



CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA DI UN'AREA A MARGINE DELL'AUTOSTRADA E45-A22 AUTOSTRADA DEL BRENNERO

PROVINCIA COMUNE LOCALITÀ UTM32N - LAT. UTM32N - LONG.
MODENA CARPI VIA ARGINE CANALE 4968597.00 m N 646235.00 m E



RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Relazione Tecnica

comprendente:

RELAZIONE GEOTECNICA

Relativa alle indagini, alla caratterizzazione e alla modellazione geotecnica a supporto della progettazione strutturale (6.2.2. NTC 2018) nonché relativa alla verifica delle opere di fondazione (6.4. NTC 2018)

Oggetto:

Caratterizzazione geotecnica a supporto della progettazione ingegneristica di un intervento di sottopasso di un cavidotto passante ortogonalmente ad un tracciato autostradale

LOCALITÀ

Via Argine Canale
Cà dei Frati
Comune di Carpi (MO)

COMMITTENTE

Atlas Solar SRL

Rif.826/25

Sommario

1. Premesse	3
1.1. Inquadramento geografico	3
2. Relazione geotecnica	4
2.1. Modello geotecnico	4
2.2. Analisi dei cedimenti	5
3. Conclusioni.....	7

Tavola

Tavola 1:	Corografica
Tavola 2:	Topografica
Tavola 3:	Ubicazione Indagini

Allegati

Allegato 1:	Verifiche Geotecniche
-------------	-----------------------

1. PREMESSE

Nel mese di Ottobre 2025 è stato eseguito il presente studio geotecnico relativo caratterizzazione del terreno a supporto della progettazione di un sottopasso di un cavidotto elettrico al di sotto del tracciato autostradale della E45 – A22, le indagini sono state eseguite all'interno di un campo di proprietà di Autobrennero SPA sito in Via Argine Canale nel Comune di Carpi (MO).



Figura 1: scansione fotografica satellitare dell'area oggetto d'indagine.

1.1. Inquadramento geografico

L'area in esame ricade poco a Nord – Nord Ovest del centro cittadino della città di Carpi e giace, mantenendo le spalle a monte, in sinistra dell'Autostrada E45 – A22.

SITO IN ESAME	
COORDINATE GEOGRAFICHE WGS84	
LATITUDINE	LONGITUDINE
4968597.00 m N	646235.00 m E

2. RELAZIONE GEOTECNICA

2.1. Modello geotecnico

Sulla base dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche è possibile, ipotizzare il modello geotecnico che segue:

MODELLO GEOTECNICO MEDIO				Via Argine Canale - Carpi						
Profondità [m]	Terreno	γ_{DRY}	γ_{SAT}	c'	C_u	Φ'	D_r	M	mv	Es
0.00 - 0.80	Terreno Agricolo in matrice argillosa con locali ciottoli	17	19	2,67	20,00	17		2100	4,762	2800
0.80 - 7,25	Limo argilloso e argille limose con tendenza alla sovraconsolidazione	17	19	4,50	45,00	22		6052	1,652	7565
7,25-9,75	Limo	18	20	4,00	40,00	24		8915	1,122	11144
9,75-12,25	Sabbia limosa	19	21			31	33	37500	0,267	50000
12,25-13,20	Limo	17,5	19,5	8,67	65,00	23		6825	1,465	9100
13,20-15,40	Sabbia grossolana	20	22			33	40	47625	0,210	63500
15,40-20,00	Argilla compatta	18	20	11,07	83,00	25		8715	1,147	11620
	DESCRIZIONE	PESO DI VOLUME SECCO	PESO DI VOLUME SATURO	COESIONE EFFICACE	COESIONE NON DRENATA	ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE	DENSITA' RELATIVA	MODULO EDOMETRICO	MODULO COMPRESSIBILITA'	MODULO ELASTICO
	U.M.	kN/m ³	kN/m ³	kPa	kPa	°	%	kPa	m ² /MPa	kPa

Dove:

γ [kN/m³] = peso di volume del terreno naturale e saturo;

C_u [kN/m²] = coesione non drenata;

c' [kN/m²] = coesione efficace;

Φ' [°] = angolo di attrito interno efficace;

D_r [%] = densità relativa;

M [kN/m²] = modulo edometrico;

mv = coefficiente di compressibilità volumetrica;

Es [kN/m²] = modulo elastico;

2.2. Analisi dei cedimenti

Al fine di valutare la possibile interazione tra le operazioni di posa del cavo sottopassante l'autostrada e l'opera viaria stessa, si è assunta l'ipotesi che l'effetto della perforazione orizzontale in terreni prevalentemente limosi, quindi permeabili, sia quella di produrre un effetto di drenaggio e un conseguentemente un abbassamento della superficie piezometrica.

Per questo motivo è stato sviluppato un modello che considera l'evoluzione del cedimento dal momento della costruzione del rilevato stradale al momento della posa in opera del cavo. Si è ipotizzato che in una fase intermedia la falda si sia abbassata in virtù delle operazioni di scavo e che poi sia tornata nella posizione originaria una volta che il cantiere si è concluso.

