meglio controllare la piezometrica attorno alla centrale e minimizzare il carico sulle pareti nelle condizioni di esercizio.

Il rivestimento finale sarà in calcestruzzo armato.

♦ Variabile	Valore	Unità
<b>Sezione analizzata</b>	Camera principale	m
<b>Profondità</b>	40.0	m
<b>Diametro interno (equivalente)</b>	na	m
<b>Rivestimento finale (Secondario) in calcestruzzo</b>	100.0	cm
<b>Resistenza Caratteristica del calcestruzzo</b>	30	MPa
<b>Sezione relativa dell'acciaio</b>	2	%
<b>Rocchia</b>	Calcere	-
<b>K0</b>	0.8	adim
<b>Distanza dal fronte di scavo per l'installazione del sostegno iniziale</b>	20	m
<b>Tipo Di Sostegno</b>	Medio	-
<b>Sostegno iniziale in calcestruzzo spruzzato (Rivestimento Primario)</b>	10.0	cm
<b>Indicazione di Ancoraggio</b>	∅32 spa:1.5x1.5-2.0	-
<b>Rinforzo addizionale</b>	-	-



**Figura 4-1 – Sezione trasversale completa della centrale, con la camera Principale sulla sinistra, quella per i trasformatori a destra e le tre gallerie di collegamento in centro**

## 4.2. STABILITA' DELLA MASSA ROCCIOSA

La stabilità del cavo della camera principale rispetto alla massa rocciosa è stata analizzata con il programma agli elementi finiti RS2 di Rocscience.

Il programma consente di definire l'interazione tra supporti e scavo e può tenere conto dell'avanzamento. In questa sede il programma è stato utilizzato prevalentemente per una stima della quantità di rinforzo primario.

La geometria di scavo è illustrata in **Figura 4-2**. Si noti che è stata analizzata la sola sezione più profonda. Sono state modellate solo le macrofasi di scavo e non i singoli ribassi di 2-3 m ciascuno. Ciò comporta in generale una sovrastima delle sollecitazioni attorno al cavo e di eventuali zone di plasticizzazione.

L'analisi è stata principalmente finalizzata alla fase di scavo, verifiche semplificate per la fase di esercizio.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nell'output del programma descritto nel seguito.

Alcuni risultati sono presentati in forma di contourline per la fase di scavo più profonda in **Figura 4-3** e **Figura 4-4**. Si osservi che, come anticipato, esistono elementi plasticizzati: per quanto discusso, essi sono distribuiti su una zona più ampia di quanto non si verifichi poi nella realtà, ma in ogni caso interamente contenuta nella fascia coperta dei rinforzi.

I risultati ottenuti che dovranno comunque essere raffinati nelle successive fasi di progettazione indicano la fattibilità degli scavi e della Camera principale.



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

8 di/of 42

## ***Phase2 Analysis Information***

### ***CAVERNA PRINCIPALE***

#### ***Project Summary***

---

File Name: Caverna\_fin.fez  
Last saved with Phase2 version: 9.03  
Project Title: Project1

#### ***General Settings***

---

Number of Stages: 13  
Analysis Type: Plane Strain  
Solver Type: Gaussian Elimination  
Units: Metric, stress as MPa  
Permeability Units: meters/second  
Time Units: seconds

#### ***Analysis Options***

---

Maximum Number of Iterations: 500  
Tolerance: 0.001  
Number of Load Steps: Automatic  
Convergence Type: Absolute Energy  
Tensile Failure: Reduces Shear Strength  
Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

#### ***Groundwater Analysis***

---

Method: Piezometric Lines  
Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m<sup>3</sup>

Probability: None

## Field Stress

---

Field stress: Constant  
Sigma one: 9 MPa (compression positive)  
Sigma three: 9 MPa (compression positive)  
Sigma Z: 9 MPa (compression positive)  
Angle from the horizontal to sigma 1: 0 degrees (counter-clockwise)

## Seismic Loading

---

Horizontal seismic load coefficient: 0.22 (positive to the right)  
Vertical seismic load coefficient: 0 (positive up)  
Seismic load applied in: seismic

## Mesh

---

Mesh type: Graded

Element type: 3 Noded triangles

Stage Name	# of Elements	# of Nodes
Geostatic	3350	1715
calotta centrale	3326	1707
calotta centrale sostegni	3326	1707
slarghi laterali	3252	1681
slarghi laterali sostegni	3252	1681
1 sottostrozzo	3229	1672
1 sottostrozzo sostegni	3229	1672
2 sottostrozzo	3177	1650
2 sottostrozzo sostegni	3177	1650
3 sottostrozzo	3082	1614
3 sottostrozzo sostegni	3082	1614
sostegni permanenti	3082	1614
seismic	3082	1614

## Mesh Quality

- 8 of 3350 Elements ( 0.2 % of elements) are poor quality elements
- 0 of 3350 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
- 8 of 3350 Elements ( 0.2 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
- 8 of 3350 Elements ( 0.2 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
- 0 of 3350 Elements ( 0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
- **Note:** Elements can be of poor quality for more than one reason

### Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

## Material Properties

### Material: calcare

Color	
Initial element loading	field stress only
Elastic type	isotropic
Young's modulus	34112.8 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Is Jointed	Yes
Material type	Plastic
Dilation Parameter	0
Compressive strength	60 MPa
mb parameter	2.86505
s parameter	0.020468
a parameter	0.501975
GSI parameter	65
mi parameter	10
D parameter	0
Residual mb parameter	1.84201
Residual s parameter	0.005671
Residual a parameter	0.504048
Residual GSI parameter	55
Residual mi parameter	10
Residual D parameter	0.1
Tensile Cutoff Type	Hoek-Martin (2004)
Tensile Cutoff mi	10

Tensile Cutoff	3.84123 MPa
Piezo to use	None
Ru value	0

**Joint: Joint 1**

Inclination	0
Slip Criterion	Mohr-Coulomb
Tensile Strength	0 MPa
Peak Cohesion	0 MPa
Peak Friction Angle	35 degrees

**Liner Properties**

---

**Liner: Concrete**

Color	
Liner Type	Reinforced Concrete
Equivalent Young's modulus	32547.1 MPa
Equivalent thickness	0.785434 m
Poisson ratio	0

**Reinforcement Properties**

Spacing	1 m
Section Depth	0.7 m
Area	0.00474 m <sup>2</sup>
Moment of inertia	2.22e-005 m <sup>4</sup>
Young's modulus	200000 MPa
Poisson ratio	0.25
Compressive strength	400 MPa
Tensile strength	400 MPa
Unit weight	37.1 kg/m

**Concrete Properties**

Thickness	0.8 m
Young's modulus	30000 MPa
Poisson ratio	0.15
Compressive strength	40 MPa
Tensile strength	3 MPa

