

Índice General

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Contenido del trabajo.....	3
2 CARACTERÍSTICAS DEL DESLIZAMIENTO DE CEPO MORELLI	4
2.1 Localización geográfica	4
2.2 Problemática del sitio.....	6
2.3 Marco regional	8
2.3.1 Clima.....	8
2.3.2 Morfología regional	9
2.3.3 Geología regional y condiciones estructurales	9
2.4 Marco local.....	11
2.4.1 Geología local y condiciones estructurales	11
2.5 Deslizamiento	12
2.5.1 Identificación	12
2.5.2 Detalles	15
2.5.3 Morfometría.....	17
2.5.4 Historia	17
2.6 Otros aspectos	18
2.6.1 Proyectos	18
2.6.2 Elementos en riesgo	18
2.6.3 Predicciones	18
3 EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS APLICADO A GRANDES DESLIZAMIENTOS	19

3.1 Introducción al procedimiento	19
3.2 Particularidades de los problemas geotécnicos	20
3.3 El programa utilizado: DRAC	22
3.3.1 Modelo constitutivo de las juntas	22
3.3.2 Procesos iterativos.....	27
3.3.3 Entrada de datos	28
3.3.4 Salida de resultados.....	32
4 METODOLOGÍA DE TRABAJO	33
4.1 Visita de campo y análisis morfológico.....	33
4.2 Análisis de la geología estructural	33
4.3 Análisis con el MEF.....	34
5 CÁLCULOS Y RESULTADOS	35
5.1 Consideraciones iniciales y cortes topográficos	35
5.2 Corte Norte-Sur y familias de discontinuidades.....	40
5.3 Modelos de cálculo	44
5.3.1 Generación de la malla.....	45
5.3.2 Condiciones de contorno y leyes constitutivas.....	56
5.3.3 Modelo homogéneo elástico lineal sin glaciar	58
5.3.4 Modelo homogéneo elástico lineal sin glaciar; variación de condiciones de contorno	62
5.3.5 Modelo elástico lineal con juntas en su totalidad sin glaciar	70
5.3.6 Modelo elástico lineal con juntas sobre línea T-T sin glaciar	74
5.3.7 Modelo homogéneo elástico lineal con glaciar	78
5.3.8 Modelo homogéneo elástico lineal con glaciar; variación de condiciones de contorno	88
5.3.9 Modelo elástico lineal con juntas en su totalidad y glaciar	108
5.3.10 Modelo elástico lineal con juntas sobre línea T-T y glaciar	119
5.3.11 Modelo elástico lineal en el medio continuo con juntas plásticas en su totalidad y glaciar	130
5.3.12 Análisis de los resultados.....	130
6 CONCLUSIONES	133
6.1 Conclusiones y comentarios finales.....	133

6.2 Futuras líneas de desarrollo	135
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

Índice de Figuras

Figura 2-1: Situación de <i>Ceppo Morelli</i> en Italia.....	4
Figura 2-2: Norte del Piemonte	5
Figura 2-3: Valle de <i>Anzasca</i>	5
Figura 2-4: Vista aérea de <i>Ceppo Morelli</i>	6
Figura 2-5: Un bloque alcanza la carretera nacional	7
Figura 2-6: Invasión de una carretera por el material movilizado	7
Figura 2-7: Mapa geológico regional	10
Figura 2-8: Proyección estereográfica de las discontinuidades principales (falsilla de Schmidt)	12
Figura 2-9: Deslizamiento de <i>Ceppo Morelli</i>	13
Figura 2-10: Aspecto de la ladera	14
Figura 2-11: Imagen de la cima de la ladera movilizada	14
Figura 2-12: Los sectores del deslizamiento de <i>Ceppo Morelli</i>	16
Figura 3-1: Superficie de rotura y su evolución.....	23
Figura 3-2: Organigrama sobre el funcionamiento de DRAC	28
Figura 3-3: Ejemplo de archivo principal en DRAC.....	30
Figura 3-4: Ejemplo de archivo de coordenadas nodales	30
Figura 3-5: Ejemplo de archivo de conectividades de elementos	31
Figura 3-6: Ejemplo de archivo de construcción de la malla.....	31
Figura 3-7: Ejemplo de archivo de coacciones	31
Figura 5-0: Esquema del deslizamiento	35
Figura 5-1: Mapa topográfico. Equidistancia 25 m, cotas en metros	36
Figura 5-2: Vista general de la ladera movilizada.....	37
Figura 5-3: Aspecto de la línea T-T	37
Figura 5-4: Escarpe derecho	38
Figura 5-5: Esquema del corte topográfico Norte-Sur	39
Figura 5-6: Esquema tridimensional del deslizamiento.....	40
Figura 5-7: Intersección de dos planos.....	41
Figura 5-8: Corte NS con todas las juntas proyectadas	42
Figura 5-9: Corte NS con las juntas significativas.....	43
Figura 5-10: Rectángulo elemental. Cotas en metros	44
Figura 5-11: Esquema de ampliación del dominio de juntas y total.	46
Figura 5-12: Aspecto de la geometría en GiD para la generación de la malla	47
Figura 5-13: Adaptación de la topografía a la malla.....	48