Il cedimento è stato modellato secondo le formulazioni proposte da Boussinesq, mentre gli stress sono stati considerati come distribuiti proporzionalmente al bulbo delle tensioni strato per strato. Il primo livello di terreno vegetale è stato escluso dalle considerazioni geotecniche poiché si è assunto che sia stato bonificato al momento della realizzazione del rilevato autostradale.

Al fine di produrre un'analisi compatibile con la storia tensionale del sito l'applicazione degli stress è stata modellata come segue:

- Un momento iniziale è rappresentato dallo stage 0 che definisce lo stato delle tensioni applicate al terreno prima della costruzione del rilevato autostradale;
- Lo stage 1 rappresenta la fase di realizzazione del rilevato autostradale e il cedimento conseguente. È opportuno precisare che la modellazione di questa fase, non essendo determinante per l'esito del presente studio, è stata eseguita senza definire le varie fasi di lavorazione, come lo scotico, e assumendo il carico come istantaneo. Il risultato in termini puramente numerici di questo stage risulta sovrastimato tuttavia questo appare del tutto ininfluente rispetto allo sviluppo delle analisi successive e scopo dello studio.
- Lo stage 2 rappresenta la fase di esercizio del rilevato stradale
- Fase fondamentale per l'analisi in essere è rappresentata dallo stage 3 che analizza il comportamento del sistema rilevato terreno di fondazione nel momento della perforazione. In questa sede viene studiata l'ipotesi che il livello piezometrico si abbassi nel corso delle lavorazioni.
- Lo stage 4 rappresenta la fase di esercizio a lungo termine del sistema rilevato e terreno di fondazione cavidotto posato.

Il centro dell'analisi dunque è rappresentato dal delta di cedimento tra lo stage 2 e lo stage 3, nonché tra lo stage 3 e lo stage 4.

Di seguito si riportano in forma sintetica i risultati ottenuti dalle analisi eseguite, in allegato è presente la relazione di calcolo e i grafici dei modelli ai vari stages del cedimento.

	DESCRIZIONE	CEDIMENTO TOTALE	LIVELLO DI FALDA	STRESS EFFETTIVO	TEMPO DI APPLICAZIONE
STAGE 0	Terreno vergine senza la presenza del rilevato	0	5	0	0
STAGE 1	Costruzione del rilevato e impressione del carico sul terreno	0,602	5	219	1
STAGE 2	Fase di esercizio del rilevato	0,744	8	219	30
STAGE 3	Abbassamento del livello di falda dovuto alla perforazione TOC	0,793	5	219	1
STAGE 4	Riplasticizzazione dei terreni dovuti alla risalita del livello di falda a seguito della posa in opera del cavidotto	0,802	5	219	
		metri	metri	kPa	anni

È particolarmente importante sottolineare il delta che esiste tra lo Stage 2, stato di esercizio ante esecuzione della perforazione, e gli stage 3 e 4, fase di perforazione e fase di esercizio a termine indefinito. I valori che si ottengono sono infatti:

$$\Delta_A(\text{Stage 2} - \text{Stage 3}) = 4,9 \text{ cm}$$

$$\Delta_B(\text{Stage 3} - \text{Stage 4}) = 0.9 \text{ cm}$$

Il Δ_A risulta principalmente dall'abbassamento della superficie piezometrica, mentre il Δ_B deriva dal ritorno alla plasticizzazione dei materiali coesivi una volta che il livello di falda ritorna al suo stato iniziale.

La modellazione qui presentata ha lo scopo di fornire elementi di ragionamento e non si intende sostitutiva di più raffinate e accurate valutazioni da parte dei progettisti.

3. CONCLUSIONI

La presente relazione geotecnica è stata redatta al fine di fornire una piccola analisi del comportamento dei materiali coinvolti nella perforazione rispetto al cedimento. I valori risultanti dai calcoli eseguiti e presentati in questo documento sono da considerarsi ipotetici poiché mancano importanti elementi di valutazione.

La presente relazione ha lo scopo di dedurre valutazioni analitiche rispetto al comportamento dei materiali coinvolti nella TOC rispetto all'abbassamento della superficie piezometria durante la fase di esecuzione della perforazione, ma il documento non s'intende sostitutivo di più precise e accurate valutazioni da svilupparsi da parte dei Progettisti.

Modena, 20 Novembre 2022

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



TAVOLE


CARTOGRAFIA GEOLOGICO TECNICA

Lavoro: Caratterizzazione Geologica e Geotecnica
Comune: Carpi (MO) Committente: Atlas Solar
Località: Autostrada A22 Data: Novembre 2025