Unit weight	0.024 MN/m3
Sliding Joint Strain	0 %

## Bolt Properties

Bolt name	Bolt ops=2
Color	
Bolt Type	Fully bonded bolt
Diameter	32 mm
Young's modulus	200000 MPa
Tensile capacity	0.28 MN
Residual Tensile capacity	0.03 MN
Pre-tensioning	0 MN
Pre-tensioning force	Constant in install stage
Out-of-plane spacing	2 m
Allow Joints to Shear Bolt	Yes

Bolt name	Bolt ops = 1.5
Color	
Bolt Type	Fully bonded bolt
Diameter	32 mm
Young's modulus	200000 MPa
Tensile capacity	0.28 MN
Residual Tensile capacity	0.03 MN
Pre-tensioning	0 MN
Pre-tensioning force	Constant in install stage
Out-of-plane spacing	1.5 m
Allow Joints to Shear Bolt	Yes

## List of All Coordinates

### Excavation boundary

X	Y
253.314	652.914
253.314	661.243
252.557	661.376
250.989	661.496

249.494	661.612
245.673	661.243
245.655	652.914

### External boundary

X	Y
520.156	503.78
520.156	589.288
520.156	704.192
377.784	873.161
280.784	982.677
167.691	982.677
-5.18438	982.677
-5.18438	838.377
-5.18438	639.478
-5.18438	509.356
-5.18438	275.139
520.156	275.139

### Stage boundary

X	Y
239.494	656.444
239.522	656.917
239.606	657.384
239.744	657.838
239.936	658.272
240.177	658.68
240.465	659.057
240.796	659.397
241.164	659.696
241.565	659.948

### Stage boundary

X	Y
253.314	661.243
254.066	661.082
254.811	660.892
255.548	660.673
256.276	660.427
256.994	660.152
257.422	659.948



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

14 di/of 42

257.823	659.696
258.192	659.397
258.522	659.057
258.81	658.68
259.052	658.272
259.243	657.838
259.382	657.384
259.466	656.917
259.494	656.444
259.494	656.096
259.494	655.747

### Stage boundary

X	Y
245.673	661.243
246.431	661.376
247.192	661.479
247.958	661.552
248.725	661.597
249.494	661.612
250.262	661.597
250.989	661.496
251.795	661.479
252.557	661.376

### Stage boundary

X	Y
250.262	661.597
251.03	661.552
251.795	661.479

### Stage boundary

X	Y
245.673	661.243
244.922	661.082
244.177	660.892
243.44	660.673
242.712	660.427
241.994	660.152
241.565	659.948
240.796	659.397

240.177	658.68
239.606	657.384
239.494	656.444
239.494	655.747
239.494	655.051
239.494	654.354
239.494	653.657
239.494	652.961

### Stage boundary

X	Y
253.314	661.243
254.811	660.892
256.994	660.152
258.192	659.397
259.243	657.838
259.466	656.917
259.494	655.747
259.494	655.399
259.494	655.051
259.494	652.961

### Stage boundary

X	Y
239.494	652.961
245.655	652.914

### Stage boundary

X	Y
253.314	652.914
259.494	652.961
259.494	649.477
259.494	645.994

### Stage boundary

X	Y
239.494	645.994
259.494	645.994
259.494	642.511



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

16 di/of 42

259.494	639.028
259.494	635.544
259.494	635.117

### Stage boundary

X	Y
239.494	645.994
239.494	649.477
239.494	652.961

### Stage boundary

X	Y
239.494	635.117
259.494	635.117
259.494	632.061
259.494	628.578
259.494	625.095
259.494	621.612
258.494	621.612
257.494	621.612
256.494	621.612
255.494	621.612
254.494	621.612
253.494	621.612
252.494	621.612
252.494	617.888
251.494	617.888
250.494	617.888
249.494	617.888
248.494	617.888
245.494	617.888
245.494	621.612
244.494	621.612
243.494	621.612
242.823	621.612
242.823	622.943
242.823	624.034
242.823	625.095
239.494	625.095
239.494	628.578
239.494	632.061
239.494	635.117