Figura 5-14: Aspecto de la malla con topografía sin adaptar superpuesta	49
Figura 5-15: Malla a exportar de GiD a DRAC	50
Figura 5-16: Construcción de elementos a mano	51
Figura 5-17: Malla definitiva sin glaciar	51
Figura 5-18: Malla definitiva con glaciar	52
Figura 5-19: Creación de elementos junta (1)	53
Figura 5-20: Creación de elementos junta (2)	53
Figura 5-21: Malla definitiva sin glaciar pero con juntas (rojo)	54
Figura 5-22: Malla definitiva con glaciar y juntas (rojo)	55
Figura 5-23: Malla definitiva sin glaciar pero con juntas sobre la línea T-T (rojo)	55
Figura 5-24: Malla definitiva con glaciar y juntas sobre línea T-T (rojo)	56
Figura 5-25: Diferentes tipo de condiciones de contorno	57
Figura 5-26: Contornos de σ_x	58
Figura 5-27: Contornos de σ_y	59
Figura 5-28: Contornos de τ_{xy}	59
Figura 5-29: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001	60
Figura 5-30: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01	61
Figura 5-31: Contornos de σ_x . Caso 2	62
Figura 5-32: Contornos de σ_y . Caso 2	63
Figura 5-33: Contornos de τ_{xy} . Caso 2	63
Figura 5-34: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001. Caso 2	64
Figura 5-35: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01. Caso 2	65
Figura 5-36: Contornos de σ_x . Caso 3	66
Figura 5-37: Contornos de σ_y . Caso 3	67
Figura 5-38: Contornos de τ_{xy} . Caso 3	67
Figura 5-39: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001. Caso 3	68
Figura 5-40: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01. Caso 3	69
Figura 5-41: Contornos de σ_x	70
Figura 5-42: Contornos de σ_y	71
Figura 5-43: Contornos de τ_{xy}	71
Figura 5-44: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001	72
Figura 5-45: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01	73
Figura 5-46: Contornos de σ_x	74
Figura 5-47: Contornos de σ_y	75
Figura 5-48: Contornos de τ_{xy}	75
Figura 5-49: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001	76
Figura 5-50: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01	77
Figura 5-51: Contornos de σ_y	78
Figura 5-52: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001	79
Figura 5-53: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01	80
Figura 5-54: Deformada. Escala 1000	81
Figura 5-55: Vector de desplazamientos. Escala 1000	82