Tavola 1
Carta Corografica

Legenda

SETTORE DI STUDIO

 Area Interesse

CARTOGRAFIA

DBTR_CtrMultiscala

High : 255

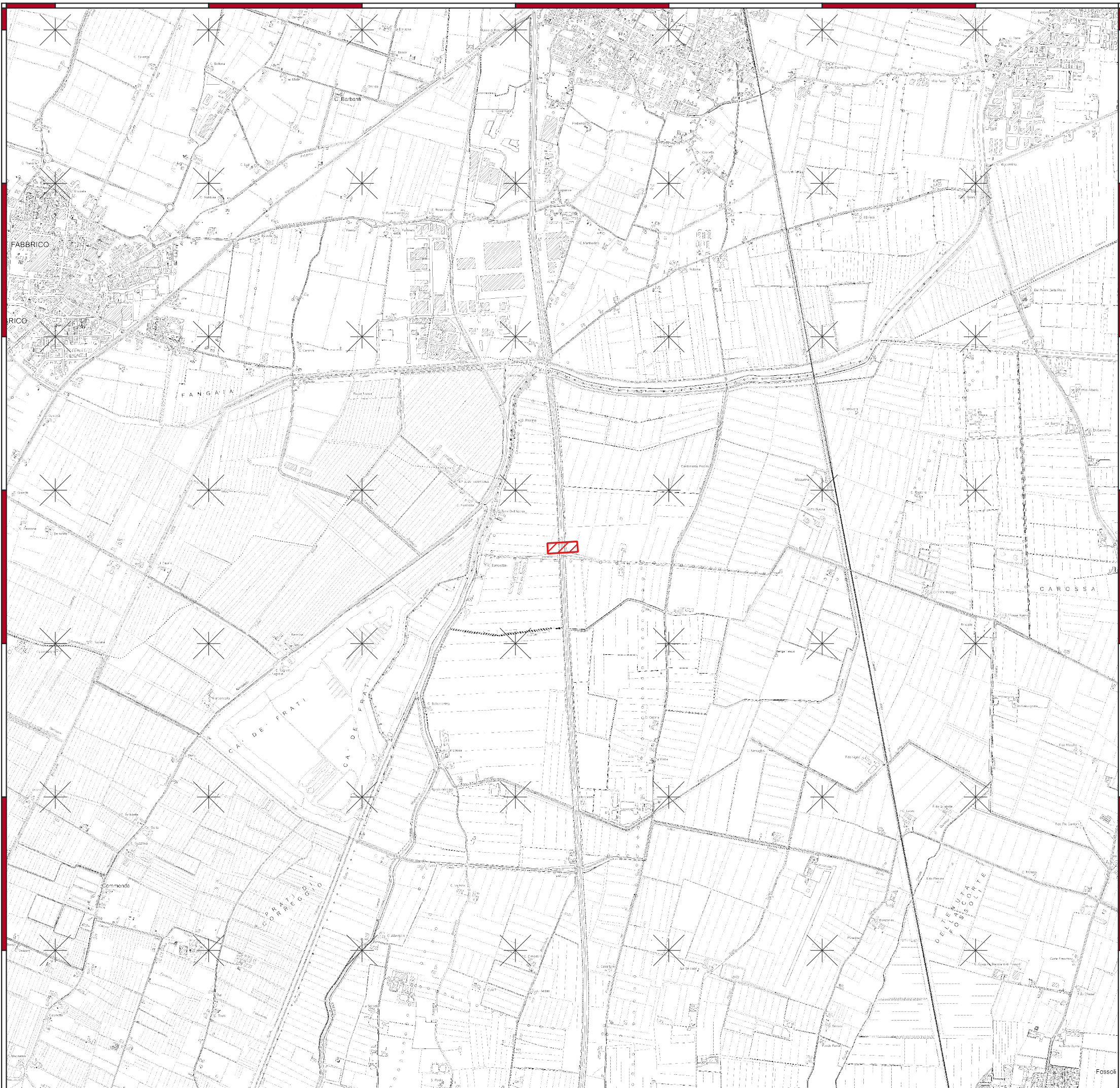
Low : 0

SCALA DELLA CARTA

1:25000

0 500 1.000 m

Indice Spaziale
Ellissoide: EPSG:7019
Sistema di Riferimento: ETRS89 / UTM zone 32N - EPSG:25832



643000.000 644000.000 645000.000 646000.000 647000.000 648000.000 649000.000


CARTOGRAFIA GEOLOGICO TECNICA

Lavoro: Caratterizzazione Geologica e Geotecnica
Comune: Carpi (MO) Committente: Atlas Solar
Località: Autostrada A22 Data: Novembre 2025

Tavola 2
Carta Topografica

Legenda

SETTORE DI STUDIO

 Area Interesse

CARTOGRAFIA

DBTR_CtrMultiscala

High : 255
Low : 0

SCALA DELLA CARTA

1:5000

0 2550 m

Indice Spaziale
Ellissoide: EPSG:7019
Sistema di Riferimento: ETRS89 / UTM zone 32N - EPSG:25832




CARTOGRAFIA GEOLOGICO TECNICA

Lavoro: Caratterizzazione Geologica e Geotecnica
Comune: Carpi (MO) Committente: Atlas Solar
Località: Autostrada A22 Data: Novembre 2025

