

IPOTESI DI SOPRAELEVAZIONE DELLA DISCARICA CONTROLLATA PER
RIFIUTI NON PERICOLOSI SITA IN LOCALITÀ SCALA ERRE
COMUNE DI SASSARI

ANALISI DI STABILITÀ

aprile 2024

INDICE

1	Premessa	11
2	Origine dei dati	11
3	Ubicazione e geometria della discarica	11
4	Sviluppo dell'analisi e presentazione dei risultati	15
5	Caratteristiche geotecniche dei rifiuti	15
6	Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione	18
7	Modelli di calcolo	20
8	Verifiche della stabilità	24
8.1	Premessa	24
8.2	Condizioni statiche	26
8.3	Condizioni sismiche	30
9	Analisi di sensitività	34
10	Conclusioni	36
ANNESSO A - RISULTATI DELL'ANALISI DI STABILITÀ		37
A.1.	Parametri geotecnici dei materiali	38
A.2.	Sezione x2_sx	41
A.3.	Sezione x2_dx	50
A.4.	Sezione x3_sx	59
A.5.	Sezione x3_dx	68
A.6.	Sezione x4_sx	77
A.7.	Sezione x4_dx	86
A.8.	Sezione y2_sx	95
A.9.	Sezione y2_dx	104

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Inquadramento territoriale	12
--	----

Figura 2. Planimetria stato attuale.....	12
Figura 3. Planimetria di progetto Ipotesi I1	13
Figura 4. Planimetria di progetto Ipotesi I2	14
Figura 5. Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (Sanchez-Alciturri et al., 1993)	16
Figura 6. Dipendenza dei parametri di resistenza a taglio dalla deformazione - Kockel 1995	17
Figura 7. Campi di variazione dei parametri di resistenza a taglio	17
Figura 8. Modello di calcolo X2_sx. Stato attuale	21
Figura 9. Modello di calcolo X2_sx. Stato di progetto I1.....	21
Figura 10. Modello di calcolo X2_sx. Stato di progetto I2.....	22
Figura 11. Deformazioni angolari nella condizione di collasso.....	28
Figura 12. Condizione di progetto I1. Deformazioni angolari nella condizione di collasso	28
Figura 13. Condizione di progetto I2. Deformazioni angolari nella condizione di collasso	29
Figura 14. Condizione attuale. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite del danno SLD	31
Figura 15. Condizione attuale. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite di salvaguardia della vita SLV	32
Figura 16. Condizione di progetto I1. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite del danno SLD	32
Figura 17. Condizione di progetto I1. Spostamenti in direzione x e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite di salvaguardia della vita SLV	32
Figura 18. Condizione di progetto I2. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite del danno SLD	33
Figura 19. Condizione di progetto I2. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite di salvaguardia della vita SLV	33
Figura 20. Analisi di sensitività	35
Figura 21. Leggenda dei materiali utilizzati nel modello di calcolo.....	38
Figura 22. Proprietà meccaniche del materiale: argilla.....	38
Figura 23. Proprietà meccaniche del materiale: ghiaia fine.....	38
Figura 24. Proprietà meccaniche del materiale: rifiuto	39
Figura 25. Proprietà meccaniche del materiale: sovrallito	39
Figura 26. Proprietà meccaniche del materiale: rilevati	40
Figura 27. Modello X2_sx. Geometria nelle condizioni attuali.....	41

Figura 28. Modello X2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1.....	41
Figura 29. Modello X2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2.....	42
Figura 30. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)	42
Figura 31. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	43
Figura 32. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	43
Figura 33. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	44
Figura 34. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali).....	44
Figura 35. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	45
Figura 36. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1) .	45
Figura 37. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	46
Figura 38. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2) .	46
Figura 39. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	47
Figura 40. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)	47
Figura 41. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	48
Figura 42. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1) .	48
Figura 43. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	49
Figura 44. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2) .	49
Figura 45. Modello X2_dx. Geometria nelle condizioni attuali	50
Figura 46. Modello X2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1	50
Figura 47. Modello X2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2	50
Figura 48. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)	51

Figura 49. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	51
Figura 50. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	52
Figura 51. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	52
Figura 52. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	53
Figura 53. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	53
Figura 54. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1). 54	
Figura 55. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	54
Figura 56. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2). 55	
Figura 57. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	55
Figura 58. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali).....	56
Figura 59. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	56
Figura 60. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1). 57	
Figura 61. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	57
Figura 62. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2). 58	
Figura 63. Modello X3_sx. Geometria nelle condizioni attuali.....	59
Figura 64. Modello X3_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1.....	59
Figura 65. Modello X3_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2	60
Figura 66. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)	60
Figura 67. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	61
Figura 68. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	61
Figura 69. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	62
Figura 70. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	62

Figura 71. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	63
Figura 72. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1) .	63
Figura 73. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	64
Figura 74. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2) .	64
Figura 75. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	65
Figura 76. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)	65
Figura 77. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	66
Figura 78. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1) .	66
Figura 79. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	67
Figura 80. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2) .	67
Figura 81. Modello X3_dx. Geometria nelle condizioni attuali	68
Figura 82. Modello X3_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1	68
Figura 83. Modello X3_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2	68
Figura 84. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)	69
Figura 85. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	69
Figura 86. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	70
Figura 87. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	70
Figura 88. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	71
Figura 89. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	71
Figura 90. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1).	72
Figura 91. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	72

Figura 92. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2).	73
Figura 93. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	73
Figura 94. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali).....	74
Figura 95. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	74
Figura 96. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1).	75
Figura 97. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	75
Figura 98. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2).	76
Figura 99. Modello X4_sx. Geometria nelle condizioni attuali.....	77
Figura 100. Modello X4_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1	77
Figura 101. Modello X4_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2	78
Figura 102. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)	78
Figura 103. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	79
Figura 104. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	79
Figura 105. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	80
Figura 106. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	80
Figura 107. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	81
Figura 108. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)	81
Figura 109. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	82
Figura 110. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)	82
Figura 111. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	83
Figura 112. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)	83
Figura 113. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	84
Figura 114. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)	84

Figura 115. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	85
Figura 116. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)	85
Figura 117. Modello X4_dx. Geometria nelle condizioni attuali	86
Figura 118. Modello X4_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1	86
Figura 119. Modello X4_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2	86
Figura 120. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni attuali)	87
Figura 121. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	87
Figura 122. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	88
Figura 123. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	88
Figura 124. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	89
Figura 125. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	89
Figura 126. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)	90
Figura 127. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	90
Figura 128. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)	91
Figura 129. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	91
Figura 130. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali).....	92
Figura 131. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	92
Figura 132. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)	93
Figura 133. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	93
Figura 134. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)	94

Figura 135. Modello Y2_sx. Geometria nelle condizioni attuali	95
Figura 136. Modello Y2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1	95
Figura 137. Modello Y2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2	95
Figura 138. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)	96
Figura 139. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	96
Figura 140. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	97
Figura 141. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	97
Figura 142. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	98
Figura 143. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	98
Figura 144. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1).....	99
Figura 145. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	99
Figura 146. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)	100
Figura 147. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	100
Figura 148. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)	101
Figura 149. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	101
Figura 150. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)	102
Figura 151. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	102
Figura 152. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)	103
Figura 153. Modello Y2_dx. Geometria nelle condizioni attuali	104
Figura 154. Modello Y2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1.....	104
Figura 155. Modello Y2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2.....	104

Figura 156. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni attuali)	105
Figura 157. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1).....	105
Figura 158. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2).....	106
Figura 159. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)	106
Figura 160. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)	107
Figura 161. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1).....	107
Figura 162. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)	108
Figura 163. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2).....	108
Figura 164. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)	109
Figura 165. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)	109
Figura 166. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali).....	110
Figura 167. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1).....	110
Figura 168. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)	111
Figura 169. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2).....	111
Figura 170. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)	112

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Parametri di resistenza dei rifiuti pubblicati in letteratura (adattata da Jones et al., 1997)	15
---	----

Tabella 2. Parametri meccanici dei livelli stratigrafici	19
Tabella 3. Caratteristiche dimensionali dei modelli di calcolo utilizzati per le analisi	20
Tabella 4. Valori dei parametri geotecnici dei materiali costituenti i modelli.....	22
Tabella 5. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab 6.2.I NTC 2018)	24
Tabella 6. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC 2018)	24
Tabella 7. Parametri sismici utilizzati nelle simulazioni.....	26
Tabella 8. Risultati della verifica di stabilità in condizione statiche.....	27
Tabella 9. Sintesi dei risultati dell'analisi pseudostatica – Stato attuale – Stato limite del danno SLD e della salvaguardia della vita SLV	30
Tabella 10. Sintesi dei risultati dell'analisi pseudostatica – Stato di progetto I1 – Stato limite del danno SLD e della salvaguardia della vita SLV	30
Tabella 11. Sintesi dei risultati dell'analisi pseudostatica – Stato di progetto I2 – Stato limite del danno SLD e della salvaguardia della vita SLV.....	31
Tabella 12. Valori del coefficiente di sicurezza in corrispondenza degli estremi del range di variabilità dei parametri	34

1 PREMESSA

Nel marzo 2024, lo scrivente Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse con sede a Roma è stato incaricato dalla società SECIT di valutare le condizioni di stabilità della discarica per rifiuti non pericolosi ubicata in località Scala Erre, nel comune di Sassari, nelle due ipotesi di sopraelevazione di 1.5 metri (Ipotesi 1) e 4.5 metri (Ipotesi 2) rispetto alla quota di marzo 2024.

La presente relazione illustra il modello geotecnico di riferimento per il calcolo, le verifiche di stabilità e i risultati ottenuti.

2 ORIGINE DEI DATI

Le informazioni circa la geometria e i materiali impiegati nella costruzione della discarica (argini, barriera di fondo, sistema di drenaggio del percolato etc.), la disposizione dei rifiuti e il loro peso specifico, la quota piezometrica del percolato sono stati forniti dall'Azienda.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e le informazioni circa la falda sono state estratte dalla Relazione Geotecnica del *Progetto di fattibilità tecnico-economica per la realizzazione del modulo 10 della discarica controllata per rifiuti non pericolosi sita in località Scala Erre - Comune di Sassari*.

3 UBICAZIONE E GEOMETRIA DELLA DISCARICA

La discarica di Scala Erre è ubicata nel Comune di Sassari, a circa 10 km a sud ovest dell'area industriale di Porto Torres (Figura 1).

La discarica ha forma rettangolare di lati 300x450m e spessore dei rifiuti variabile da 10 a 22 m (quota della superficie sommitale compresa fra circa 57.5 m slm lungo il bordo ovest e circa 56.0 m slm lungo il bordo est) (Figura 2); la sua area di base è di circa 156'000 m². La discarica è stata coltivata secondo 9 lotti dagli anni '90 fino ad oggi.

L'ipotesi di sopraelevazione di circa 1.5 m (Ipotesi I1) interessa la superficie di 55'000 m² delle aree da A2 a A5 (Figura 2) e determina un incremento della capacità di accumulo di circa 70'000 m³. La Figura 3 rappresenta la planimetria dello stato di fine sopraelevazione nell'Ipotesi I1.

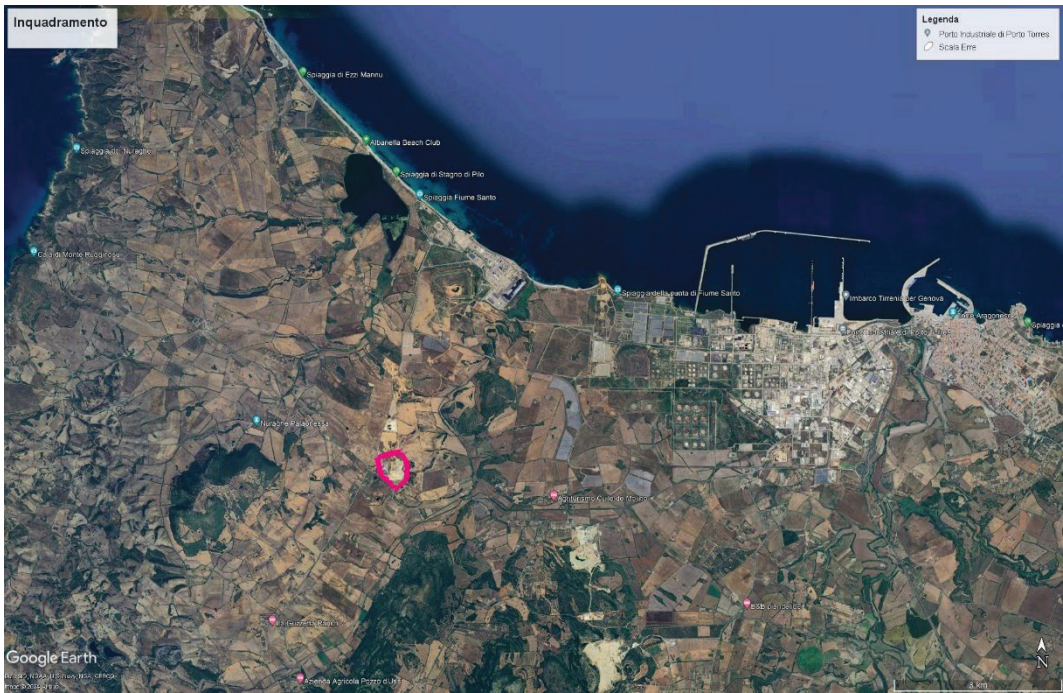


Figura 1. Inquadramento territoriale

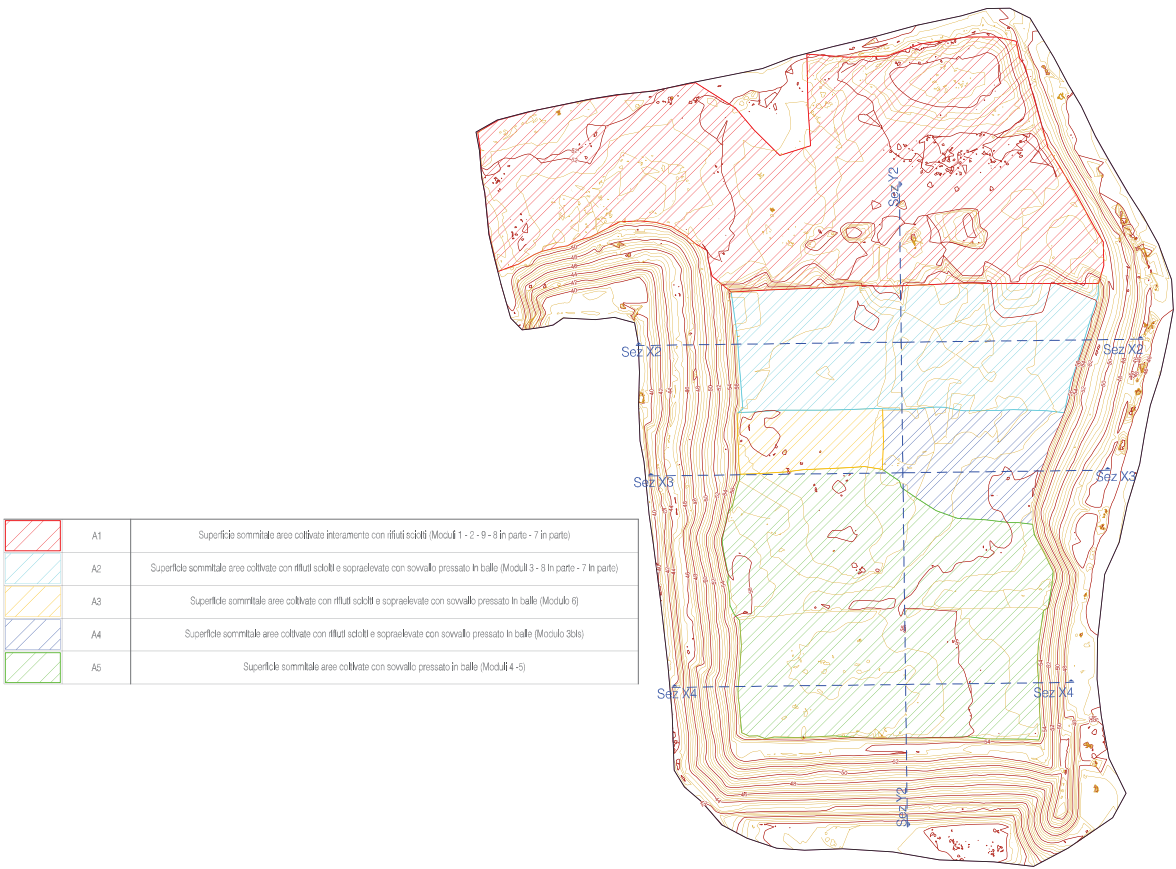


Figura 2. Planimetria stato attuale

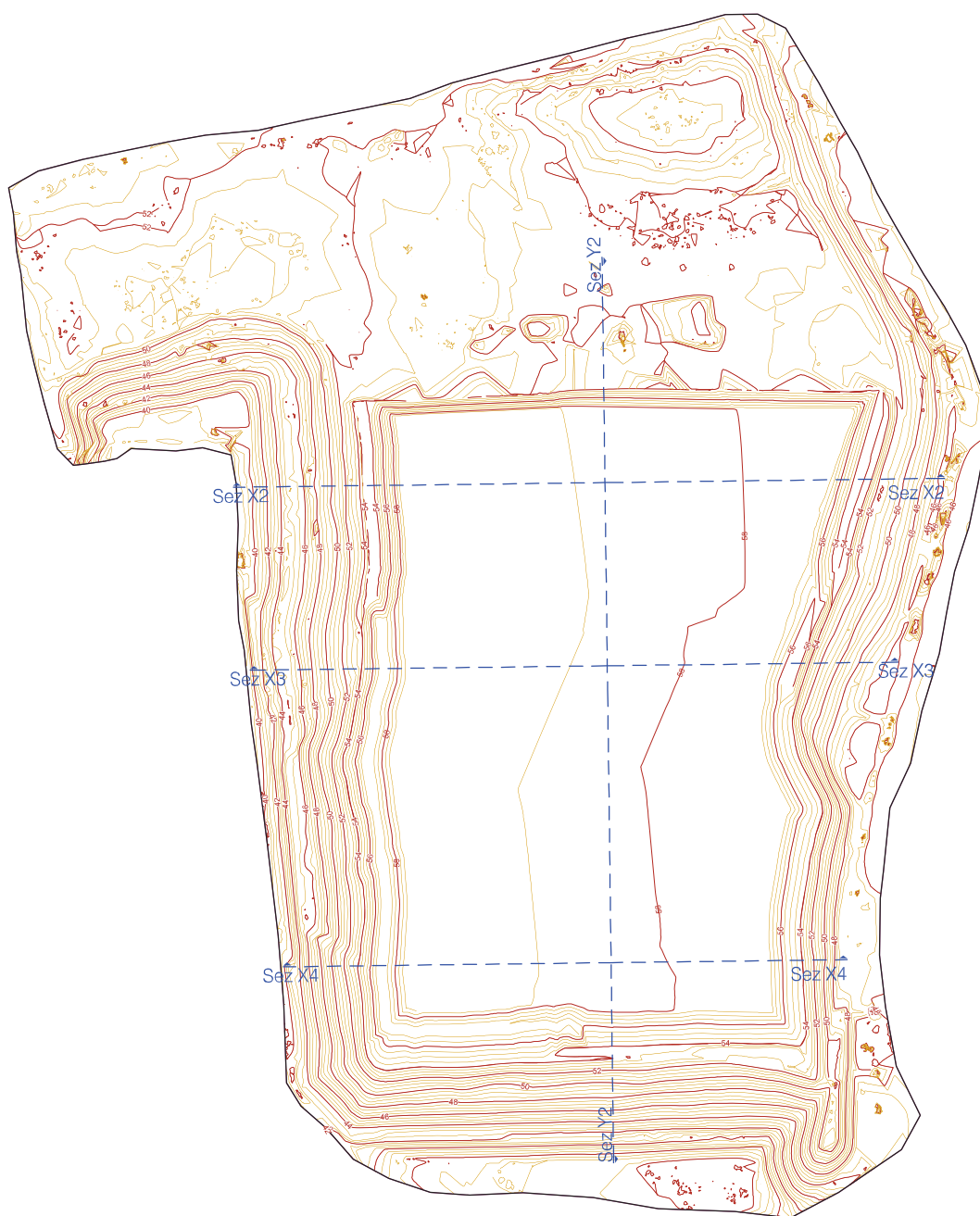


Figura 3. Planimetria di progetto Ipotesi I1

L'ipotesi di sopraelevazione di 4.5 m (Ipotesi I2) interessa ancora la stessa superficie di 55'000 m² delle aree da A2 a A5 (Figura 2) e determina un incremento di capacità di accumulo di 189'000 m³ (70'000+119'000). La Figura 4 rappresenta la planimetria dello stato di fine sopraelevazione.

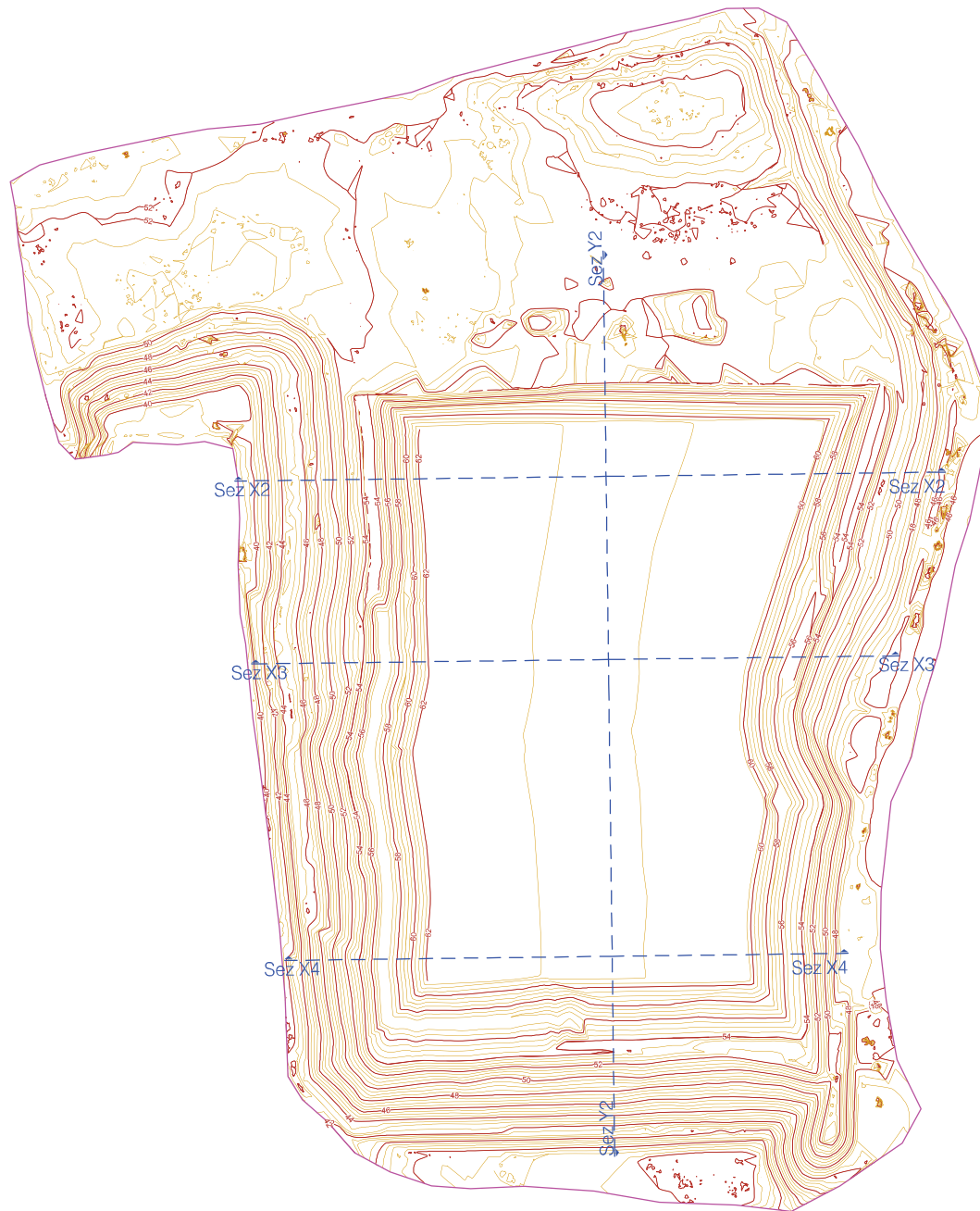


Figura 4. Planimetria di progetto Ipotesi I2

4 SVILUPPO DELL’ANALISI E PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Le analisi di stabilità sono state effettuate su modelli bidimensionali ad elementi finiti costruiti con il software Plaxis 2D. A questo fine, dalla geometria tridimensionale del corpo della discarica sono state ricavate 4 sezioni verticali di cui 3 trasversali (in direzione E-W) e 1 longitudinale (in direzione N-S). Per ognuna di esse sono stati costruiti 2 modelli di calcolo, uno per ciascuno dei due versanti della sezione (chiamati sx e dx).

Per ogni sezione sono state analizzate le configurazioni geometriche:

- Configurazione attuale;
- Configurazione di Ipotesi I1 (+1.5 m di sopraelevazione);
- Configurazione di Ipotesi I2 (+4.5 m di sopraelevazione);

e le condizioni:

- Statica,
- Sismica, allo stato limite del danno e della salvaguardia della vita.

Nel corpo della relazione vengono riportati per esteso l’analisi e i risultati riferiti alla Sezione di calcolo x4_sx, caratterizzata dal coefficiente di sicurezza più basso; in Annesso A sono riportati i risultati relativi a tutte le sezioni; in allegato sono riportati i dettagli della geometria e del calcolo di tutte le sezioni.

5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI RIFIUTI

La resistenza a taglio dei rifiuti urbani è molto variabile in ragione della loro merceologia, età, profondità nella discarica, contenuto di frazione biodegradabile etc.. Essa è descritta correntemente mediante il criterio di Mohr Coulomb che utilizza i parametri di resistenza Coesione C (Pa) e angolo di attrito ϕ (°). A titolo indicativo, la Tabella 4.3 riporta alcuni valori pubblicati in letteratura di resistenza a taglio dei rifiuti.

Tabella 1. Parametri di resistenza dei rifiuti pubblicati in letteratura (adattata da Jones et al., 1997)

Fonte	Parametri di resistenza a taglio		Note
	c' (kPa)	ϕ' (°)	
Jessberger (1994)	7	38	Ripreso da Gay et al. (1978)
Jessberger (1994)	10	15	Da back analysis
Jessberger (1994)	10	17	Da back analysis
Jessberger (1994)	0	30	Da osservazioni in sito
Jessberger (1994)	0	40	Da osservazioni in sito

Jessberger (1994)	7	42	Da prove di taglio semplice
Jessberger (1994)	28	26.5	Da prove di taglio semplice
Fassett et al. (1994)	10	23	Valori suggeriti dagli autori
Kolsh (1995)	15	15	Valori suggeriti dagli autori
Kolsh (1995)	18	22	Valori suggeriti dagli autori
Cowland et al. (1993)	10	25	Da back analysis
Del Greco e Oggeri (1993)	15.7	21	Da prove di taglio diretto
Del Greco e Oggeri (1993)	23.5	22	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	19	42	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	16	38	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	16	33	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	23	24	Da prove di taglio diretto
Landva e Clark (1986)	10	33.6	Da prove di taglio diretto
Golder Associates (1993)	0	41	Da prove di taglio diretto

Alcuni Autori raccomandano di assumere i valori di progetto dei parametri C e ϕ negli intervalli di variazione indicati in Figura 5 - diagramma a destra.

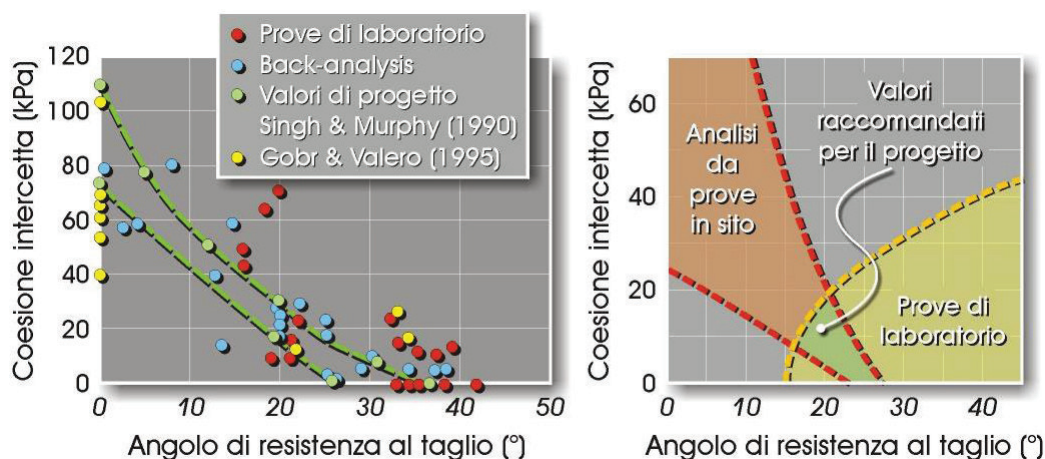


Figura 5. Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (Sanchez-Alciturri et al., 1993)

Oltre che della loro variabilità, la scelta dei parametri deve considerare che la rottura di una discarica, intesa come compromissione della sua funzionalità, avviene per eccesso di deformazione, prima che per un vero e proprio collasso del sistema. Infatti, tipicamente, i rifiuti urbani sottoposti a stati tensionali crescenti si deformano notevolmente (40 – 60%), manifestando resistenza a taglio crescente con la deformazione (Figura 6). Per questo motivo, ai fini della progettazione, il valore di resistenza a taglio viene identificato in corrispondenza delle deformazioni tangenziali limite che garantiscono ancora la funzionalità del sistema (Grisolia et al., 1995).

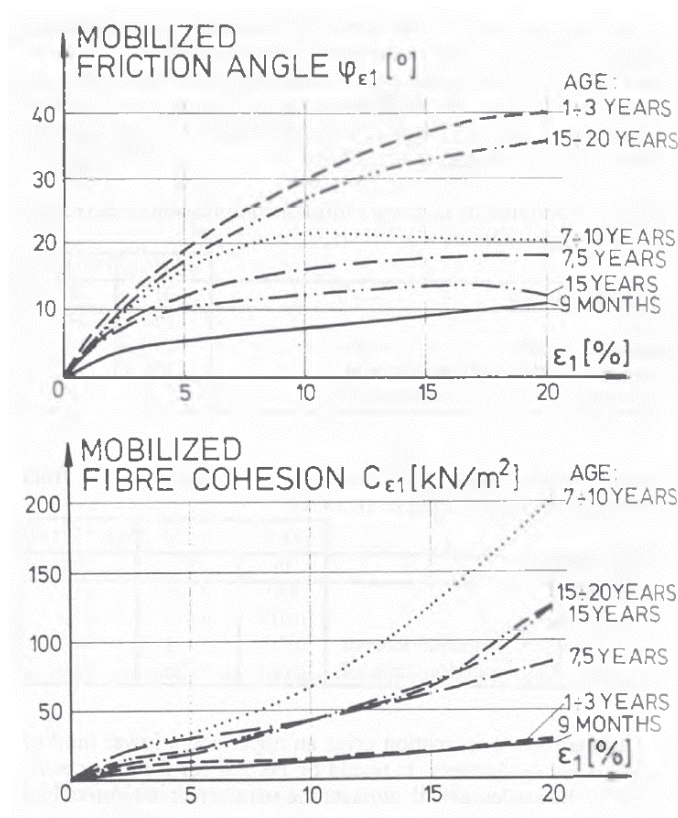


Figura 6. Dipendenza dei parametri di resistenza a taglio dalla deformazione - Kockel 1995

Nella seguente Figura 7 sono riportati i diagrammi che esprimono la coesione e l'angolo di attrito dei rifiuti urbani in funzione della loro natura e per una deformazione del 10%, considerata ammissibile per il sistema discarica.

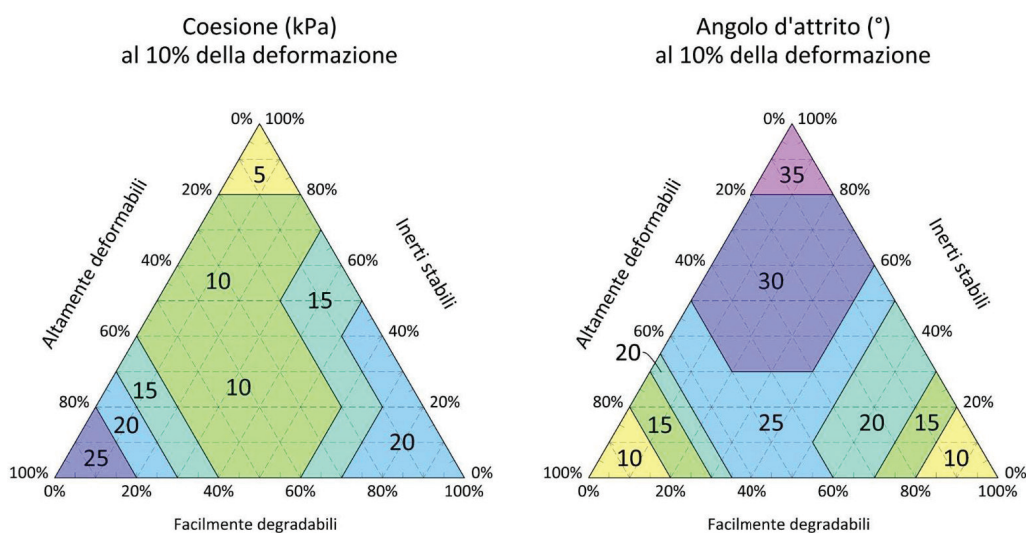


Figura 7. Campi di variazione dei parametri di resistenza a taglio

Nella discarica di Scala Erre sono presenti due tipologie di rifiuti:

- Secco indifferenziato smaltito in discarica dall'inizio della coltivazione fino all'anno XXXX;
- Sovvallo pressato in balle dall'anno XXXX fino ad oggi.

In riferimento al rifiuto secco indifferenziato, considerata l'età e l'avvenuto esaurimento dei cedimenti della discarica, è ragionevole ritenere che esso sia attualmente caratterizzato da un'alta percentuale di materiale inerte e stabile (frazione plastica) e dalla ridotta percentuale di residuo biodegradabile. Il sovallo pressato è invece costituito prevalentemente dalla frazione plastica.

Ai fini dell'identificazione dei parametri di resistenza, in considerazione della loro età, i rifiuti sono considerati di composizione:

- 20% - rifiuti degradabili
- 80% - inerti stabili.

e mediamente deformabili.

In riferimento a questo inquadramento, con l'ausilio della Figura 7 sono stati assunti, prudenzialmente, i seguenti valori dei parametri di resistenza:

- Coesione $C = 10 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\phi = 25^\circ$

6 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

La discarica è impostata sulle successioni sedimentarie mioceniche della Formazione di Fiume Santo costituite da argille arrossate, con livelli e lenti di conglomerati a ciottoli di basamento paleozoico, vulcaniti e calcari mesozoici tipiche dell'ambiente fluviale (TORTONIANO-MESSINIANO).

I depositi messiniani sono costituiti da alternanze di livelli di argille, pressoché pure e dello spessore di diversi metri, e livelli conglomeratici canalizzati.

Tale successione sedimentaria è stata riferita ad un ambiente di piana a canali intrecciati o di conoide alluvionale distale. La porzione più superficiale, costituita da conglomerati ad elementi sub-angolari di solo quarzo, con matrice sabbiosa e colore marrone chiaro, rappresenta una falda detritica più recente, probabilmente olocenica o pleistocenica.

La successione alluvionale è delimitata alla base dal substrato mesozoico, più precisamente dai termini triassici, probabilmente arenarie o calcari, o dal basamento metamorfico litoide del paleozoico.

La stratigrafia nell'area della discarica, sulla base di quanto riportato nella relazione geologica e nella relazione geotecnica allegate al "Progetto di fattibilità tecnico-economica per la realizzazione del modulo 10 della discarica controllata per rifiuti non pericolosi sita in località Scala Erre - Comune di Sassari", può essere così schematizzata:

- Livello di argilla limosa, con clasti di quarzo e ciottoli (per uno spessore di circa 18.5 m);

- Livello di ghiaia fine con ciottoli centimetrici (per uno spessore di circa 5 m);
- Livello di argilla sabbiosa-limosa (per uno spessore di circa 16.5m).

I parametri meccanici che caratterizzano i livelli stratigrafici sono stati desunti dalla Relazione geotecnica e sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Parametri meccanici dei livelli stratigrafici

ID	DESCRIZIONE	Modello costitutivo	Peso volume naturale [kN/m³]	Angolo attrito [°]	Coesione [kPa]	Modulo elastico E [MPa]	Coefficiente di Poisson [-]
1	ARGILLA	MC	18	32	5	46	0.3
2	GHIAIA FINE	MC	18	40	1	69	0.15

La formazione argillosa sulla quale insiste la discarica è intervallata da lenti conglomeratiche e ghiaiose subordinate che costituiscono livelli discontinui sia in senso verticale che laterale di terreno più permeabile che permettono la formazione di falde pensili, spesso a regime stagionale che, laddove collegate tra loro o da aquitard, creano un acquifero multifalda ed a grande scala sede di una falda a bassa permeabilità con sufficiente continuità sotto la discarica di Scala Erre. Lo spessore di questa idrostruttura varia da circa 20m ad oltre 70m ed è sede della prima falda superficiale.

In via cautelativa nei modelli di calcolo è stata introdotta la presenza della falda con livello piezometrico di circa 1.5 m inferiore al fondo della discarica.

7 MODELLI DI CALCOLO

Le analisi di stabilità sono state effettuate mediante il software di calcolo agli elementi finiti Plaxis 2D. Le 4 sezioni stratigrafiche rappresentative della geometria della discarica, sono state utilizzate per implementare 8 modelli di calcolo (due per ogni sezione, uno rappresentativo della parte sinistra della sezione ed una della parte destra). Ciascun modello è stato discretizzato con elementi finiti triangolare a 15 nodi di dimensioni variabili in funzione della posizione. In Tabella 3 sono indicate le caratteristiche geometriche dei modelli e della mesh di calcolo utilizzata.

Tabella 3. Caratteristiche dimensionali dei modelli di calcolo utilizzati per le analisi

Modello	min x [m]	max x [m]	min y [m]	max y [m]	n. elementi finiti	n. nodi	dimensione media elemento [m]	dimensione max elemento [m]	dimensione minima elemento [m]
x2_sx	0	250	0	62	3998	32245	2.43	10.12	0.13
x2_dx	175	425	0	60.6	3474	28133	2.49	12.84	0.26
x3_sx	-37	143	0	61.5	4757	38443	1.75	8.75	0.06
x3_dx	143	242	0	60.5	4308	34801	1.92	8.74	0.16
x4_sx	100	290	0	61.2	3257	26399	2.28	9.07	0.19
x4_dx	290	450	0	60.5	4780	38661	1.63	8.11	0.01

Al modello sono state applicate le condizioni al contorno seguenti, di tipo cinematico:

- spostamenti orizzontali e verticali nulli ($u_x = 0$ e $u_y = 0$) dei nodi del lato inferiore ($y = 0$ m);
- spostamenti orizzontali nulli ($u_y=0$) dei nodi dei lati verticali $x = x_{min}$ e per $x = x_{max}$ (boudaries laterali).

In Figura 8 viene riportato il modello di calcolo X4_sx nelle tre configurazioni previste: attuale, progetto I1 e progetto I2; tutti gli altri modelli vengono riportati per semplicità di lettura in Annesso A.

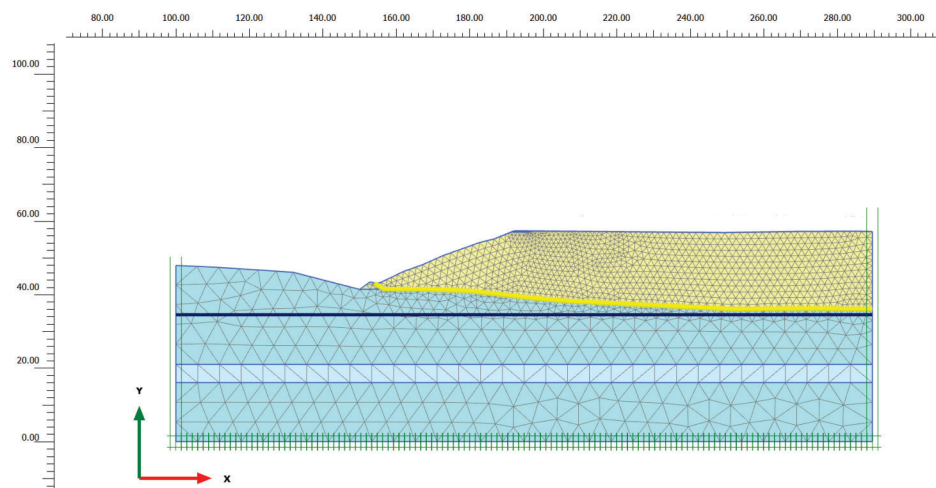


Figura 8. Modello di calcolo X2_sx. Stato attuale

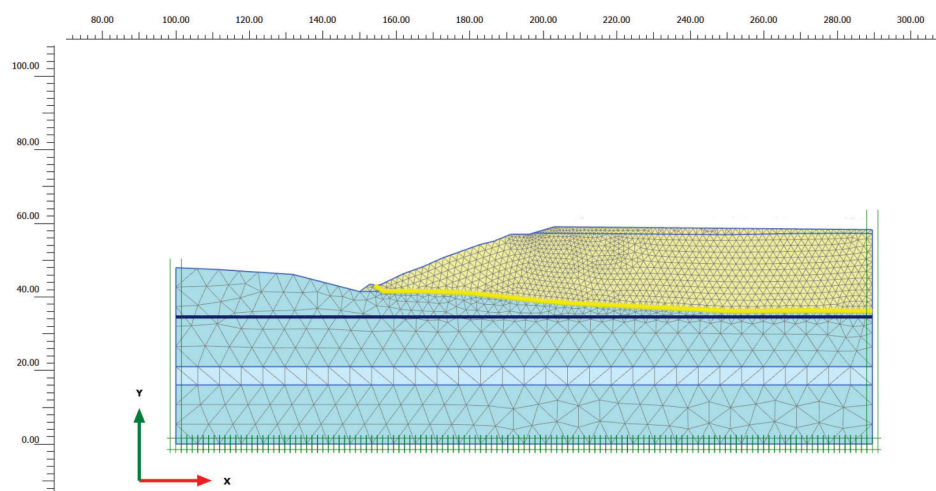


Figura 9. Modello di calcolo X2_sx. Stato di progetto I1

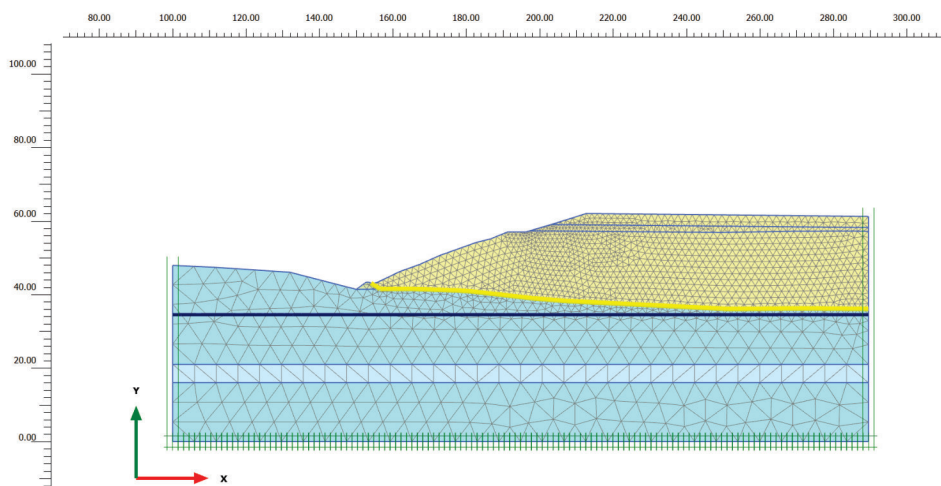


Figura 10. Modello di calcolo X2_sx. Stato di progetto I2

Il comportamento dei materiali costituenti il terreno di base della discarica, il corpo rifiuti tal quali ed il sovrallo sono stati modellati con legge costitutiva elasto-plastica con criterio di resistenza alla Mohr – Coulomb, descritta dai parametri modulo di Young E, coefficiente di Poisson ν , coesione drenata c' e angolo di attrito drenato φ' . La geomembrana è stata modellata attraverso un elemento lineare con comportamento elastico.