### Stage boundary

X	Y
239.494	635.117
239.494	635.544
239.494	639.028
239.494	642.511
239.494	645.994

### Bolt

X	Y
254.066	661.082
257.664	675.364

### Bolt

X	Y
255.512	660.684
259.712	674.733

### Bolt

X	Y
256.924	660.179
262.392	673.945

### Bolt

X	Y
258.193	659.395
268.696	670.872

### Bolt

X	Y
259.084	658.199
273.345	666.065

### Bolt



Green Power

HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

18 di/of 42

X	Y
259.475	656.761
274.842	658.501

**Bolt**

X	Y
244.922	661.082
240.8	674.812

**Bolt**

X	Y
243.476	660.684
238.279	673.315

**Bolt**

X	Y
242.064	660.179
235.521	671.03

**Bolt**

X	Y
240.793	659.394
230.872	667.878

**Bolt**

X	Y
239.952	658.17
228.271	663.623

**Bolt**

X	Y
239.53	656.748
226.065	659.604

**Bolt**

X	Y
239.494	655.25
225.75	656.609

**Bolt**

X	Y
239.494	653.75
225.986	653.75

**Bolt**

X	Y
259.494	655.747
275.315	655.747

**Bolt**

X	Y
259.494	654.133
275.551	654.133

**Bolt**

X	Y
239.494	652.961
225.347	652.143

**Bolt**

X	Y
239.494	651.461
225.347	650.65

**Bolt**

X	Y
239.494	649.961
225.584	648.852

**Bolt**

X	Y
239.494	648.461
225.347	647.563

**Bolt**

X	Y
239.494	646.961
225.516	646.342

**Bolt**

X	Y
259.494	652.961
275.455	652.312

**Bolt**

X	Y
259.494	651.461
275.59	650.786

**Bolt**

X	Y
259.494	649.961
275.692	649.158

**Bolt**

X	Y
259.494	648.461
275.929	647.665

**Bolt**

X	Y
259.494	646.961
276.269	646.139

**Bolt**

X	Y
239.494	645.994
225.204	644.976

**Bolt**

X	Y
239.494	644.494
225.463	643.477

**Bolt**

X	Y
239.494	642.994
225.514	642.081

**Bolt**

X	Y
239.494	641.494
225.463	640.789

**Bolt**

X	Y
239.494	639.994
225.618	639.134

**Bolt**

X	Y
239.494	638.494
225.721	637.842

**Bolt**

X	Y
239.494	636.994
225.773	636.291

**Bolt**

X	Y
239.494	635.494
225.928	634.843

**Bolt**

X	Y
259.494	645.994
276.543	644.925

**Bolt**

X	Y
259.494	644.494
276.595	643.425

**Bolt**

X	Y
259.494	642.994
276.698	642.081

**Bolt**

X	Y
259.494	641.494
276.698	640.582

**Bolt**

X	Y
259.494	639.994
276.646	639.134

**Bolt**

X	Y
259.494	638.494
276.543	637.428

**Bolt**



Green Power

HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

23 di/of 42

X	Y
259.494	636.994
276.388	636.239

**Bolt**

X	Y
259.494	635.494
276.388	634.791

**Bolt**

X	Y
239.494	635.117
228.336	634.456

**Bolt**

X	Y
239.494	633.617
228.707	633.17

**Bolt**

X	Y
239.494	632.117
228.732	631.588

**Bolt**

X	Y
239.494	630.617
228.905	630.129

**Bolt**

X	Y
239.494	629.117
228.979	628.62

**Bolt**

X	Y
239.494	627.617
228.905	627.137

**Bolt**

X	Y
239.494	626.117
228.955	625.678

**Bolt**

X	Y
259.494	635.117
273.118	634.326

**Bolt**

X	Y
259.494	633.617
271.561	632.982

**Bolt**

X	Y
259.494	632.117
271.5	631.425

**Bolt**

X	Y
259.494	630.617
271.622	629.868

**Bolt**

X	Y
259.494	629.117
271.47	628.25

**Bolt**



Green Power

HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

25 di/of 42

X	Y
259.494	627.617
271.561	626.663

**Bolt**

X	Y
259.494	626.117
270.89	625.472

**Bolt**

X	Y
259.494	624.617
270.981	624.038

**Bolt**

X	Y
259.494	623.117
270.829	622.236

**Bolt**

X	Y
242.823	624.034
234.271	623.427

**Bolt**

X	Y
242.823	622.534
234.519	621.944

**Bolt**

X	Y
252.494	621.612
267.783	618.91

**Bolt**

X	Y
252.494	620.112
267.674	617.482

**Bolt**

X	Y
252.494	618.612
267.481	616.135

**Bolt**

X	Y
245.494	621.612
237.615	620.222

**Bolt**

X	Y
245.494	620.112
237.615	618.722

**Bolt**

X	Y
245.494	618.612
237.615	617.222

**Bolt**

X	Y
245.673	661.243
243.092	676.019

**Bolt**

X	Y
247.155	661.474
245.143	676.338

**Bolt**

X	Y
248.65	661.592
247.786	676.567

**Bolt**

X	Y
250.15	661.599
250.438	676.596

**Bolt**

X	Y
251.643	661.482
251.971	676.478

**Bolt**

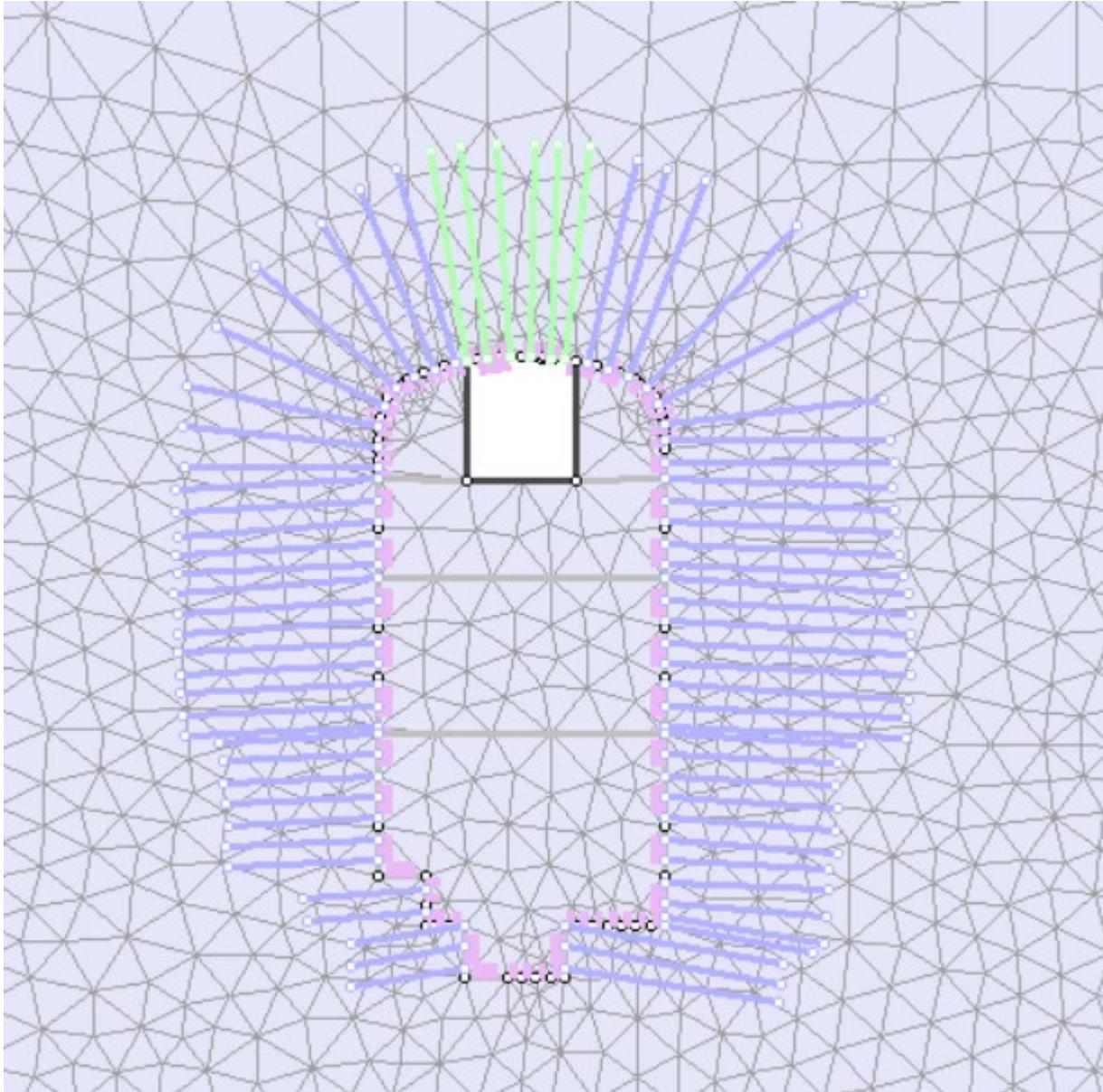
X	Y
252.557	661.376
254.275	676.388

**Bolt**

X	Y
259.494	622.236
270.676	620.344

**Bolt**

X	Y
259.494	621.612
269.76	619.58



**Figura 4-2 - Geometria di scavo con discretizzazione agli elementi finiti, frontiera della cavità analizzata con le sequenze di scavo e rinforzi**