Tavola 3
Ortofoto Satellitare

Legenda

SETTORE DI STUDIO

 Area Interesse

CARTOGRAFIA

DBTR_CtrMultiscala

High : 255

Low : 0

SATELLITE

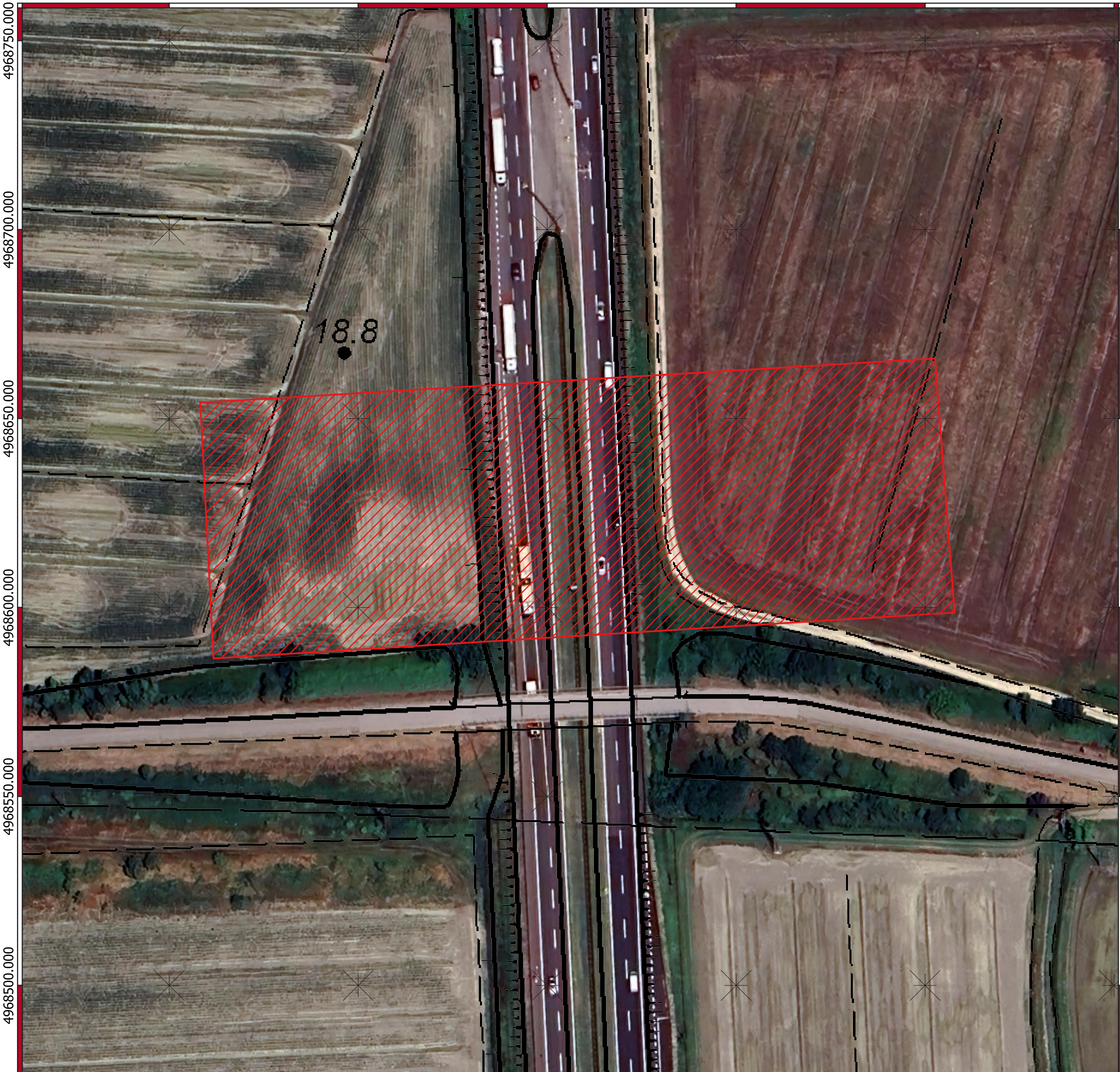
Google Satellite

SCALA DELLA CARTA

1:1000

0 25 50 m

Indice Spaziale
Ellissoide: EPSG:7019
Sistema di Riferimento: ETRS89 / UTM zone 32N - EPSG:25832



4968750.000
4968700.000
4968650.000
4968600.000
4968550.000
4968500.000

646200.000 646250.000 646300.000 646350.000 646400.000 646450.000

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche e geofisiche – geologia applicata alle costruzioni – laboratorio geotecnico - idrogeologia
– coltivazione cave– bonifiche – consolidamenti – geologia ambientale – consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

Prove penetrometriche statiche CPT corredate di interpretazione geotecnica

Settle3D Analysis Information

Analisi Cedimento ABrennero

Project Settings

Document Name: Analisi Geotecnica
 Project Title: Analisi Cedimento ABrennero
 Date Created: 17/11/2025, 15:11:25
 Stress Computation Method: Boussinesq
 Time-dependent Consolidation Analysis
 Time Units: years
 Permeability Units: meters/year
 Calculate settlement with mean stress
 Use settlement cutoff, load/insitu vertical stress ratio: 0.1
 Groundwater method: Water Table
 Water Unit Weight: 9.81 kN/m³

Stage Settings

Stage #	Name	Time [years]	Depth to G.W. Table [m]
1	Costruzione 1	1	5
2	Attuale	30	5
3	Costruzione 2	31	8
4	Futuro	31.6	5