Considerata la presenza del sistema di drenaggio interno alla discarica il corpo dei rifiuti è stato considerato non saturo.

All'interno dei terreni di fondazione della discarica è stata considerata la presenza della falda acquifera confinata, la cui altezza piezometrica è stata considerata inferiore di 1.5 m del fondo della discarica.

Nella Tabella 4 sono riportati i valori dei parametri geotecnici dei materiali costituenti i modelli.

Tabella 4. Valori dei parametri geotecnici dei materiali costituenti i modelli

ID	DESCRIZIONE	Modello costitutivo	Peso volume naturale [kN/m³]	di Angolo attrito [°]	Coesione [kPa]	Modulo elastico E [MPa]	Coefficiente di Poisson [-]
1	ARGILLA	MC	18	32	5	46	0.3
2	GHIAIA FINE	MC	18	40	1	69	0.15
3	RIFIUTO TAL QUALE	MC	9.5	25	10	1	0.33
4	SOVVALLO	MC	9	25	10	1	0.33
5	ARGINI DISCARICA	MC	20	40	1	50	0.25

Per ciascun modello di calcolo sono state sviluppate le seguenti fasi:

1. Fase iniziale: condizioni di equilibrio nello stato attuale (gravity loading);

- 1.1. Calcolo del coefficiente di sicurezza dello stato attuale in condizioni statiche (safety);
- 1.2. Applicazione delle condizioni sismiche pseudostatiche riferite all'SLD;
- 1.3. Calcolo del coefficiente di sicurezza dello stato attuale in condizioni sismiche (SLD);
- 1.4. Applicazione delle condizioni sismiche pseudostatiche riferite all'SLV;
- 1.5. Calcolo del coefficiente di sicurezza dello stato attuale in condizioni sismiche (SLV);
2. Sviluppo della geometria nelle condizioni di progetto ipotesi 1 (I1);
 - 2.1. Calcolo del coefficiente di sicurezza della I1 in condizioni statiche (safety);
 - 2.2. Applicazione delle condizioni sismiche pseudostatiche riferite all'SLD alla I1;
 - 2.3. Calcolo del coefficiente di sicurezza della I1 in condizioni sismiche (SLD);
 - 2.4. Applicazione delle condizioni sismiche pseudostatiche riferite all'SLV alla I1;
 - 2.5. Calcolo del coefficiente di sicurezza della I1 in condizioni sismiche (SLV);
3. Sviluppo della geometria nelle condizioni di progetto ipotesi 2 (I2);
 - 3.1. Calcolo del coefficiente di sicurezza della I2 in condizioni statiche (safety);
 - 3.2. Applicazione delle condizioni sismiche pseudostatiche riferite all'SLD alla I2;
 - 3.3. Calcolo del coefficiente di sicurezza della I2 in condizioni sismiche (SLD);
 - 3.4. Applicazione delle condizioni sismiche pseudostatiche riferite all'SLV alla I2;
 - 3.5. Calcolo del coefficiente di sicurezza della I2 in condizioni sismiche (SLV).

8 VERIFICHE DELLA STABILITÀ

8.1 PREMESSA

Le verifiche di stabilità sono state condotte secondo l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2) prevista dal D.M. 14 gennaio 2018 (NTC 2018), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I e riportati nel seguito. Le verifiche di tipo statico sono state eseguite per il solo stato limite di collasso (SLC).

Tabella 5. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab 6.2.I NTC 2018)

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 6. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC 2018)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'k}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_g	1.0	1.0

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale definita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 Aprile 2006, l'area di interesse ricade nella Zona Sismica 4 (Zona a bassissimo rischio sismico).

Le verifiche agli stati limite ultimi di opere e sistemi geotecnici si riferiscono al solo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) mentre quelle agli stati limite di esercizio si riferiscono al solo stato limite di danno (SLD).

Le verifiche in presenza di azioni sismiche sono state eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali delle azioni e dei parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto ottenute considerando i coefficienti parziali γ_R indicati nel Capitolo 7 delle NTC 2018 per i rilevati e i fronti di scavo.

Le azioni dinamiche dovute ad un sisma vengono simulate con l'introduzione di una forza statica di volume le cui componenti orizzontale e verticale sono calcolate come segue:

$$\begin{cases} F_h = K_h \cdot W \\ F_v = K_v \cdot W \end{cases}$$

In cui W è il peso del volume considerato e K_h e K_v sono i coefficienti di spinta sismica calcolati secondo le relazioni seguenti:

$$\begin{cases} K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g \\ K_v = 0.5 \cdot K_h \end{cases}$$

In cui:

- β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- a_{max} : accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g : accelerazione di gravità.

I fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa nel sito e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio. L'accelerazione massima è calcolata come:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

- S_s (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 < S_s < 1.80$ è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale);
- S_T (effetto di amplificazione topografica): $1.00 < S_T < 1.40$ dipendente dalla condizione topografica del sito in riferimento a quattro categorie topografiche T1 ($S_T = 1.0$), T2 ($S_T = 1.2$), T3 ($S_T = 1.2$) e T4 ($S_T = 1.4$);
- a_g accelerazione orizzontale massima attesa, per lo stato limite considerato, sul suolo rigido (tabellata negli allegati alle norme tecniche per tutto il territorio nazionale su un reticolo di punti di riferimento e per le isole in funzione del tempo di ritorno considerato).

Questi valori sono calcolati come funzione della posizione in cui si trova il sito oggetto di analisi.

Il tempo di ritorno dell'evento sismico è valutato attraverso la:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, dello stato limite considerato.

La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione. Per il sito specifico e per il caso di analizzato è stata considerata una vita nominale di 50 anni, un suolo di categoria C e una categoria topografica T1.

I parametri adottati sono riportati in Tabella 7. Il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_s è dato dalla normativa per la tipologia di sistema geotecnico considerato (cap. 7.11.4 NTC 2018).

Tabella 7. Parametri sismici utilizzati nelle simulazioni

Stato limite	Tr	a_g	a_{max}	β_s	Kh	Kv
SLD	50	0.024	0.346	0.470	0.017	0.008
SLV	475	0.050	0.735	0.380	0.029	0.014

8.2 CONDIZIONI STATICHE

Le analisi della stabilità nei confronti delle azioni statiche sono state effettuate in riferimento allo SLC; è stato utilizzato il metodo “Phi-c reduction” implementato nel software ad elementi finiti Plaxis 2D. La procedura di calcolo consiste nel ridurre i parametri di resistenza $\tan\varphi$ e c , mantenendo inalterata la resistenza di oggetti strutturali, fino alla rottura del terreno. Il rapporto fra i valori caratteristici del terreno ed i valori dei parametri che determinano la rottura (moltiplicatore totale ΣMsf) rappresenta la misura del livello di sicurezza geotecnica del sistema.

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}}$$

In ottemperanza alla normativa vigente, le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi sono state condotte secondo l’Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2), verificando per ogni stato limite ultimo il rispetto della condizione:

$$Ed \leq Rd$$

dove Ed è il valore di progetto dell’azione o dell’Effetto dell’azione:

$$Ed = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero

$$Ed = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

con $\gamma_E = \gamma_F$,

e Rd è il valore di progetto della Resistenza del sistema geotecnico:

$$Rd = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Effetto delle azioni e della resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d .

Nella formulazione della resistenza Rd , compare esplicitamente il coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni sono indicati in Tabella 5.

Il valore di progetto della resistenza R_d è determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M riportato nella Tabella 6. La verifica ha esito positivo se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

ovvero se

$$\frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

La verifica di stabilità ha esito positivo se $\gamma_R \geq 1.1$ (NTC 2018).

I valori assunti del rapporto R/E_d in ciascun modello di calcolo sono riportati nella Tabella 8; il loro confronto con il parametro γ_R di normativa mette in luce la sostanziale stabilità per tutte le sezioni analizzate.

Tabella 8. Risultati della verifica di stabilità in condizione statiche

Sezione	γ_R (NTC 2018)	R/Ed Attuale	R/Ed Progetto I1	R/Ed Progetto I2
x2_sx	1.1	1.906	1.961	1.851
x2_dx	1.1	2.487	2.745	2.244
x3_sx	1.1	1.940	1.937	1.892
x3_dx	1.1	2.329	2.411	2.276
x4_sx	1.1	1.745	1.756	1.749
x4_dx	1.1	1.944	1.934	1.944
y2_sx	1.1	2.814	2.705	2.257
y2_dx	1.1	1.842	1.835	1.838

I risultati dei calcoli di tutti modelli analizzati sono riportati in Annesso A. Nel seguito sono illustrati i risultati, in termini deformazioni angolari nelle condizioni ultime di collasso, relativi alla sezione (x4_sx) in cui è risultato minimo il rapporto R/E_d (Figura 11 in riferimento alla condizione attuale, Figura 12 in riferimento alle condizioni di progetto I1 e Figura 13 in riferimento alle condizioni di progetto I2).

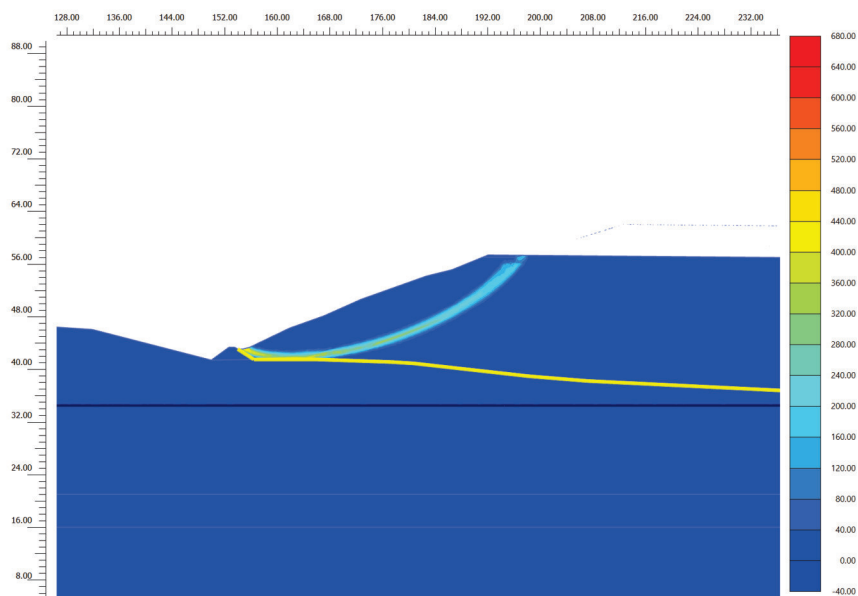


Figura 11. Deformazioni angolari nella condizione di collasso

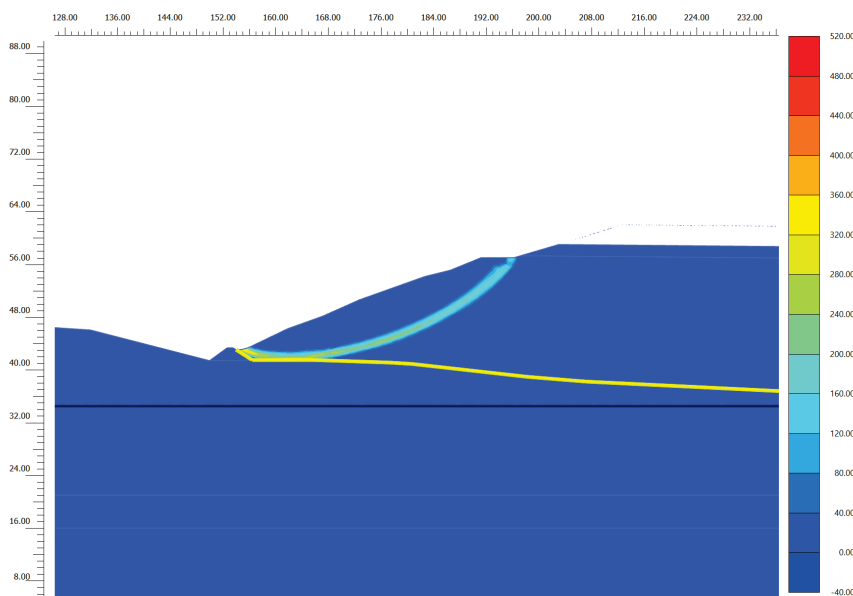


Figura 12. Condizione di progetto I1. Deformazioni angolari nella condizione di collasso

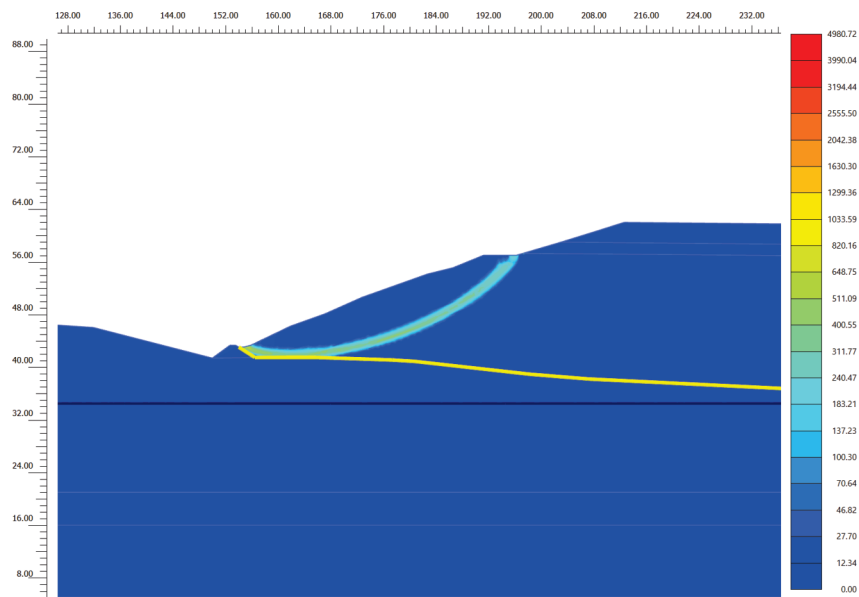


Figura 13. Condizione di progetto I2. Deformazioni angolari nella condizione di collasso

8.3 CONDIZIONI SISMICHE

La verifica della stabilità in condizioni sismiche è stata effettuata mediante analisi pseudostatica, per gli stati limite del danno e della salvaguardia della vita, utilizzando i parametri sismici riportati in Tabella 7.

I risultati sono valutati in termini di spostamento massimo a seguito del sisma, sia per lo SLD sia per lo SLV, nonché del rapporto R/Rd nella configurazione deformata, in riferimento alla stabilità globale a seguito del sisma.

Nella Tabella 9, in riferimento alle condizioni attuali, sono riportati i valori massimi dello spostamento subito dalla struttura a seguito del sisma (componenti orizzontale e verticale) e del rapporto R/Rd, riferiti ai due stati limite considerati (SLD e SLV). Le stesse indicazioni sono riportate in Tabella 10 in riferimento alla condizione di progetto I1 e in Tabella 11 in riferimento alla condizione di progetto I2.

Tabella 9. Sintesi dei risultati dell'analisi pseudostatica – Stato attuale – Stato limite del danno SLD e della salvaguardia della vita SLV

Sezione	SLD			SLV		
	Massimo spostamento u_x [m]	Massimo spostamento u_y [m]	R/Rd	Massimo spostamento u_x [m]	Massimo spostamento u_y [m]	R/Rd
x2_sx	-0.095	-0.033	2.244	-0.162	-0.057	2.149
x2_dx	0.098	-0.034	2.899	0.167	-0.057	2.771
x3_sx	-0.095	-0.035	2.280	-0.162	-0.060	2.190
x3_dx	0.100	-0.035	2.746	0.171	-0.059	2.638
x4_sx	-0.080	-0.034	2.067	-0.136	-0.058	1.996
x4_dx	0.077	-0.034	2.314	0.132	-0.058	2.235
y2_sx	-0.094	-0.034	3.305	-0.160	-0.058	3.169
y2_dx	0.095	-0.035	2.185	0.163	-0.061	2.103

Tabella 10. Sintesi dei risultati dell'analisi pseudostatica – Stato di progetto I1 – Stato limite del danno SLD e della salvaguardia della vita SLV

Sezione	SLD			SLV		
	Massimo spostamento u_x [m]	Massimo spostamento u_y [m]	R/Rd	Massimo spostamento u_x [m]	Massimo spostamento u_y [m]	R/Rd
x2_sx	-0.104	-0.037	2.305	-0.141	-0.056	2.256
x2_dx	0.103	-0.040	3.234	0.140	-0.059	3.150
x3_sx	-0.100	-0.038	2.271	-0.136	-0.056	2.223
x3_dx	0.108	-0.042	2.813	0.147	-0.061	2.743

x4_sx	-0.09	-0.037	2.078	-0.121	-0.056	2.039
x4_dx	0.087	-0.038	2.294	0.118	-0.055	2.251
y2_sx	-0.113	-0.039	3.232	-0.154	-0.058	3.178
y2_dx	0.108	-0.039	2.183	0.146	-0.058	2.142

Tabella 11. Sintesi dei risultati dell’analisi pseudostatica – Stato di progetto I2 – Stato limite del danno SLD e della salvaguardia della vita SLV

Sezione	SLD			SLV		
	Massimo spostamento u_x [m]	Massimo spostamento u_y [m]	R/Ed	Massimo spostamento u_x [m]	Massimo spostamento u_y [m]	R/Ed
x2_sx	-0.123	-0.049	2.173	-0.167	-0.073	2.129
x2_dx	0.122	-0.048	2.652	0.165	-0.070	2.603
x3_sx	-0.114	0.072	2.218	-0.155	0.072	2.169
x3_dx	0.123	-0.051	2.652	0.167	-0.075	2.585
x4_sx	-0.106	-0.046	2.076	-0.143	-0.068	2.038
x4_dx	0.100	-0.046	2.299	0.136	-0.068	2.252
y2_sx	-0.133	-0.047	2.686	-0.180	-0.070	2.641
y2_dx	0.129	-0.047	2.180	0.175	-0.070	2.140

Il valore assunto dagli spostamenti evidenzia che la discarica non subisce danni rilevanti a seguito dei terremoti attesi al sito e riferibili allo SLD (spostamenti di circa 5 cm), mantenendo inalterata la sua funzionalità e che i terremoti di entità riferibile allo SLV non determinano il collasso della struttura (spostamenti dell’ordine dei 18 cm).

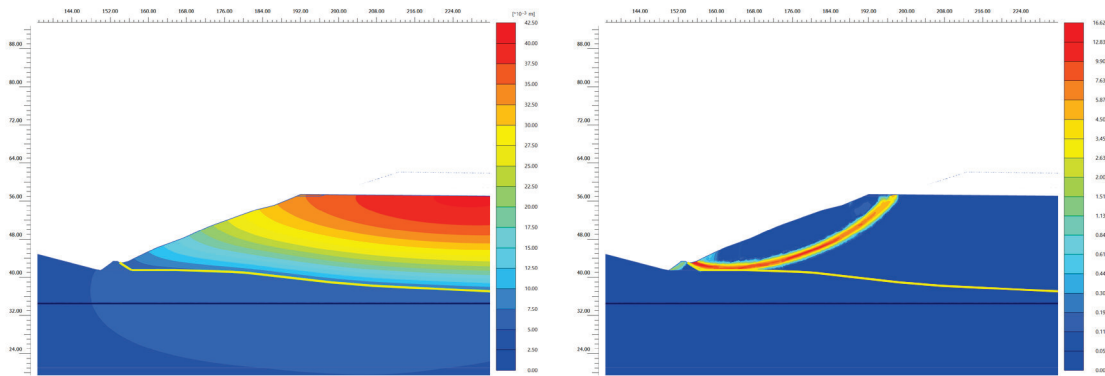


Figura 14. Condizione attuale. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite del danno SLD

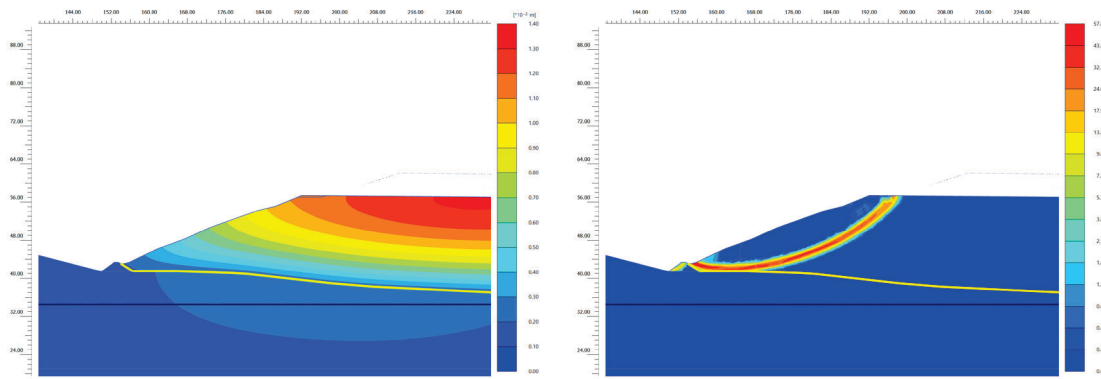


Figura 15. Condizione attuale. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite di salvaguardia della vita SLV

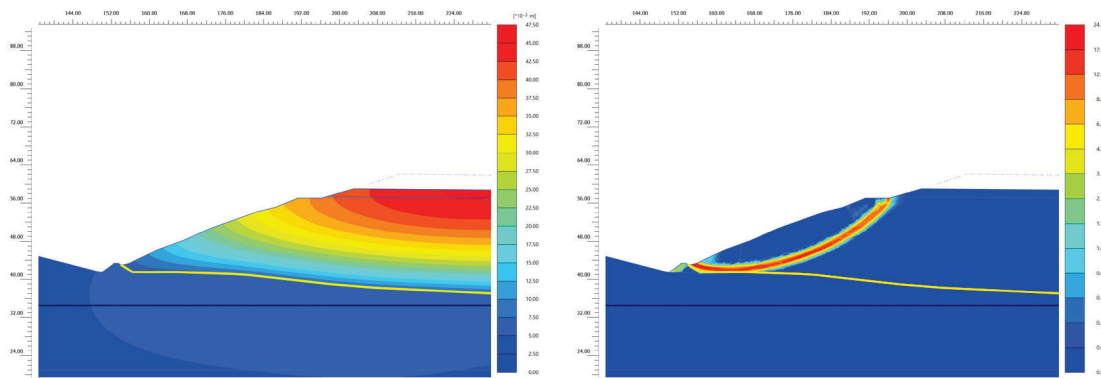


Figura 16. Condizione di progetto I1. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite del danno SLD

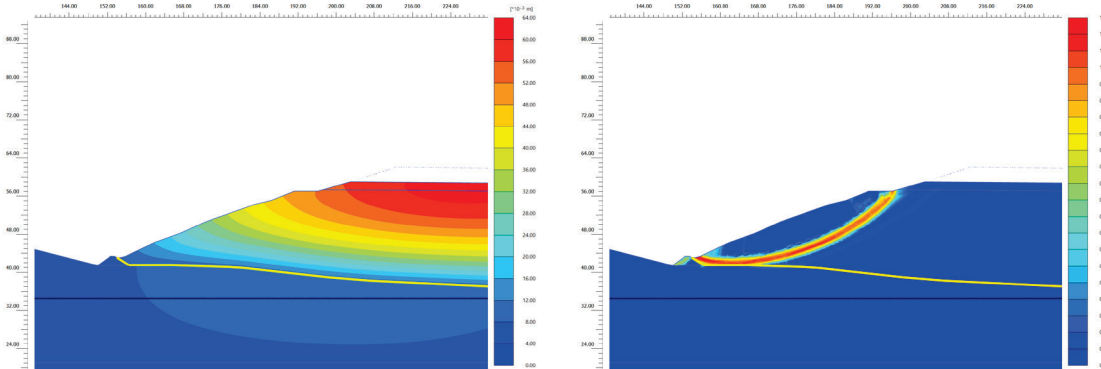


Figura 17. Condizione di progetto I1. Spostamenti in direzione x e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite di salvaguardia della vita SLV

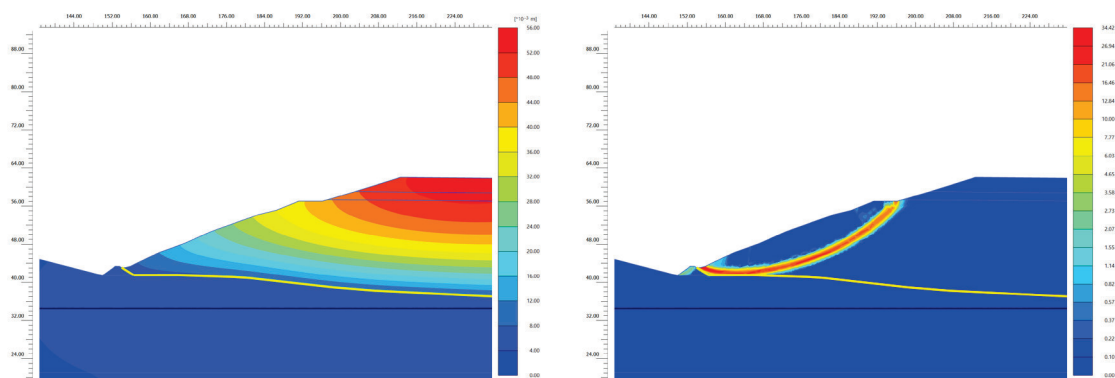


Figura 18. Condizione di progetto I2. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite del danno SLD

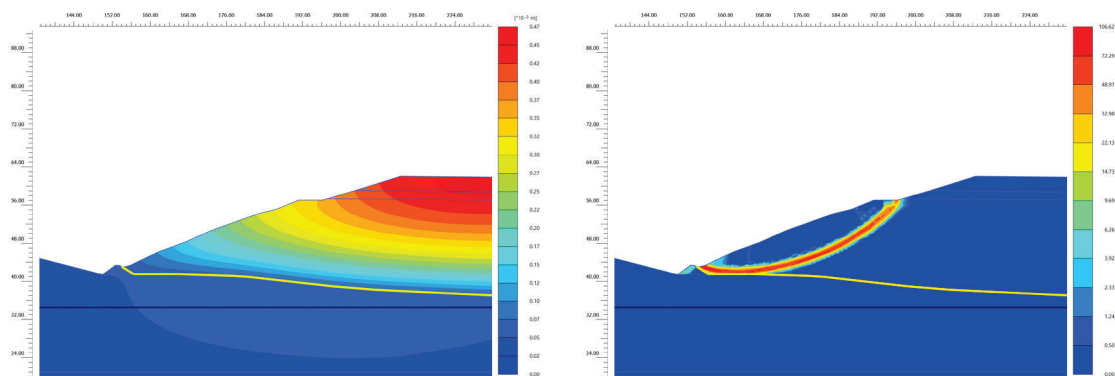


Figura 19. Condizione di progetto I2. Spostamenti e deformazioni angolari nella condizione di collasso. Stato limite di salvaguardia della vita SLV

9 ANALISI DI SENSIBILITÀ

Il riferimento alla sezione caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di sicurezza ($x4_sx$) è stata sviluppata un'analisi di sensibilità del coefficiente di sicurezza ai parametri geotecnici dei rifiuti. È stato considerato il range di variazione indicato nella seconda colonna della Tabella 12 ed è stato calcolato il coefficiente di sicurezza in corrispondenza dei valori estremi e del valore di progetto di uno dei parametri per volta, mantenendo gli altri parametri uguali al valore di progetto.

L'analisi è stata effettuata per la configurazione attuale della discarica.

Tabella 12. Valori del coefficiente di sicurezza in corrispondenza degli estremi del range di variabilità dei parametri

Parametro	Valore medio (di progetto) del parametro	Intervallo di variazione	FOS
Coesione [kPa]	10	0 - 20	1.097 - 2.352
Angolo d'attrito [°]	25	10 - 40	0.968 - 2.522
Peso specifico [kN/m³]	9	2 - 16	2.512 - 1.025

Come si può notare dall'esame della Figura 20 la coesione e l'angolo di attrito interno dei rifiuti ha un'influenza positiva sul valore del coefficiente di sicurezza (all'aumentare del valore del parametro nel range di variazione aumenta il coefficiente di sicurezza), mentre il peso specifico ha un'influenza negativa sul valore del coefficiente di sicurezza (all'aumentare del parametro nel range di variazione diminuisce il coefficiente di sicurezza).

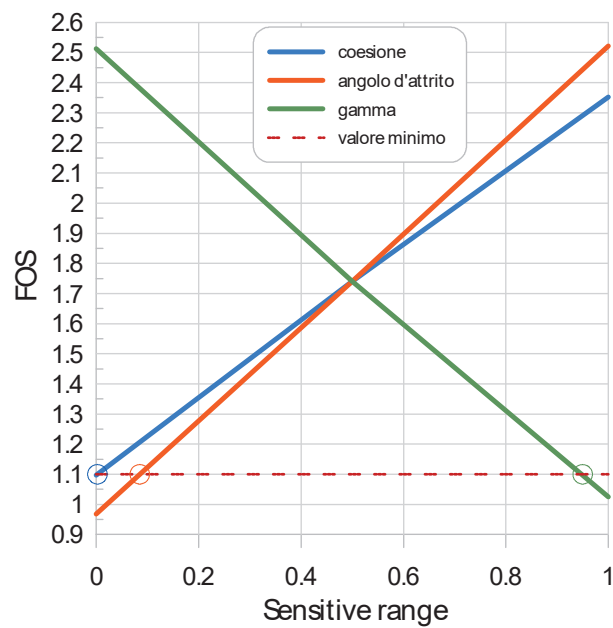


Figura 20. Analisi di sensitività

Calcolando il valore di ciascun parametro in corrispondenza del minimo previsto da normativa per le condizioni statiche, si ottengono i valori dei minimi dei parametri (per la coesione e l'angolo d'attrito) e massimi (per il peso specifico), necessari per ottenere il valore minimo di normativa del coefficiente di sicurezza.

- Coesione > 0 kPa, angolo d'attrito = 25° e peso specifico di 9kN/m³;
- Angolo d'attrito >13.4° con coesione = 10 kPa e peso specifico di 9kN/m³;
- Peso specifico < 15.3 kN/m³ con coesione = 10 kPa e angolo d'attrito = 25°

10 CONCLUSIONI

Lo studio della stabilità della discarica di Scala Erre è stato sviluppato in riferimento alle condizioni attuali e nelle due ipotesi progettuali di sopraelevazione di 1.5 e 4.5 m (Ipotesi I1 e Ipotesi I2 rispettivamente). Le analisi sono state condotte in campo statico e sismico, secondo la norma NTC2018, per 3 sezioni trasversali e 1 sezione longitudinale della discarica.

I risultati sono sintetizzati nelle Tabella 8 (campo statico – stabilità globale), Tabella 9 (Stato limite del danno e salvaguardia della vita nella condizione attuale), Tabella 10 (Stato limite del danno e salvaguardia della vita nella Ipotesi I1 di progetto), Tabella 11 (Stato limite del danno e salvaguardia della vita nella Ipotesi I2 di progetto).

In conclusione, in campo statico la discarica è stabile con coefficiente $FOS=1.745$ nella configurazione attuale e con $FOS=1.756$ nell'ipotesi I1 e $FOS=1.749$ nell'ipotesi I2 di sopraelevazione¹. In campo sismico, la discarica risulta stabile sia nella condizione attuale sia nelle due ipotesi di sopraelevazione, con ampio margine dei coefficienti di sicurezza.

¹ Il leggero incremento dei coefficienti di sicurezza è legato alla riduzione della quota dei rifiuti per la formazione della banca prevista in progetto.

ANNESSO A- RISULTATI DELL'ANALISI DI STABILITÀ

A.1. PARAMETRI GEOTECNICI DEI MATERIALI

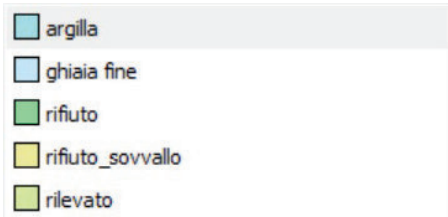


Figura 21. Leggenda dei materiali utilizzati nel modello di calcolo

operty	Unit	Value	NTC2018_ A2-M2 [DesignAppr		Design value
Stiffness					
E' _{ref}	kN/m ²	46.00E3	(None)		46.00E3
v (nu)		0.3000			0.3000
Alternatives					
G _{ref}	kN/m ²	17.69E3	(None)		17.69E3
E _{oed}	kN/m ²	61.92E3	(None)		61.92E3
Depth-dependency					
E' _{inc}	kN/m ² /m	0.000	(None)		0.000
Y _{ref}	m	0.000			0.000
Wave velocities					
V _s	m/s	98.20			98.20
V _p	m/s	183.7			183.7
Strength					
Shear					
c' _{ref}	kN/m ²	5.000	Effective cohesion (c')		4.000
φ' (phi)	°	32.00	Effective friction angle (phi')		26.56
ψ (psi)	°	0.000	(None)		0.000

Figura 22. Proprietà meccaniche del materiale: argilla

Property	Unit	Value	NTC2018_ A2-M2 [DesignAppr		Design value
Stiffness					
E' _{ref}	kN/m ²	69.00E3	(None)		69.00E3
v (nu)		0.1500			0.1500
Alternatives					
G _{ref}	kN/m ²	30.00E3	(None)		30.00E3
E _{oed}	kN/m ²	72.86E3	(None)		72.86E3
Depth-dependency					
E' _{inc}	kN/m ² /m	0.000	(None)		0.000
Y _{ref}	m	0.000			0.000
Wave velocities					
V _s	m/s	127.9			127.9
V _p	m/s	199.3			199.3
Strength					
Shear					
c' _{ref}	kN/m ²	1.000	Effective cohesion (c')		0.8000
φ' (phi)	°	40.00	Effective friction angle (phi')		33.87
ψ (psi)	°	0.000	(None)		0.000

Figura 23. Proprietà meccaniche del materiale: ghiaia fine

Property	Unit	Value	NTC2018_ A2-M2 [DesignAppr	Label	Design value
Stiffness					
E'_{ref}	kN/m ²	1000	(None)		1000
ν (nu)		0.3300			0.3300
Alternatives					
G_{ref}	kN/m ²	375.9	(None)		375.9
E_{oed}	kN/m ²	1482	(None)		1482
Depth-dependency					
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000	(None)		0.000
γ_{ref}	m	0.000			0.000
Wave velocities					
V_s	m/s	19.70			19.70
V_p	m/s	39.12			39.12
Strength					
Shear					
c'_{ref}	kN/m ²	10.00	Effective cohesion (c')		8.000
ϕ' (phi)	°	25.00	Effective friction angle (phi')		20.46
ψ (psi)	°	0.000	(None)		0.000
Depth-dependency					
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000	Effective cohesion (c')		0.000
γ_{ref}	m	0.000			0.000

Figura 24. Proprietà meccaniche del materiale: rifiuto

Property	Unit	Value	NTC2018_ A2-M2 [DesignAppr	Label	Design value
Stiffness					
E'_{ref}	kN/m ²	1000	(None)		1000
ν (nu)		0.3300			0.3300
Alternatives					
G_{ref}	kN/m ²	375.9	(None)		375.9
E_{oed}	kN/m ²	1482	(None)		1482
Depth-dependency					
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000	(None)		0.000
γ_{ref}	m	0.000			0.000
Wave velocities					
V_s	m/s	20.24			20.24
V_p	m/s	40.19			40.19
Strength					
Shear					
c'_{ref}	kN/m ²	10.00	Effective cohesion (c')		8.000
ϕ' (phi)	°	25.00	Effective friction angle (phi')		20.46
ψ (psi)	°	0.000	(None)		0.000

Figura 25. Proprietà meccaniche del materiale: sovrallo

Property	Unit	Value	NTC2018_A2-M2 [DesignAppr ▼]	
			Label	Design value
Stiffness				
E' _{ref}	kN/m ²	50.00E3	(None) ▼	50.00E3
ν (nu)		0.2500		0.2500
Alternatives				
G _{ref}	kN/m ²	20.00E3	(None) ▼	20.00E3
E _{oed}	kN/m ²	60.00E3	(None) ▼	60.00E3
Depth-dependency				
E' _{inc}	kN/m ² /m	0.000	(None) ▼	0.000
γ _{ref}	m	0.000		0.000
Wave velocities				
V _s	m/s	99.05		99.05
V _p	m/s	171.6		171.6
Strength				
Shear				
c' _{ref}	kN/m ²	1.000	(None) ▼	1.000
φ' (phi)	°	40.00	(None) ▼	40.00
ψ (psi)	°	0.000	(None) ▼	0.000

Figura 26. Proprietà meccaniche del materiale: rilevati

A.2. SEZIONE X2_SX

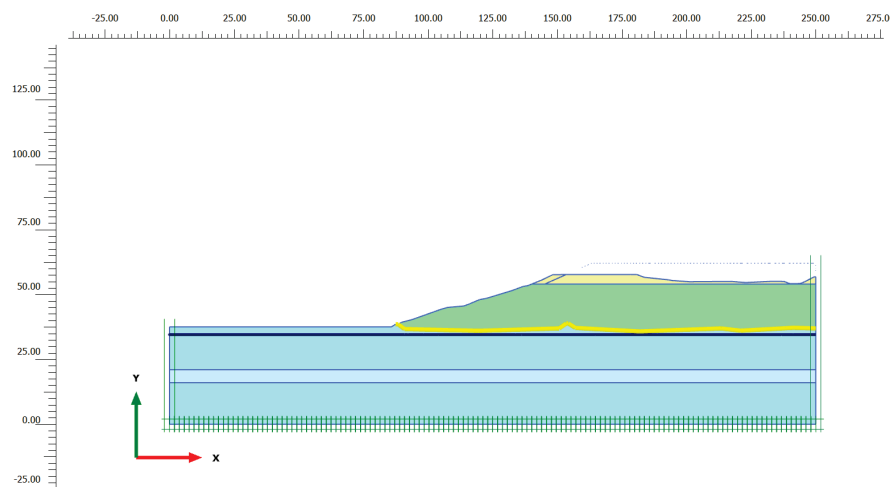


Figura 27. Modello X2_sx. Geometria nelle condizioni attuali

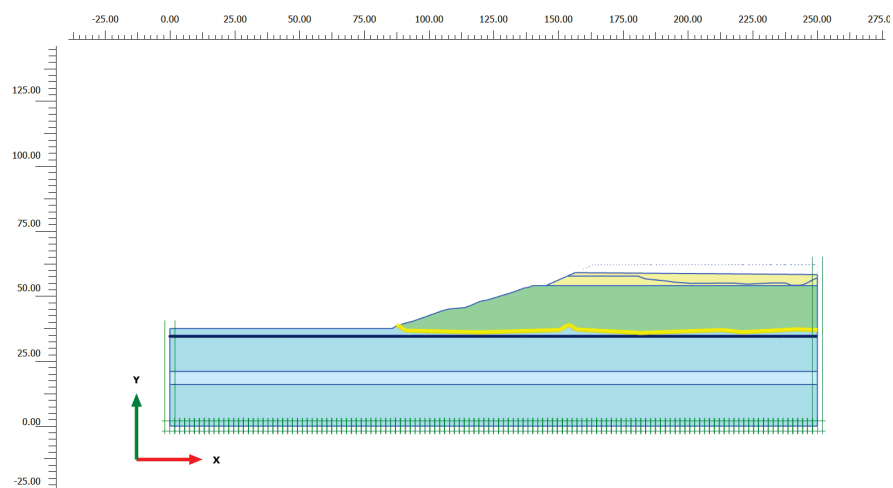


Figura 28. Modello X2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1

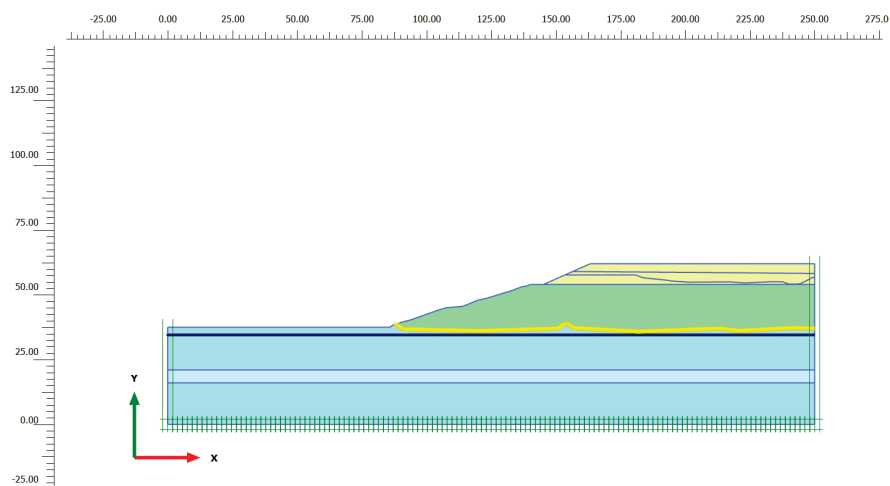


Figura 29. Modello X2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2

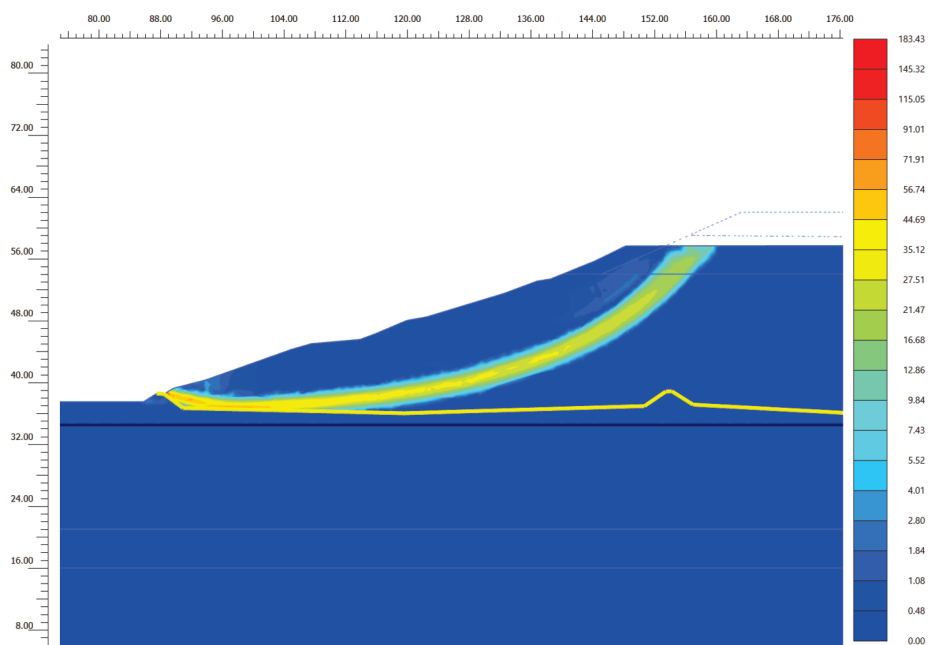


Figura 30. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica - condizioni attuali)