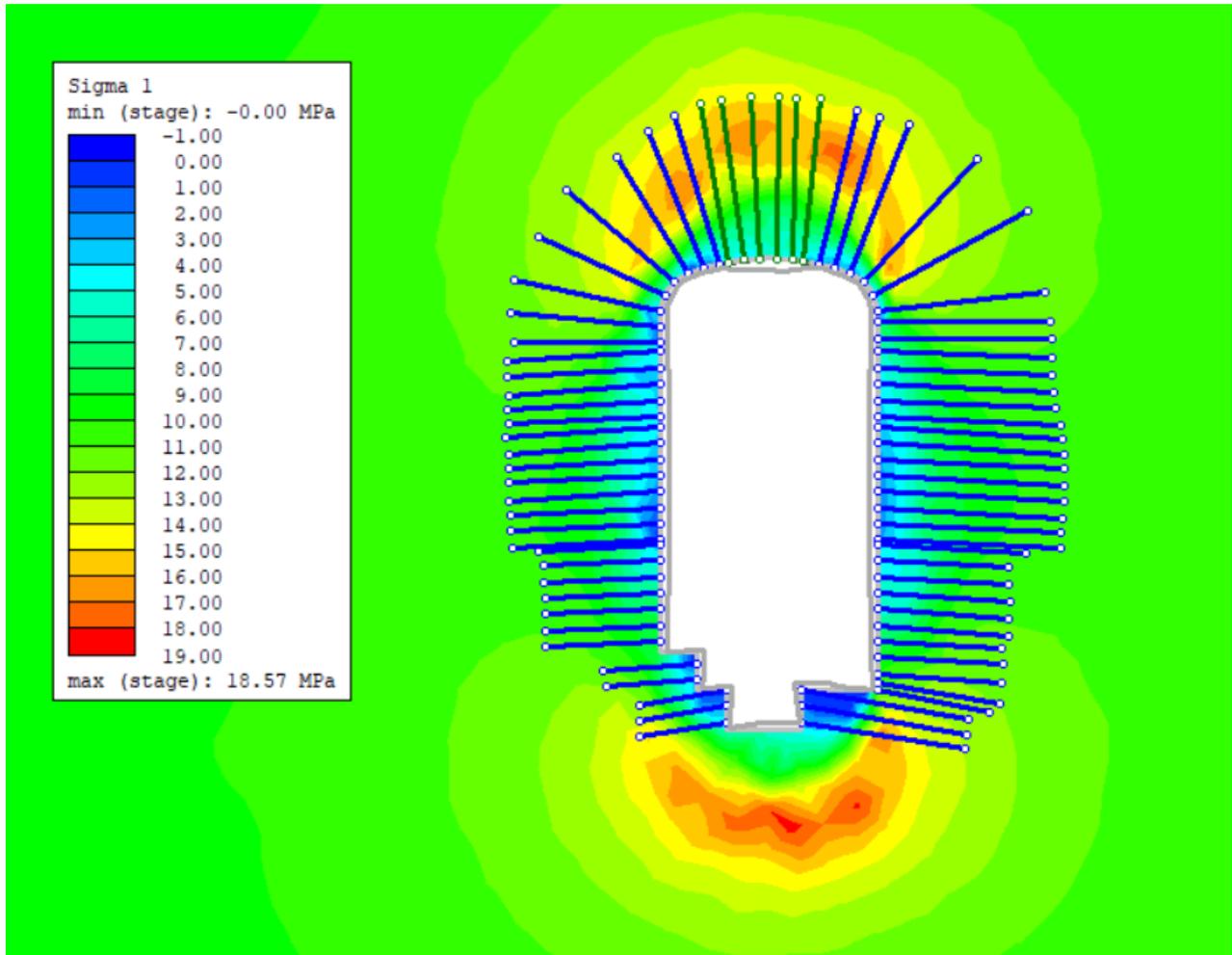


Figura 4-3 - Analisi agli elementi finiti della camera principale. Sigma principale massima

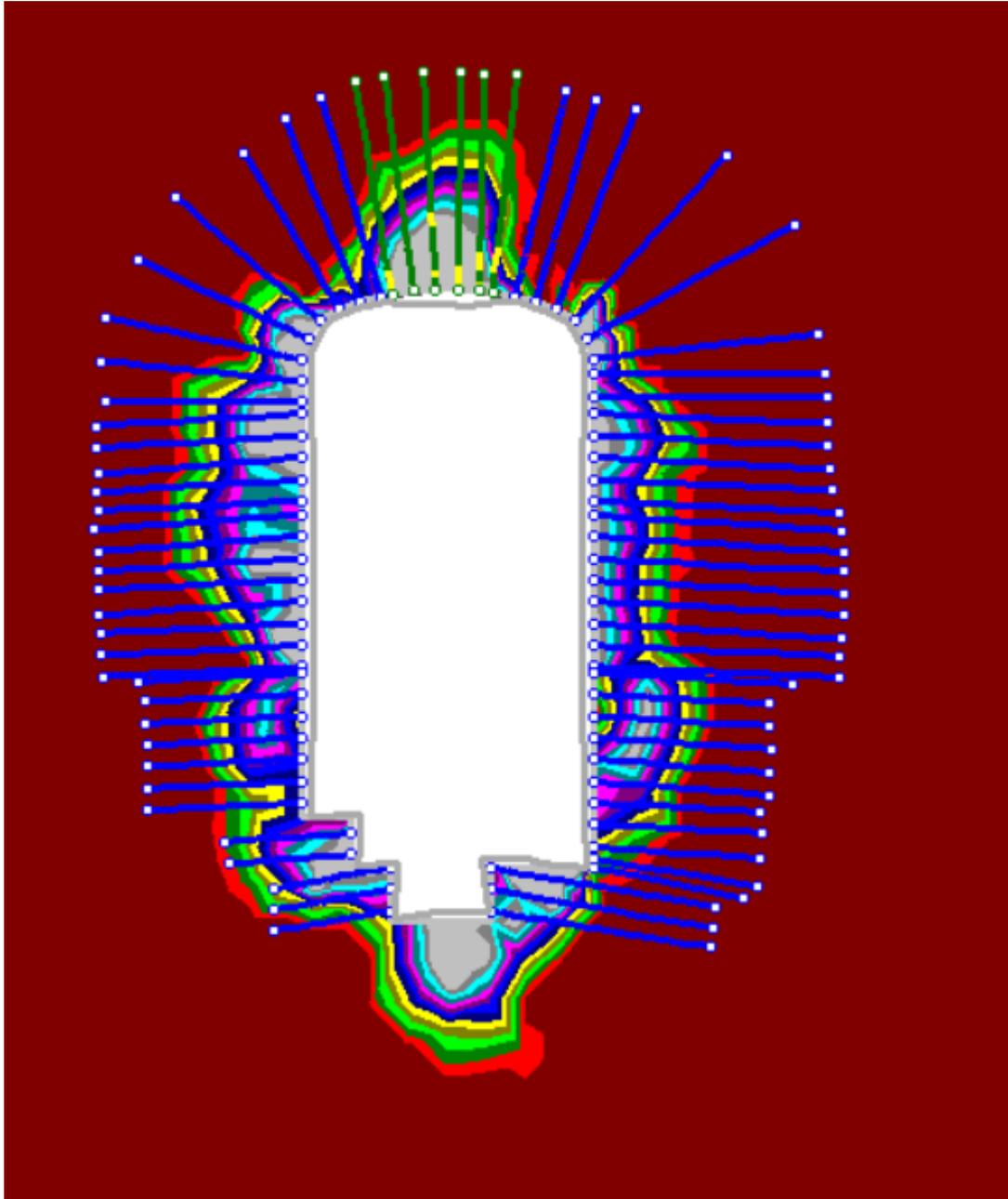


Figura 4-4 - Analisi agli elementi finiti della camera principale. Zone di plasticizzazione