Results

Time taken to compute: 0.465701 seconds

Stage: Costruzione 1 = 1 y

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.602139
Consolidation Settlement [m]	0	0.602139
Immediate Settlement [m]	0	0
Secondary Settlement [m]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	53.9914
Effective Stress [kPa]	-0	219.031
Mean Stress [kPa]	-9.5704e-006	43.2
Total Stress [kPa]	0	373.55
Total Strain	-0	0.0890858
Pore Water Pressure [kPa]	0	154.519
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	35.2423
Degree of Consolidation [%]	0	69.4027
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.09	218.994
Over-consolidation Ratio	1	1.01173
Void Ratio	0	0

Permeability [m/y]	0.0020601	0.0161865
Coefficient of Consolidation [m ² /y]	1	1
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: Attuale = 30 y

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.743724
Consolidation Settlement [m]	0	0.743724
Immediate Settlement [m]	0	0
Secondary Settlement [m]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	53.9914
Effective Stress [kPa]	-0	217.066
Mean Stress [kPa]	-9.5704e-006	43.2
Total Stress [kPa]	0	373.55
Total Strain	-0	0.0890858
Pore Water Pressure [kPa]	0	156.484
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	17.1822
Degree of Consolidation [%]	0	85.7219
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.09	218.994
Over-consolidation Ratio	1	1.00904
Void Ratio	0	0
Permeability [m/y]	0.0020601	0.0161865
Coefficient of Consolidation [m ² /y]	1	1
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	4.2946	99.7268

Stage: Costruzione 2 = 31 y

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.793309
Consolidation Settlement [m]	0	0.793309
Immediate Settlement [m]	0	0
Secondary Settlement [m]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	53.9914
Effective Stress [kPa]	-0	217.126
Mean Stress [kPa]	-9.5704e-006	43.2
Total Stress [kPa]	0	373.55
Total Strain	-0	0.0890858
Pore Water Pressure [kPa]	0	156.424
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	46.5519
Degree of Consolidation [%]	0	68.9436
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.09	218.994
Over-consolidation Ratio	1	1.00876
Void Ratio	0	0
Permeability [m/y]	0.0020601	0.0161865
Coefficient of Consolidation [m ² /y]	1	1
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: Futuro = 31.6 y

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.801737
Consolidation Settlement [m]	0	0.801737
Immediate Settlement [m]	0	0
Secondary Settlement [m]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	53.9914
Effective Stress [kPa]	-0	217.163
Mean Stress [kPa]	-9.5704e-006	43.2
Total Stress [kPa]	0	373.55
Total Strain	-0	0.0890858
Pore Water Pressure [kPa]	0	156.386
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-29.43	17.0845
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.09	218.994
Over-consolidation Ratio	1	1.00858
Void Ratio	0	0
Permeability [m/y]	0.0020601	0.0161865
Coefficient of Consolidation [m ² /y]	1	1
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	63.6009	100

Embankments

1. Embankment

Center Line: (-0.777, 29728.8) to (49.302, 29728.8)

Number of Layers: 1

Near End Angle: 90 degrees

Far End Angle: 90 degrees

Base Width: 50

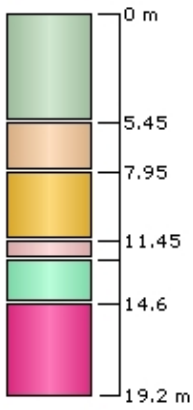
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Costruzione 1 = 1 y	0	45	3	18	45	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]	Drained at Bottom
1	STRATO 2	5.45	0	No
2	STRATO 3	2.5	5.45	No
3	STRATO 4	3.5	7.95	No
4	STRATO 5	0.95	11.45	No
5	STRATO 6	2.2	12.4	No
6	STRATO 7	4.6	14.6	No

Ground Surface Drained: Yes





Soil Properties

Property	STRATO 2	STRATO 3	STRATO 4	STRATO 5	STRATO 6	STRATO 7
Color						
Unit Weight [kN/m ³]	18	18	18	18	18	18
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18	18	18	18	18	18
Poisson's Ratio	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Primary Consolidation	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Material Type	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
mv [m ² /kN]	0.00165	0.00112	0.00027	0.00147	0.00021	0.00115
mvur [m ² /kN]	0.00165	0.00112	0.00027	0.00147	0.00021	0.00115
Cv [m ² /y]	1	1	1	1	1	1
B-bar	1	1	1	1	1	1