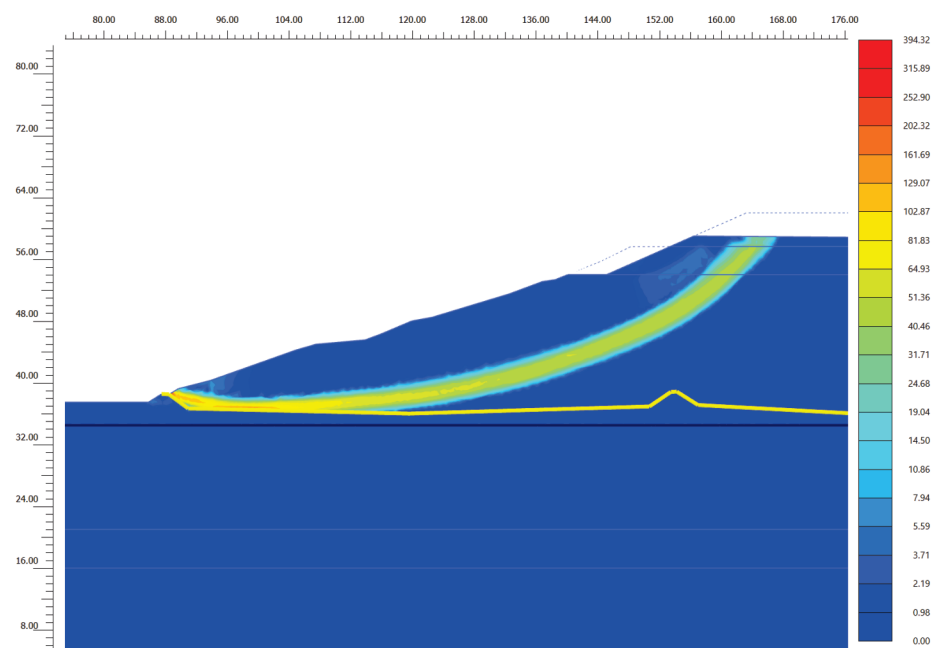


Figura 31. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

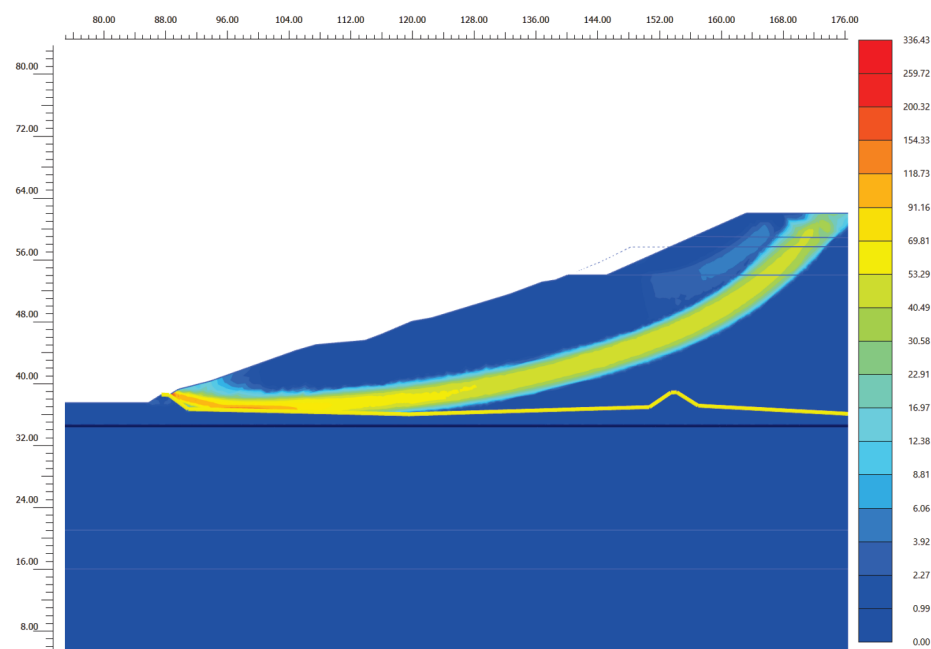


Figura 32. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

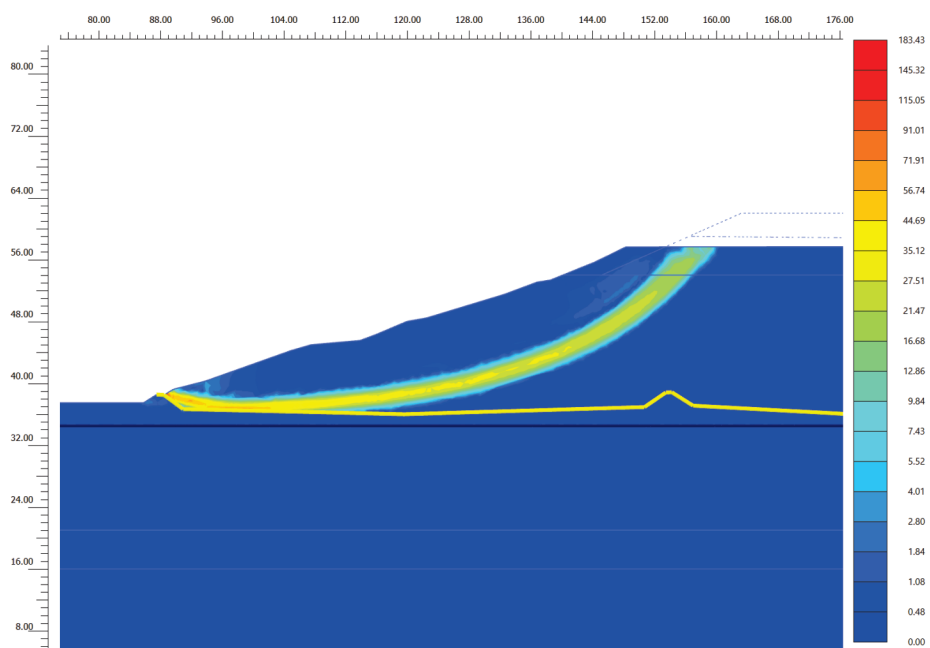


Figura 33. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

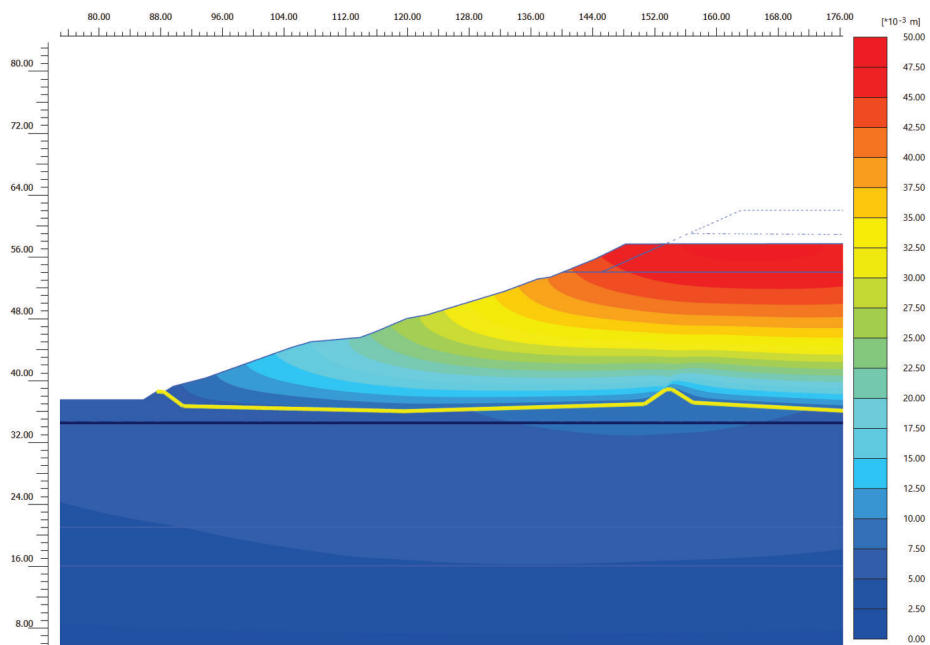


Figura 34. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

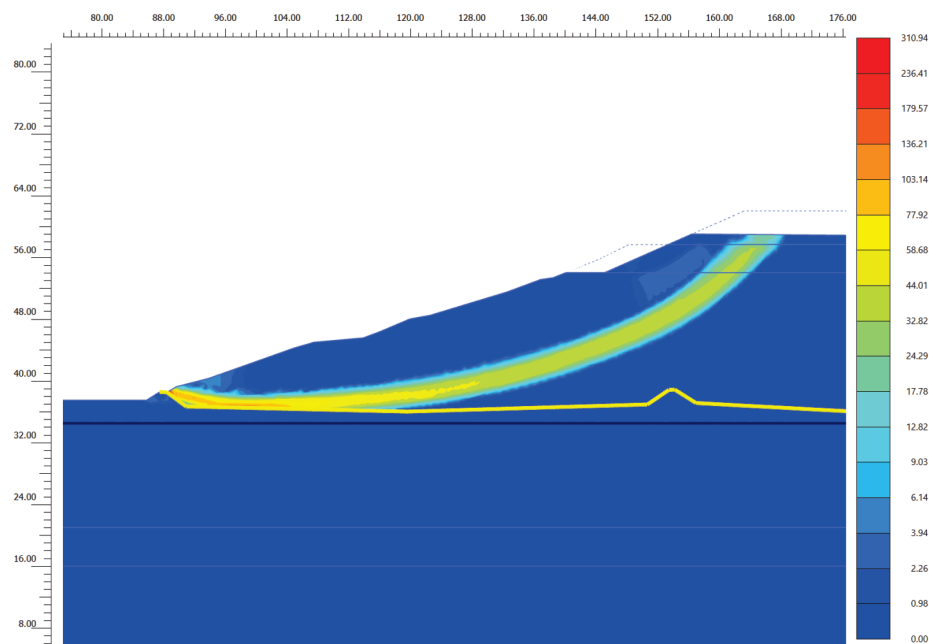


Figura 35. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

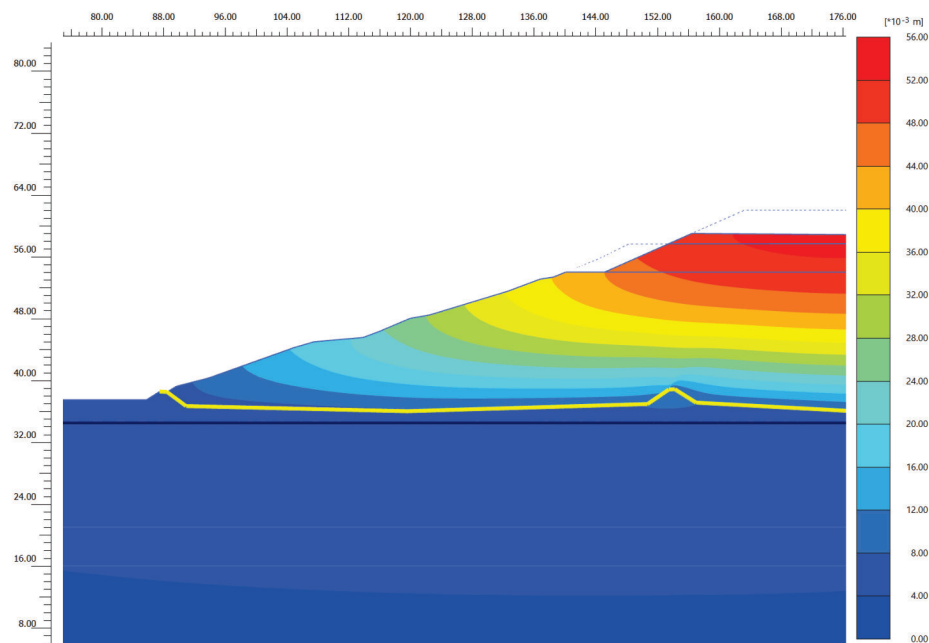


Figura 36. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

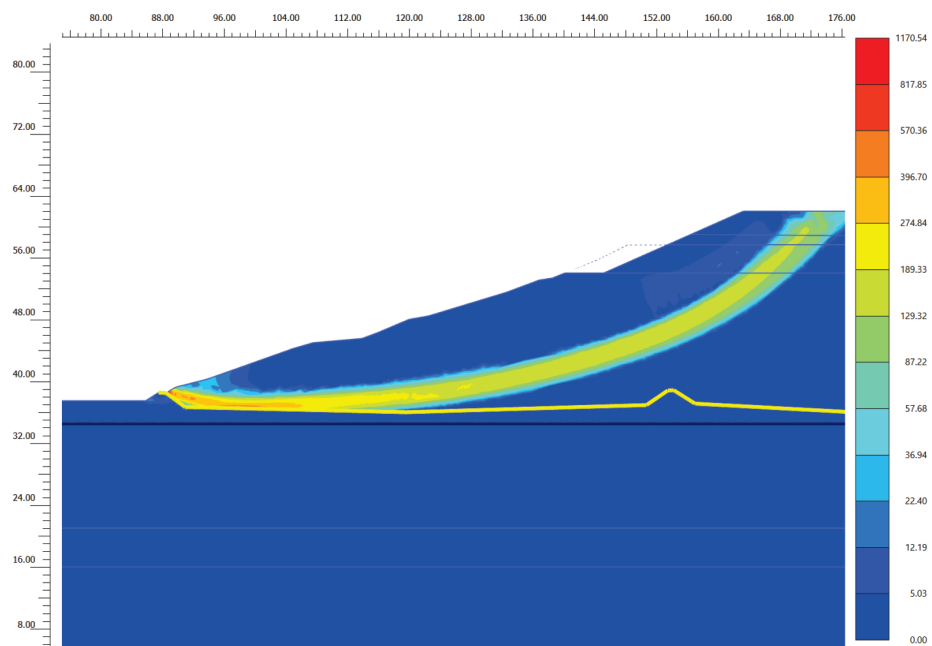


Figura 37. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

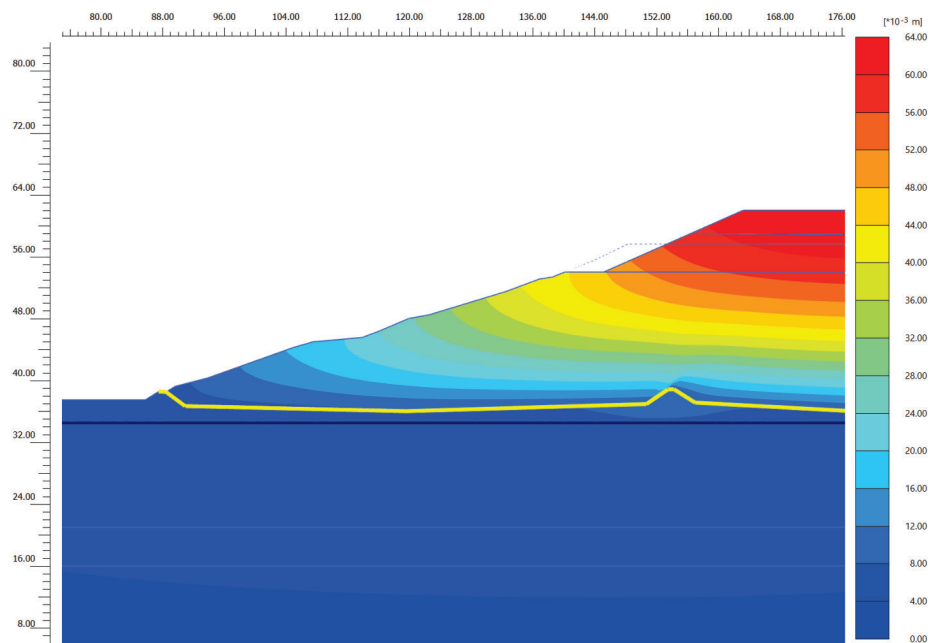


Figura 38. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

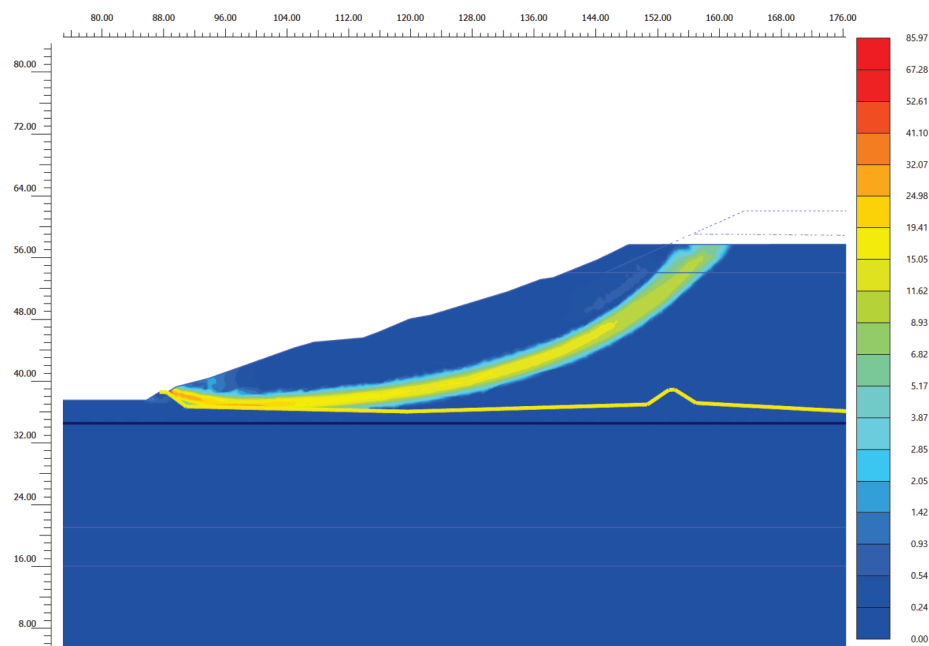


Figura 39. Modello X2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

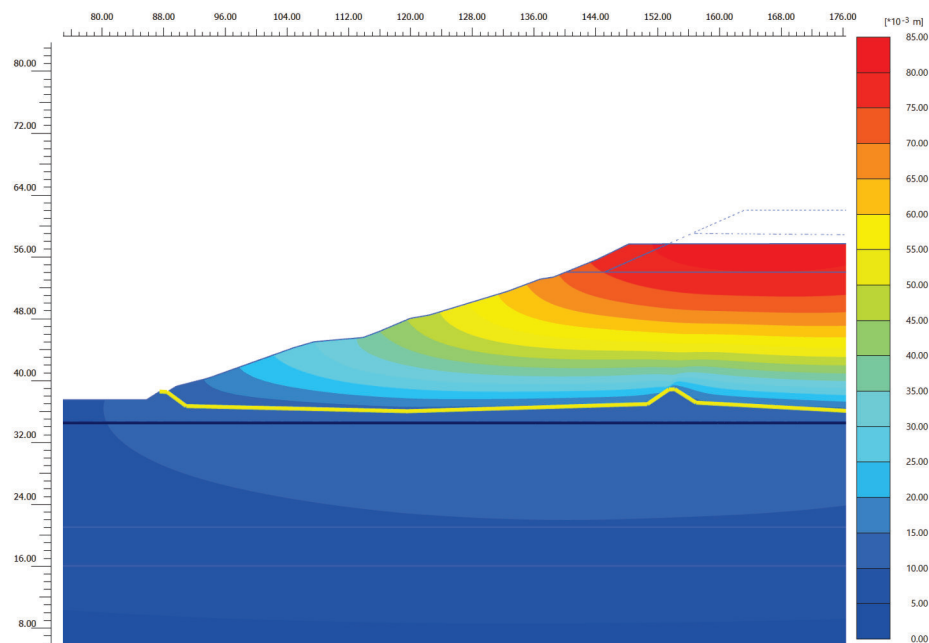


Figura 40. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

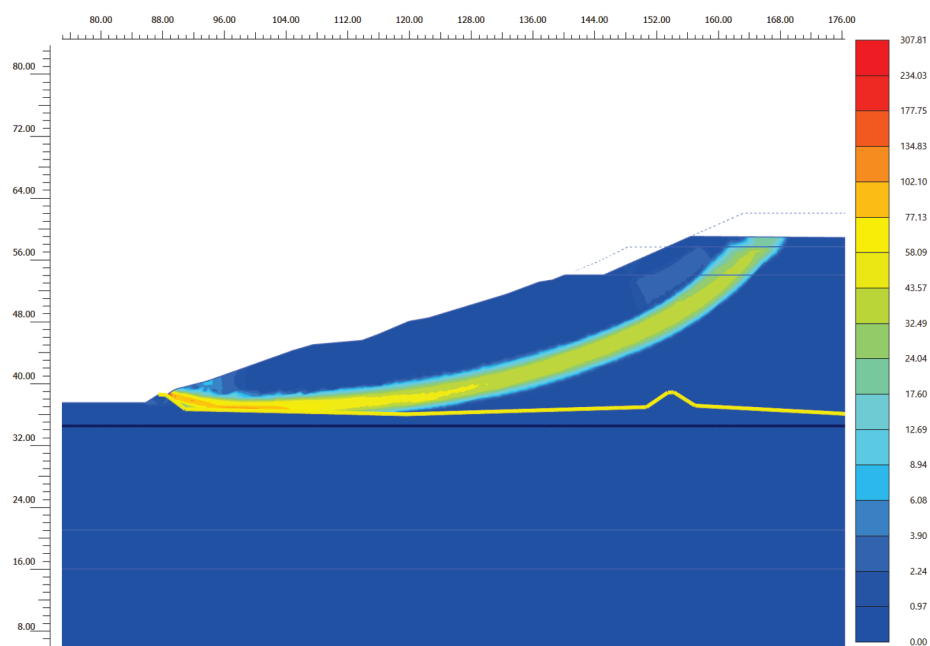


Figura 41. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

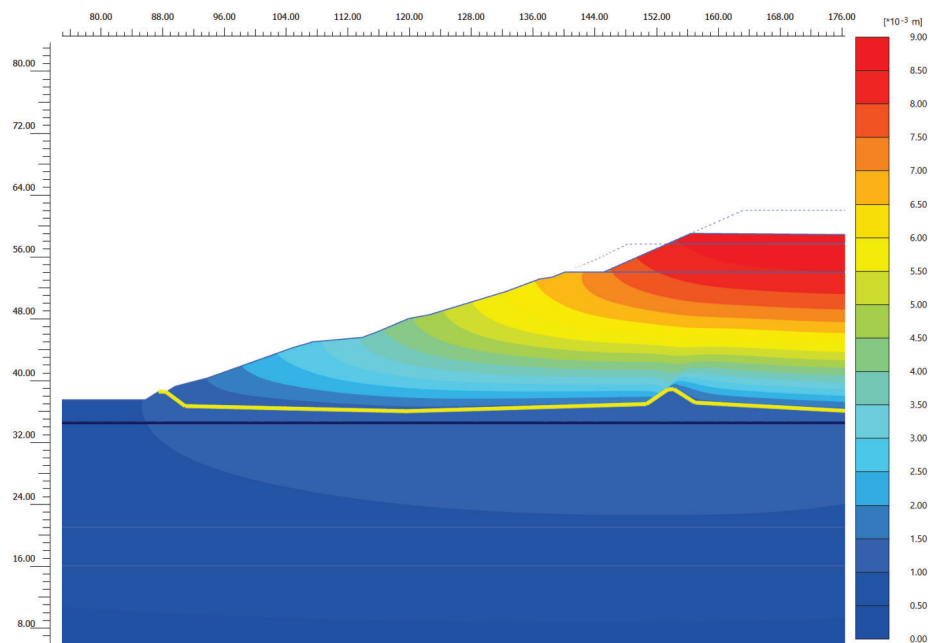


Figura 42. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

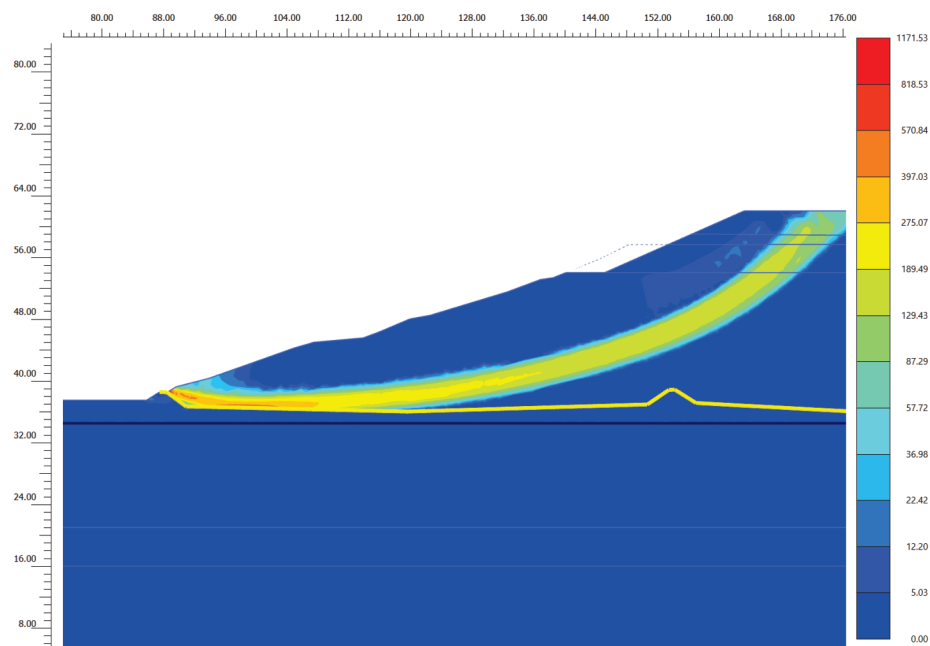


Figura 43. Modello X2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

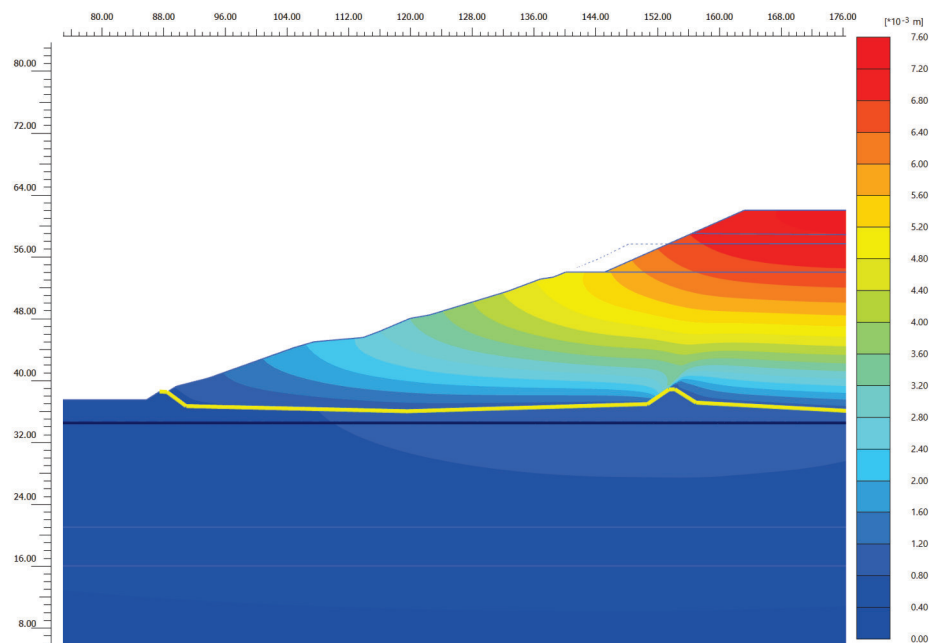


Figura 44. Modello X2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.3. SEZIONE X2_DX

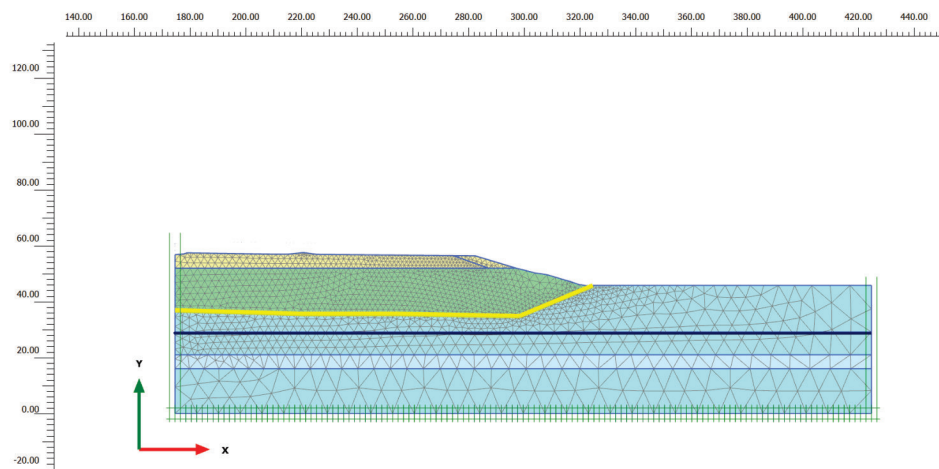


Figura 45. Modello X2_dx. Geometria nelle condizioni attuali

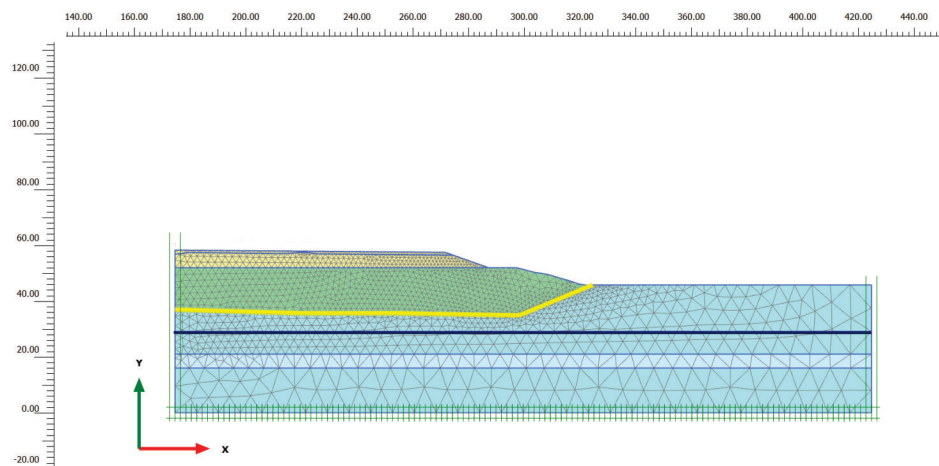


Figura 46. Modello X2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1

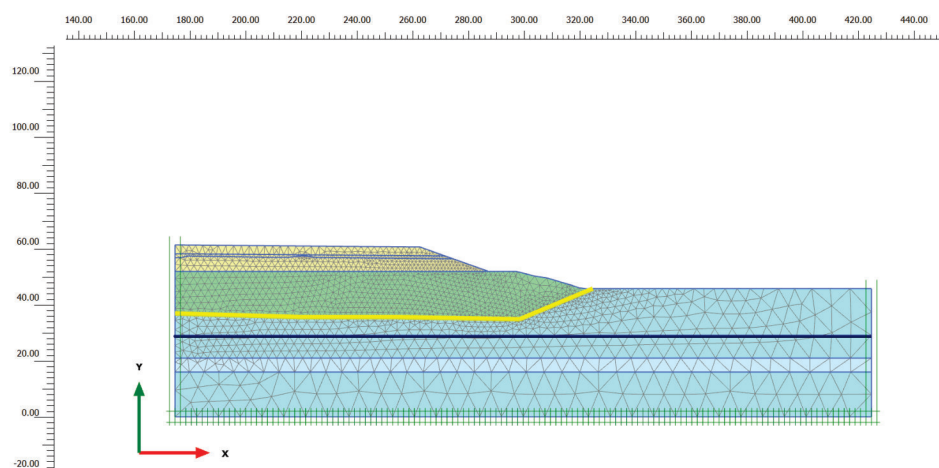


Figura 47. Modello X2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2

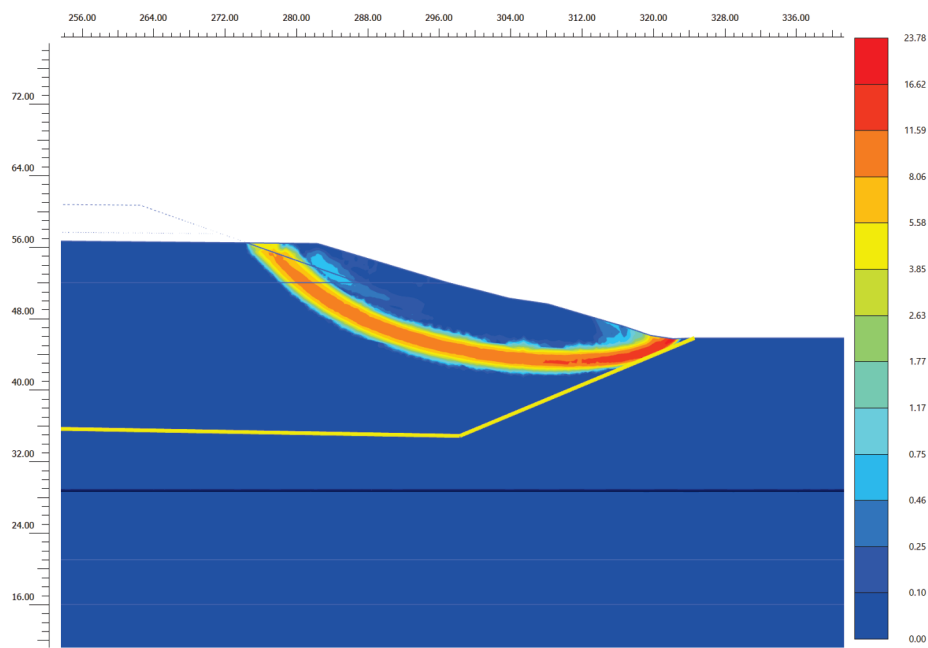


Figura 48. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)