### 4.3. STABILITA' STRUTTURALE DI CUNEI CINEMATICAMENTE AMMISSIBILI

La stabilità di cunei staticamente ammissibili è stata condotta con il programma Unwedge di Rocscience. I cunei cinematicamente ammissibili nascono dall'intersezione tra 2 piani di discontinuità e la superficie di scavo. Il programma consente di tenere conto della presenza di un supporto, che può essere costituito di volta in volta da ancoraggi, rivestimento, pressione interna o una loro combinazione.

Al fine di analizzare uno spettro di possibilità sufficientemente ampio, è stata adottata l'opzione che consente di confrontare tra loro tutti i piani di discontinuità disponibili (rilevati) in modo da definire la potenziale formazione di cunei, la loro interazione con la superficie di scavo (cinematismo di rottura) e la dimensione di tali blocchi.

I risultati ottenuti sono presentati attraverso l'output del programma, che segue, e rappresentato graficamente nelle **Figura 4-5**, **Figura 4-6**, e **Figura 4-7**.

Si può osservare che in generale la potenziale formazione di cunei instabili appare limitata e gli accorgimenti adottati consentono di garantire ampi margini di stabilità in termini di fattore di sicurezza.

#### **Unwedge Analysis Information**

##### **Project Summary**

---

File Name:	Unwedge_Caverna_Local.weg
Project Title:	Stability Analysis of Wedges for Underground Excavations
Wedges Computed:	Perimeter and End Wedges
Prismatic Wedges Computed:	No
Units:	Metric, stress as MPa

##### **General Input Data**

###### **Tunnel Axis Orientation**

---

Trend:	270°
Plunge:	0°

Design Factor of Safety:	2.000
Unit Weight of Rock:	0.026 MN/m3
Unit Weight of Water:	0.010 MN/m3

##### **Seismic Forces**

---

Not Used

### Scale Wedges Settings

---

Not Used

### Joint Orientations

---

#### Joint 1

Dip: 25°

Dip Direction: 135°

#### Joint 2

Dip: 15°

Dip Direction: 103°

#### Joint 3

Dip: 22°

Dip Direction: 077°

### Joint Properties

---

#### Joint Properties 1

Water Pressure Type: Constant

Pressure: 0.3 MPa

Waviness: 2°

Continuity Type: Persistence

Persistence Value: 10 m

Shear Strength Model: Barton-Bandis

JRC: 10

JCS: 50 MPa

Phi b: 30°

### Bolt Properties

---

#### Bolt Property 1

Color



Bolt Type: Grouted Dowel

Tensile Capacity: 0.24 MN



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

33 di/of 42

Plate Capacity:	0.1 MN
Bond Strength:	0.34 MN/m
Bond Length:	100% of Bolt Length
Shear Strength:	Unused
Bolt Orientation Efficiency:	Used
Method:	Cosine Tension/Shear

**Shotcrete Properties**

Shotcrete Property 1	
Color:	
Shear Strength:	1.000 MPa
Unit Weight:	0.026 MN/m3
Thickness:	10.00 cm

**Support Summary**

**Summary of Perimeter Shotcrete**

Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1

**Perimeter Shotcrete Layer 1**

Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

**Summary of Perimeter Support Pressure**

No Support Pressure on Perimeter

**Summary of Perimeter Bolt Patterns**

Number of Bolt Patterns on Perimeter: 1

**Perimeter Bolt Pattern 1**

Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel

Bolt Length: 12.00 m

Orientation: normal to boundary

Pattern Spacing - In Plane: 1.50 m

Pattern Spacing - Out of Plane: 2.00 m

Pattern Spacing - Out of Plane Offset: 0.00 m

### Summary of End Bolt Patterns

End Bolt Pattern

Property: Bolt Property 1

Strength type: Grouted Dowel

Bolt Length: 12.00 m

Pattern Spacing - Horizontal: 2.00 m

Pattern Spacing - Vertical: 1.50 m

### Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

### Summary of End Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Ends: 1

End Shotcrete Layer: 1

Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

### Wedge Information

	Roof wedge [3]	Lower Right wedge [4]	Upper Left wedge [5]	Floor wedge [6]	Roof wedge [7]	Near End wedge [9]	Far End wedge [10]
Factor of Safety	3.507	4.279	4.829	4.266	3.714	1.907	1.604
Wedge Weight [MN]	0.049	0.013	0.013	0.224	0.011	0.211	0.211