Field Point Grid

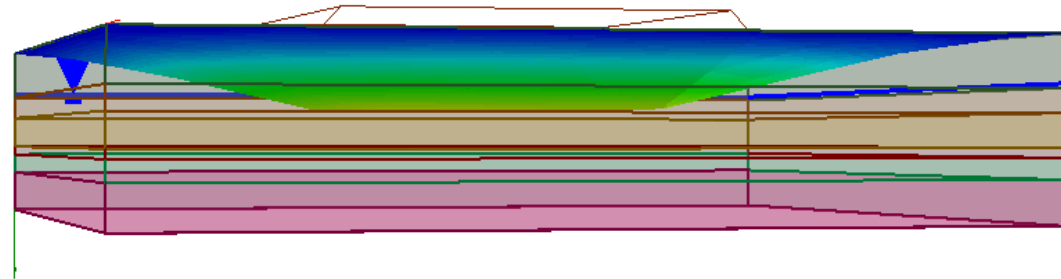
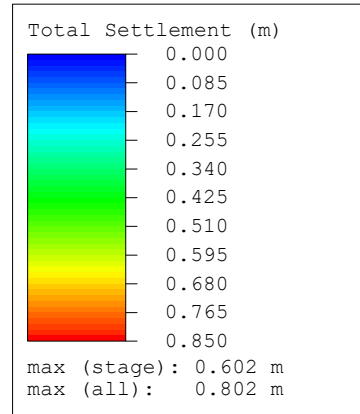
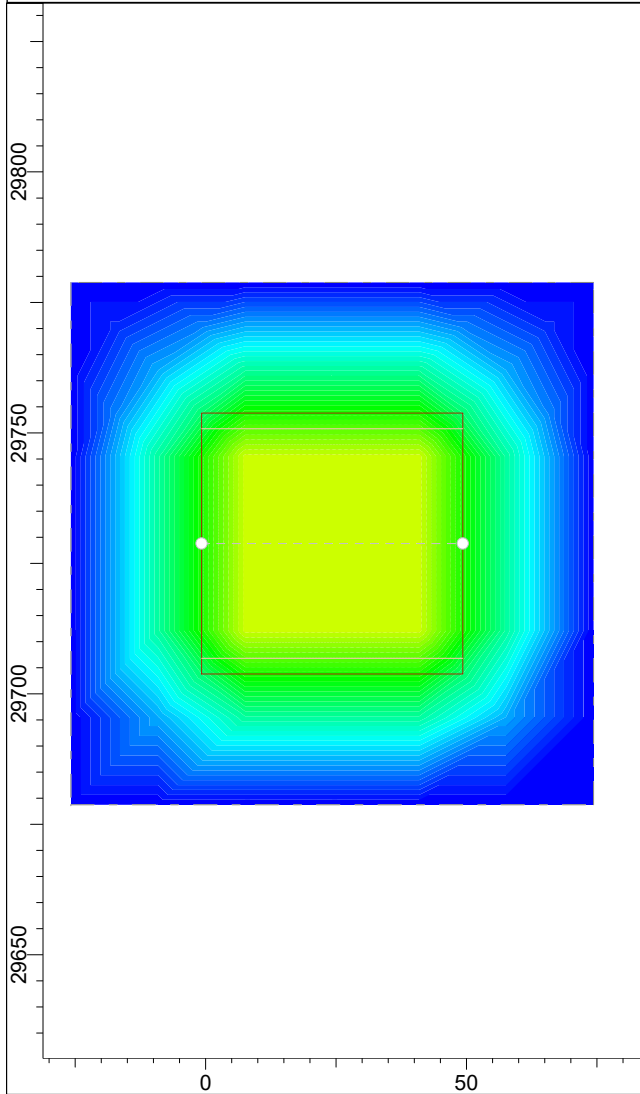
Number of points: 16
Expansion Factor: 2

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
74.3415	29778.8
74.3415	29678.7
-25.8165	29678.7
-25.8165	29778.8

Costruzione 1 = 1 y

Data Type: Total Settlement

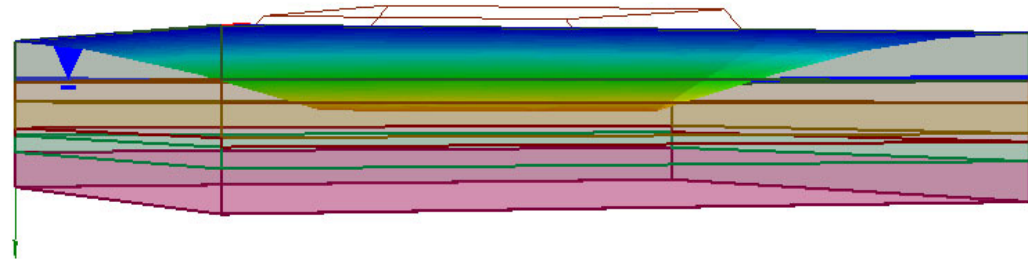
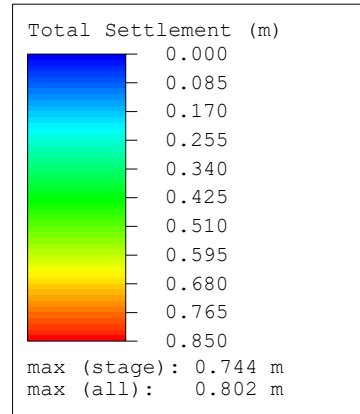
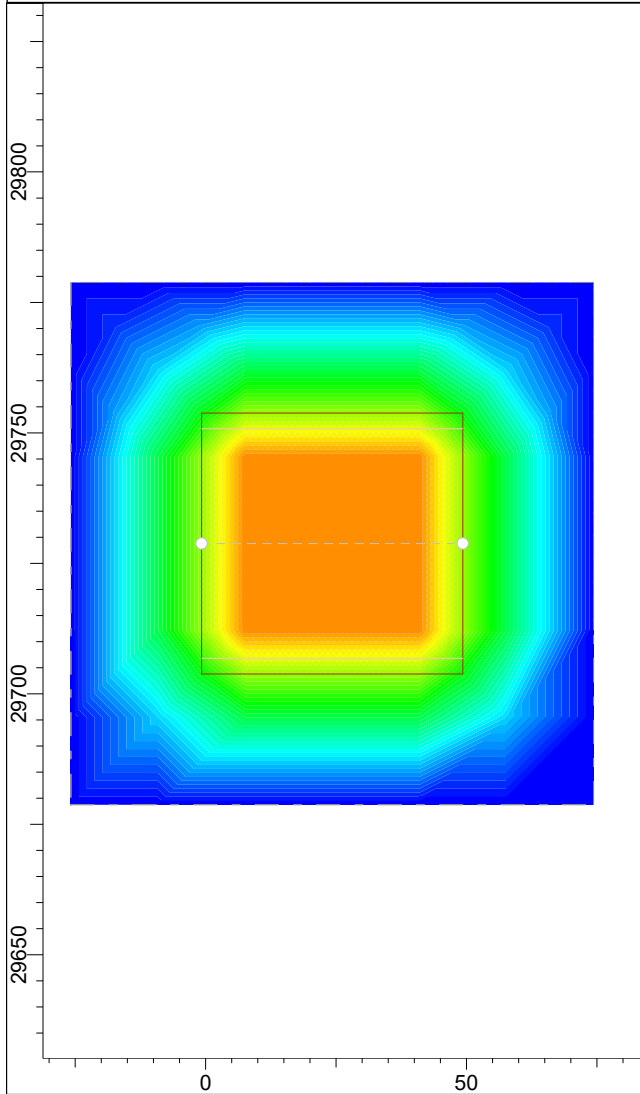