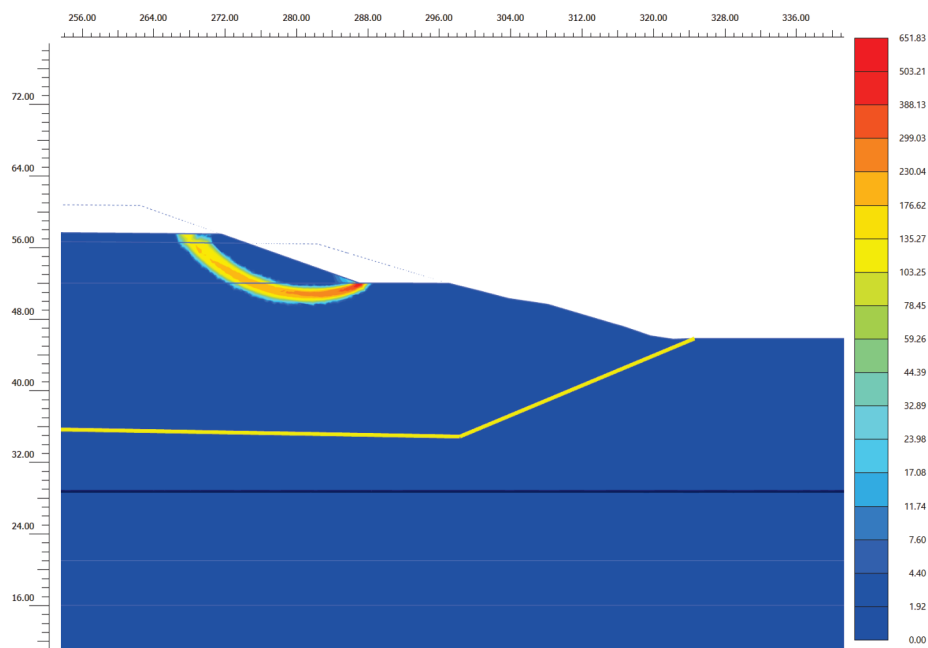


Figura 49. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

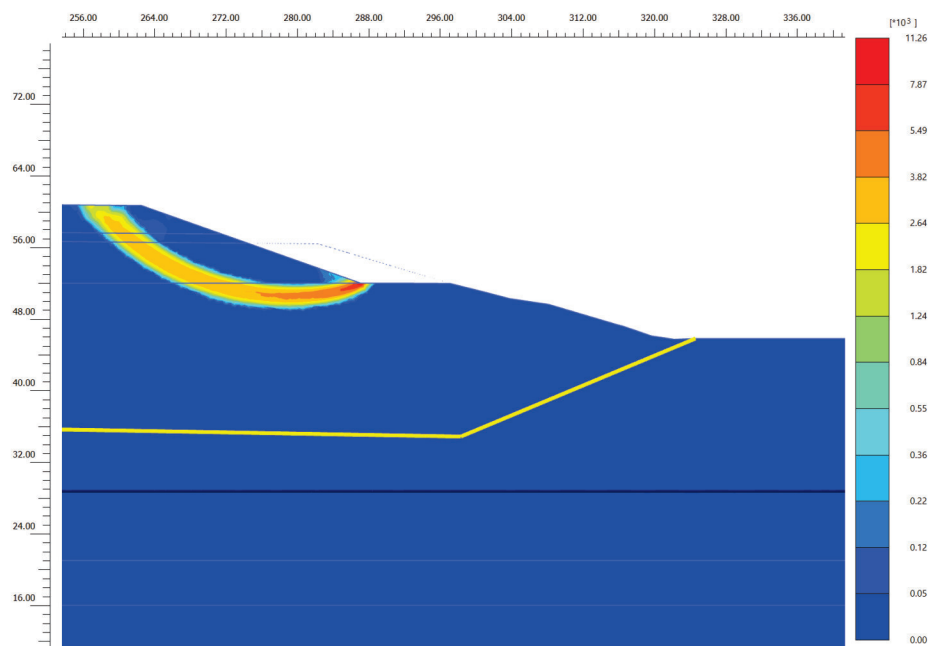


Figura 50. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

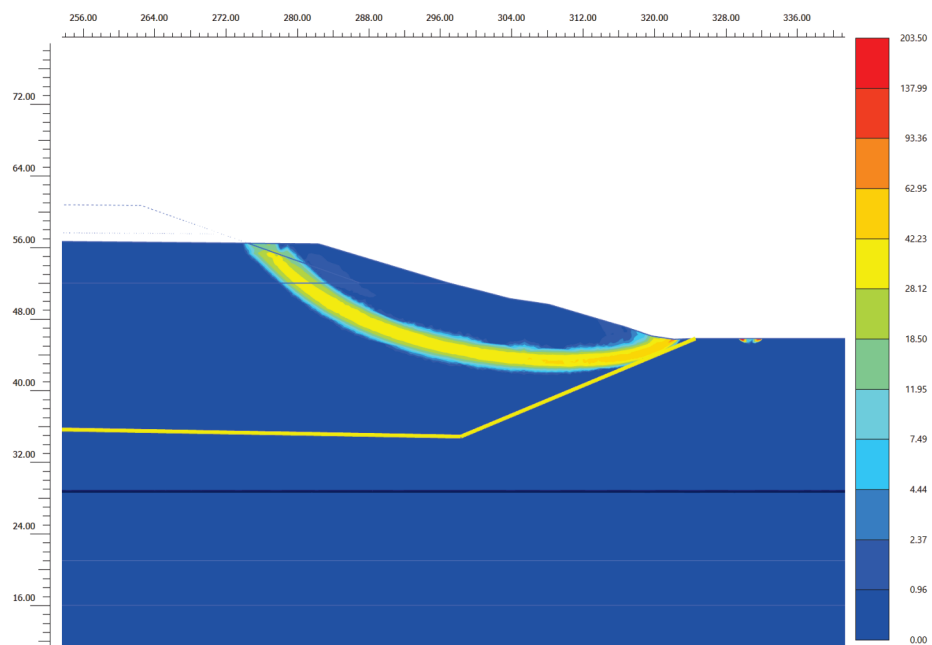


Figura 51. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

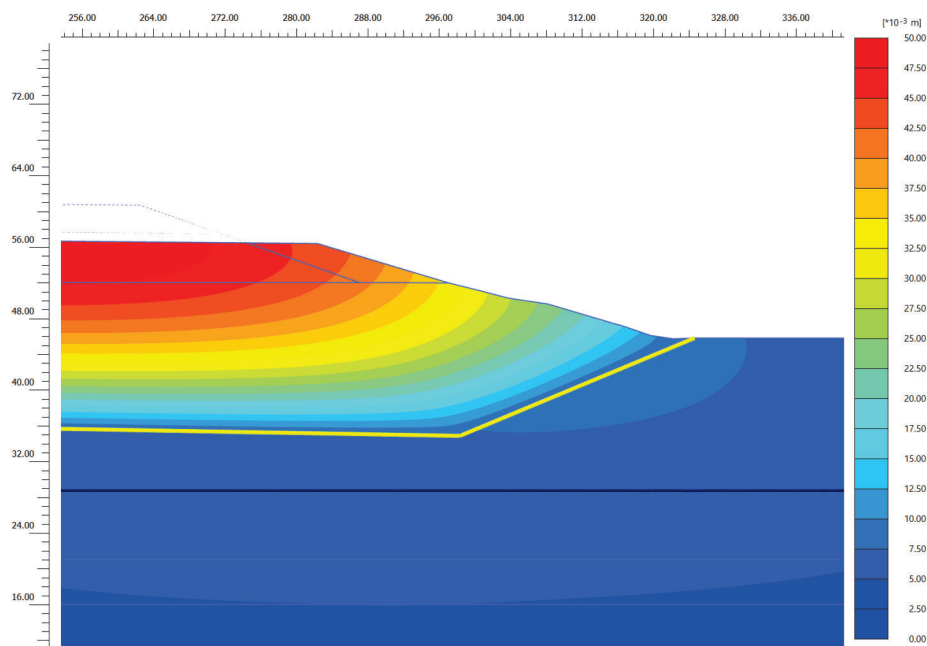


Figura 52. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

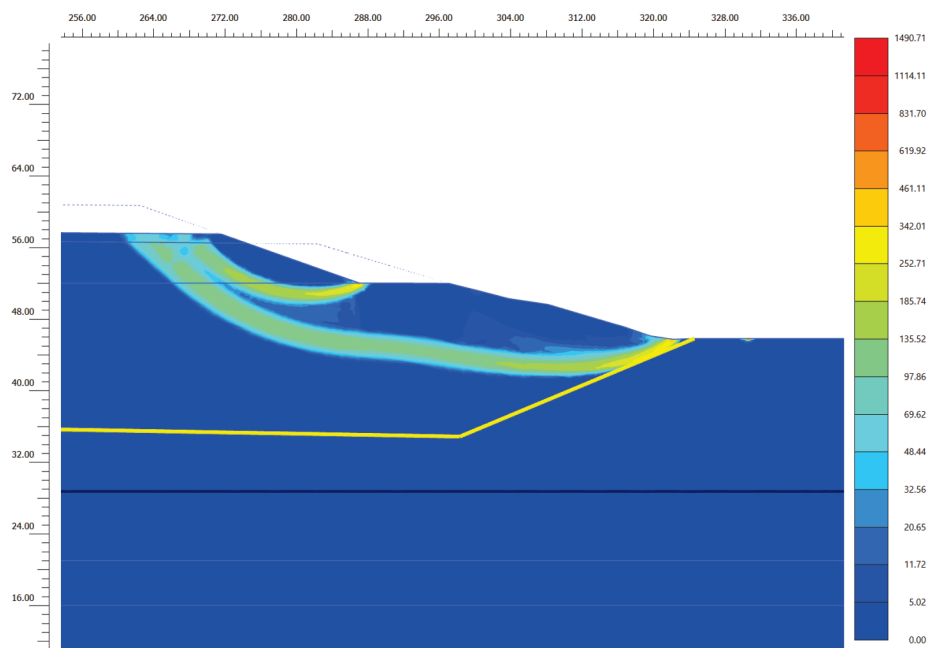


Figura 53. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

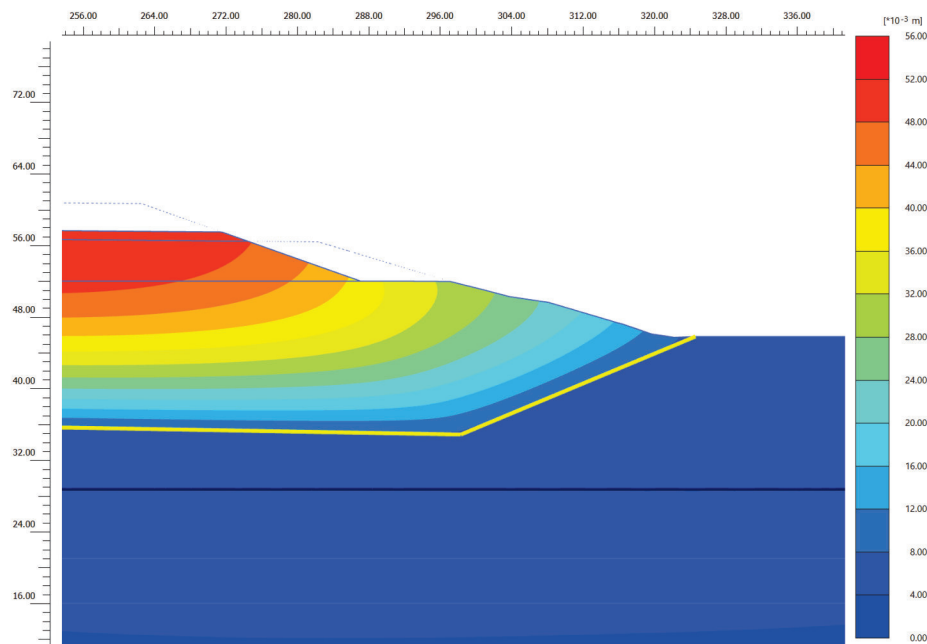


Figura 54. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

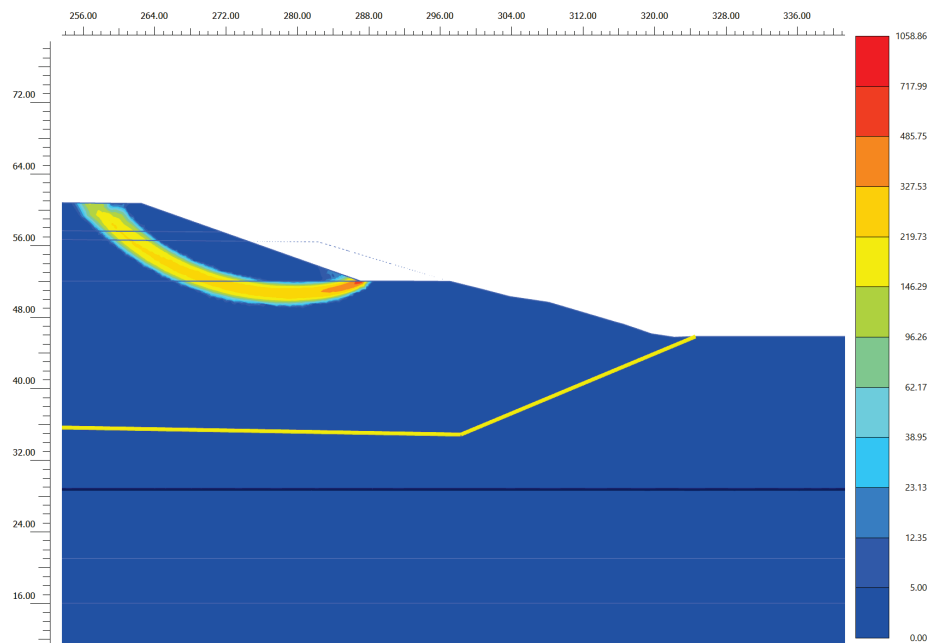


Figura 55. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

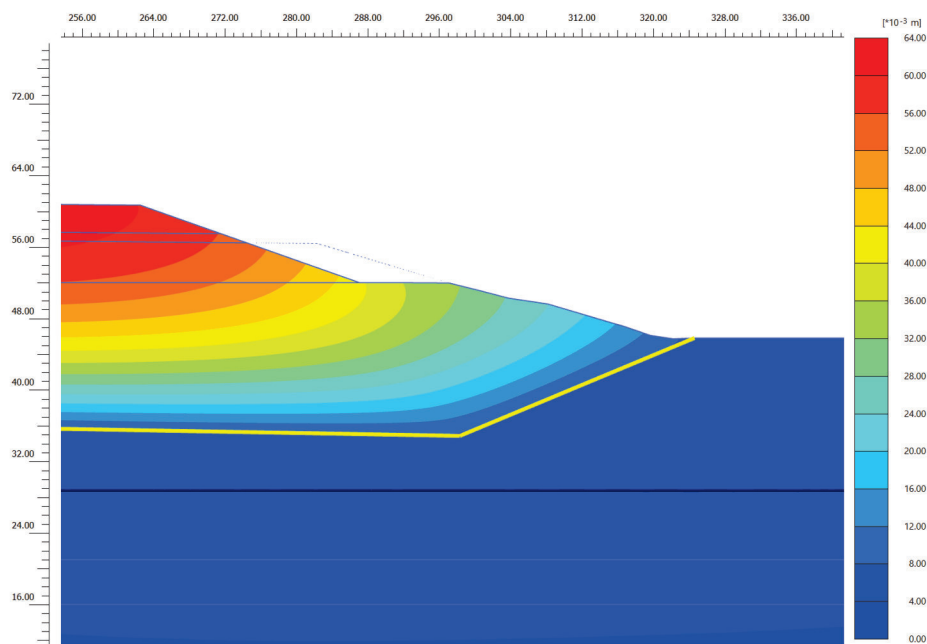


Figura 56. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

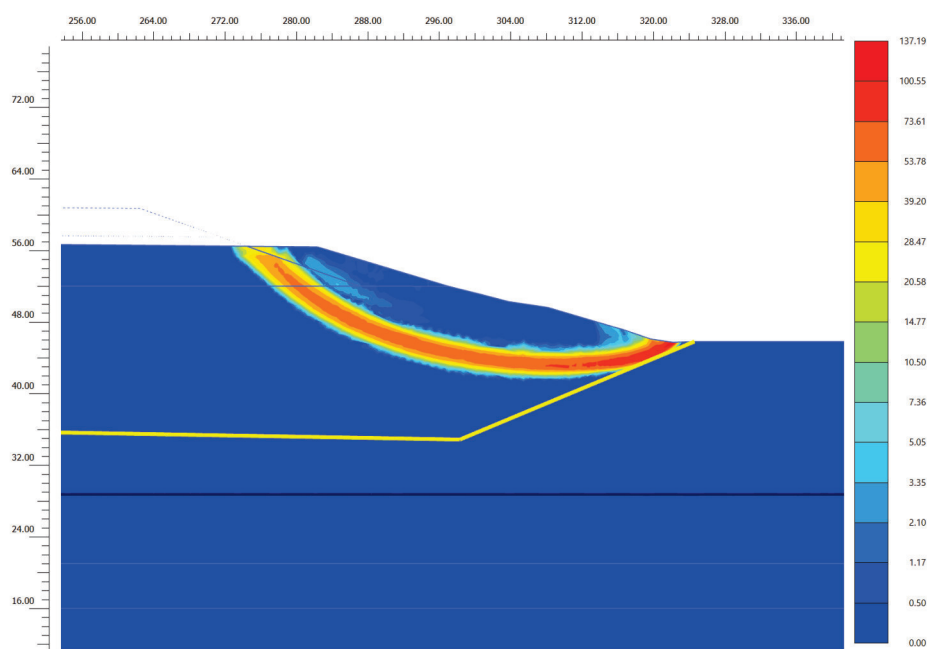


Figura 57. Modello X2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

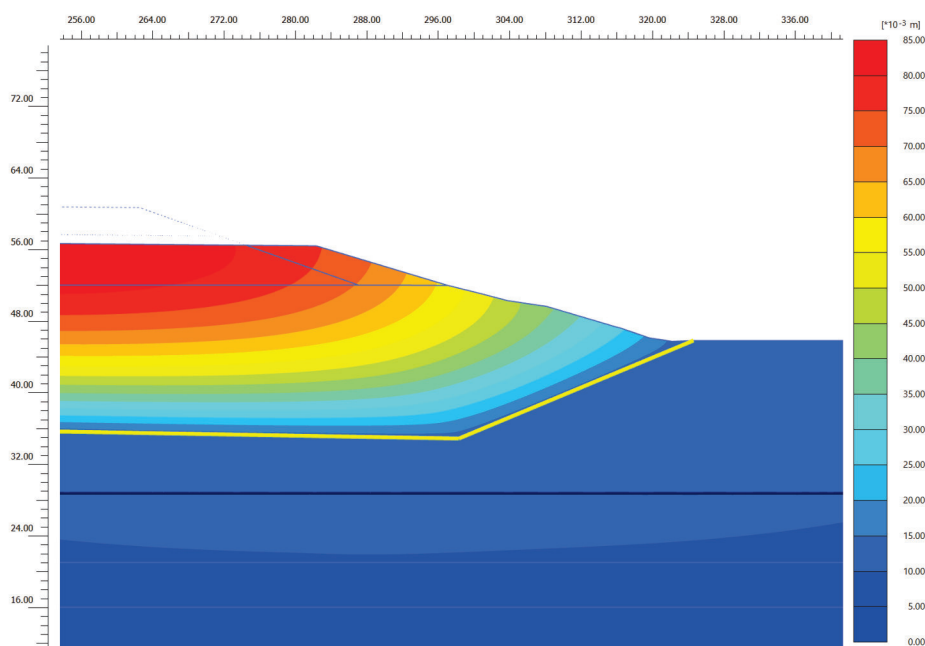


Figura 58. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

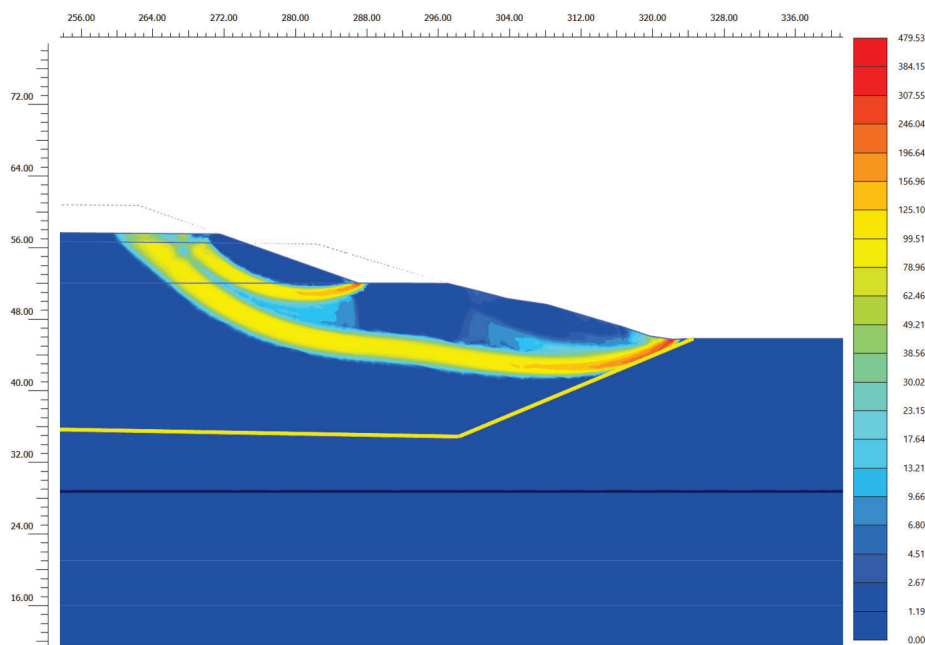


Figura 59. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

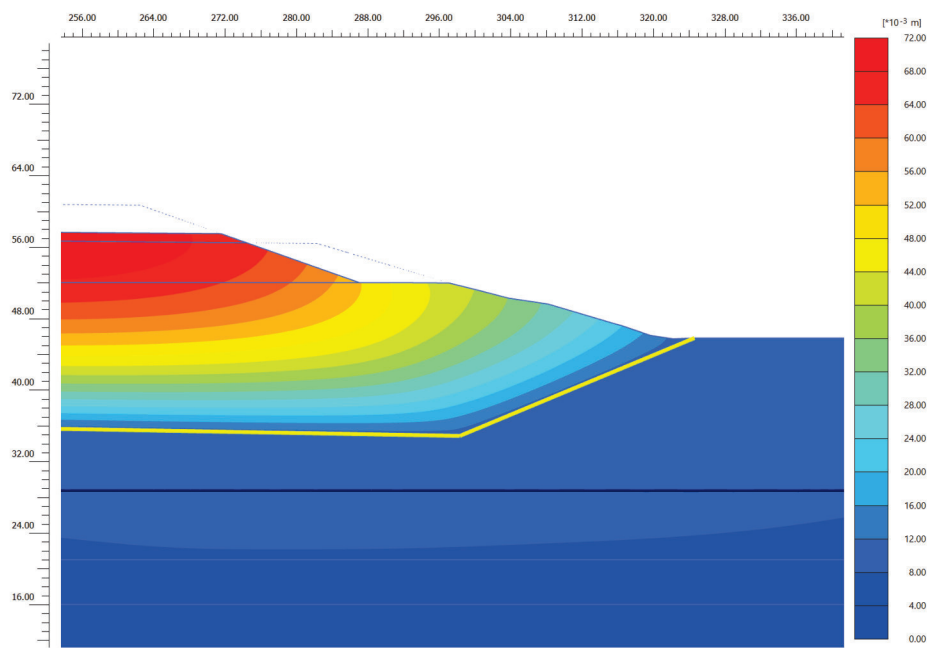


Figura 60. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

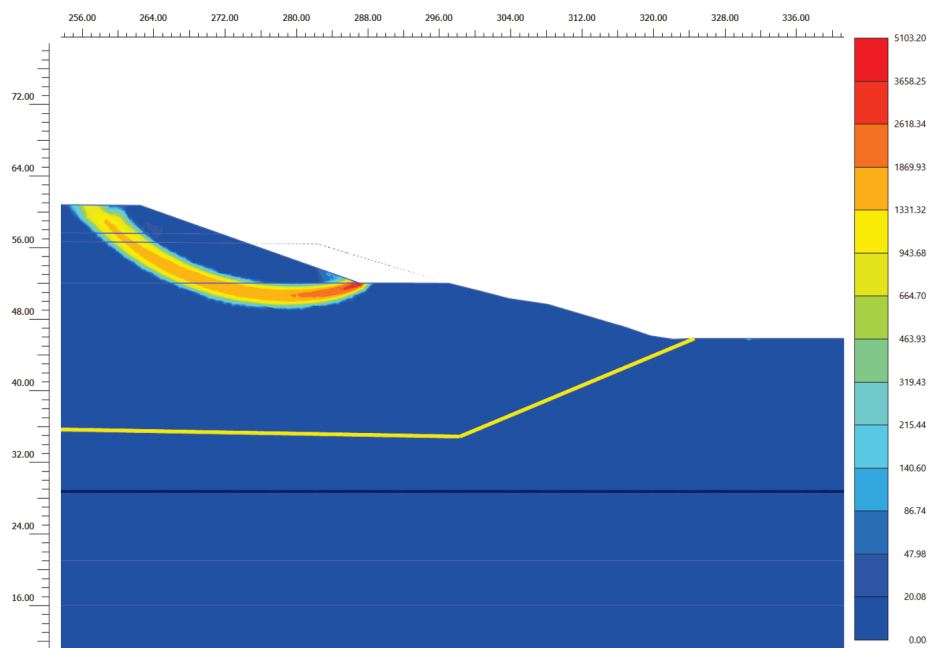


Figura 61. Modello X2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

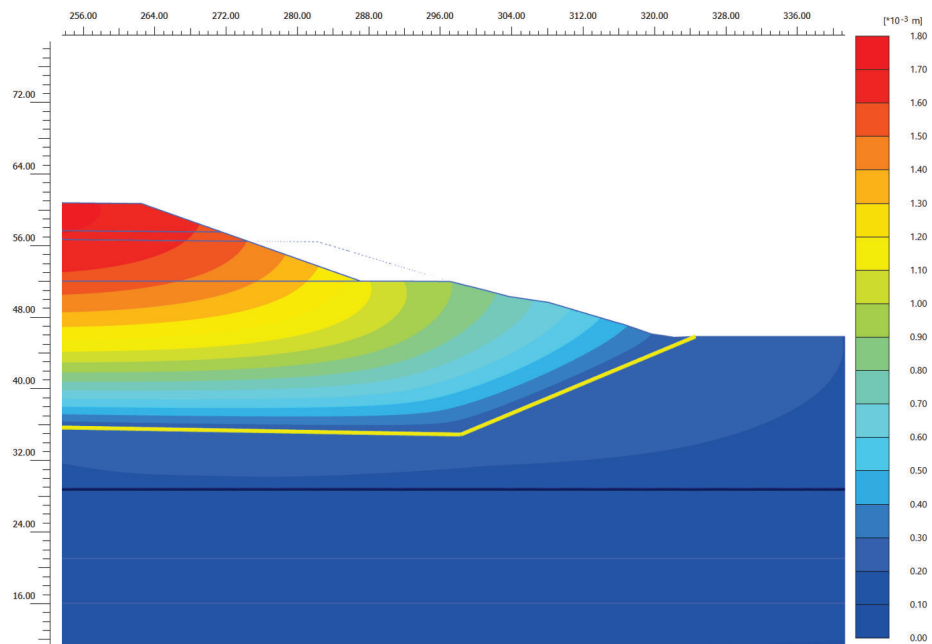


Figura 62. Modello X2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.4. SEZIONE X3_SX

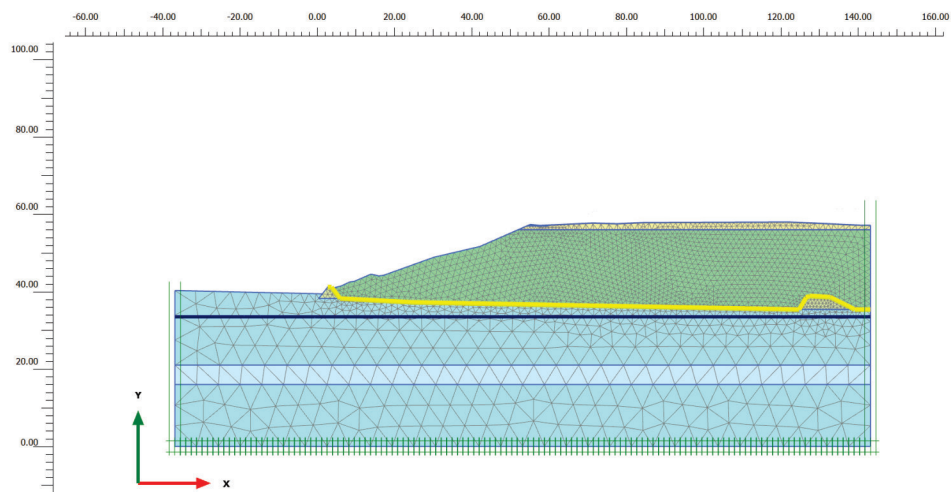


Figura 63. Modello X3_sx. Geometria nelle condizioni attuali

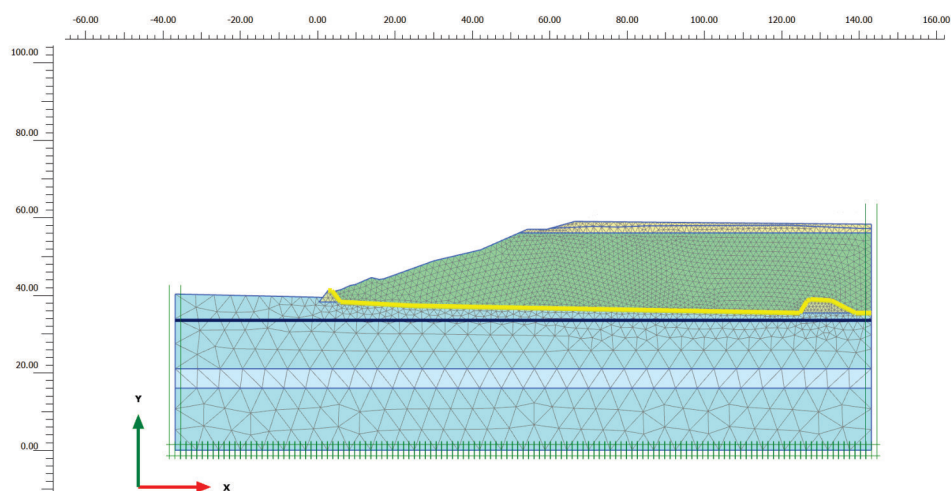


Figura 64. Modello X3_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1

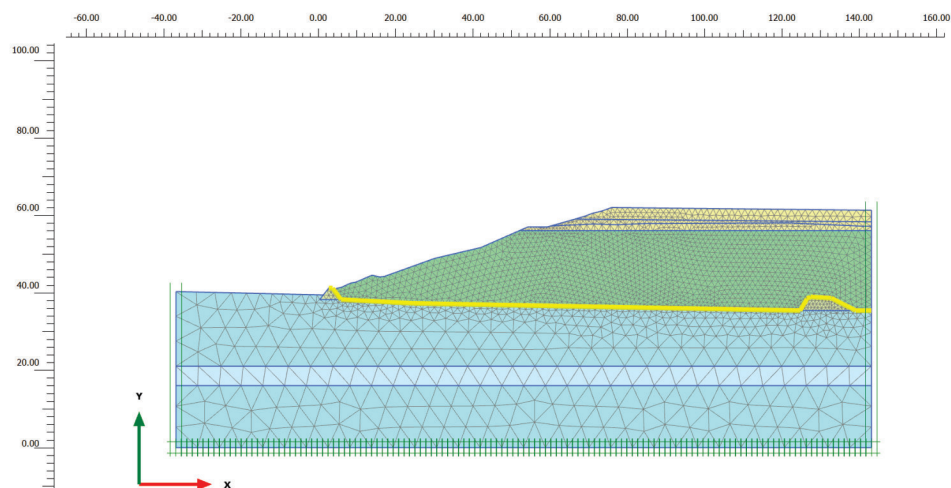


Figura 65. Modello X3_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2

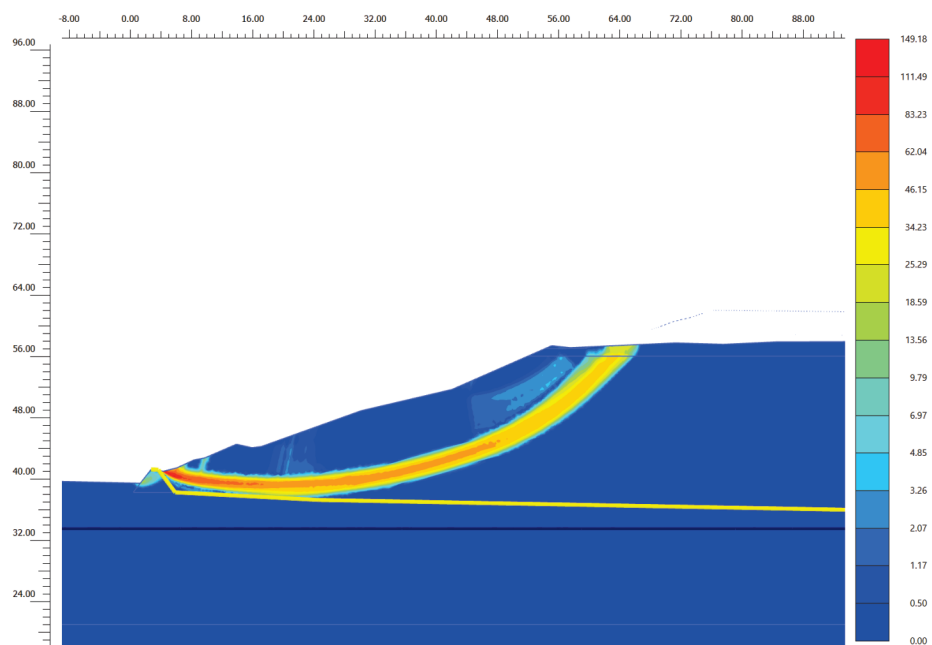


Figura 66. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)

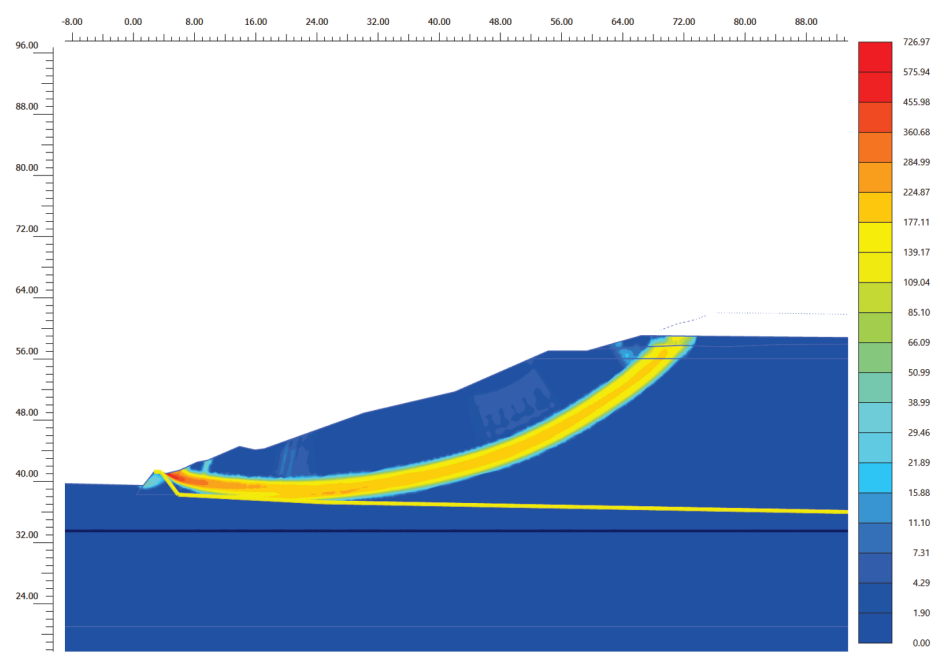


Figura 67. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

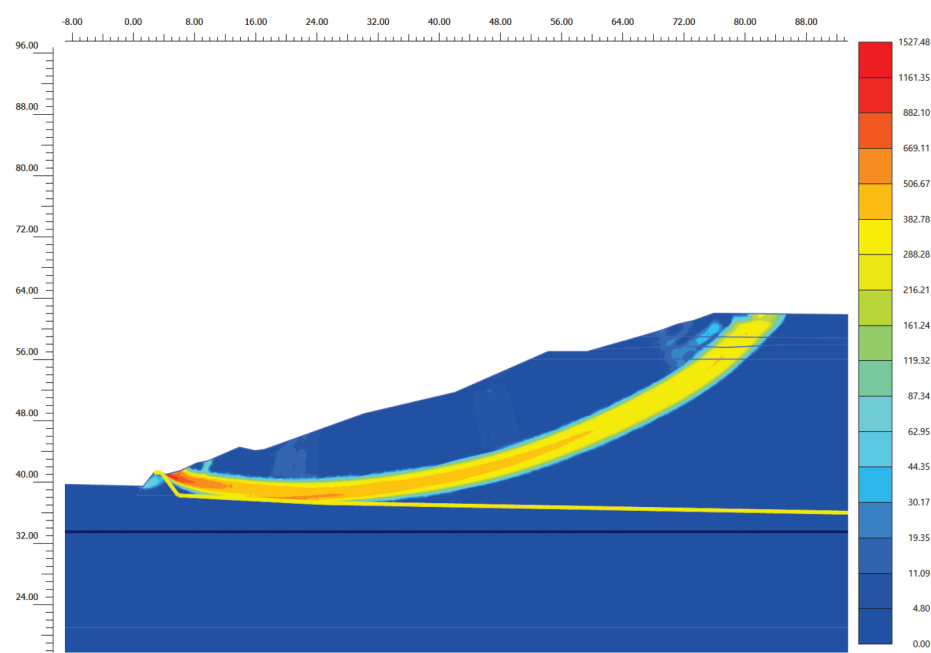


Figura 68. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

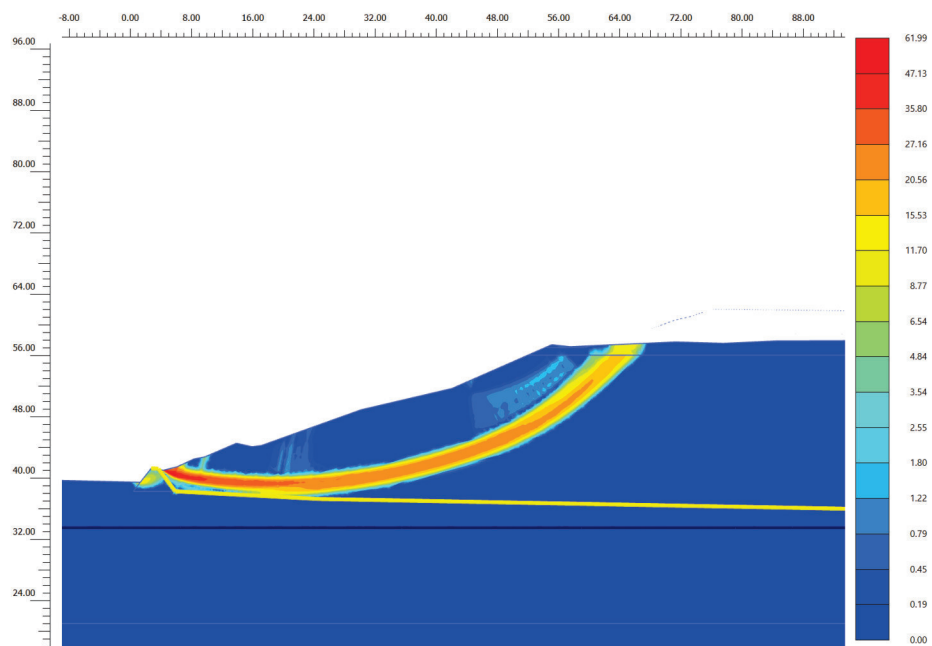


Figura 69. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

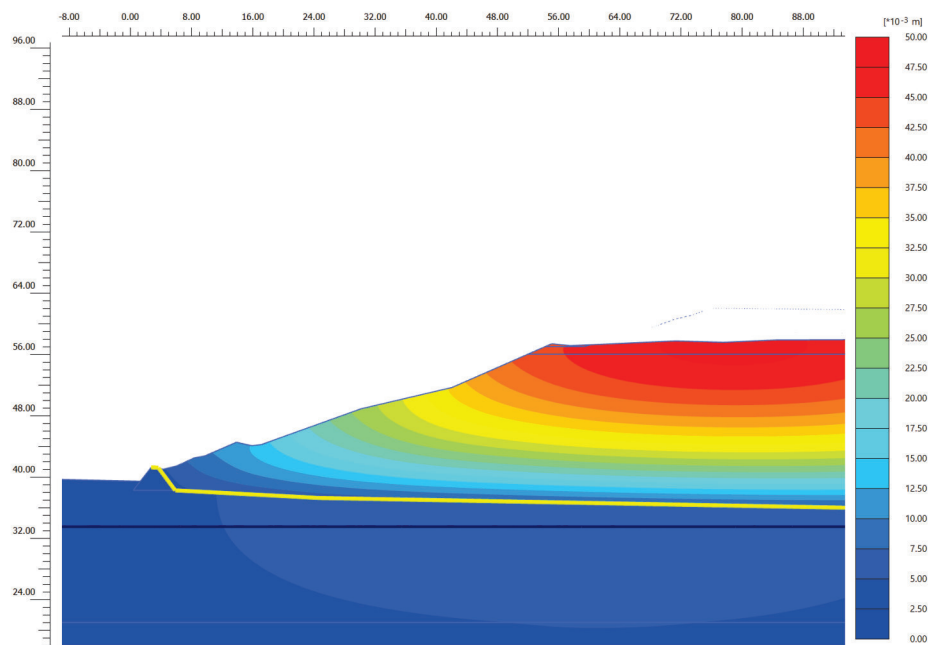


Figura 70. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

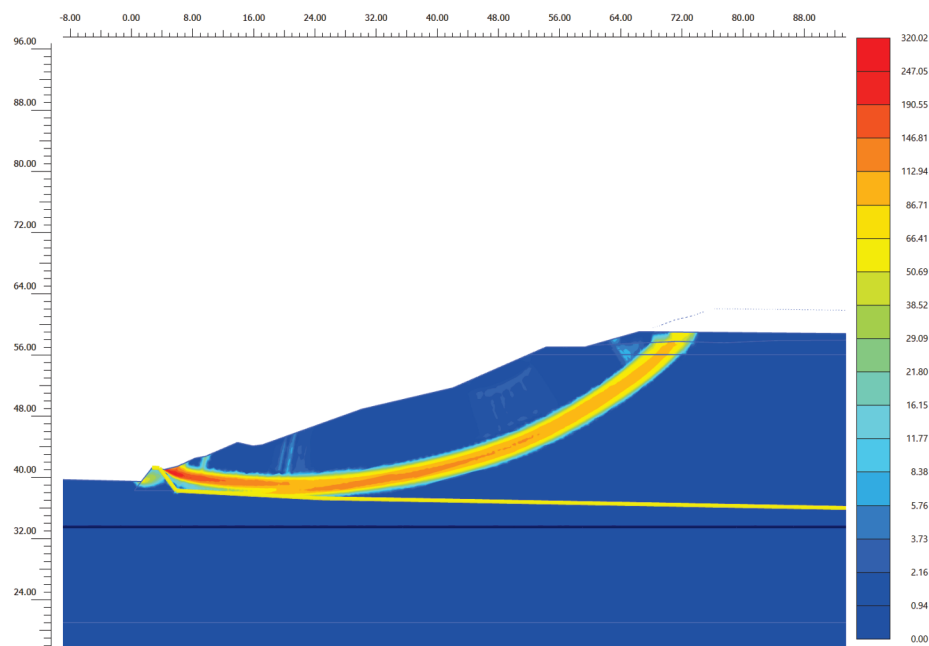


Figura 71. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

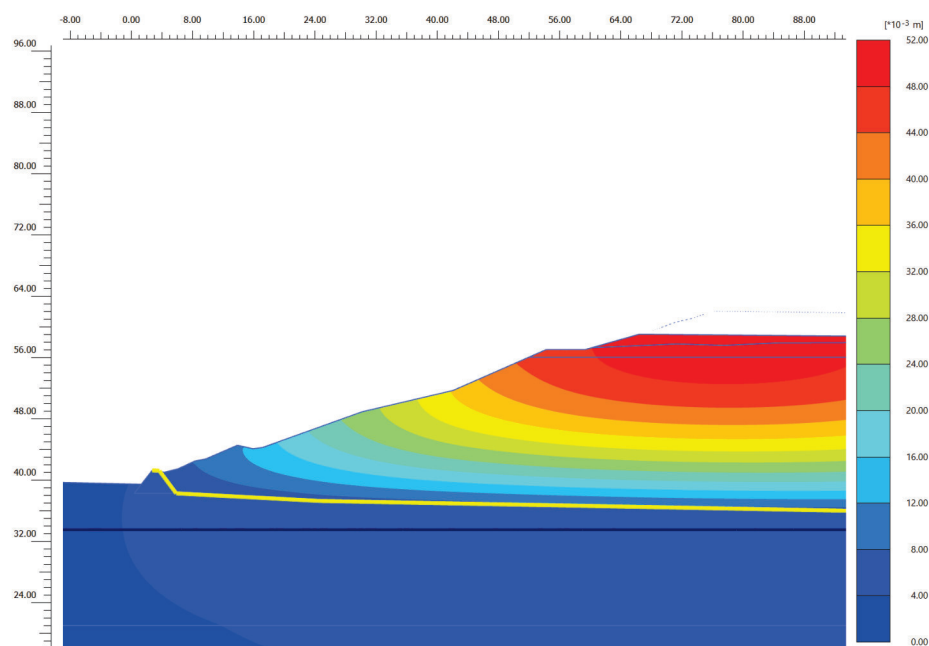


Figura 72. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

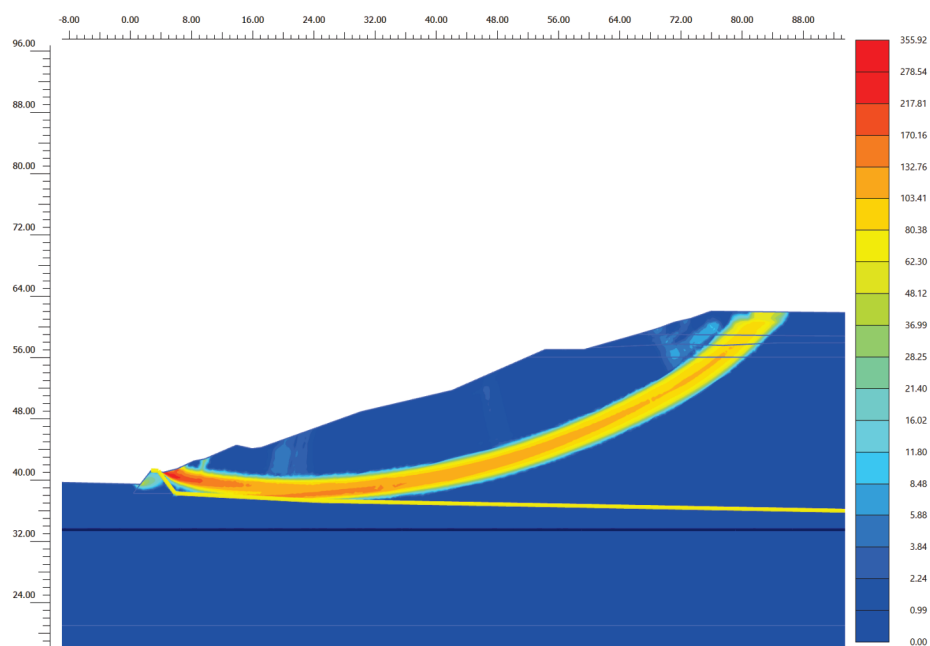


Figura 73. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

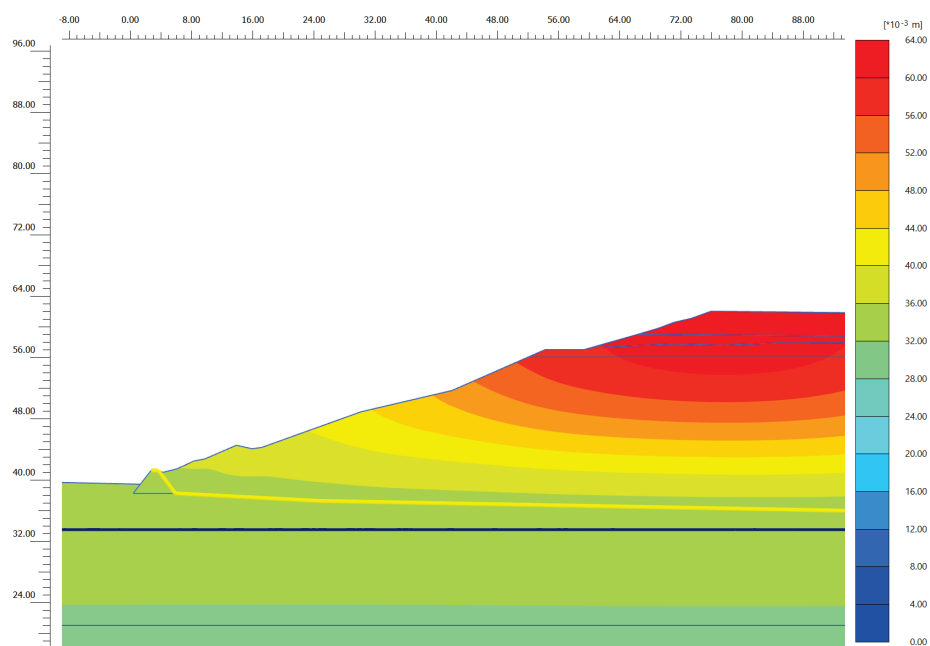


Figura 74. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

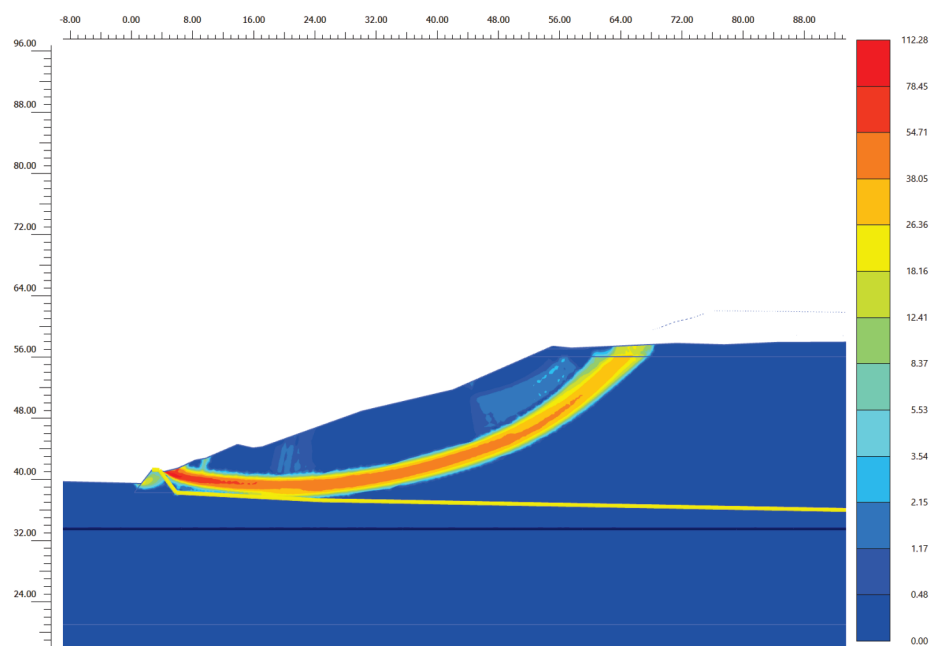


Figura 75. Modello X3_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

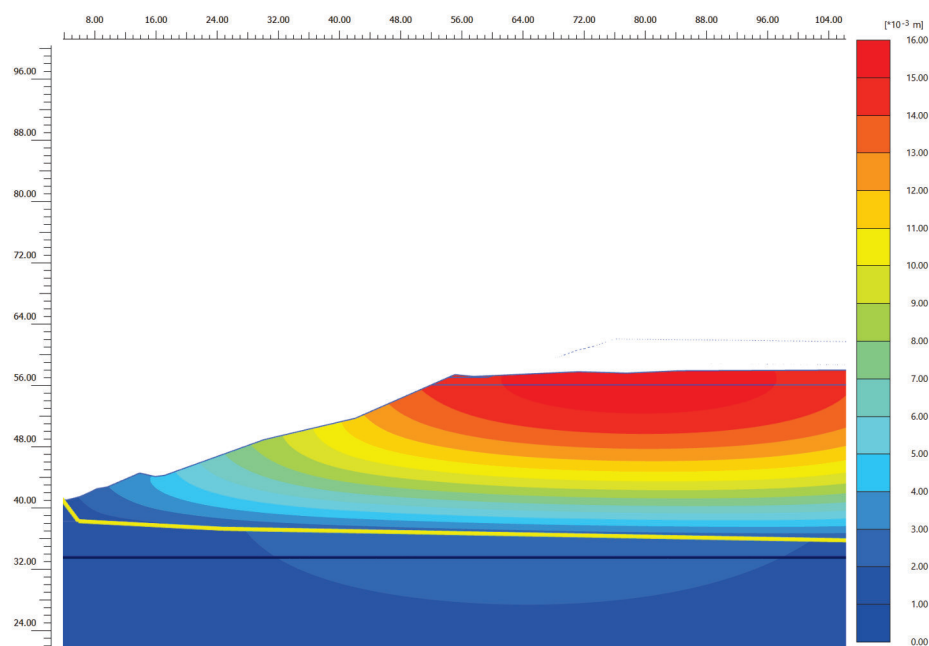


Figura 76. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

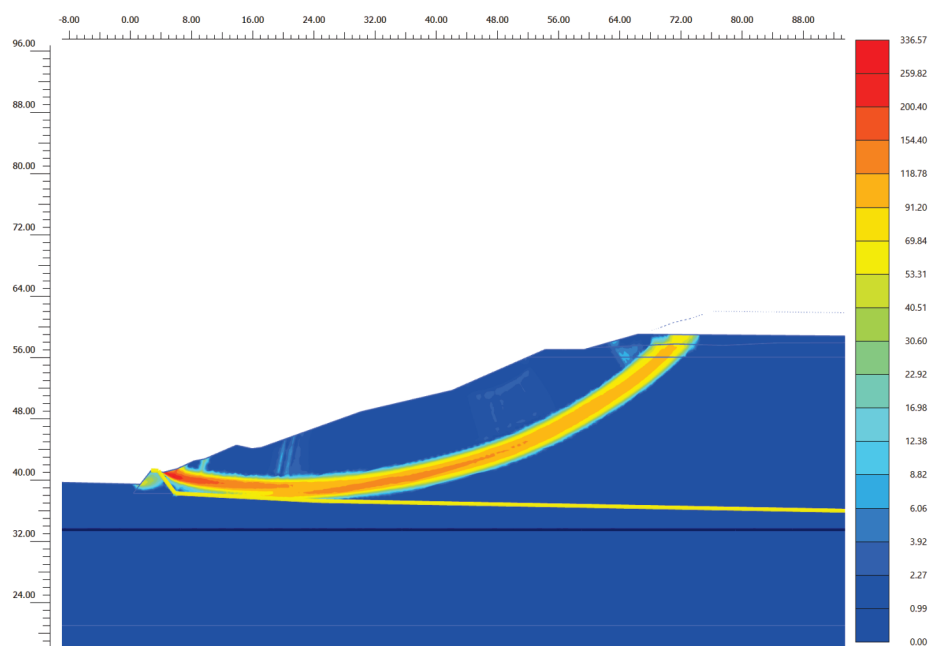


Figura 77. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

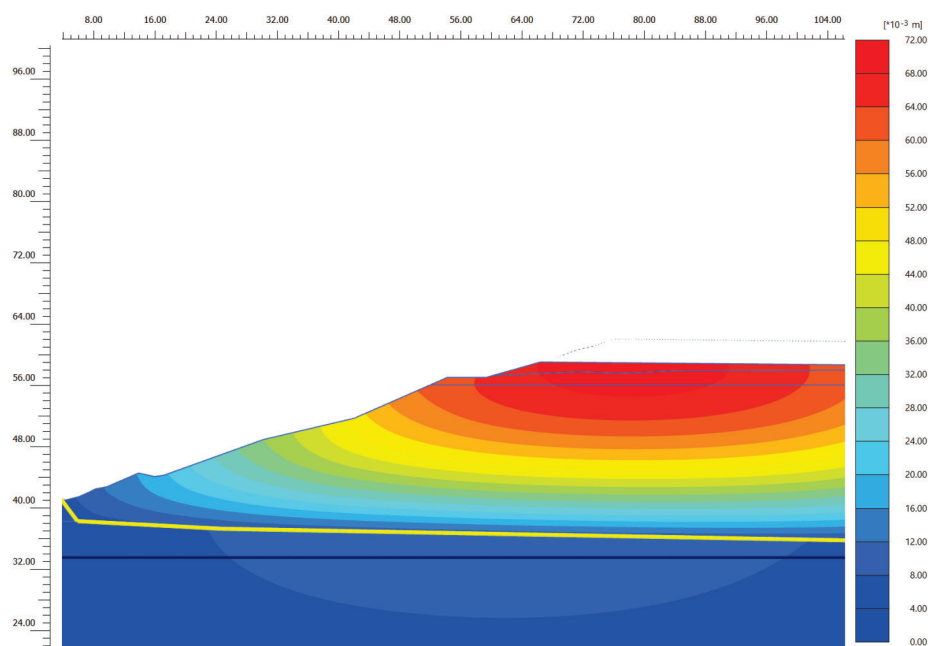


Figura 78. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

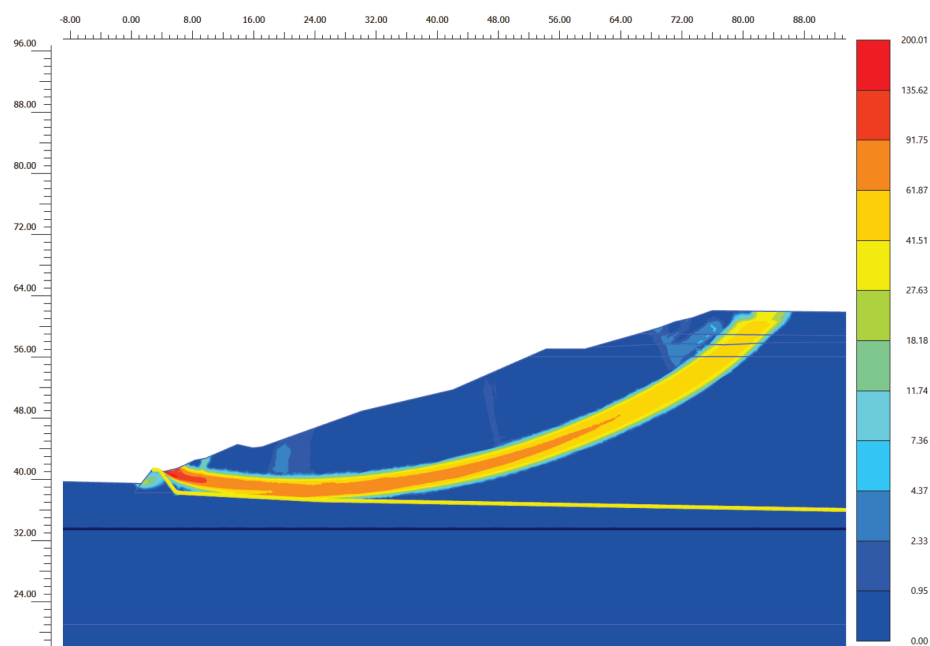


Figura 79. Modello X3_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

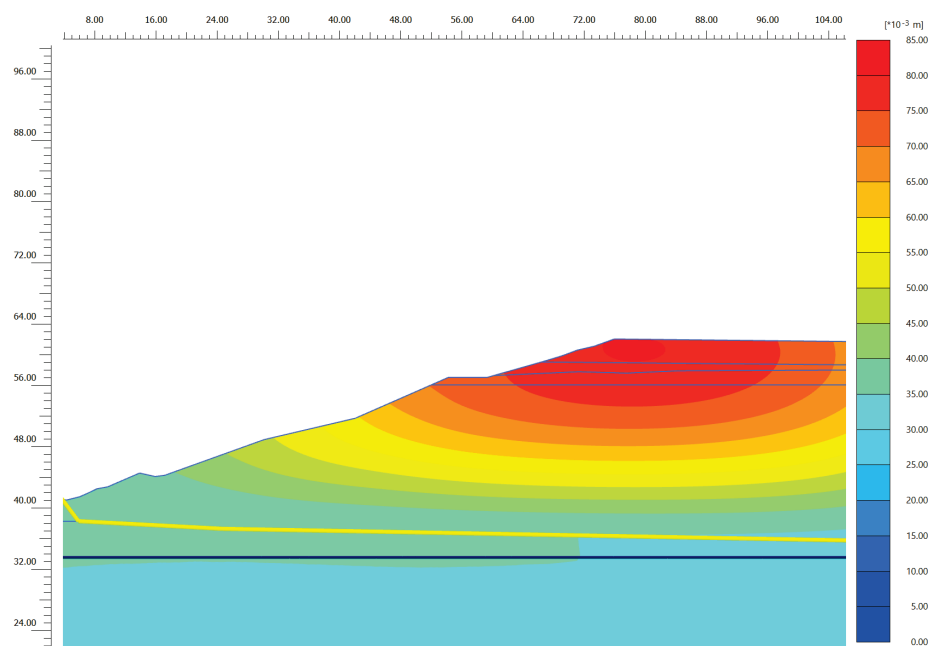


Figura 80. Modello X3_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.5. SEZIONE X3_DX