### Probability Analysis

Analysis Type: Latin-Hypercube

Random Numbers: Psuedo-Random

Random Seed: 10116

Compute all joint combinations: Yes

Probabilistic Data: Not Computed



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.050.00

PAGE

35 di/of 42

**Statistical Variables**

---

Number of Statistical Variables Used: 0

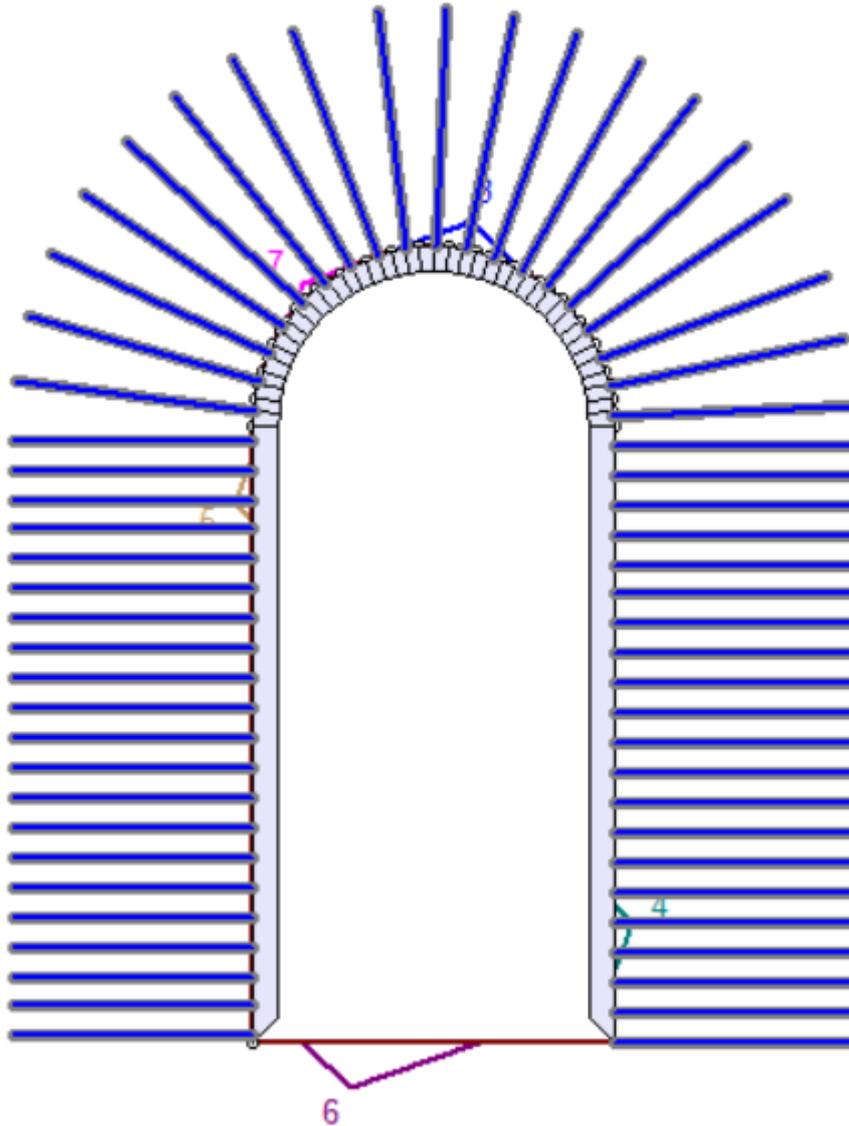
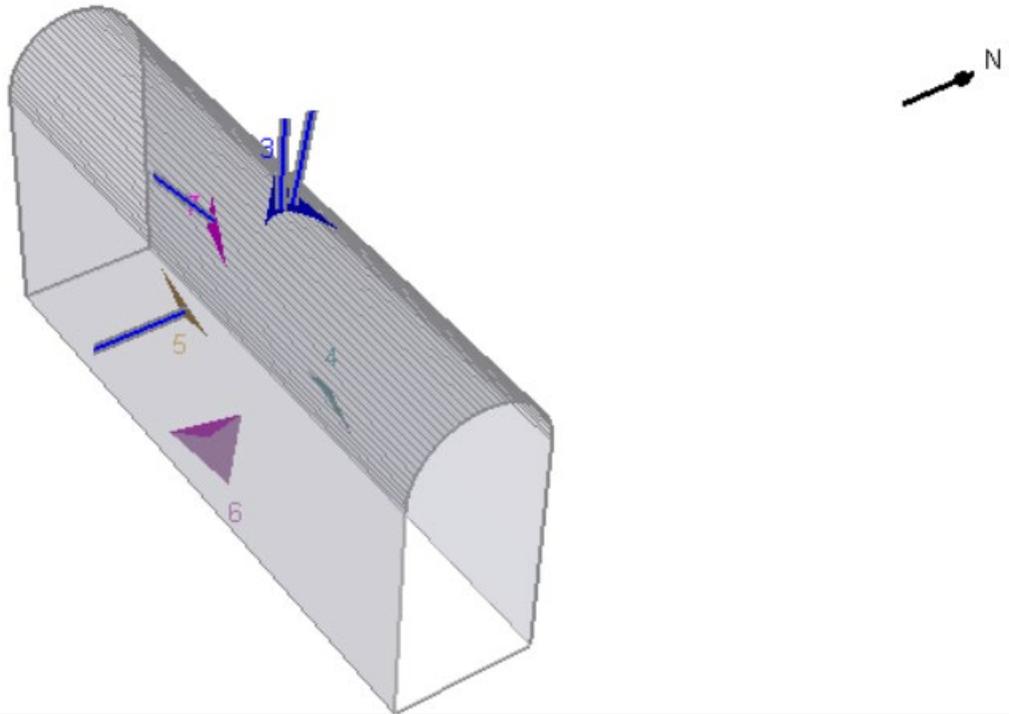


Figura 4-5 - Stabilità di cunei cinematicamente ammissibili. Geometria (semplificata) dei rinforzi adottati



**Probabilistic Analysis**

Not Computed

**Random Variables**

Roof wedge [3]

FS: 3.507

Weight: 0.049 MN

Lower Right wedge [4]

FS: 4.279

Weight: 0.013 MN

Upper Left wedge [5]

FS: 4.829

Weight: 0.013 MN

Floor wedge [6]

FS: 4.266

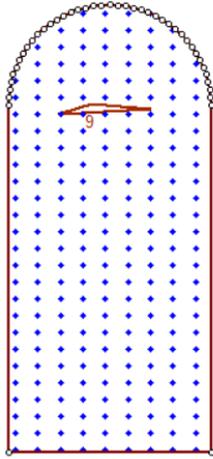
Weight: 0.224 MN

Roof wedge [7]

FS: 3.714

Weight: 0.011 MN

**Figura 4-6 - Stabilità di cunei cinematicamente ammissibili. Stabilità della calotta e delle pareti**



End Wedge Visibility:

9 Near End

Wedge Info: Filter List ...

**Probabilistic Analysis**  
Not Computed

**Random Variables**

Near End wedge [9]  
FS: 1.907  
Weight: 0.211 MN

Far End wedge [10]  
FS: 1.604  
Weight: 0.211 MN

Figura 4-7 - Stabilità di cunei cinematicamente ammissibili. Fronte scavo finale

## 5. GALLERIA DEI TRASFORMATORI

### 5.1. SEZIONE TIPO

La camera Trafo è disposta parallelamente a quella principale, con dimensioni più contenute, come illustrato in **Figura 4-1**.

Lo scavo procederà a partire dall'estremità orientale e si svilupperà sostanzialmente in 2 fasi, come indicato nella relazione generale e nei disegni di progetto, ossia:

- Scavo della calotta
- Scavo trasversale tra galleria di accesso principale e galleria di collegamento con la Camera principale e contemporaneo completamento dello strozzo.

Nei ribassi, l'installazione dei supporti avverrà ogni 2-3 m, in funzione delle caratteristiche locali della roccia e degli avanzamenti orizzontali.

Per lo scavo si userà esplosivo con microcariche e presplitting, in modo da minimizzare il disturbo alla roccia e non danneggiare le installazioni e i trattamenti che devono seguire a breve distanza.

La stratificazione è disposta in generale favorevolmente rispetto allo scavo. Sono previsti sostegni sistematici mediante bulloni e calcestruzzo spruzzato, in relazione alla grande luce.

Una possibile interferenza potrebbe derivare da giunti approssimativamente 70/180 (xx = inclinazione / yyy = immersione), anche se non esistono evidenze che possano spingersi a tanta profondità. Tale eventuale interferenza andrà accertata nelle successive fasi progettuali e confermata all'inizio dei lavori.