SETTLE3D 2.003

Project	Analisi Cedimento ABrennero	
Analysis Description		
Drawn By		Company
Date	17/11/2025, 15:11:25	File Name
		Analisi Geotecnica.s3z

Attuale = 30 y

Data Type: Total Settlement

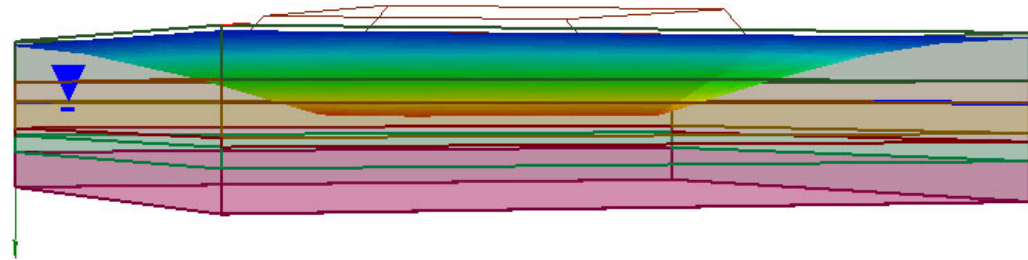
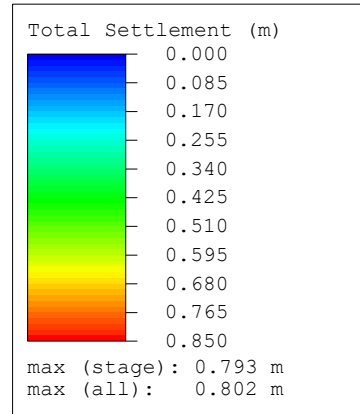
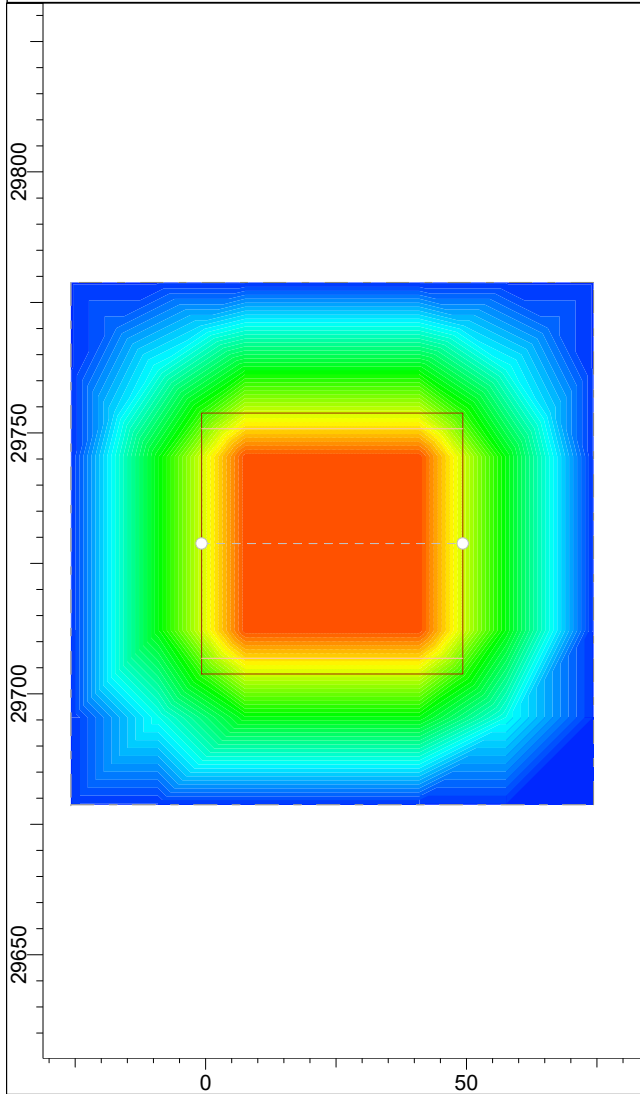