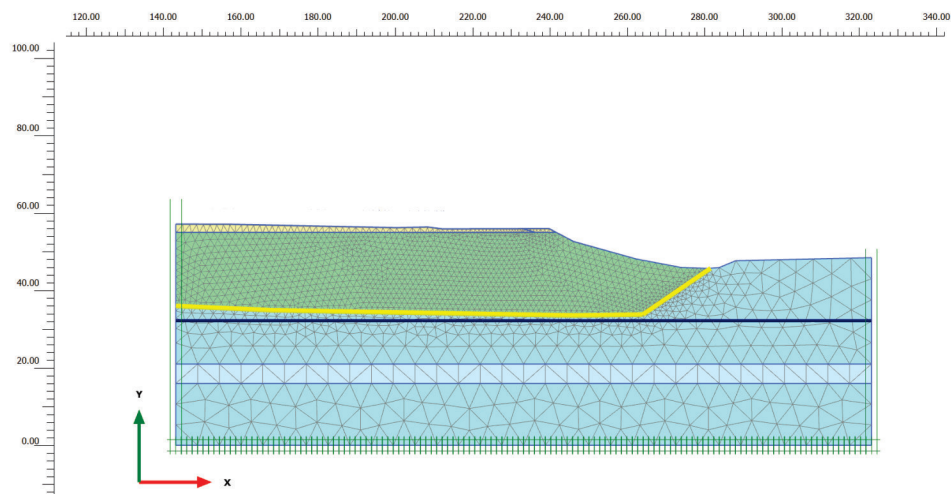


Figura 81. Modello X3_dx. Geometria nelle condizioni attuali

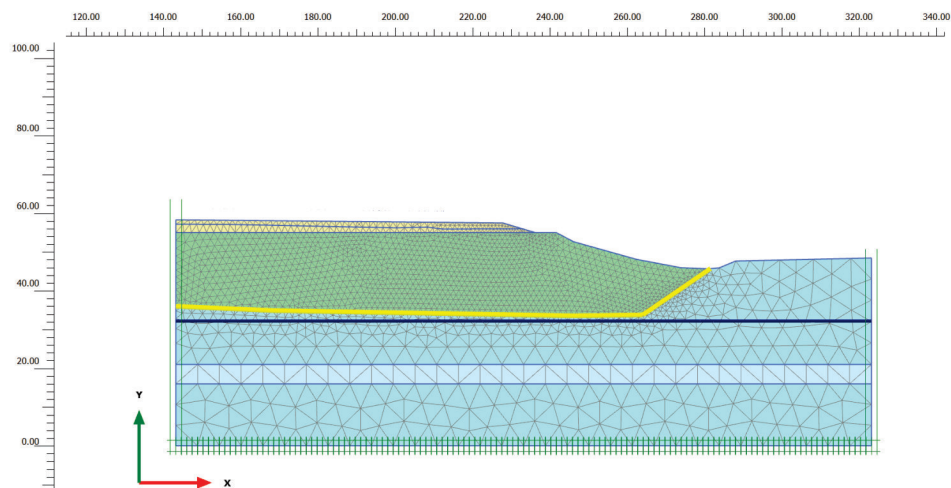


Figura 82. Modello X3_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1

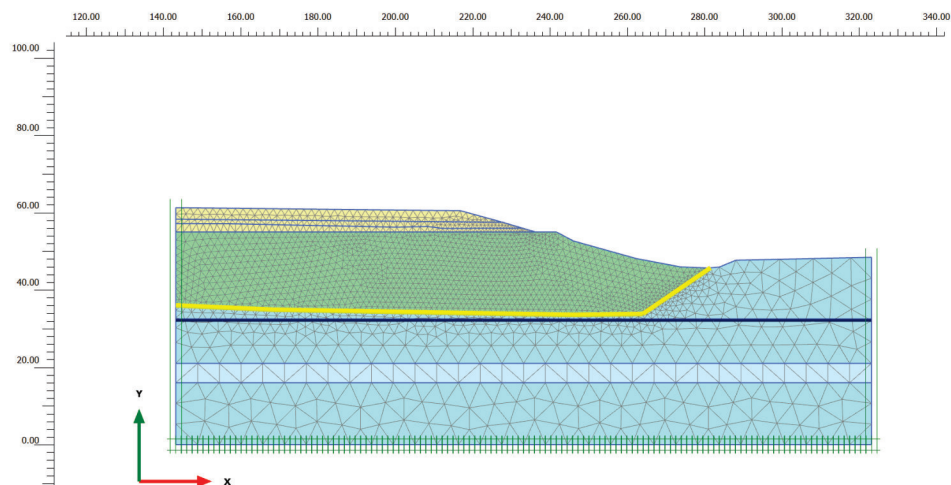


Figura 83. Modello X3_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2

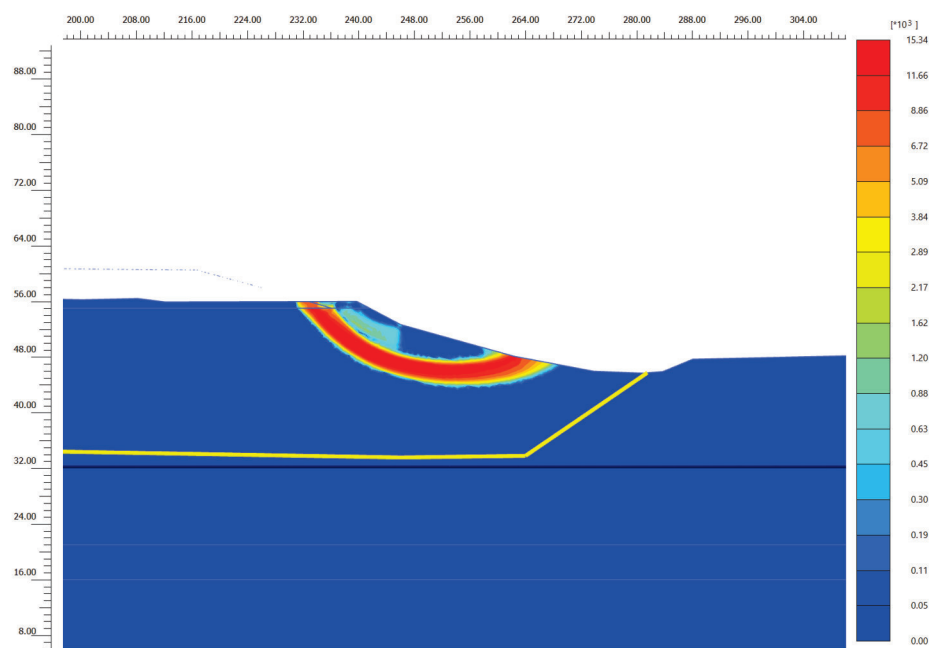


Figura 84. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)

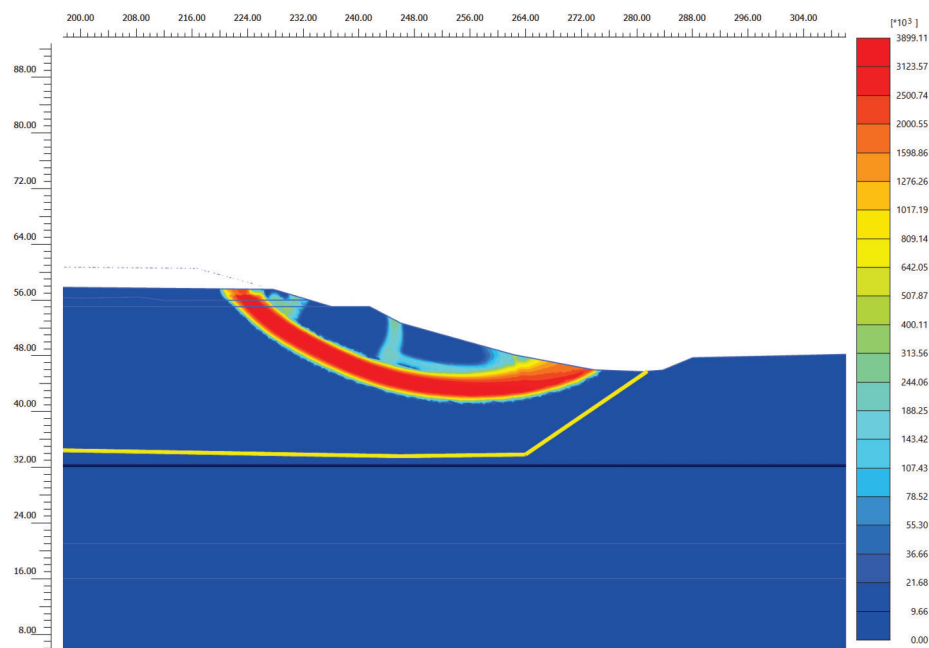


Figura 85. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

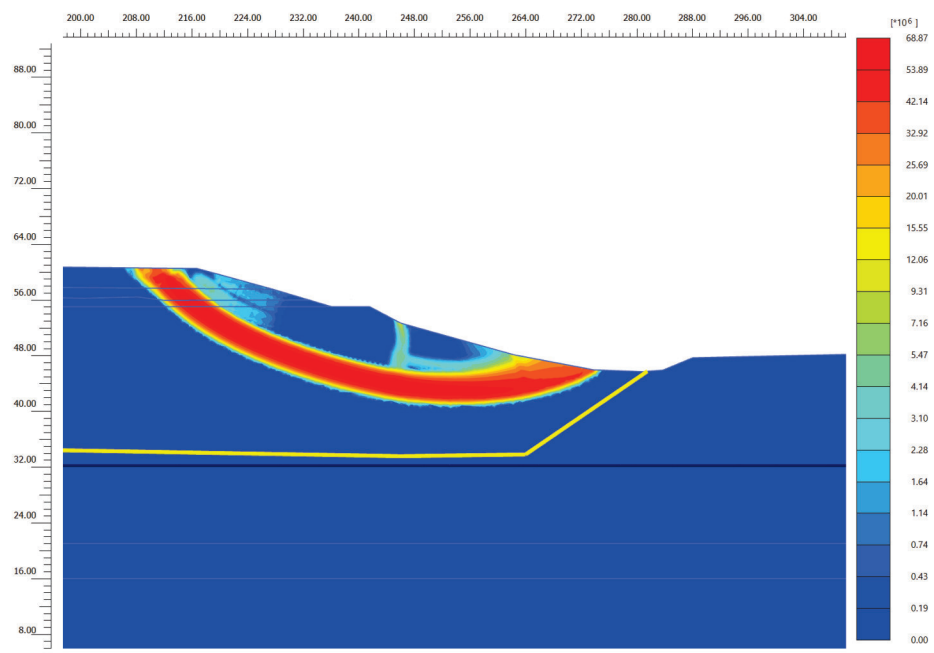


Figura 86. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

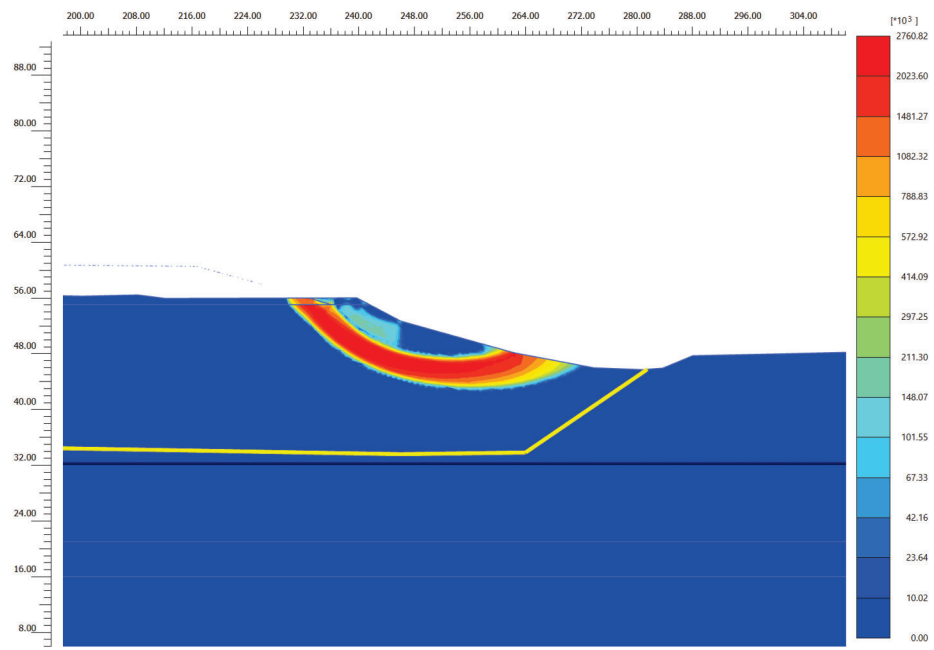


Figura 87. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

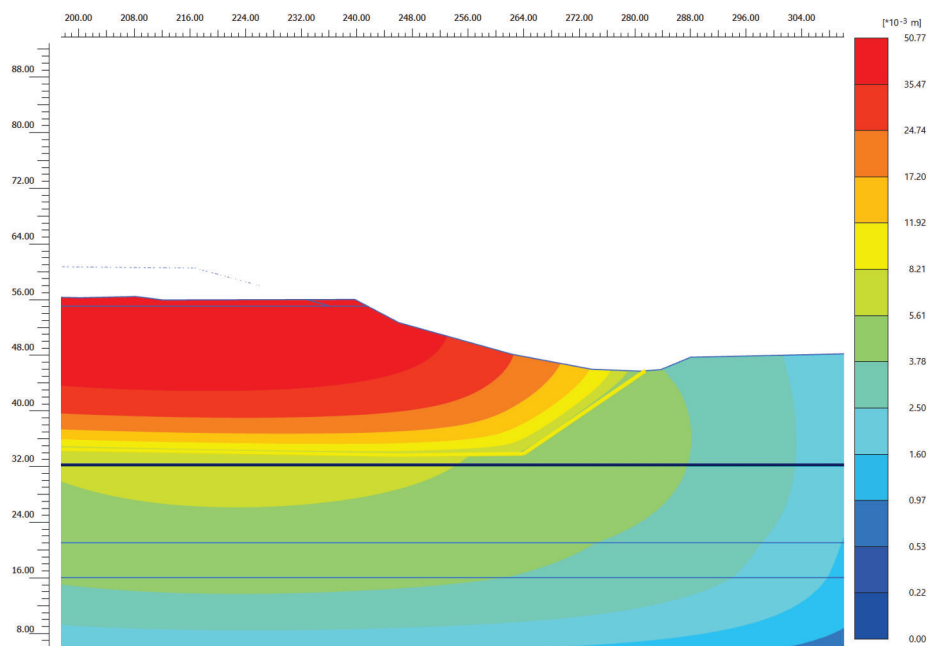


Figura 88. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

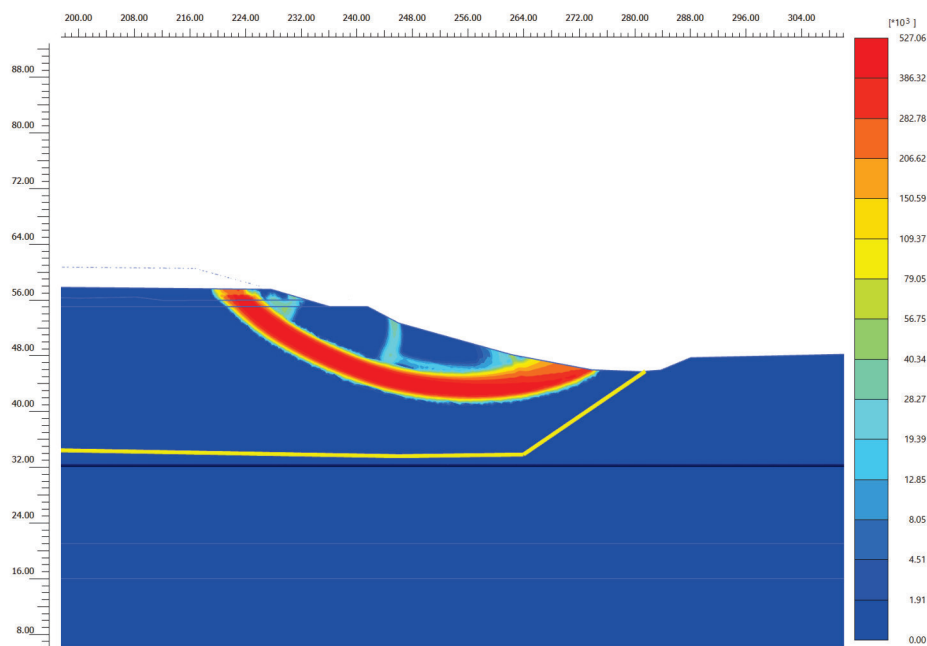


Figura 89. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

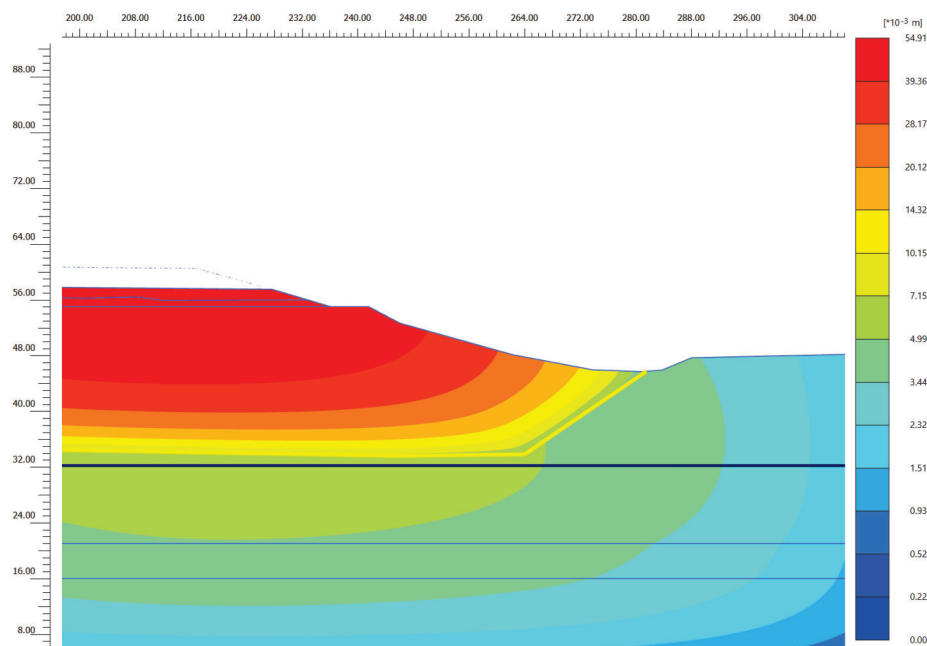


Figura 90. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

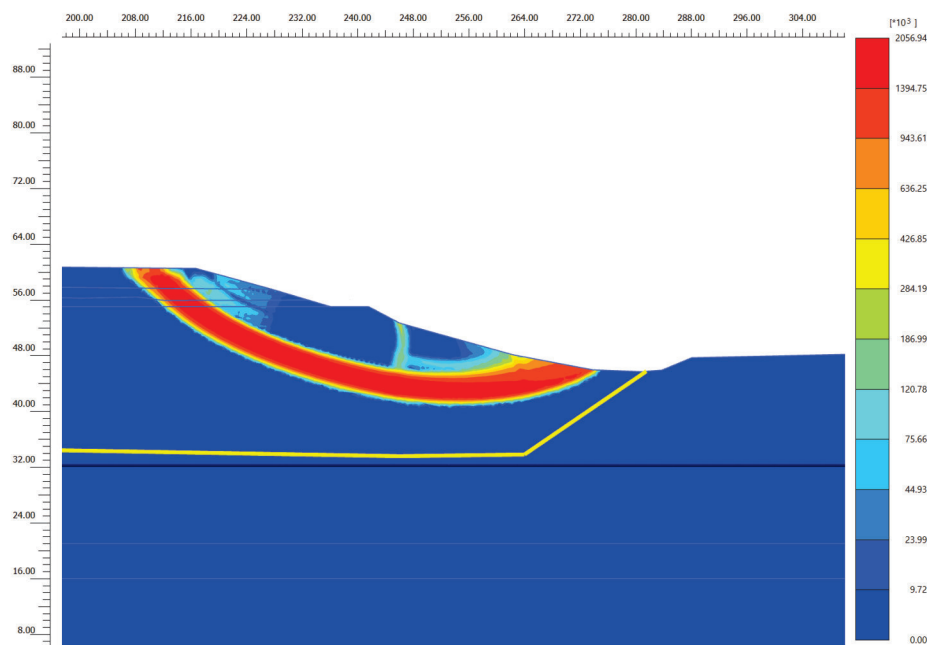


Figura 91. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

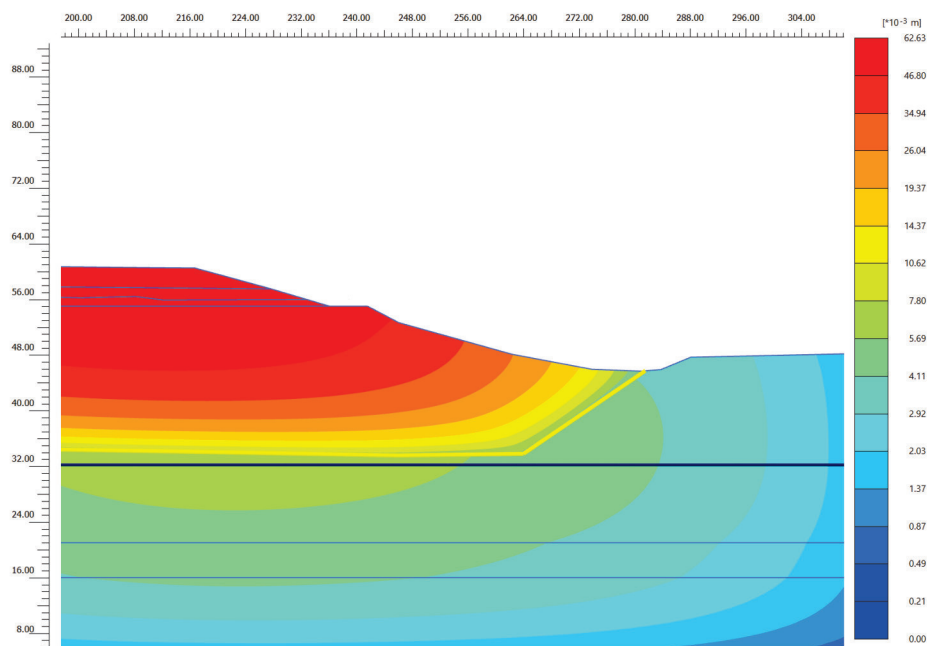


Figura 92. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

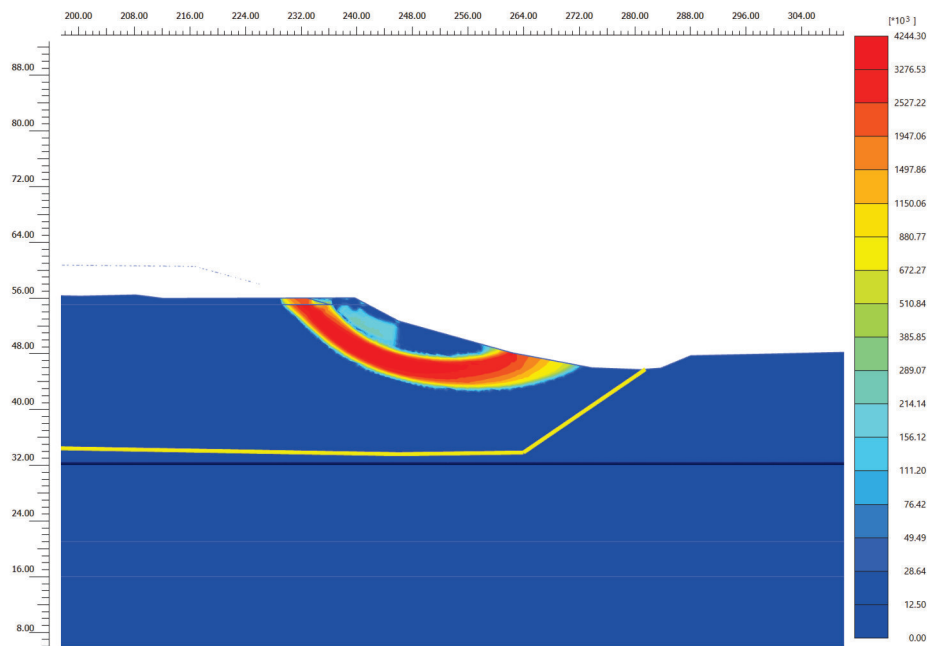


Figura 93. Modello X3_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

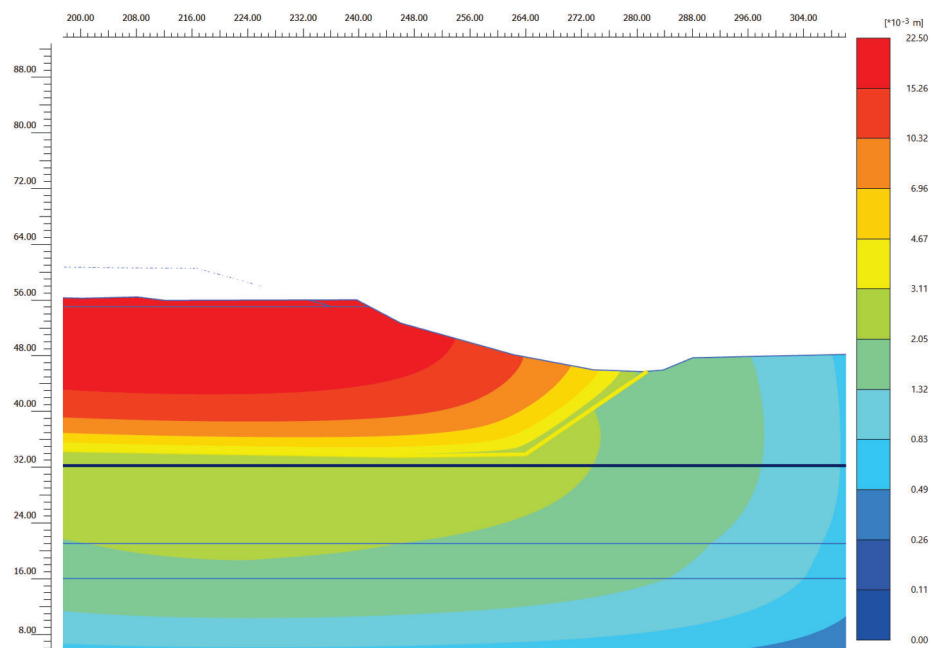


Figura 94. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

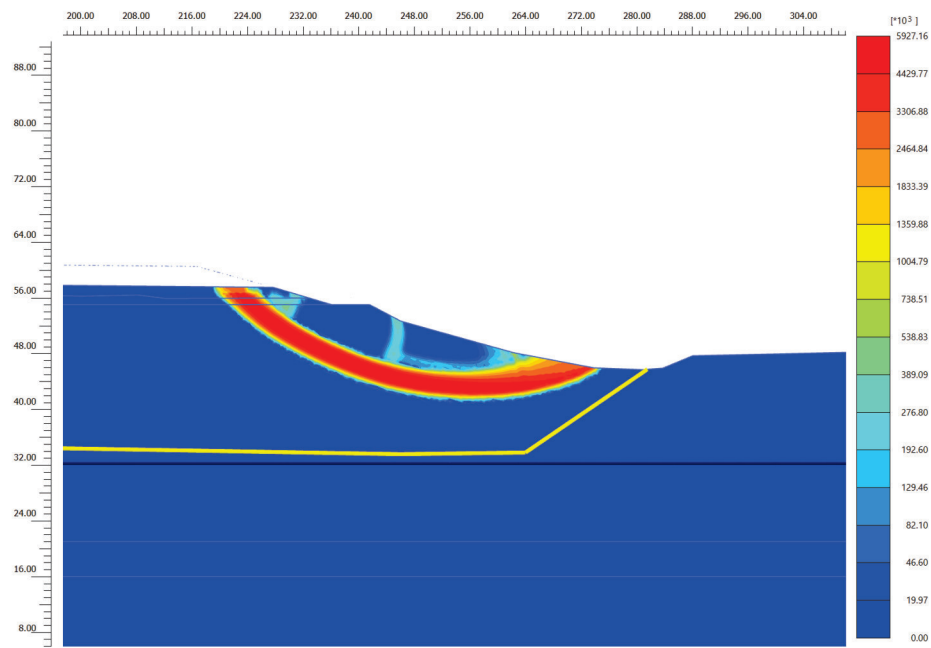


Figura 95. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

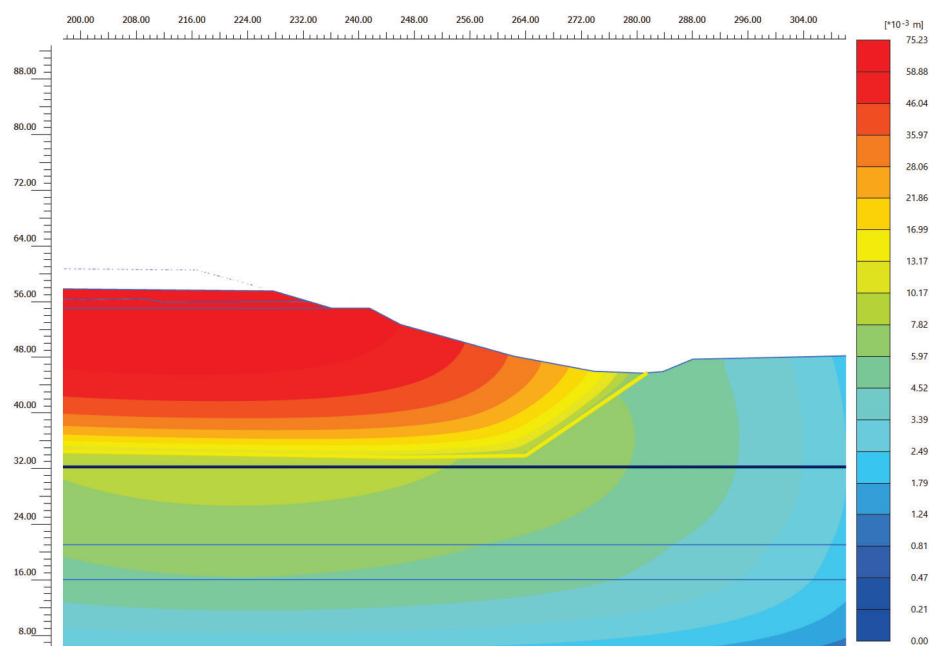


Figura 96. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

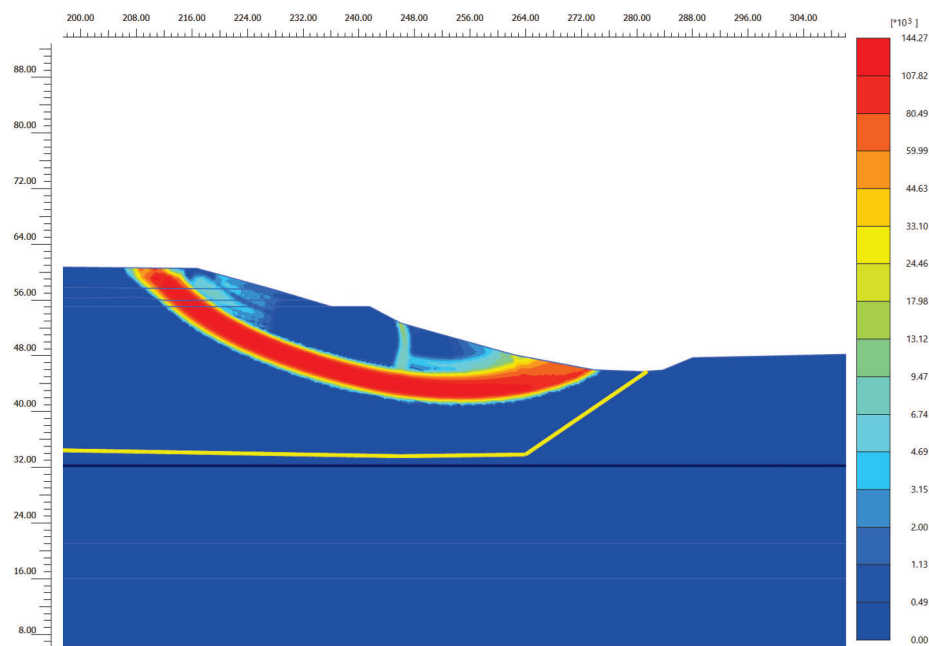


Figura 97. Modello X3_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

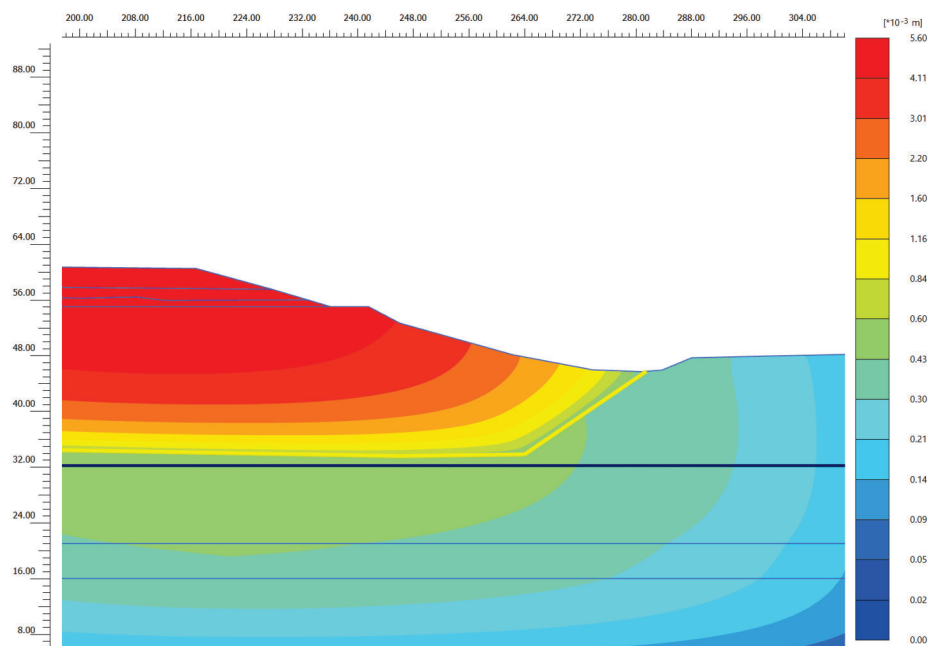


Figura 98. Modello X3_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.6. SEZIONE X4_SX

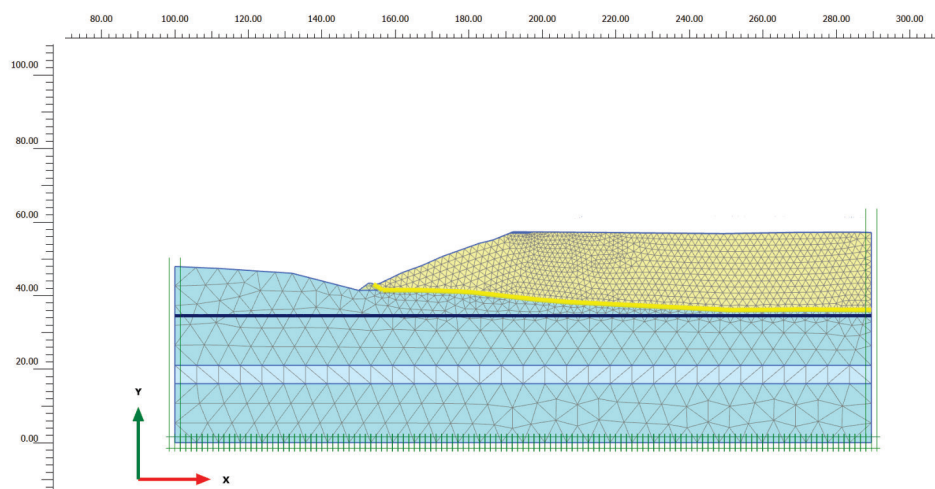


Figura 99. Modello X4_sx. Geometria nelle condizioni attuali

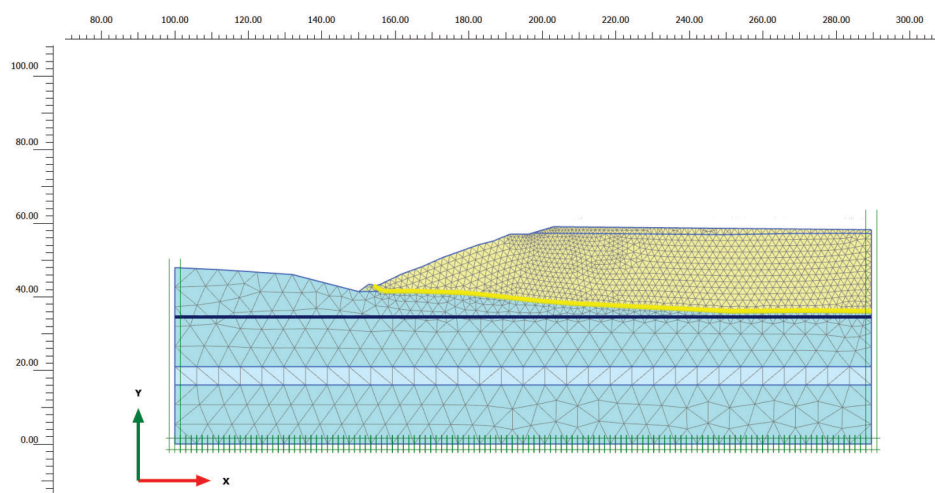


Figura 100. Modello X4_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1

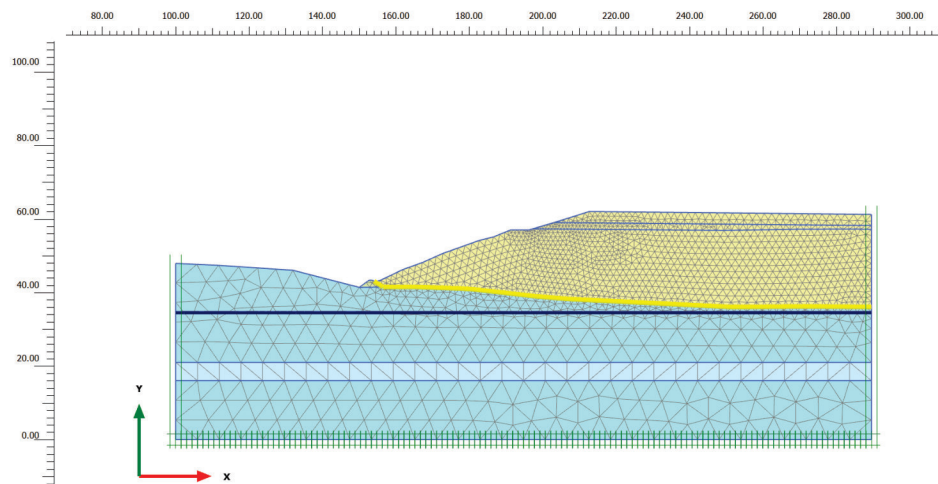


Figura 101. Modello X4_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2

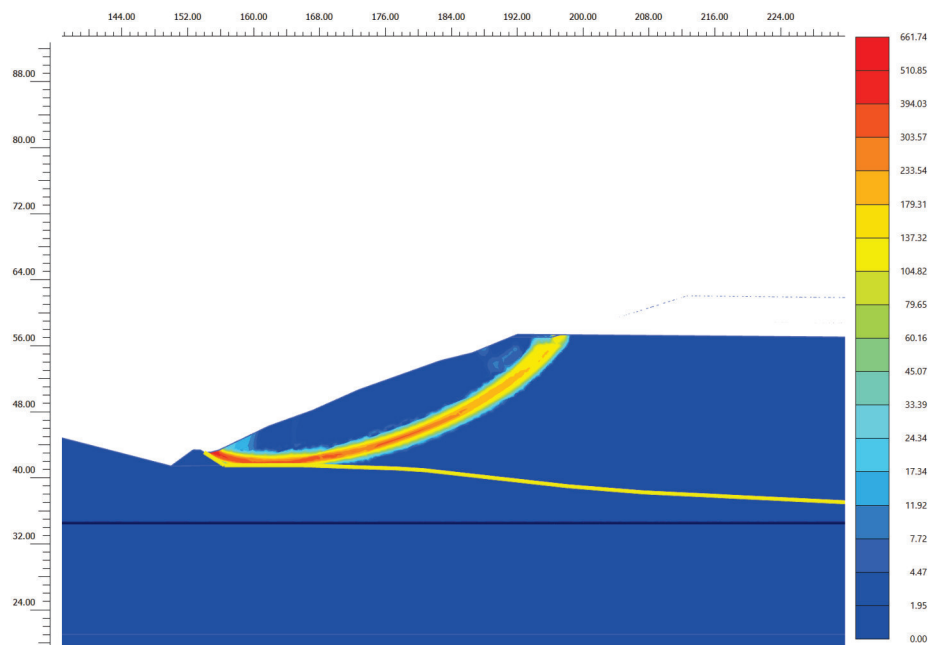


Figura 102. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)