Discontinuità di questo tipo taglierebbero la camera lungo una sua generatrice e costituirebbero un elemento da sanare con sostegni importanti (anche ancoraggi attivi). In caso di confermata presenza, varrà la pena spostare la camera poco a monte / poco a valle in modo da far ricadere l'interferenza sulle gallerie.

Lo scavo sarà immediatamente seguito da trattamenti di consolidamento mediante iniezione cementizia con perforazioni relativamente corte perpendicolari alla superficie di scavo. Ove necessario saranno eseguiti localmente trattamenti di impermeabilizzazione mediante iniezioni cementizie, per tamponare eventuali zone di umidità più marcata o venute localizzate.

Si prevede inoltre un sistema di drenaggio, per meglio controllare la piezometrica attorno alla centrale e minimizzare il carico sulle pareti nelle condizioni di esercizio.

Il rivestimento finale sarà in calcestruzzo armato.

### 5.2. SEZIONE ANALIZZATA

La sezione analizzata è presentata in Figura 5-8.

In questo caso è stata analizzata la configurazione finale, dando meno rilievo alle fasi di scavo in quanto la sezione per forma e proporzioni è assimilabile a una galleria.

Le caratteristiche salienti della sezione e delle condizioni di carico applicate è sintetizzata nelle Tabella 5-1 e

Tabella **5-2**.

I risultati sono presentati in

Tabella **5-3** e da Figura 5-9, Figura 5-10 e Figura 5-11.

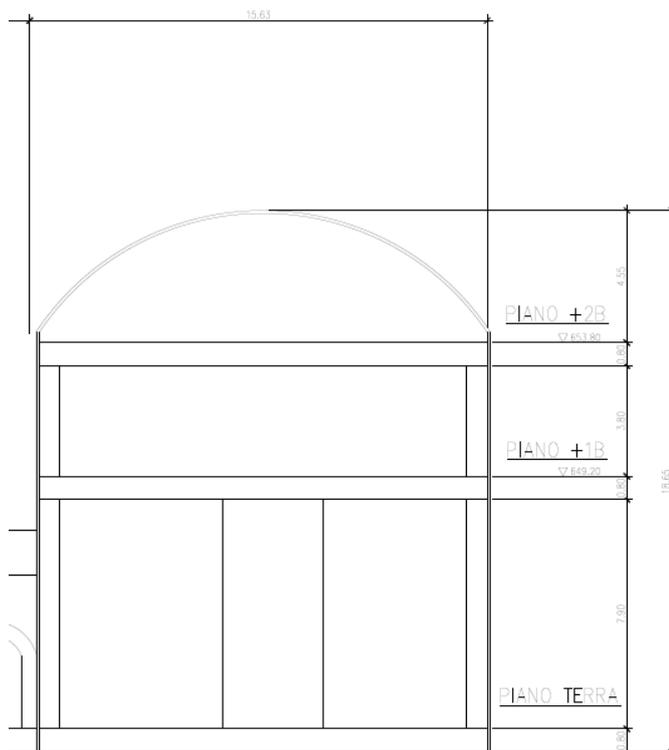


Figura 5-8 - Camera Trafo. Sezione analizzata

♦ Variabile	Valore	Unità
<b>Sezione analizzata</b>	Tipo 1	m
<b>Profondità</b>	425.0	m
<b>Diametro interno (equivalente)</b>	18.5	m
<b>Rivestimento finale (Secondario) in calcestruzzo</b>	150.0	cm
<b>Resistenza Caratteristica del calcestruzzo</b>	30	MPa
<b>Sezione relativa dell'acciaio</b>	2	%
<b>Materiale Roccioso</b>	Calcare	-
<b>K0</b>	0.8	adim
<b>Distanza dal fronte di scavo per l'installazione del sostegno iniziale</b>	20	m
<b>Tipo Di Sostegno</b>	Medio Leggero	-
<b>Sostegno iniziale in calcestruzzo spruzzato (Rivestimento Primario)</b>	15.0	cm
<b>Indicazione di Perno</b>	ø30 spa:1x1.5	-
<b>Rinforzo aggiuntivo</b>	-	-

Tabella 5-1 - Riepilogo della geometria della sezione

Variabile	Valore	Unità
<b>Pressione Di Equilibrio Convergenza E Confinamento</b>	212.0	KPa
<b>Carico Massimo A Tempo Infinito In Secondario</b>	53.0	KPa
<b>Pressione Idrostatica Operante In Generazione</b>	0	mcda
<b>Pressione Idrostatica Operante In Pompaggio</b>	0	mcda
<b>Pressione Idrostatica Senza Funzionamento Della Centrale</b>	0	mcda
<b>Sovrappressione Per La Chiusura Valvole In Generazione</b>	0	mcda
<b>Sovrappressione Per La Chiusura Valvole In Pompaggio</b>	0	mcda
<b>Pressione freatica caso 1</b>	165.6	mcda
<b>Pressione freatica caso 2</b>	71.3	mcda

Tabella 5-2: Riepilogo dei carichi agenti nella sezione

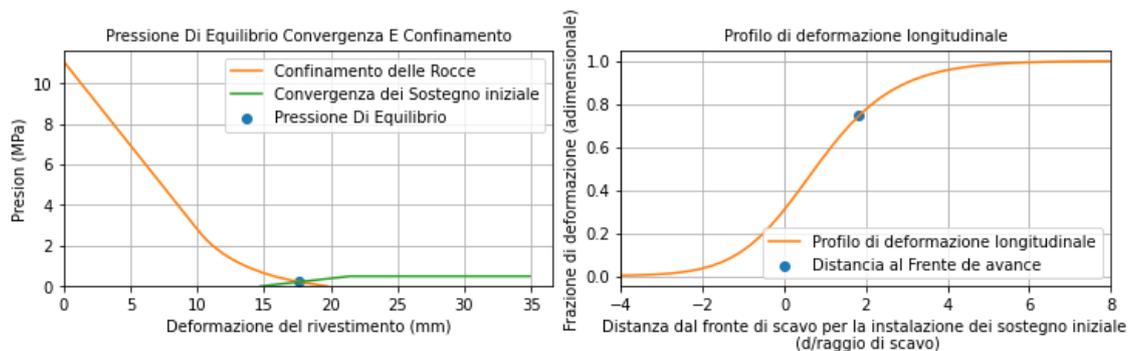


Figura 5-9 - Rappresentazione della pressione di equilibrio in CC e profilo longitudinale