SETTLE3D 2.003

Project	Analisi Cedimento ABrennero		
Analysis Description			
Drawn By		Company	
Date	17/11/2025, 15:11:25	File Name	Analisi Geotecnica.s3z

Costruzione 2 = 31 y

Data Type: Total Settlement

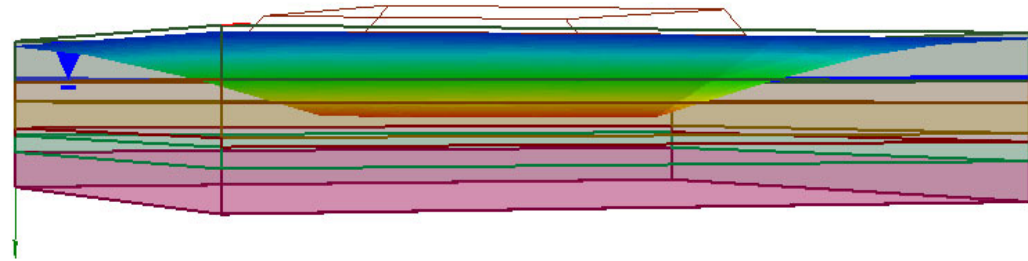
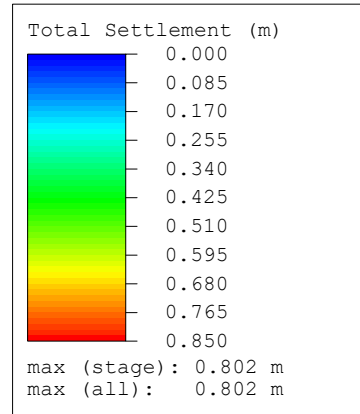
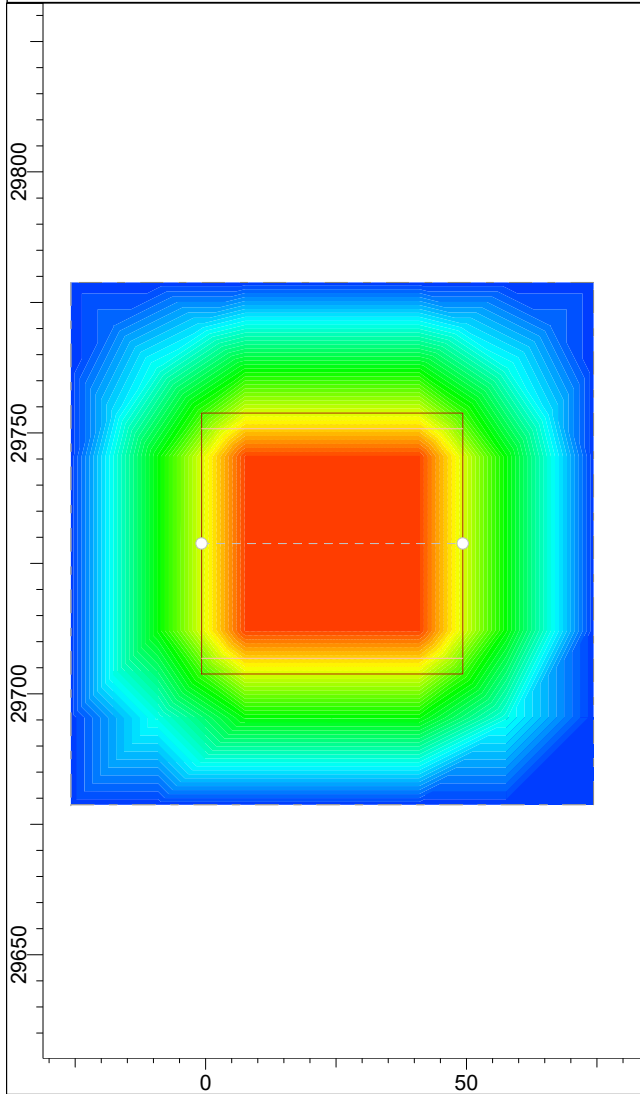


SETTLE3D 2.003

<i>Project</i>		Analisi Cedimento ABrennero	
<i>Analysis Description</i>			
<i>Drawn By</i>		<i>Company</i>	
<i>Date</i>		<i>File Name</i>	
17/11/2025, 15:11:25		Analisi Geotecnica.s3z	

Futuro = 31.6 y

Data Type: Total Settlement



SETTLE3D 2.003

<i>Project</i>	Analisi Cedimento ABrennero	
<i>Analysis Description</i>		
<i>Drawn By</i>		<i>Company</i>
<i>Date</i>	17/11/2025, 15:11:25	<i>File Name</i> Analisi Geotecnica.s3z