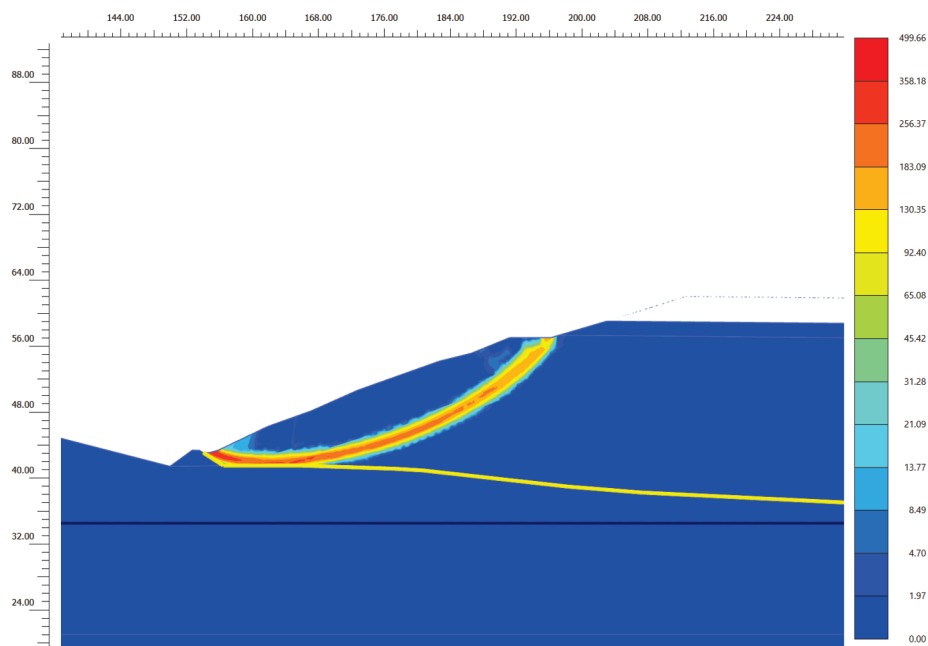


Figura 103. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

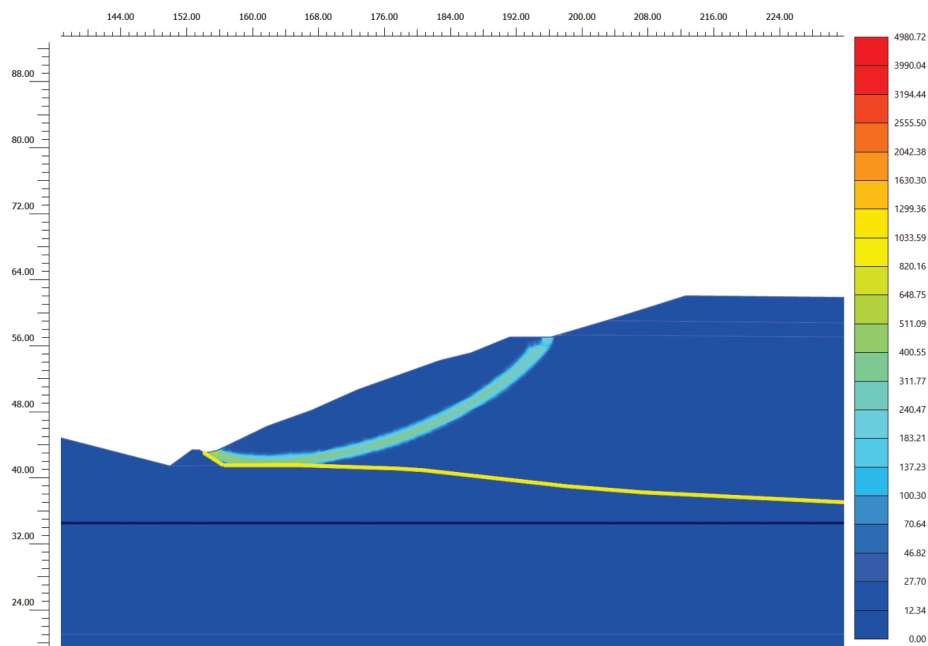


Figura 104. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

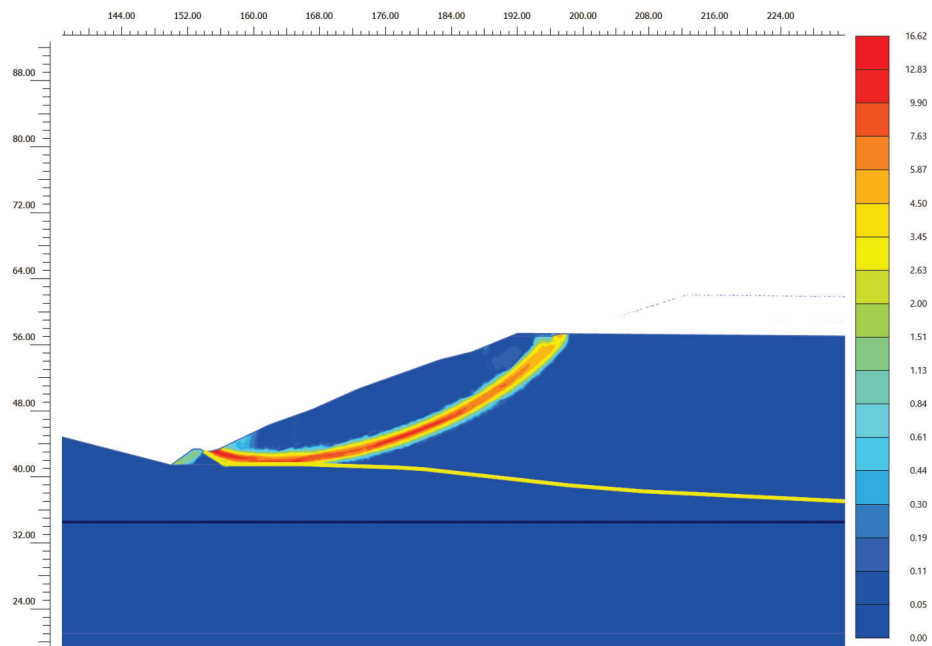


Figura 105. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

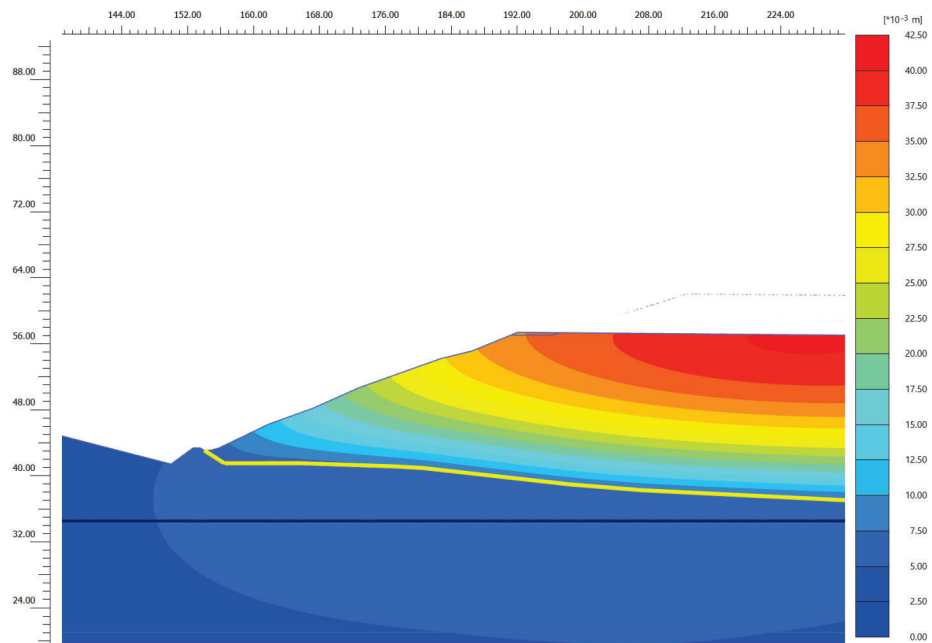


Figura 106. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

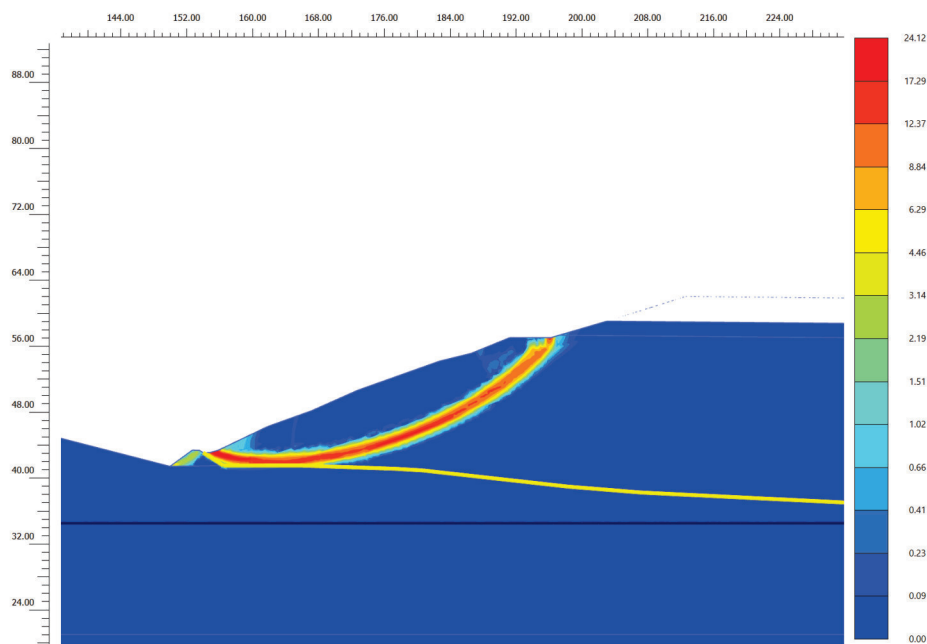


Figura 107. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

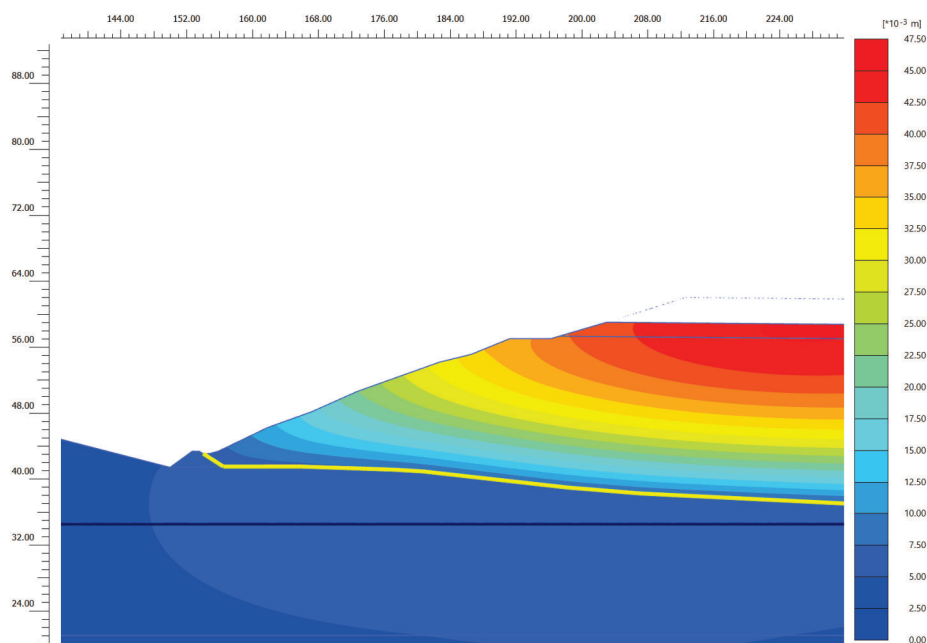


Figura 108. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

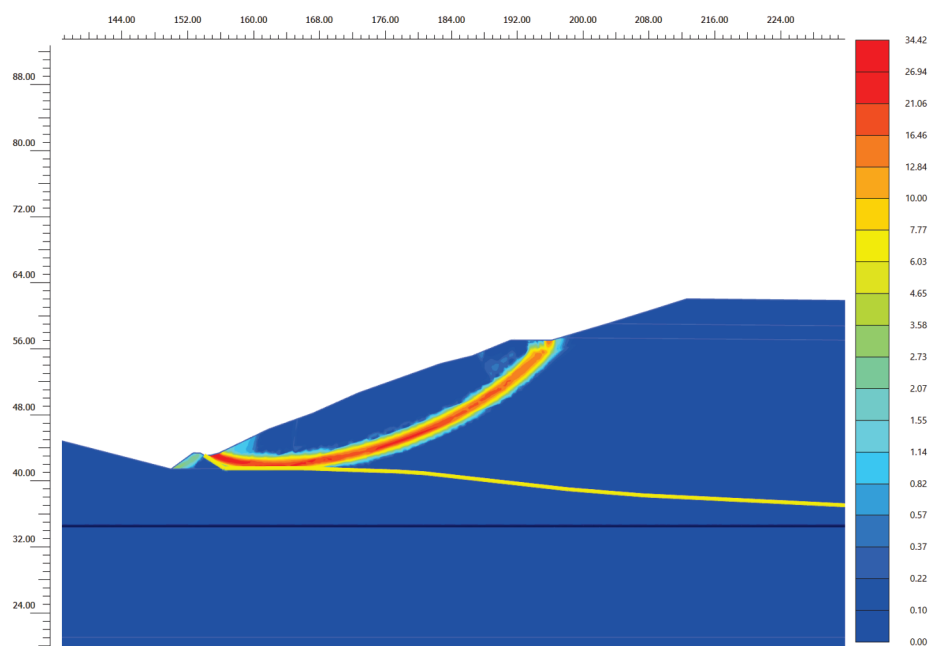


Figura 109. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

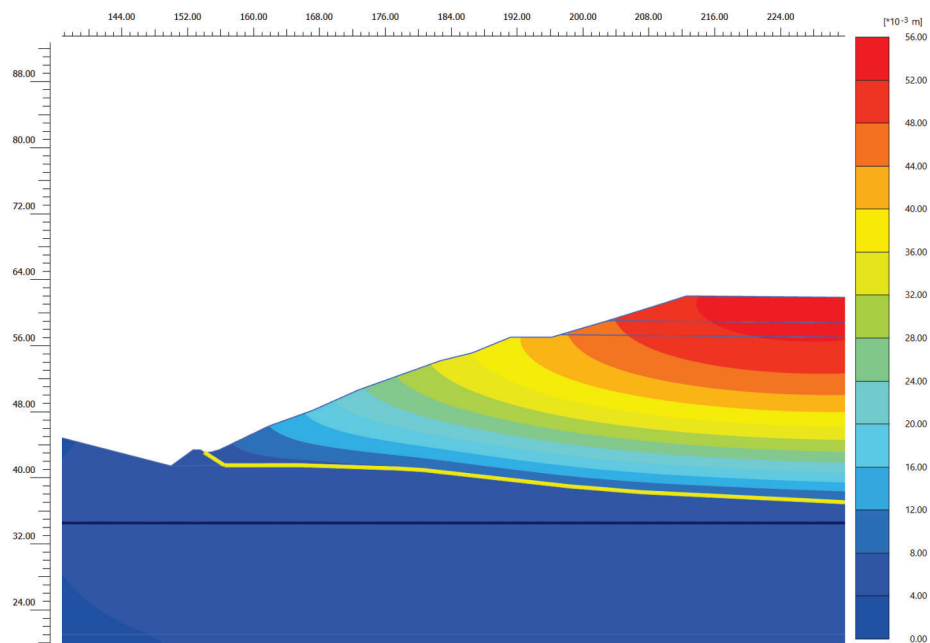


Figura 110. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

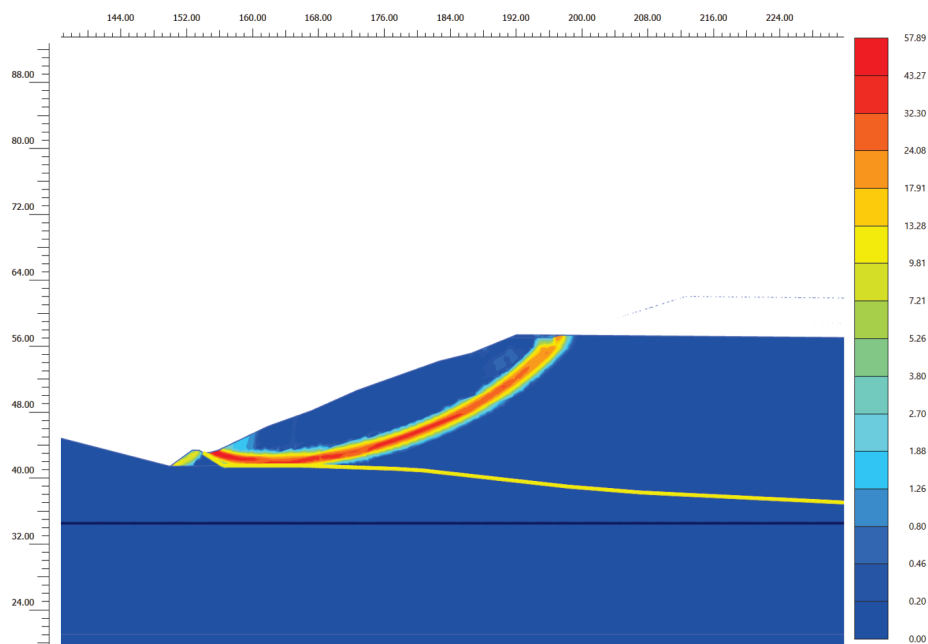


Figura 111. Modello X4_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

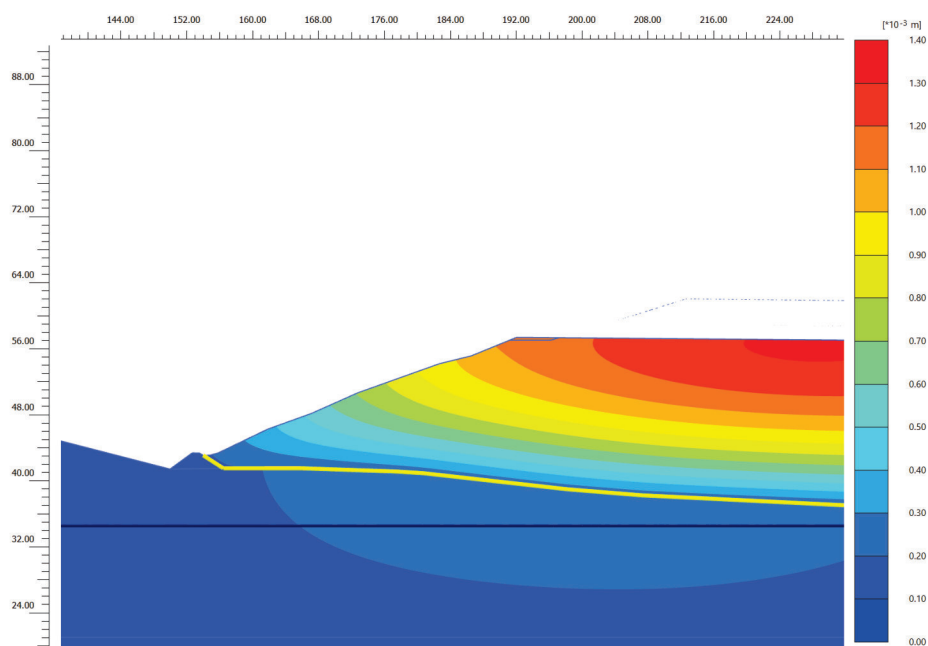


Figura 112. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

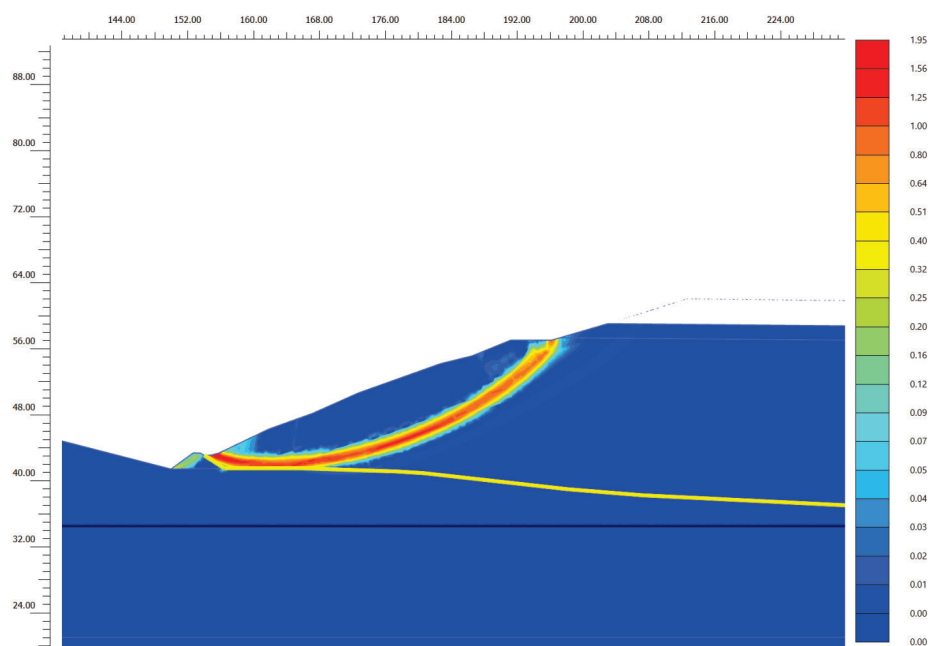


Figura 113. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

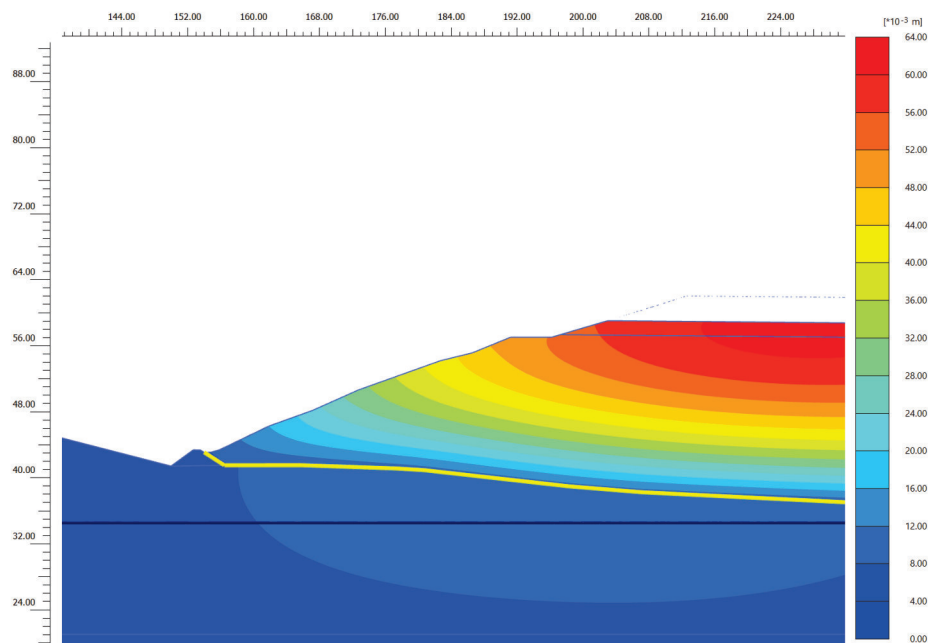


Figura 114. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

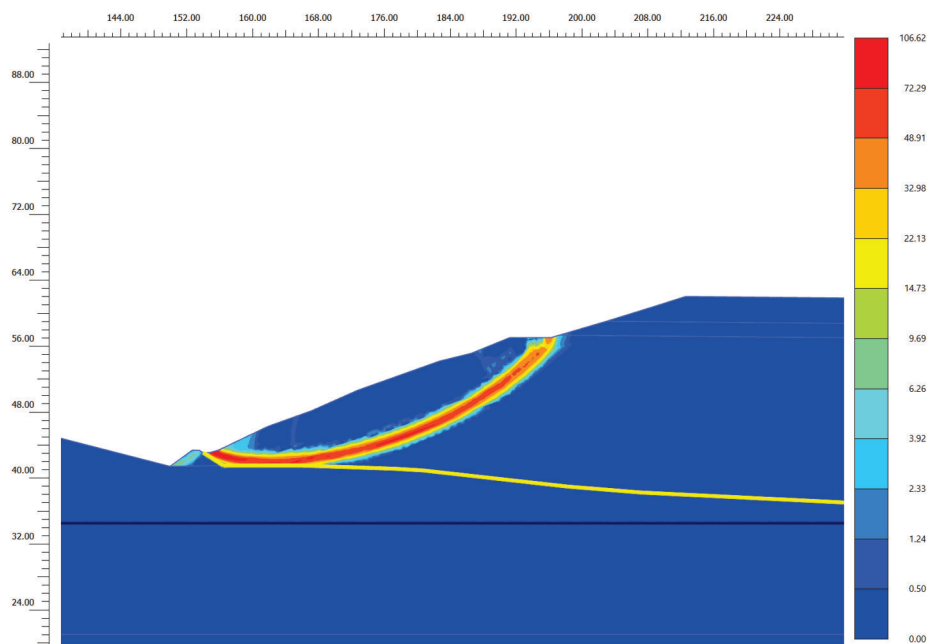


Figura 115. Modello X4_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

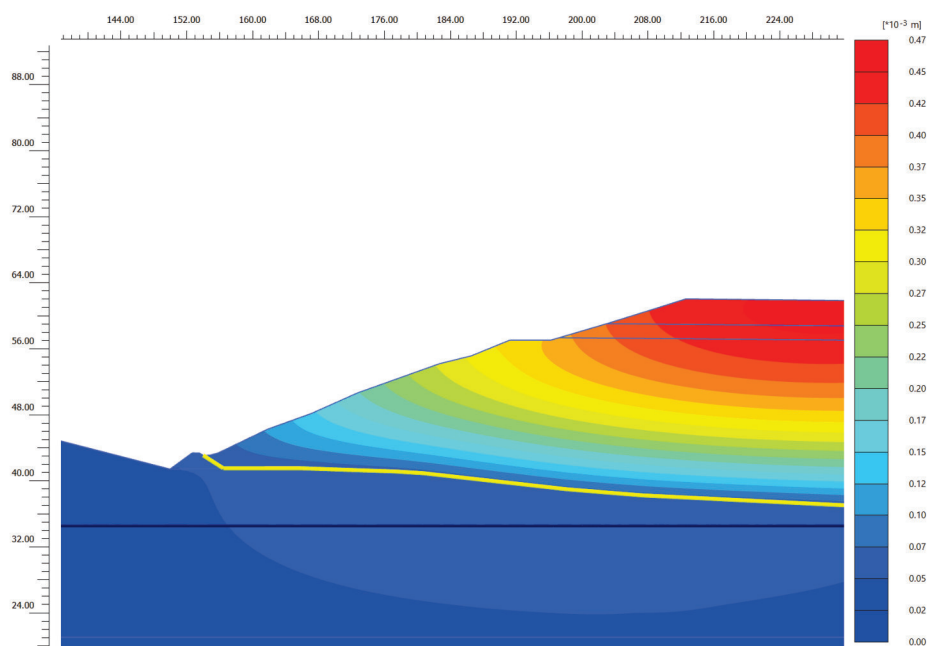


Figura 116. Modello X4_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.7. SEZIONE X4_DX

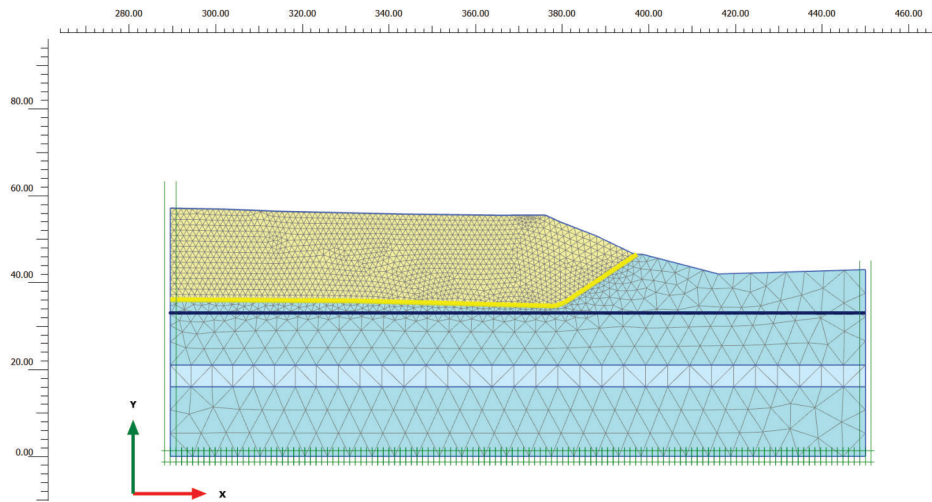


Figura 117. Modello X4_dx. Geometria nelle condizioni attuali

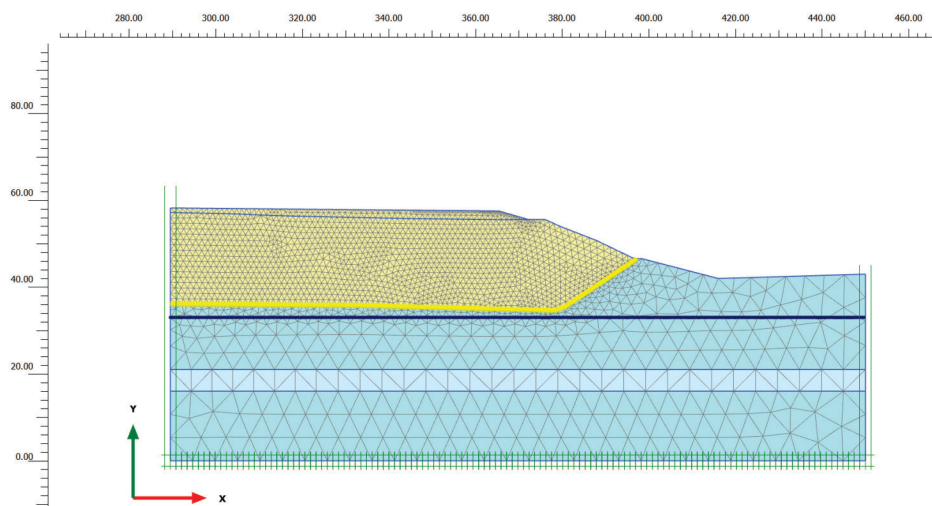


Figura 118. Modello X4_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1

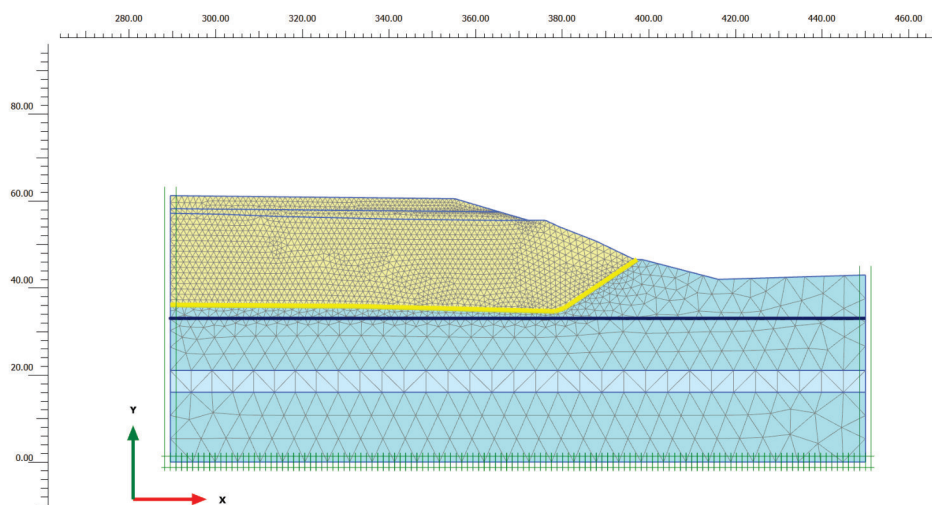


Figura 119. Modello X4_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2

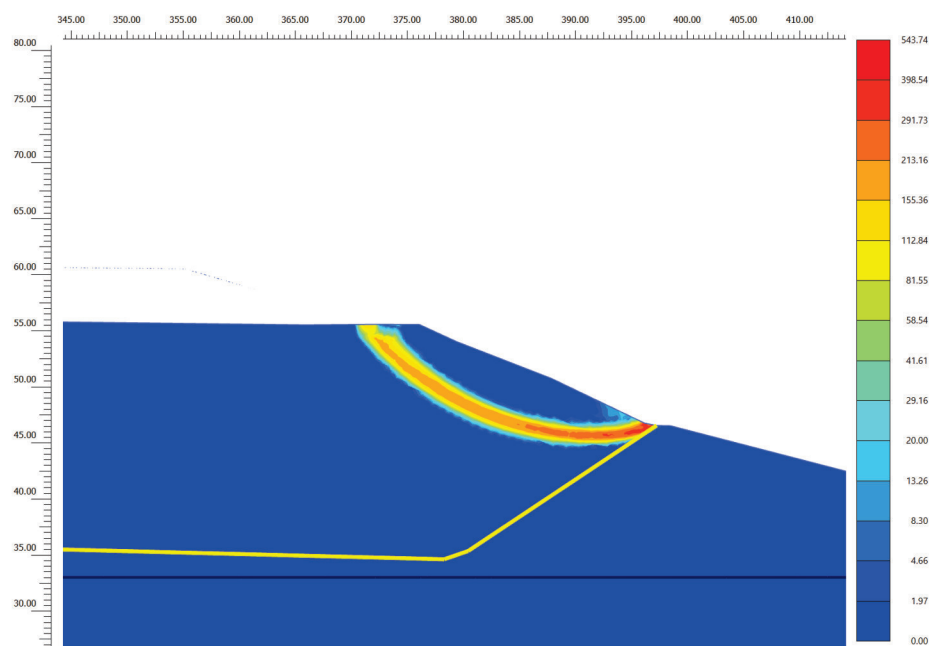


Figura 120. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)