Settore e Stato	Sforzo	Combinazione
<b>Chiave Fondam.</b>	N=24.07 M=-0.03	N = + 1.3 GGR(0.71) + 1.3 GHF1(17.81) + 0.0 GHF22(7.67) + 1.0 GHG(-0.0) + 0.0 GHB(-0.0) + 0.0 GH0(-0.0) M = 1.3 GGR(-0.03)
<b>Chiave Eccez.</b>	N=18.51 M=-0.03	N = + 1.0 GGR(0.71) + 1.0 GHF1(17.81) + 0.0 GHF2(7.67) + 0.0 GHG(-0.0) + 0.0 GHB(-0.0) + 0.0 GH0(-0.0) + 1.0 AHTG(-0.0) + 0.0 AHTB(-0.0) M = 1.0 GGR(-0.03)
<b>Chiave Sismica</b>	N=18.46 M=-0.54	N = + 1 GGR(0.71) + 1 GHF1(17.81) + 0 GHF2(7.67) + 1 GHG(-0.0) + 0 GHB(-0.0) + 0 GH0(-0.0) + 1 ESLV(-0.05) + 0 ESLC(-0.06) M = 1 GGR(-0.03) + 1 ESLV(-0.51) + 0 ESLC(-0.6)
<b>Reni Fondam.</b>	N=24.01 M=0.03	N = + 1.3 GGR(0.67) + 1.3 GHF1(17.81) + 0.0 GHF22(7.67) + 1.0 GHG(-0.0) + 0.0 GHB(-0.0) + 0.0 GH0(-0.0) M = 1.3 GGR(0.02)
<b>Reni Eccez.</b>	N=18.47 M=0.02	N = + 1.0 GGR(0.67) + 1.0 GHF1(17.81) + 0.0 GHF2(7.67) + 0.0 GHG(-0.0) + 0.0 GHB(-0.0) + 0.0 GH0(-0.0) + 1.0 AHTG(-0.0) + 0.0 AHTB(-0.0) M = 1.0 GGR(0.02)
<b>Reni Sismica</b>	N=18.53 M=0.63	N = + 1 GGR(0.67) + 1 GHF1(17.81) + 0 GHF2(7.67) + 1 GHG(-0.0) + 0 GHB(-0.0) + 0 GH0(-0.0) + 0 ESLV(0.05) + 1 ESLC(0.06) M = 1 GGR(0.02) + 1 ESLV(0.51) + 0 ESLC(0.6)

Tabella 5-3: Riepilogo Delle Sollecitazione Massime

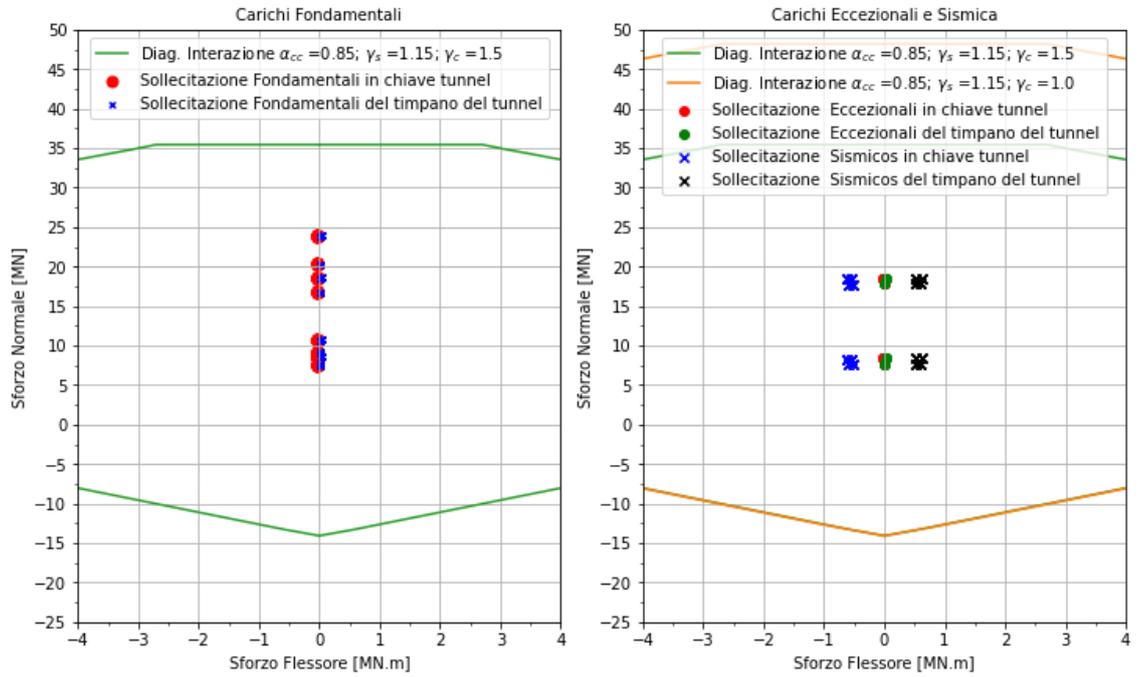


Figura 5-10 - Diagrammi Di Interazione e punti di Sollecitazione

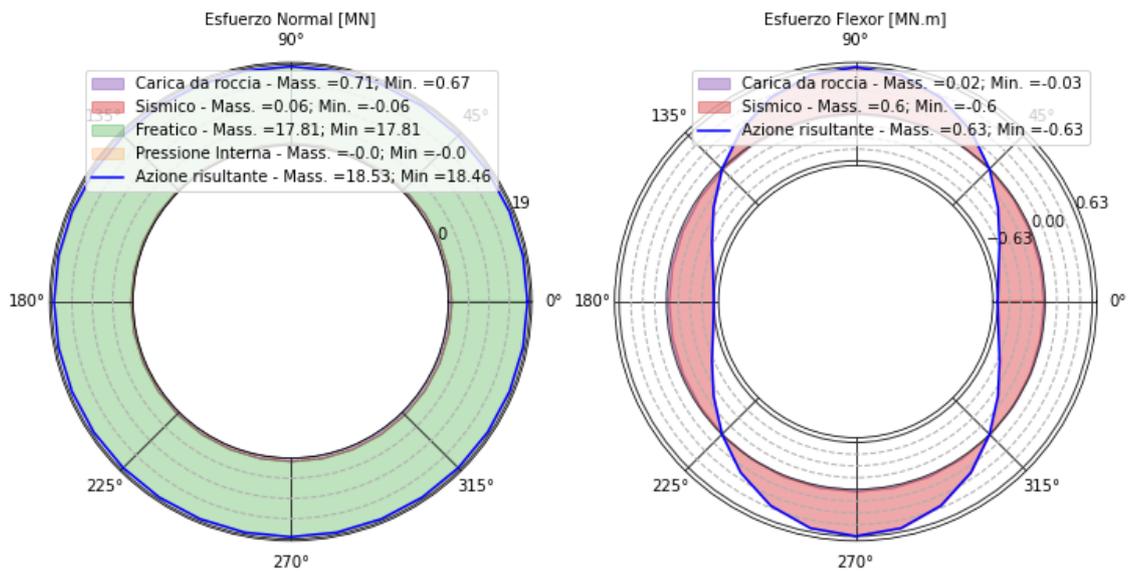


Figura 5-11 - Rappresentazione dello sforzo in servizio