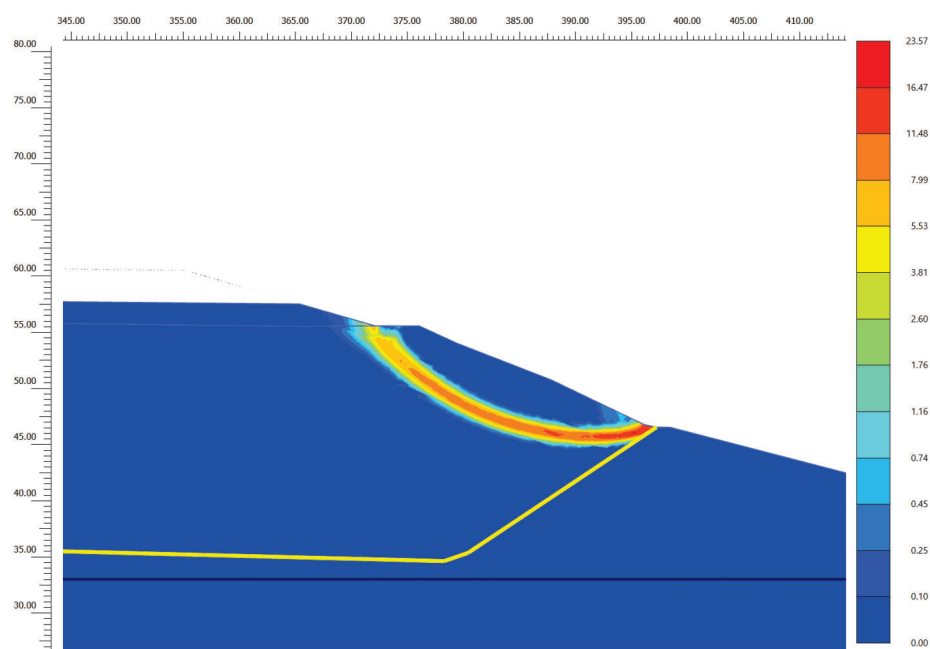


Figura 121. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

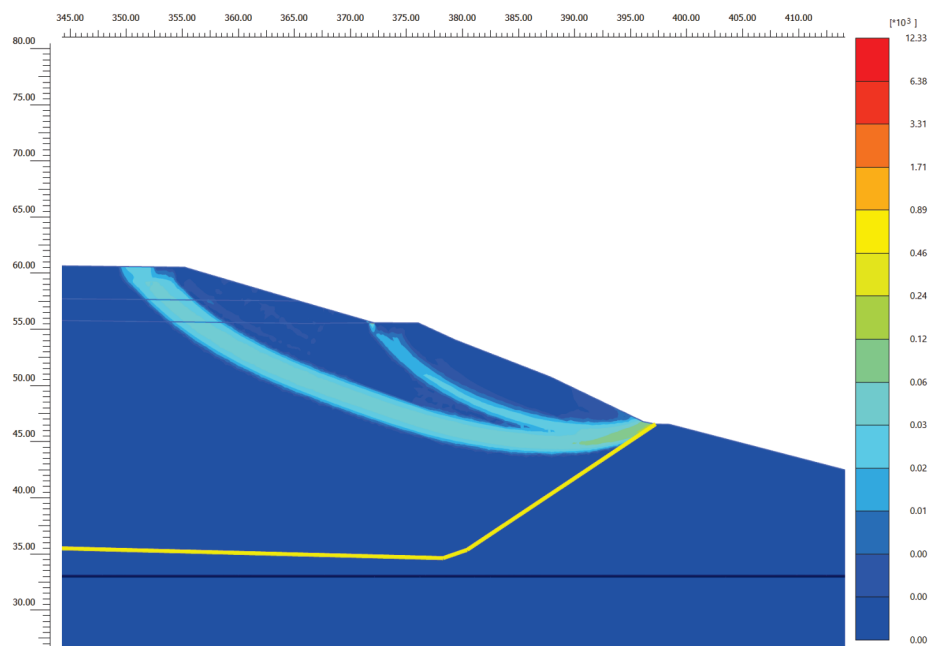


Figura 122. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

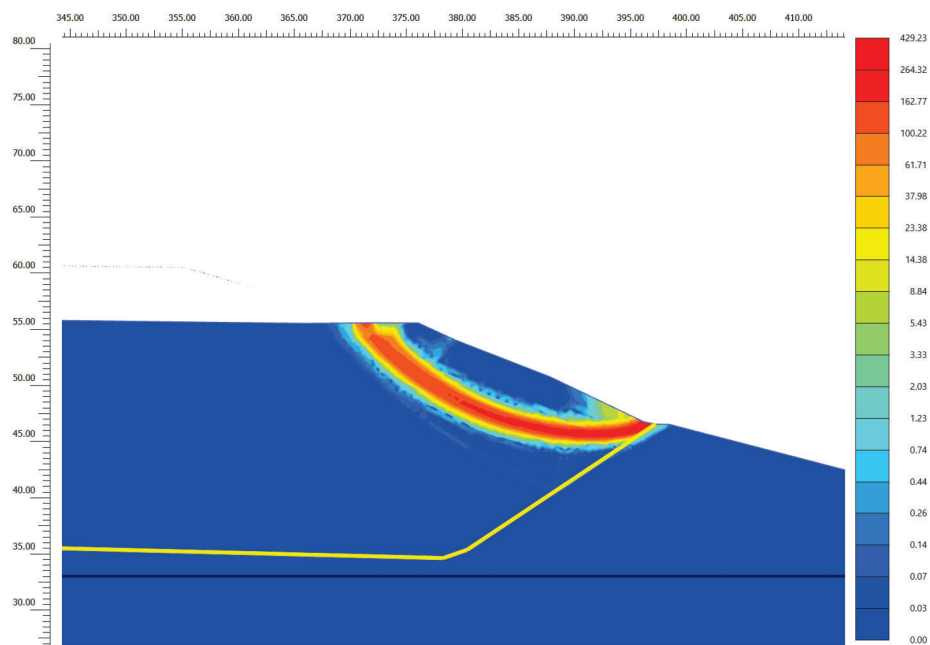


Figura 123. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

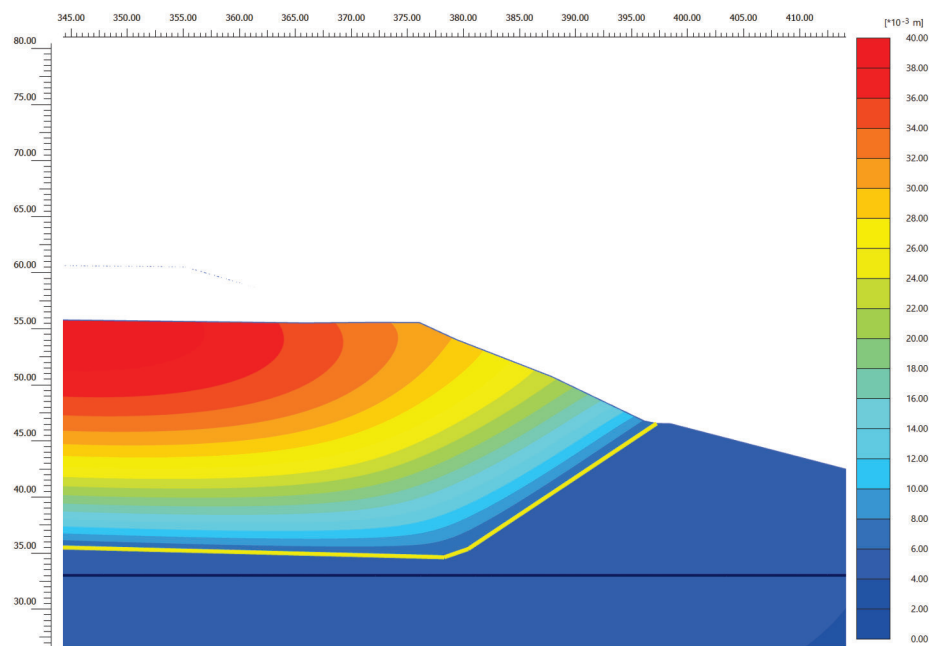


Figura 124. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

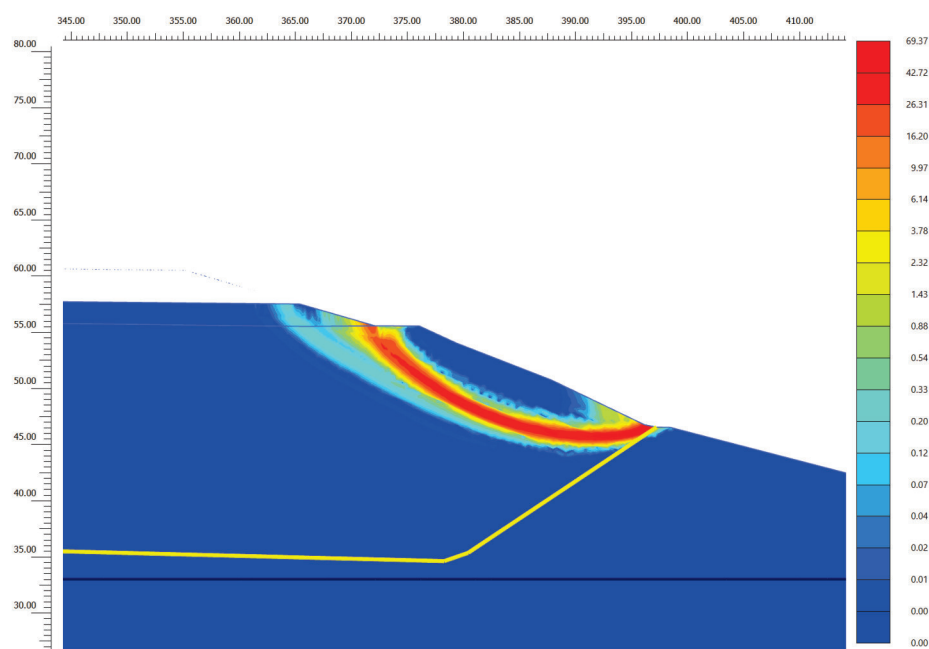


Figura 125. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

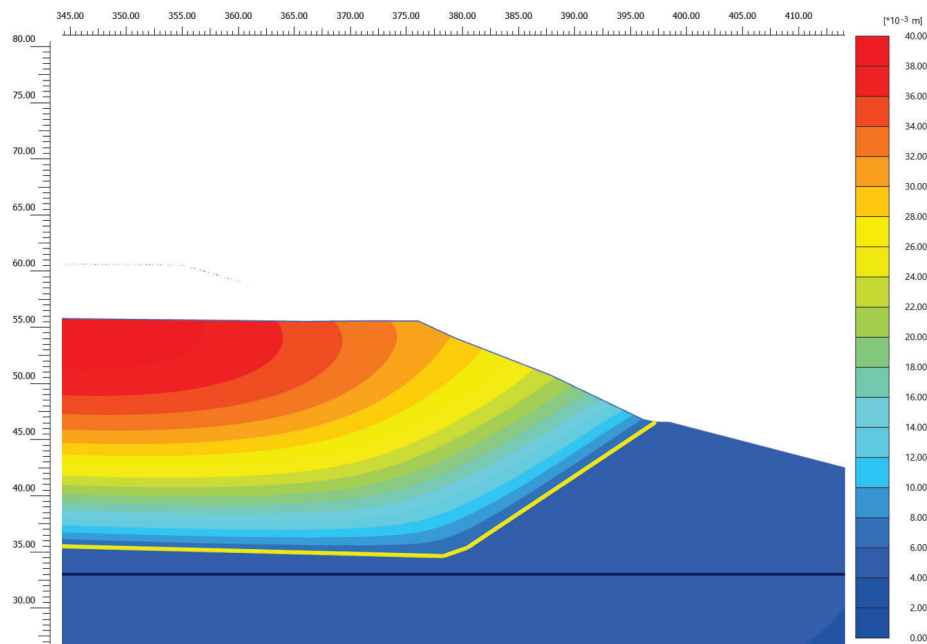


Figura 126. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

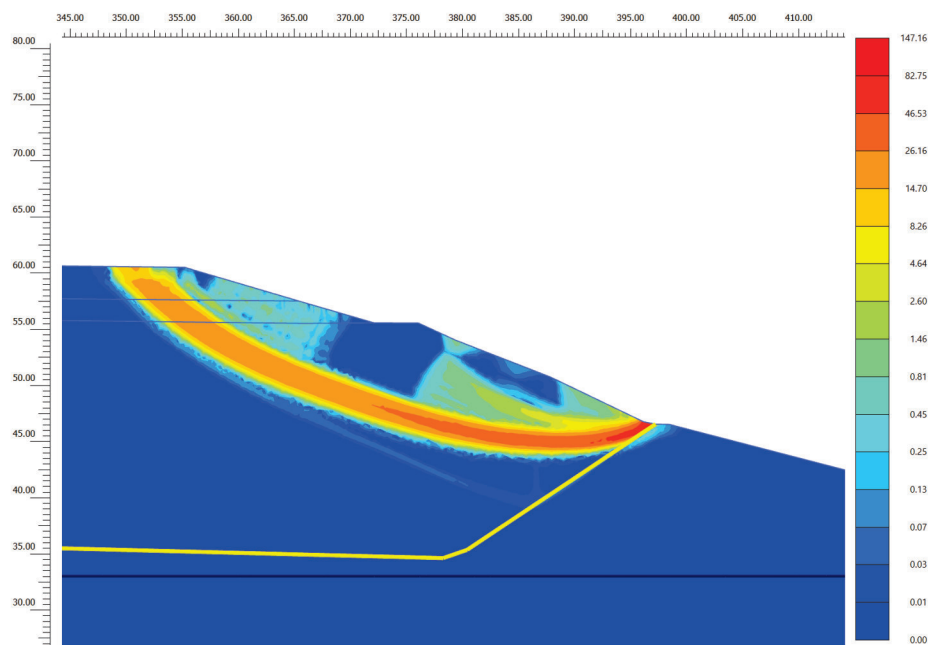


Figura 127. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

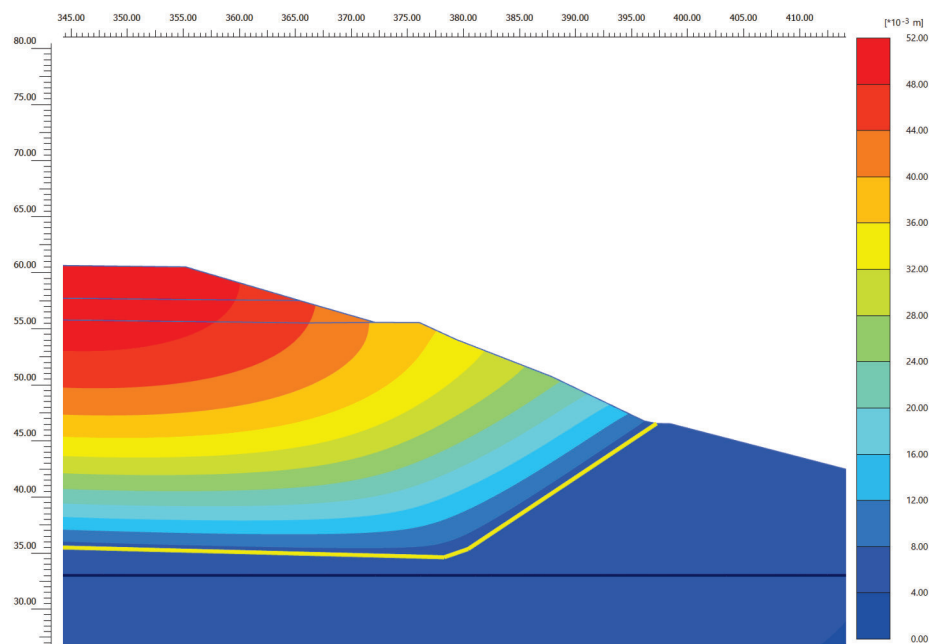


Figura 128. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

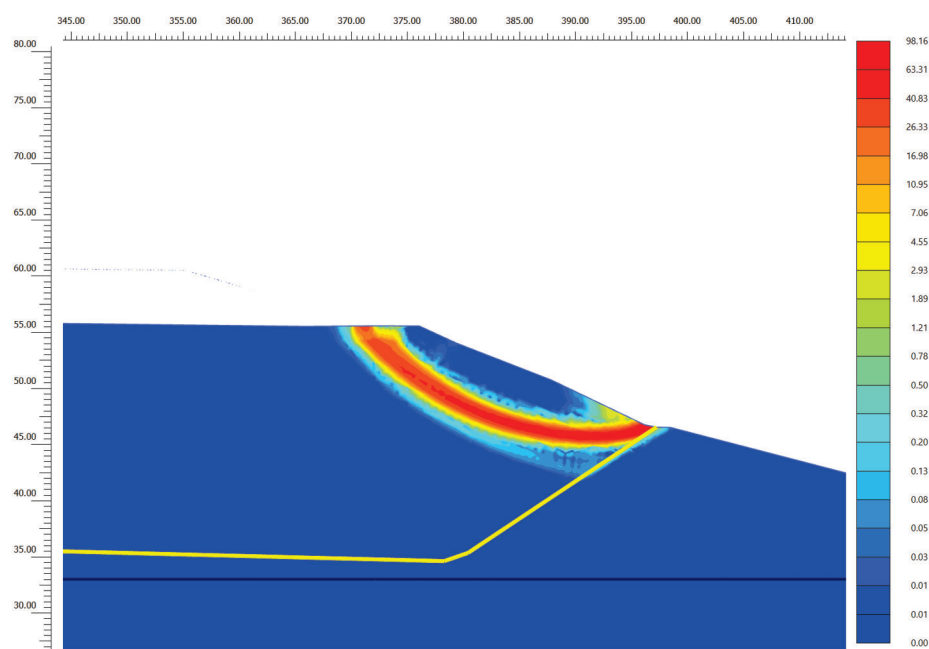


Figura 129. Modello X4_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

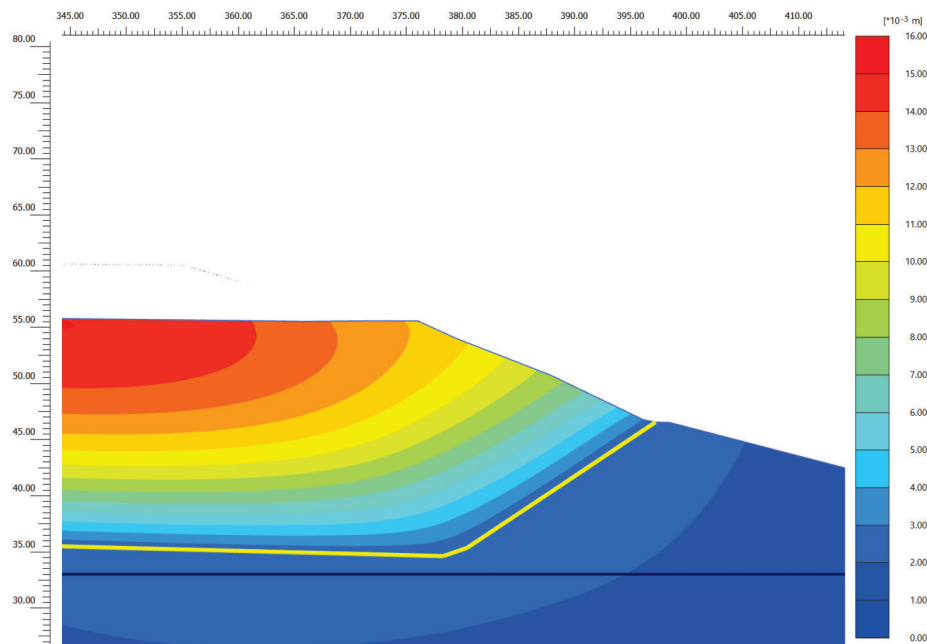


Figura 130. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

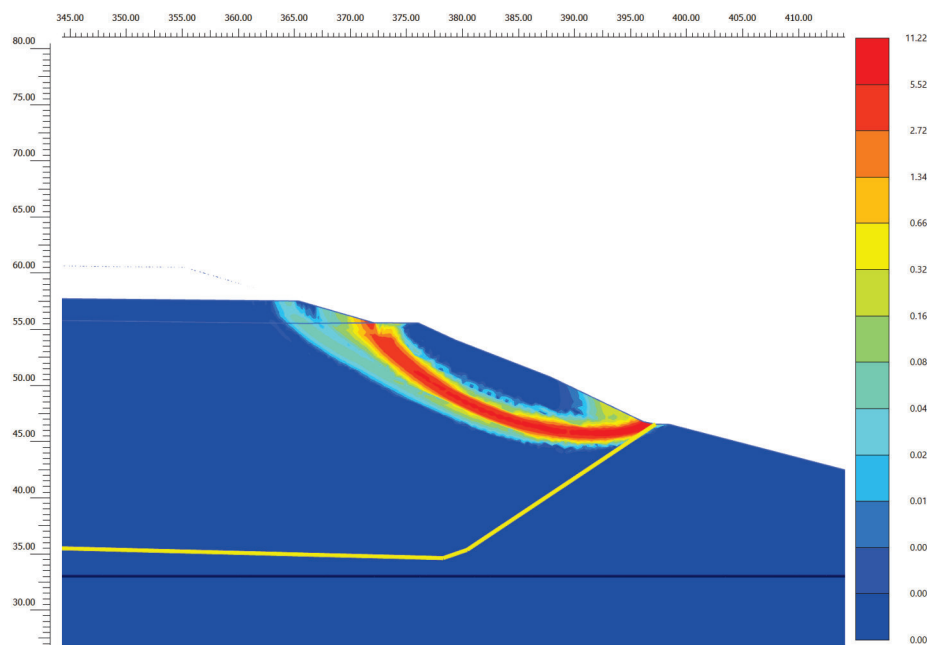


Figura 131. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

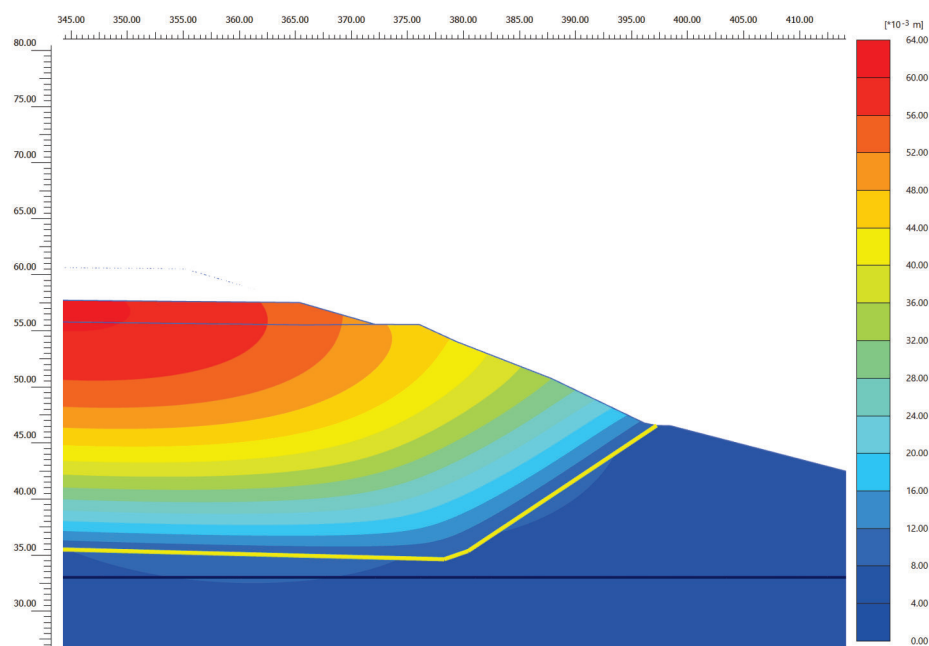


Figura 132. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

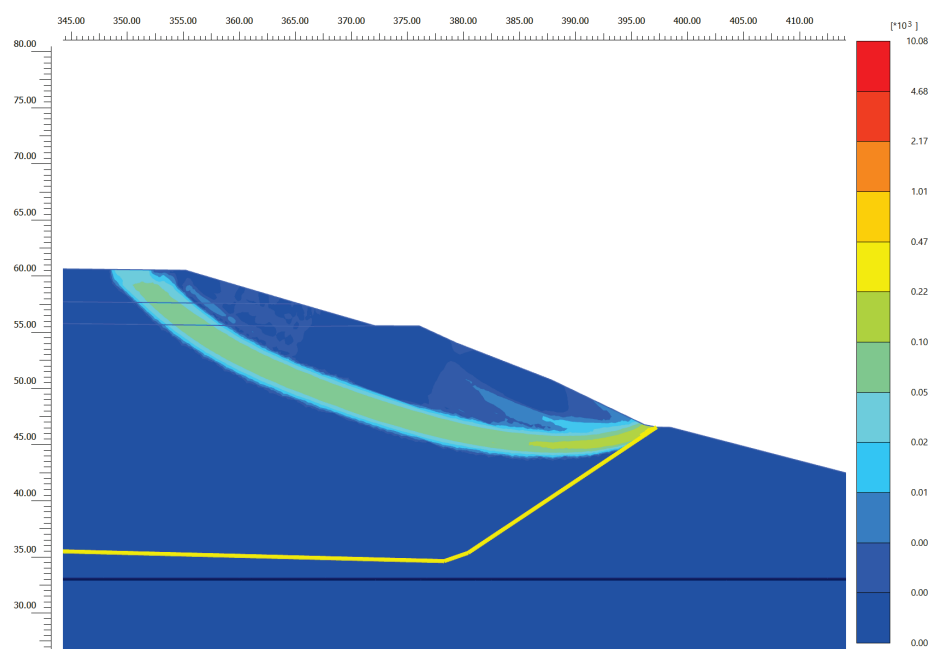


Figura 133. Modello X4_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

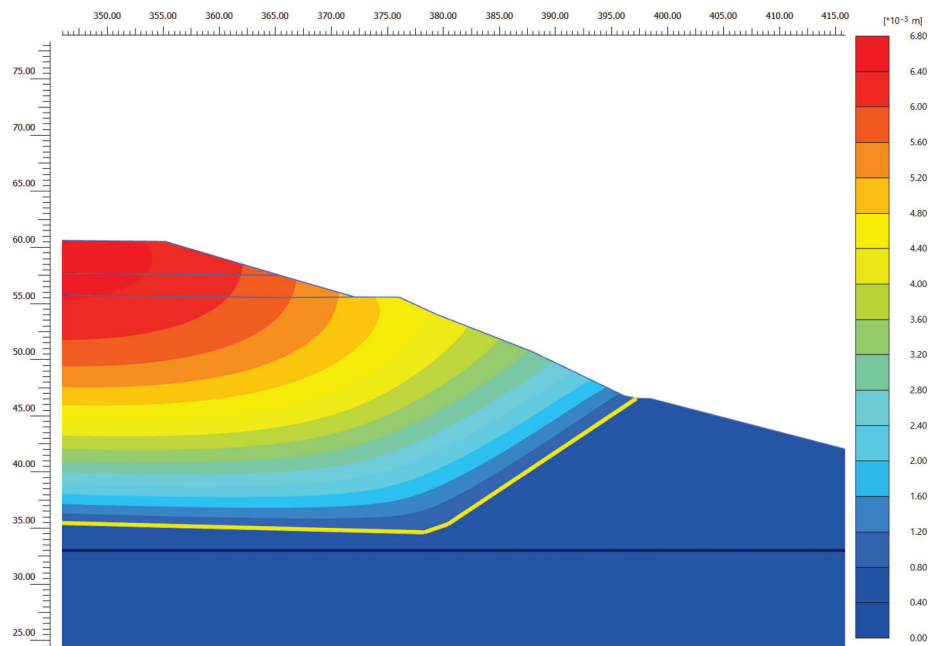


Figura 134. Modello X4_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.8. SEZIONE Y2_SX

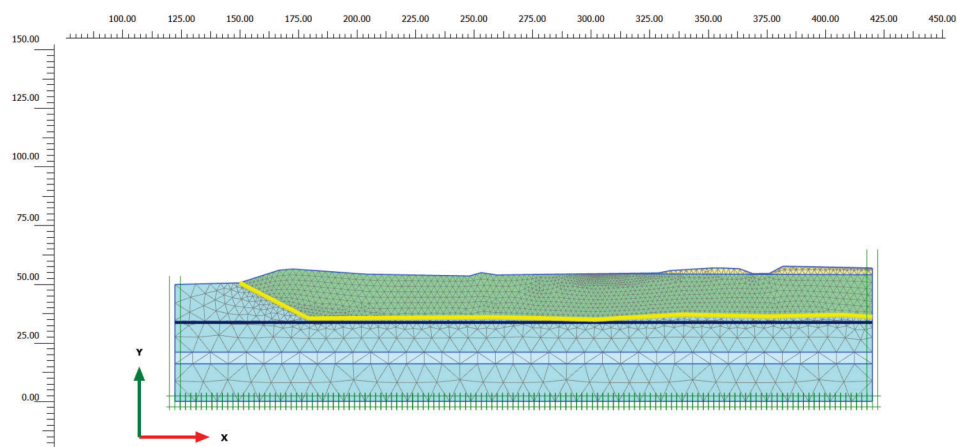


Figura 135. Modello Y2_sx. Geometria nelle condizioni attuali

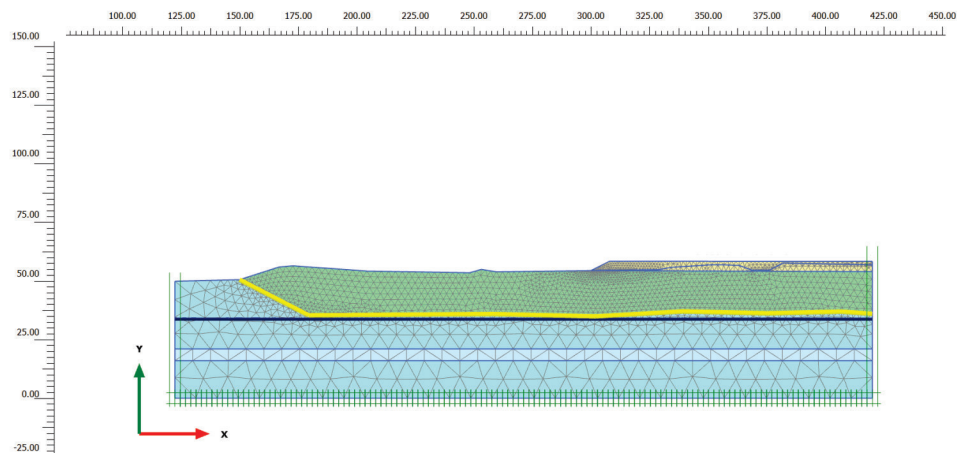


Figura 136. Modello Y2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I1

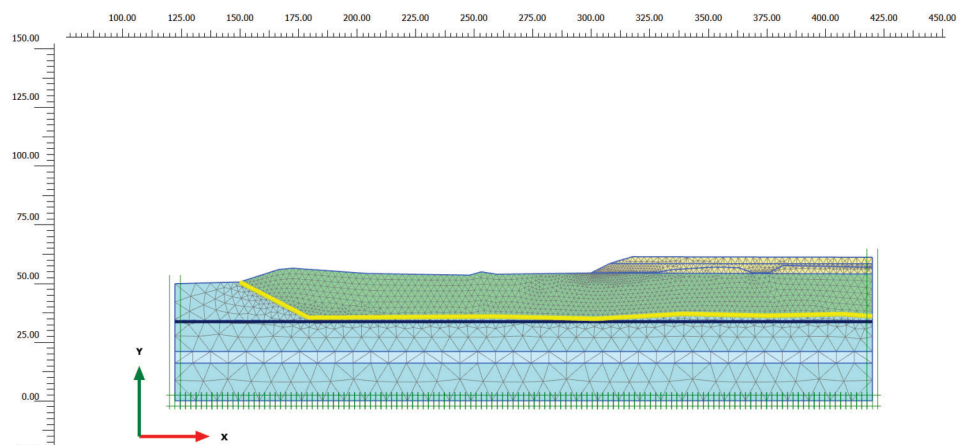


Figura 137. Modello Y2_sx. Geometria nelle condizioni progetto I2

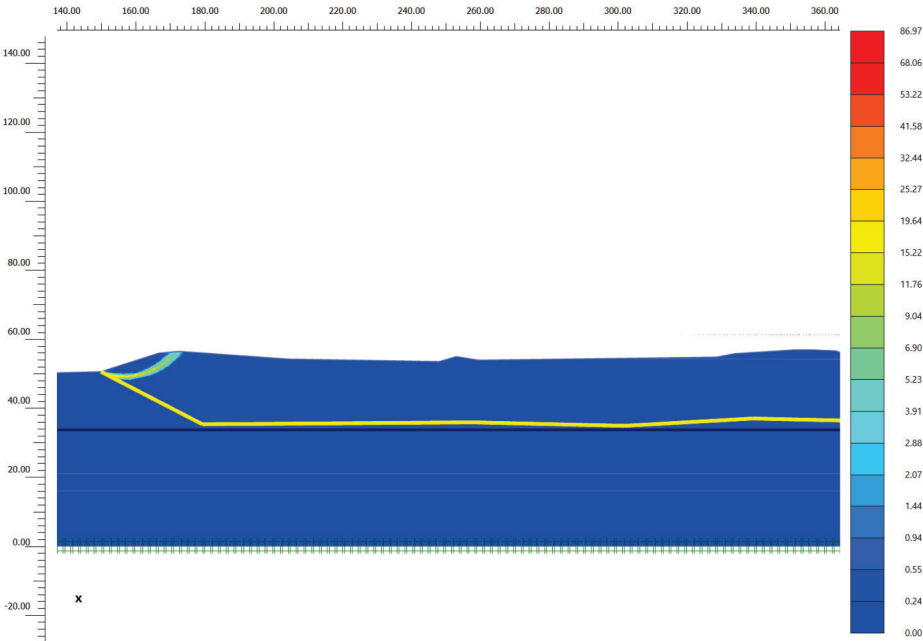


Figura 138. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scndizioni attuali)

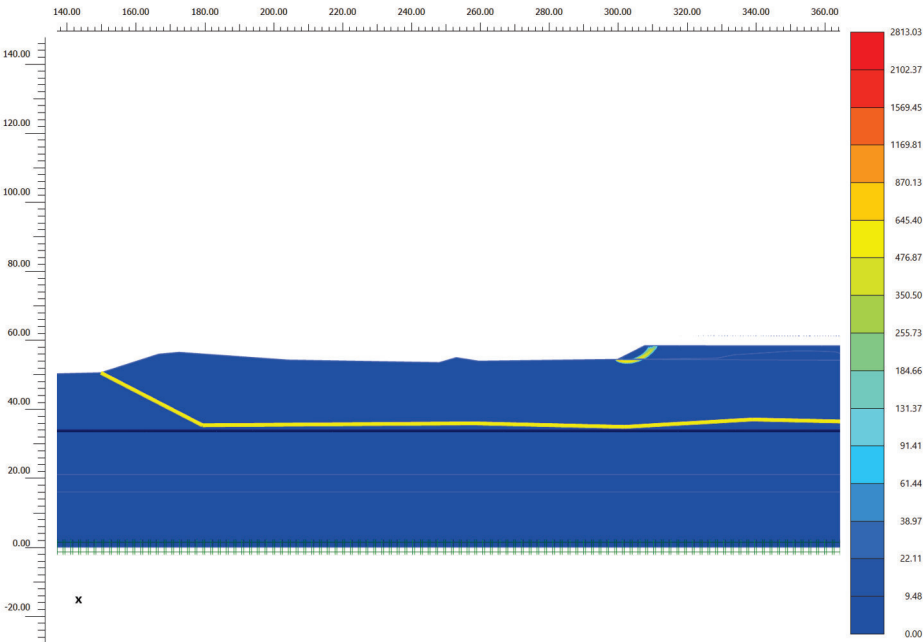


Figura 139. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

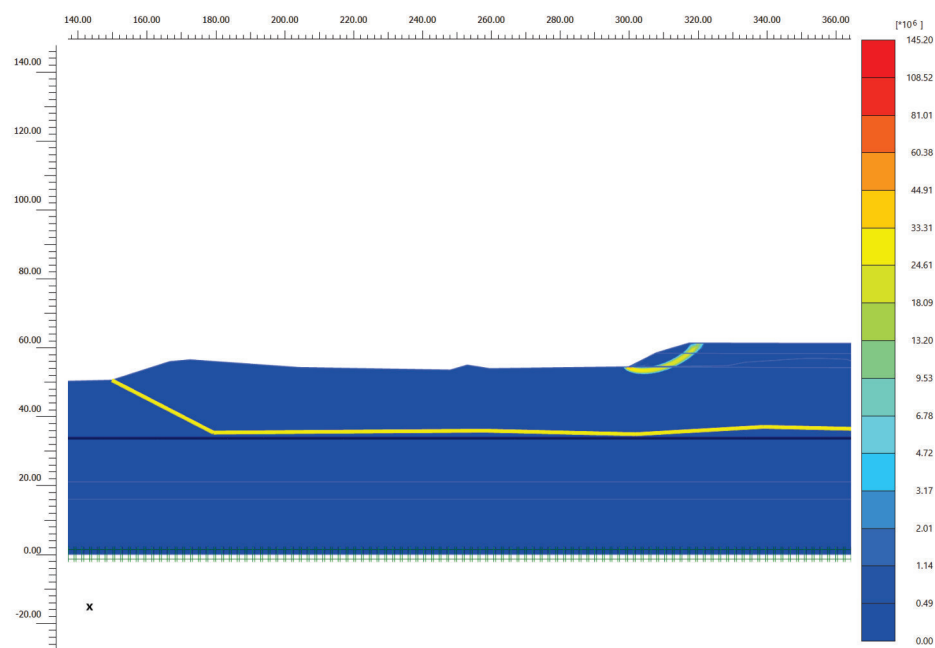


Figura 140. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

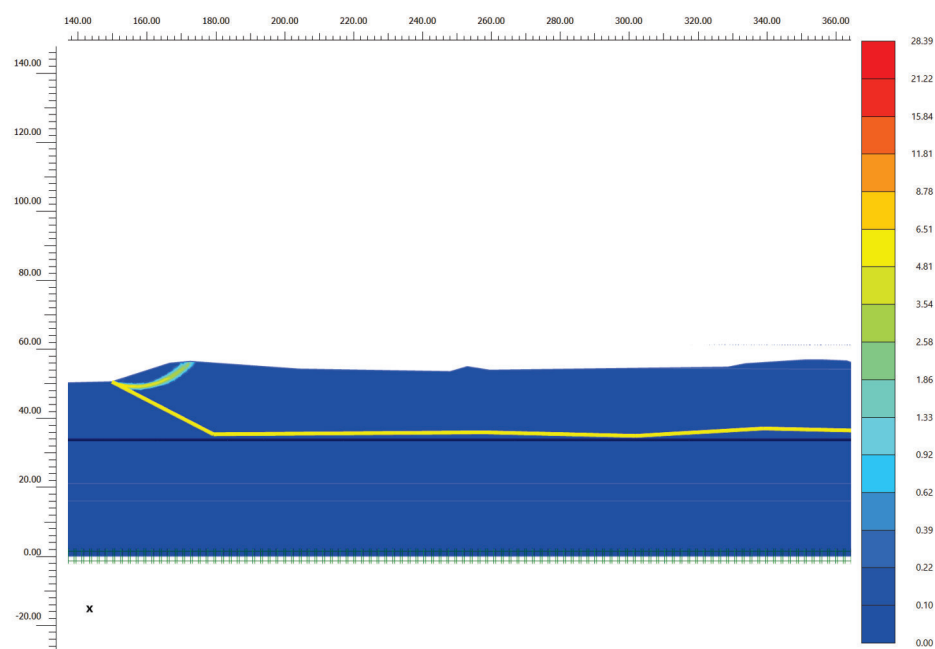


Figura 141. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

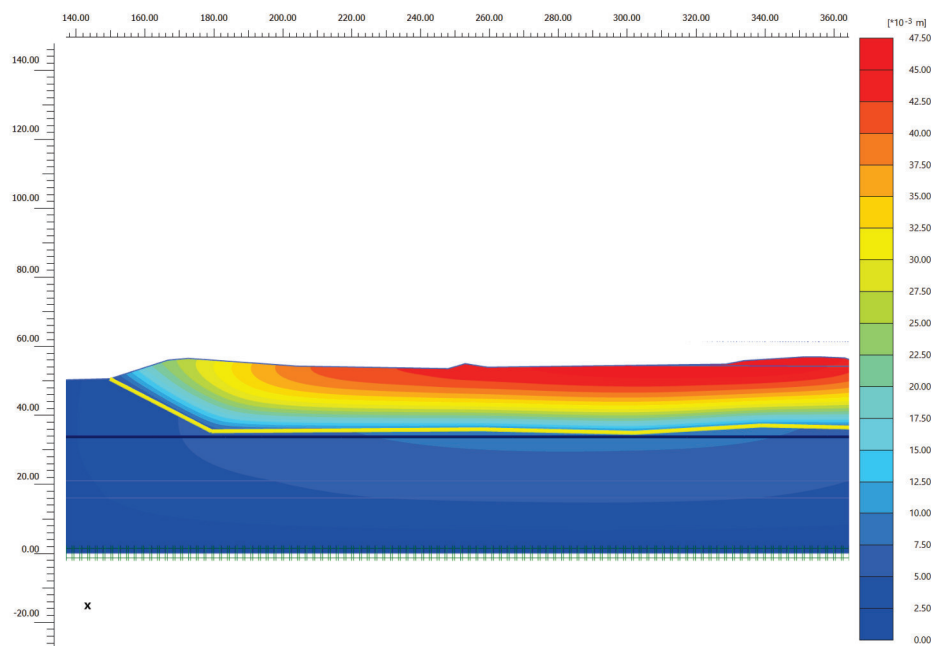


Figura 142. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

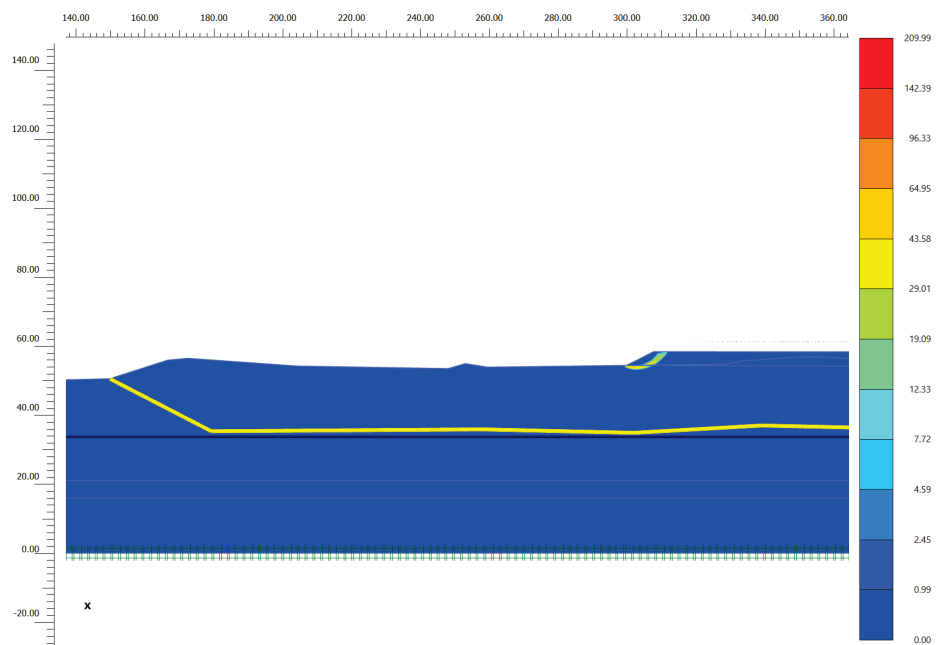


Figura 143. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

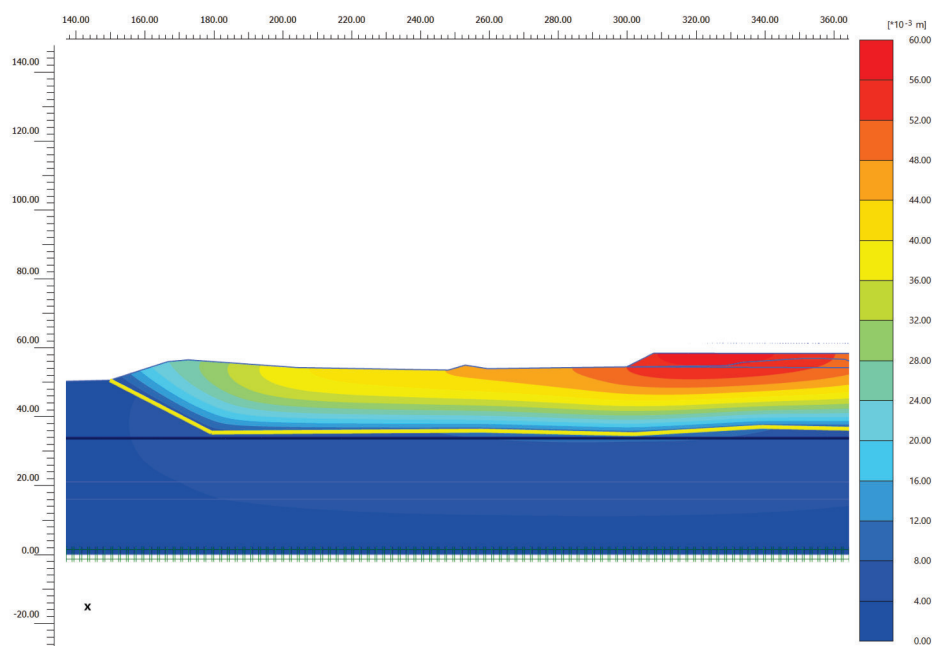


Figura 144. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

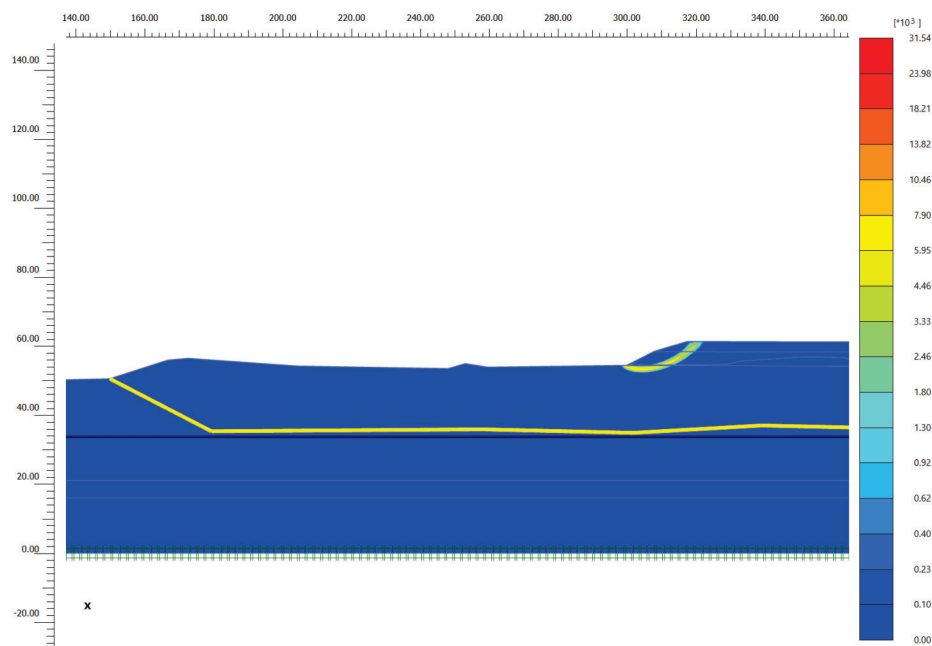


Figura 145. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

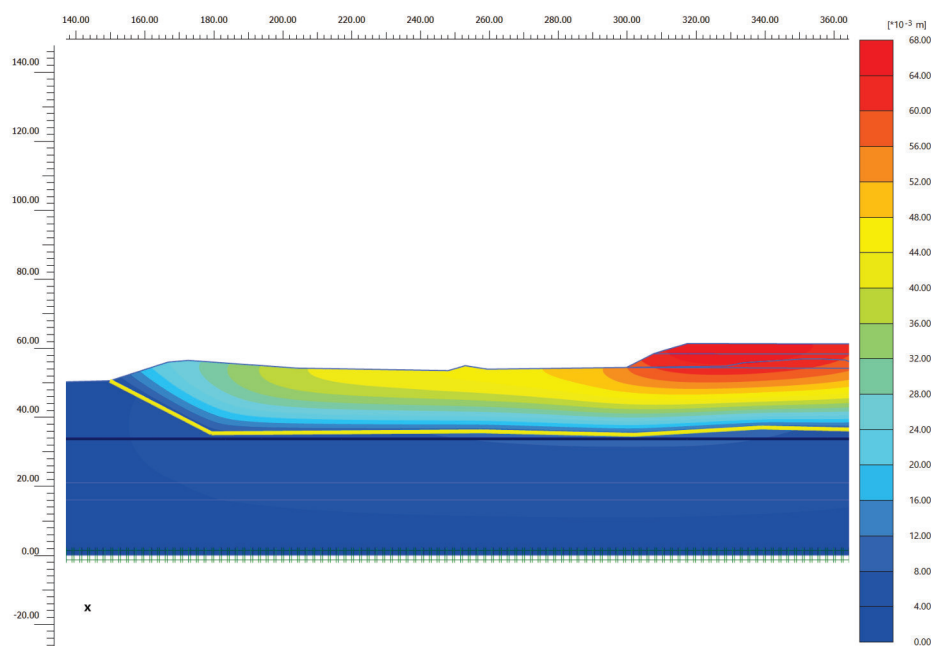


Figura 146. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

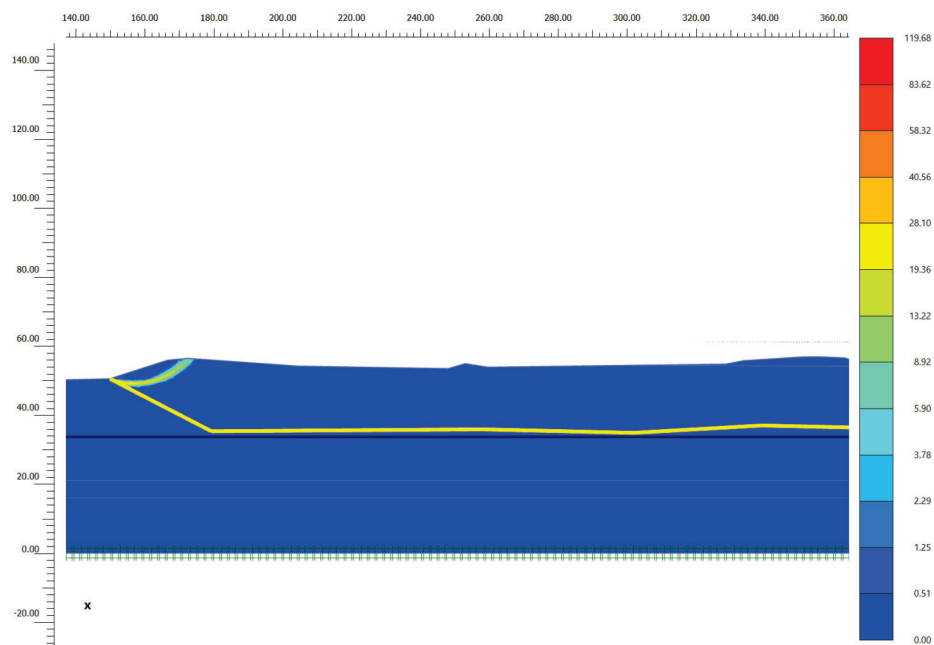


Figura 147. Modello Y2_sx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

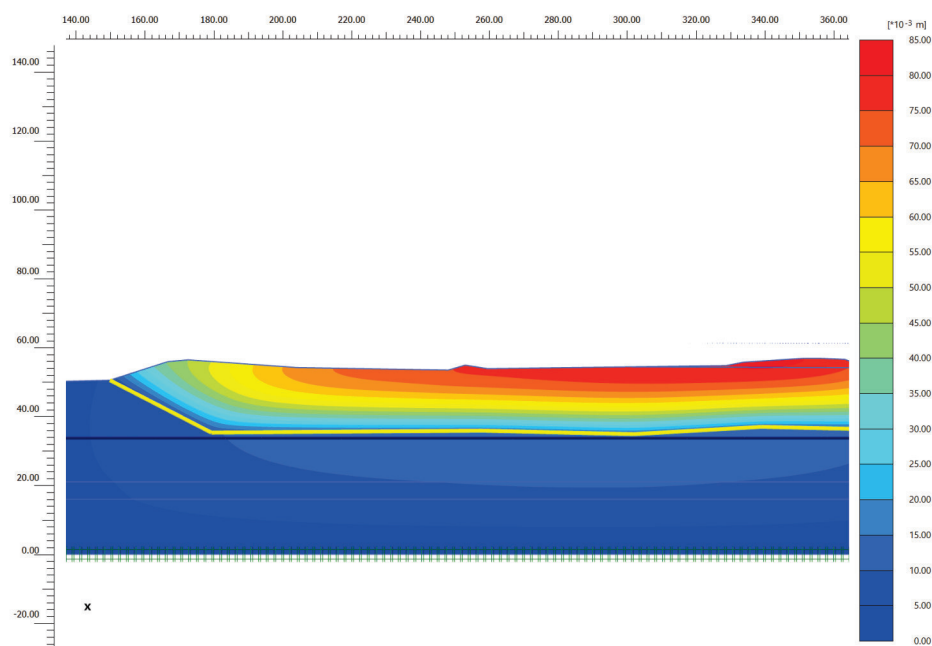


Figura 148. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

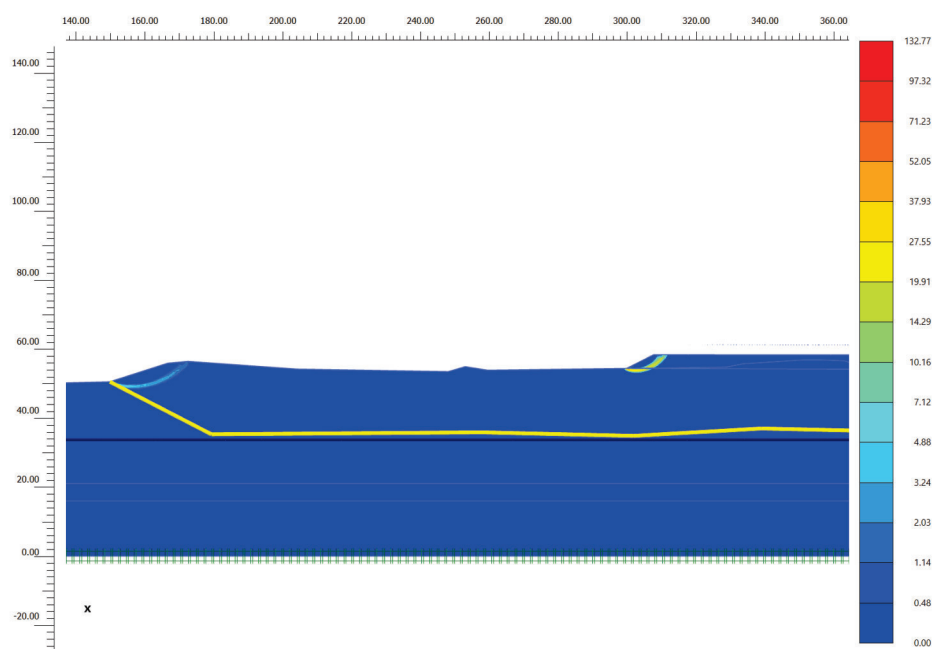


Figura 149. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

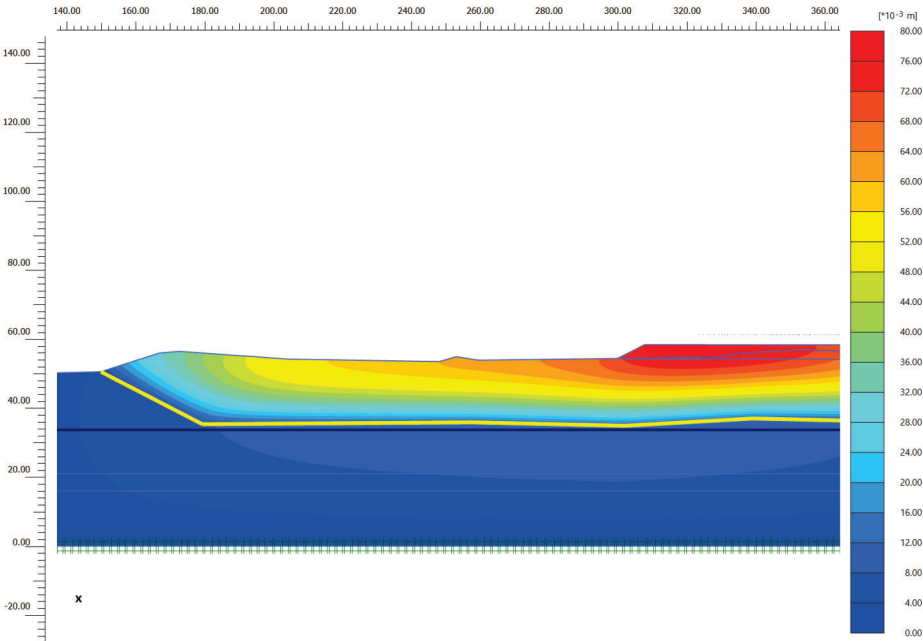


Figura 150. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

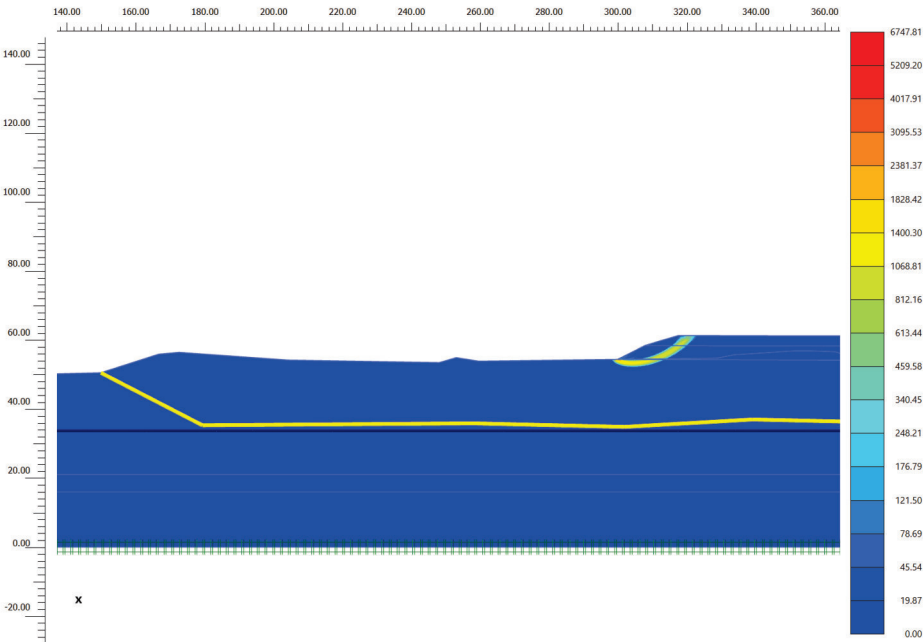


Figura 151. Modello Y2_sx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

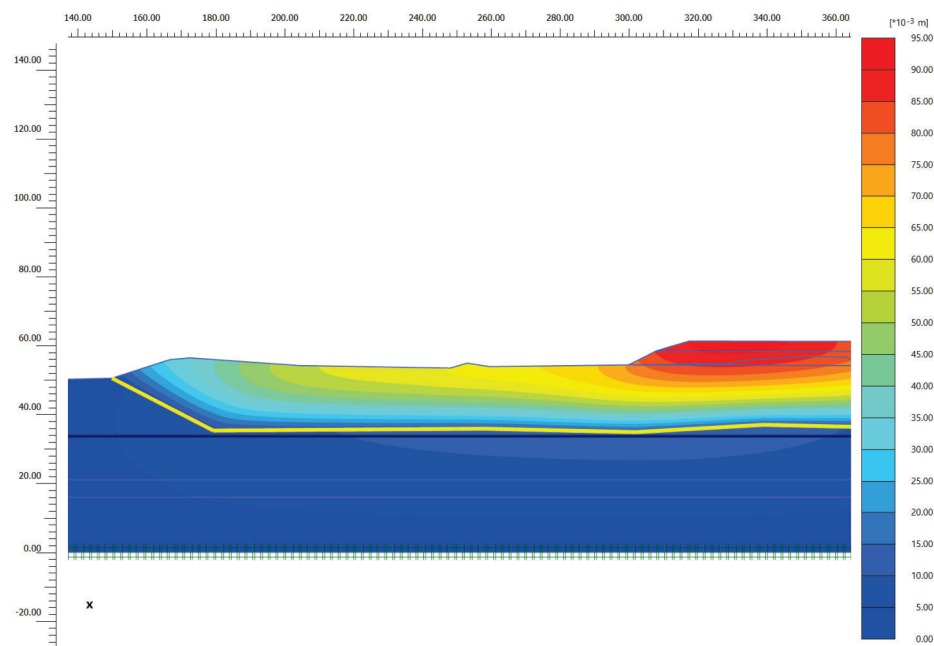


Figura 152. Modello Y2_sx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)

A.9. SEZIONE Y2_dx

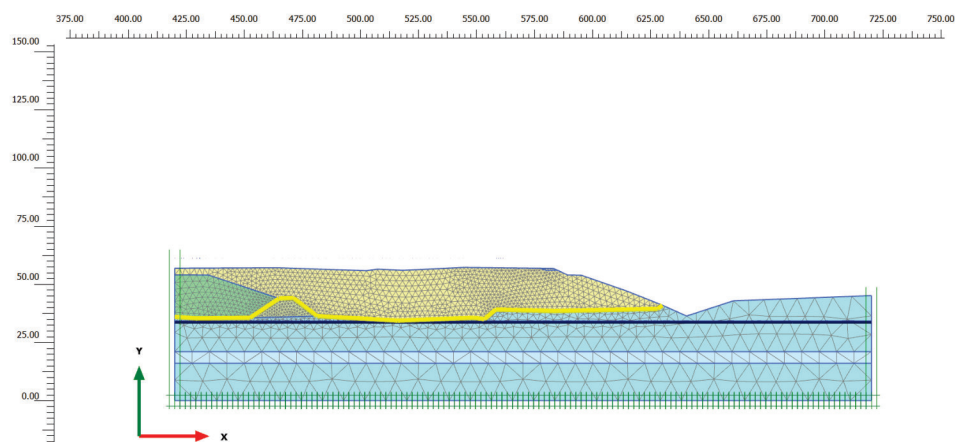


Figura 153. Modello Y2_dx. Geometria nelle condizioni attuali

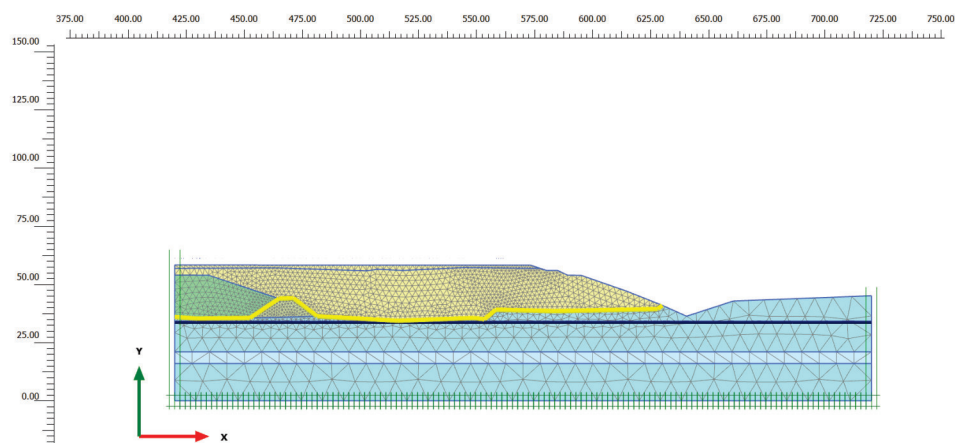


Figura 154. Modello Y2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I1

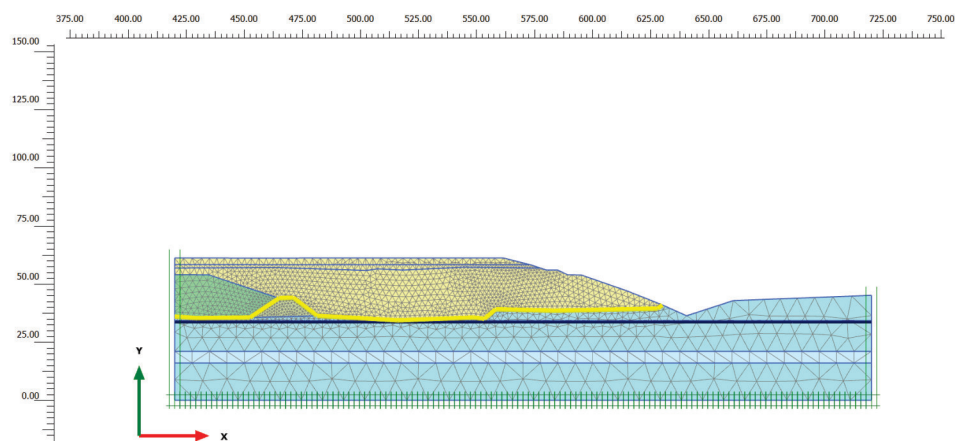


Figura 155. Modello Y2_dx. Geometria nelle condizioni progetto I2

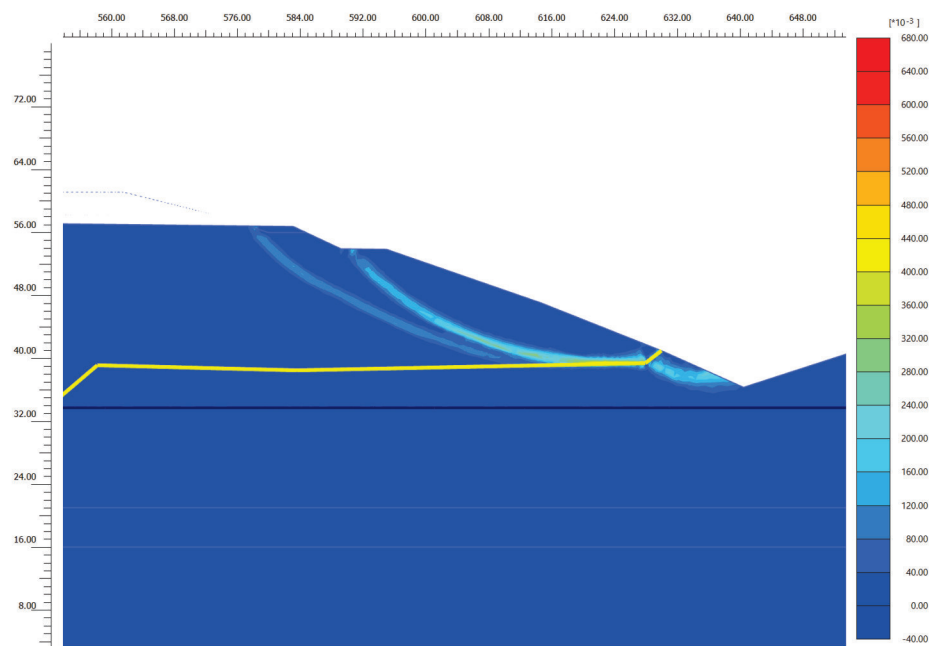


Figura 156. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica scondizioni attuali)

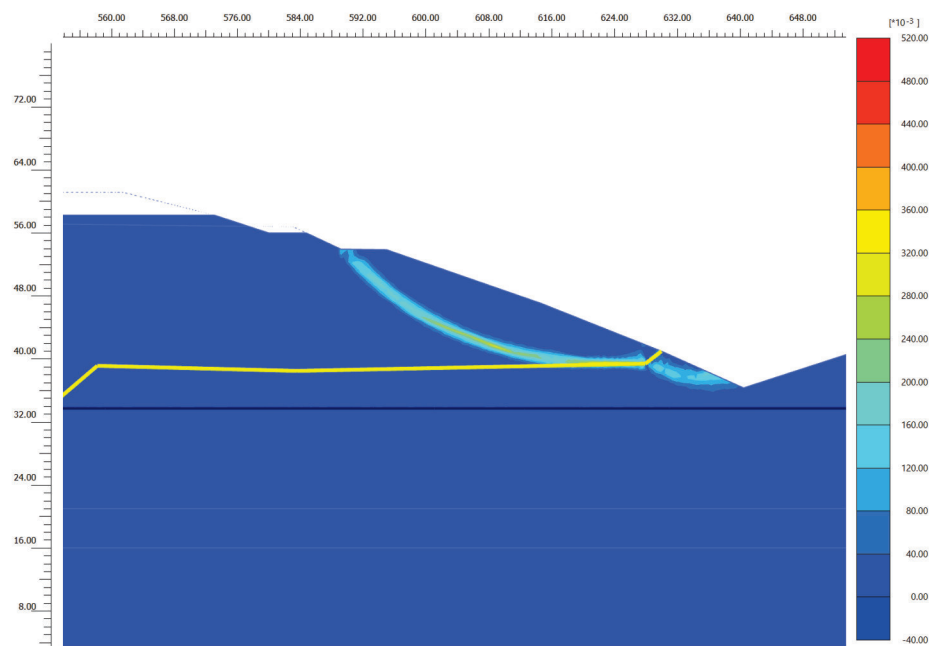


Figura 157. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I1)

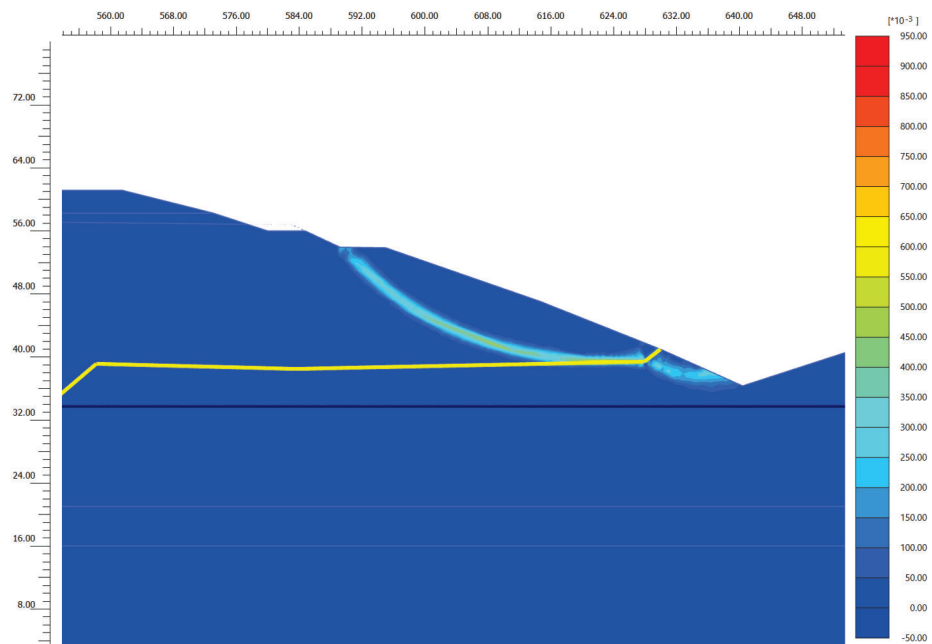


Figura 158. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (Statica condizioni progetto I2)

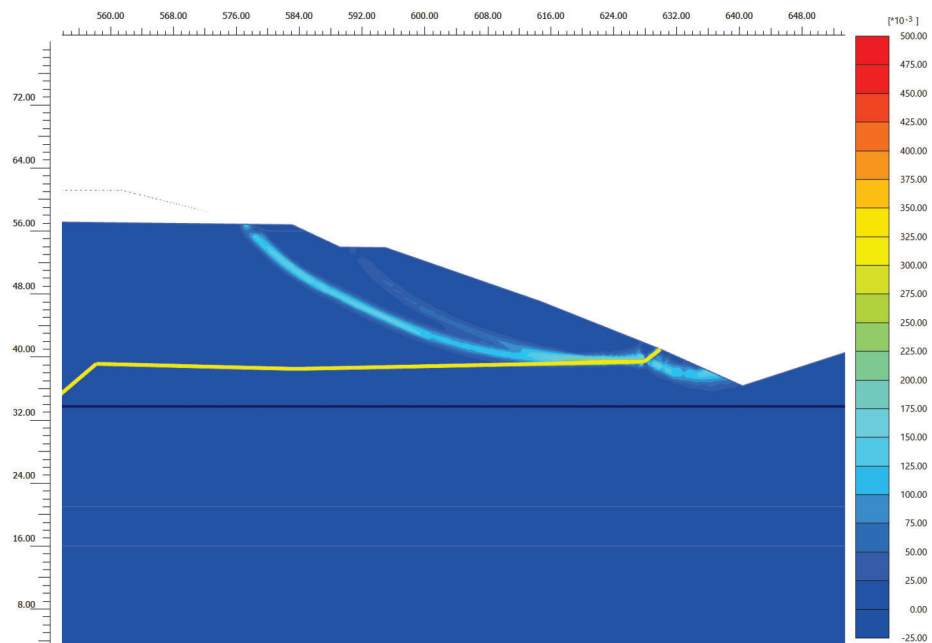


Figura 159. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD in condizioni attuali)

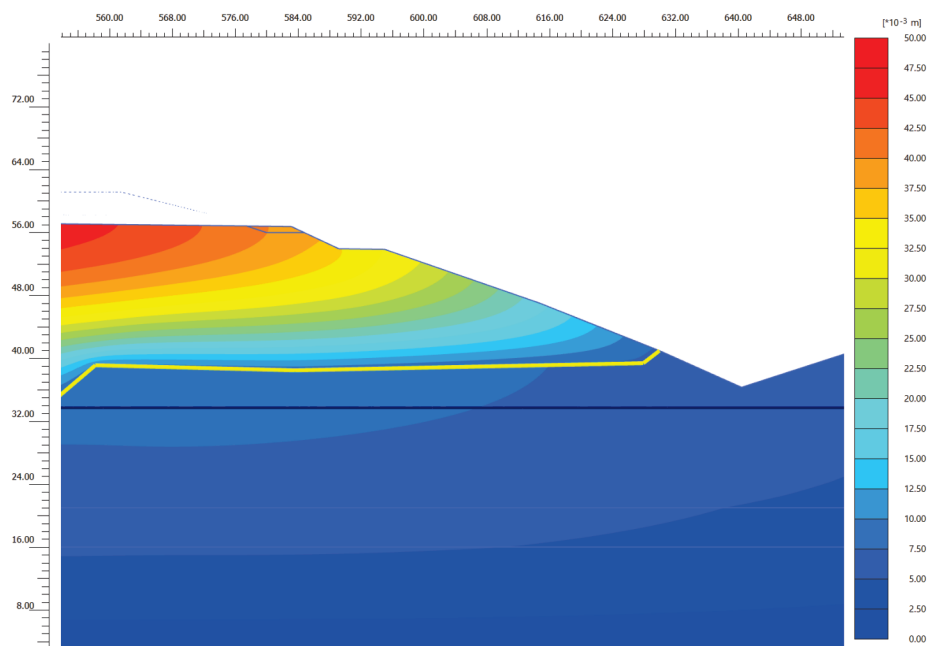


Figura 160. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni attuali)

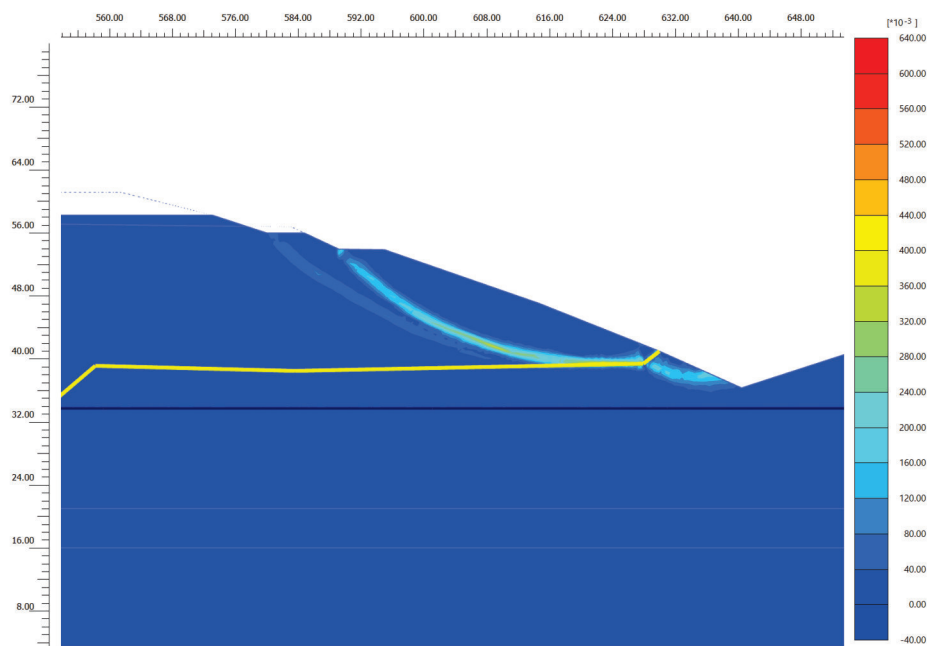


Figura 161. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I1)

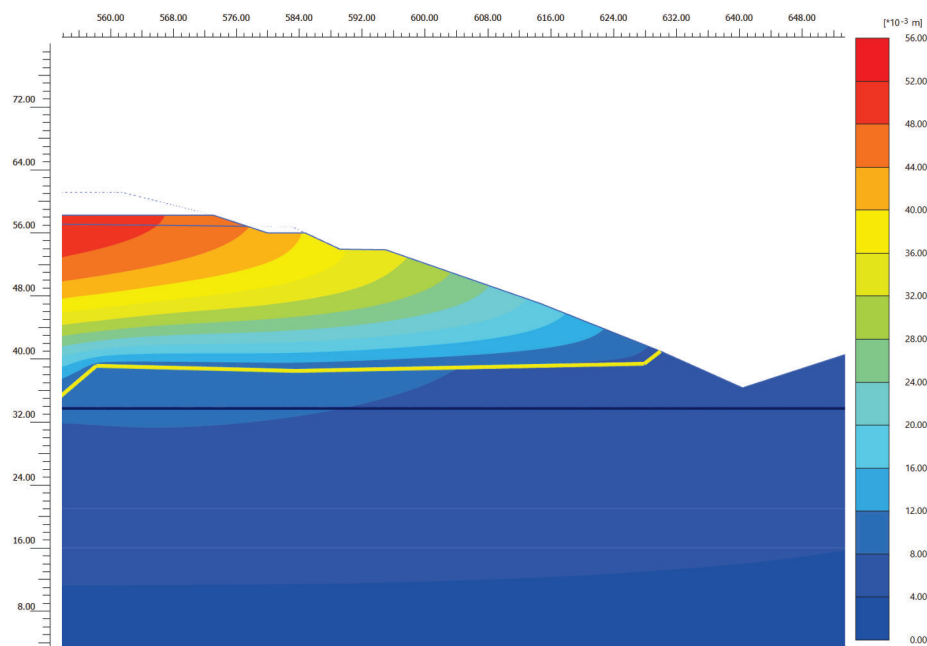


Figura 162. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I1)

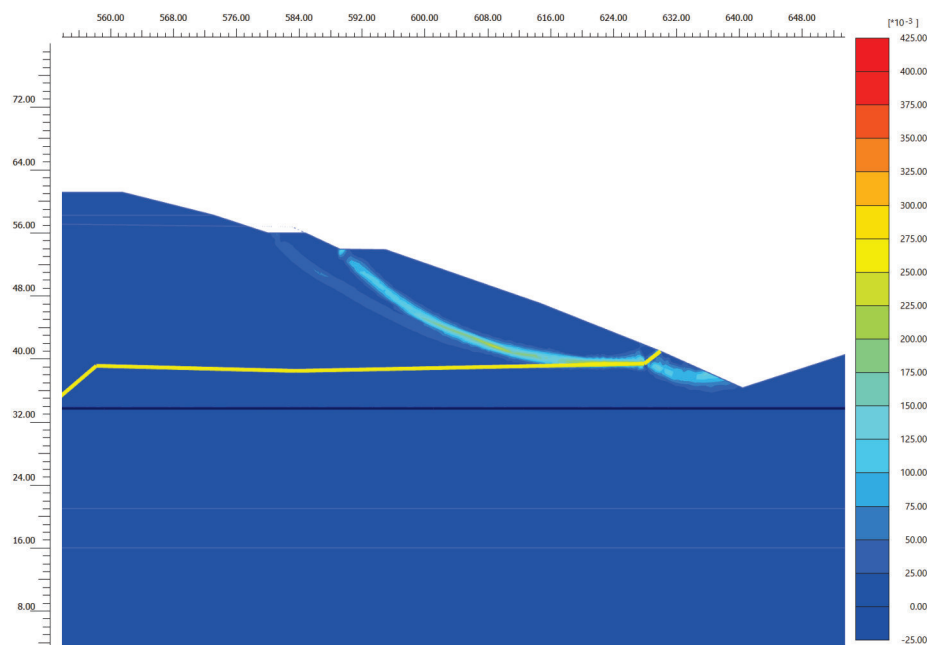


Figura 163. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLD condizioni progetto I2)

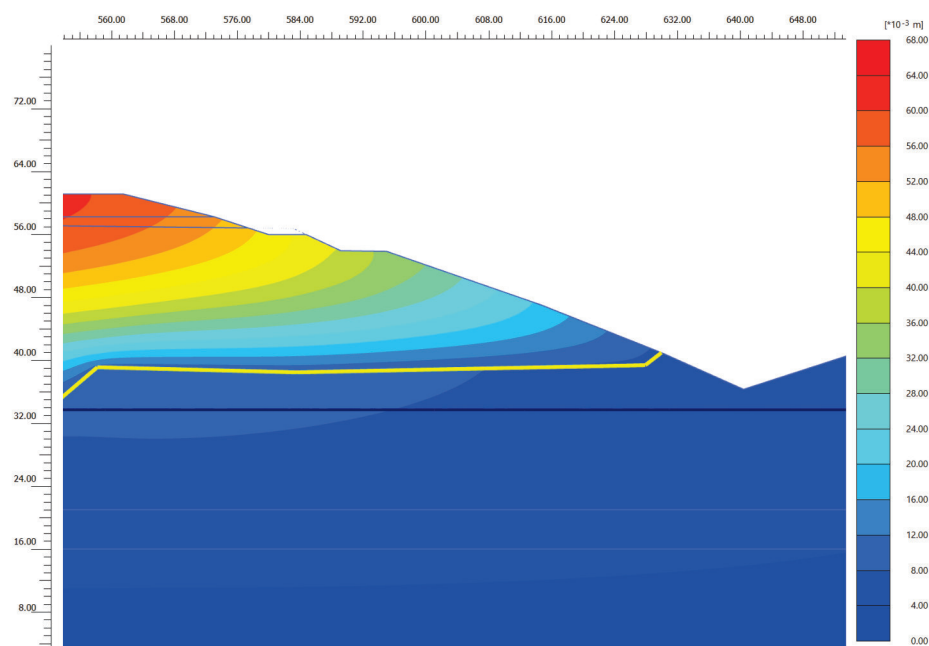


Figura 164. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLD in condizioni progetto I2)

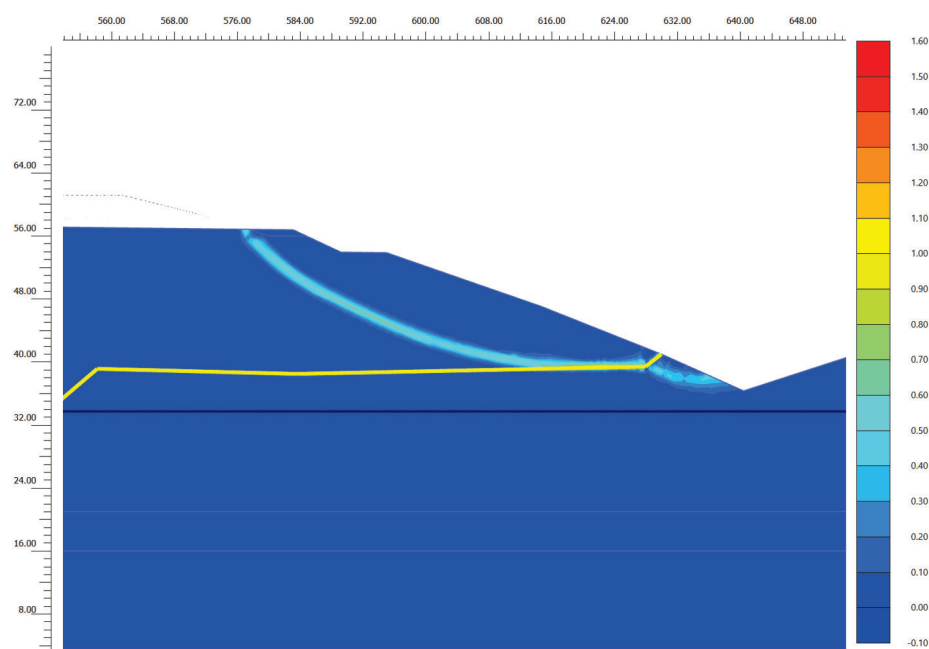


Figura 165. Modello Y2_dx. Deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV in condizioni attuali)

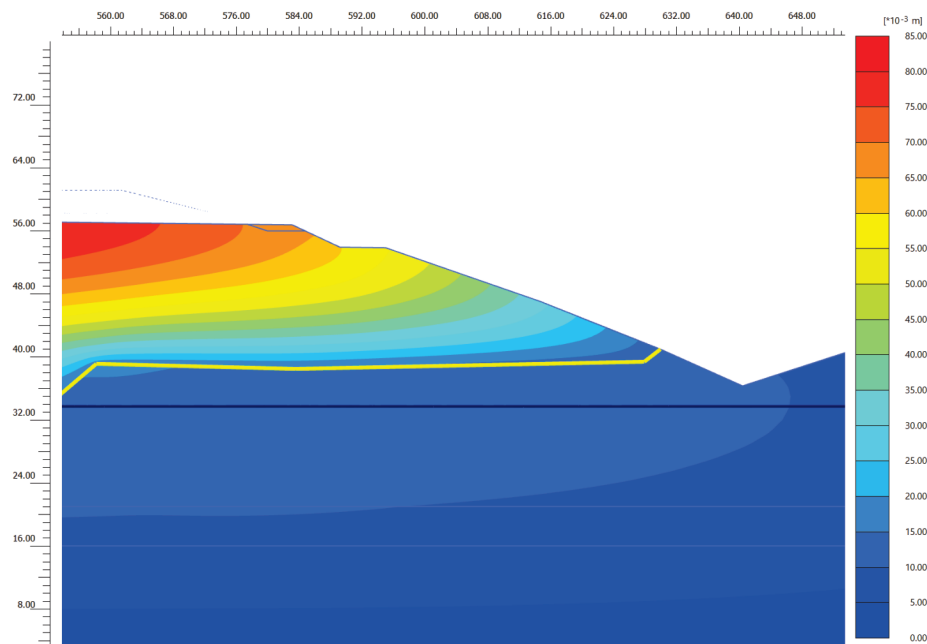


Figura 166. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni attuali)

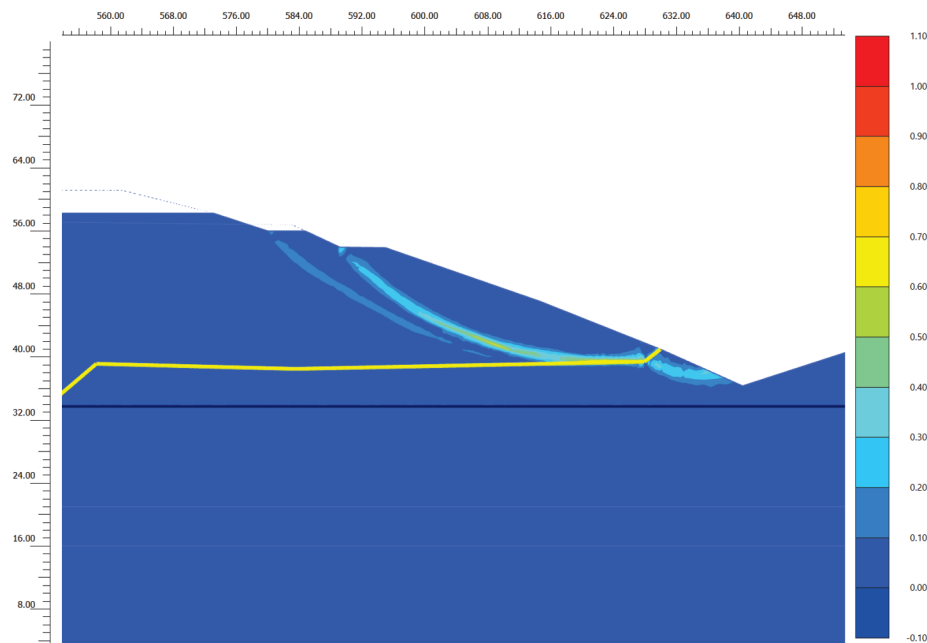


Figura 167. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I1)

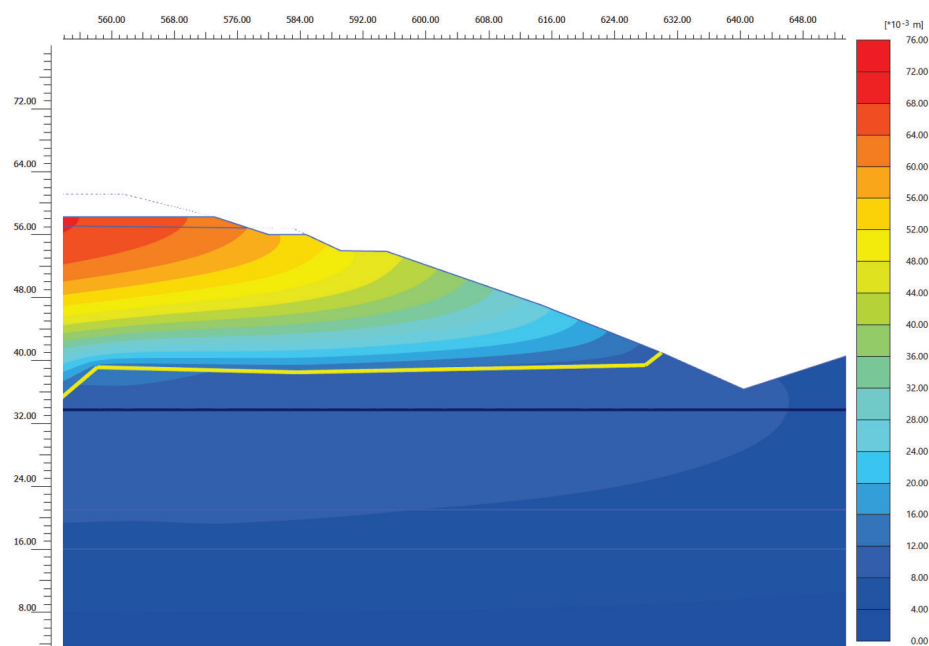


Figura 168. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I1)

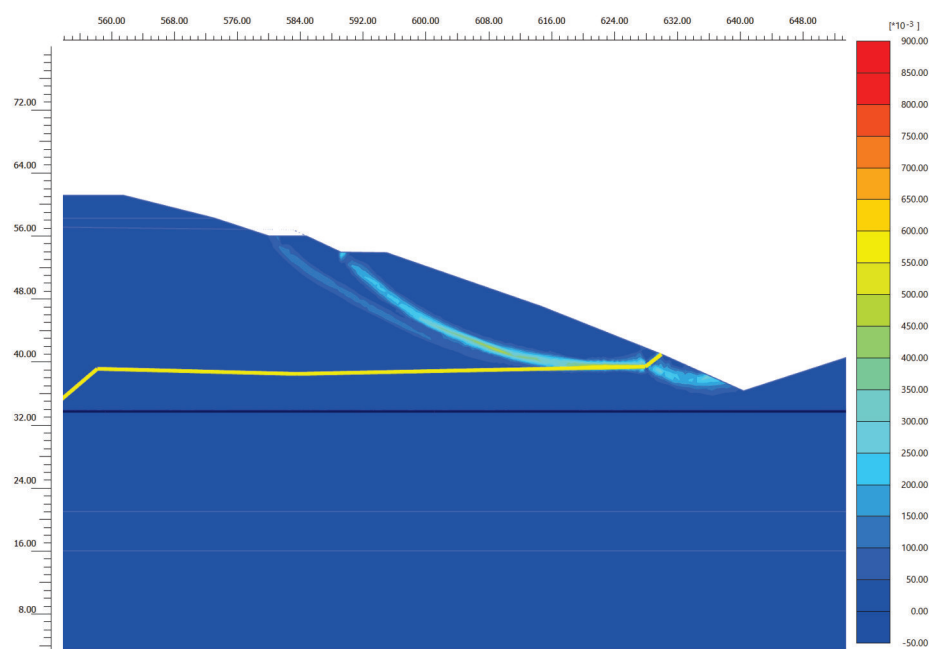


Figura 169. Modello Y2_dx. deformazioni angolari nella condizione di collasso (SLV condizioni progetto I2)

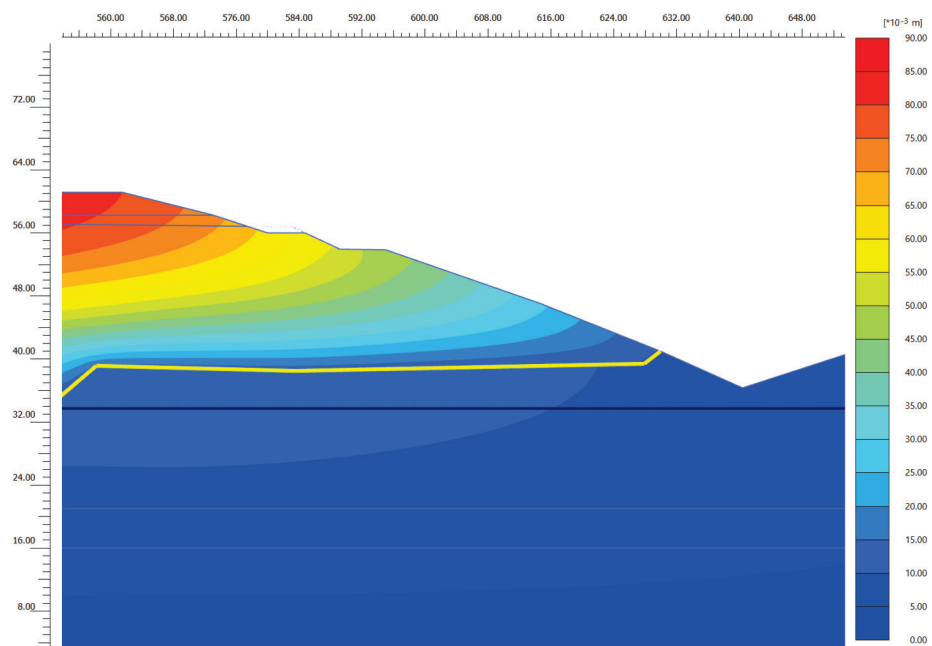


Figura 170. Modello Y2_dx. Spostamenti condizione pseudostatica (SLV in condizioni progetto I2)