Figura 5-56: Contornos de $ D $	83
Figura 5-57: Contornos de D_x	83
Figura 5-58: Contornos de σ_x	84
Figura 5-59: Contornos de σ_y	84
Figura 5-60: Contornos de τ_{xy}	85
Figura 5-61: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001 ...	86
Figura 5-62: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01.....	87
Figura 5-63: Contornos de σ_y . Caso 2.....	88
Figura 5-64: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001. Caso 2.....	89
Figura 5-65: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01. Caso 2	90
Figura 5-66: Deformada. Escala 1000. Caso 2.....	91
Figura 5-67: Vector de desplazamientos. Escala 1000. Caso 2	92
Figura 5-68: Contornos de $ D $. Caso 2	93
Figura 5-69: Contornos de D_x . Caso 2	93
Figura 5-70: Contornos de σ_x . Caso 2.....	94
Figura 5-71: Contornos de σ_y . Caso 2.....	94
Figura 5-72: Contornos de τ_{xy} . Caso 2	95
Figura 5-73: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001. Caso 2.....	96
Figura 5-74: Tensiones principales de tracción. Escala 0.001. Caso 2	97
Figura 5-75: Contornos de σ_y . Caso 3.....	98
Figura 5-76: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001. Caso 3	99
Figura 5-77: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01. Caso 3	100
Figura 5-78: Deformada. Escala 1000. Caso 3.....	101
Figura 5-79: Vector de desplazamientos. Escala 1000. Caso 3	102
Figura 5-80: Contornos de $ D $. Caso 3	103
Figura 5-81: Contornos de D_x . Caso 3	103
Figura 5-82: Contornos de σ_x . Caso 3.....	104
Figura 5-83: Contornos de σ_y . Caso 3.....	104
Figura 5-84: Contornos de τ_{xy} . Caso 3	105
Figura 5-85: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001. Caso 3	106
Figura 5-86: Tensiones principales de tracción. Escala 0.001. Caso 3	107
Figura 5-87: Tensiones verticales σ_y , con glaciar.....	108
Figura 5-88: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001 ...	109
Figura 5-89: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01.....	110
Figura 5-90: Deformada. Escala 1000	111
Figura 5-91: Vector de desplazamientos. Escala 1000	112
Figura 5-92: Contornos de $ D $	113
Figura 5-93: Contornos de D_x	113
Figura 5-94: Apertura de las juntas. Escala 50, umbral 0.05	114
Figura 5-95: Contornos de σ_x	115

Figura 5-96: Contornos de σ_y	115
Figura 5-97: Contornos de τ_{xy}	116
Figura 5-98: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001 ...	117
Figura 5-99: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01.....	118
Figura 5-100: Contornos de σ_y	119
Figura 5-101: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001 .	120
Figura 5-102: Tensiones principales de tracción. Escala 0.001	121
Figura 5-103: Deformada. Escala 1000	122
Figura 5-104: Vector de desplazamientos. Escala 1000.....	123
Figura 5-105: Contornos de $ D $	124
Figura 5-106: Contornos de D_x	124
Figura 5-107: Apertura de juntas. Escala 50, umbral 0.05	125
Figura 5-108: Contornos de σ_x	126
Figura 5-109: Contornos de σ_y	126
Figura 5-110: Contornos de τ_{xy}	127
Figura 5-111: Tensiones principales de compresión. Escala 0.001 .	128
Figura 5-112: Tensiones principales de tracción. Escala 0.01	129

Índice de Tablas

Tabla 2-1: Temperaturas medias.....	8
Tabla 2-2: Información sobre grosores de nieve	8
Tabla 5-1: Inclinación de las familias de discontinuidades en el corte NS.....	42
Tabla 5-2: Propiedades materiales del medio continuo.....	57
Tabla 5-3: Propiedades materiales de las juntas	57

Índice de Símbolos

σ_x : Tensiones horizontales

σ_y : Tensiones verticales

τ_{xy} : Tensiones tangenciales

$| |D| |$: Módulo del vector de desplazamientos

D_x : Componente horizontal del vector de desplazamientos

Índice de Modelos

Modelo	Descripción	Condiciones de contorno
casoprim:	Modelo homogéneo elástico lineal sin glaciar	CC1
casosegu, casoterc:	Modelo homogéneo elástico lineal sin glaciar; variación de condiciones de contorno	CC2, CC3
corte2dj:	Modelo elástico lineal con juntas en su totalidad sin glaciar	CC1
tall2djt:	Modelo elástico lineal con juntas sobre línea T-T sin glaciar	CC1
somsinju:	Modelo homogéneo elástico lineal con glaciar	CC1
somsjccp, somsjccs:	Modelo homogéneo elástico lineal con glaciar; variación de condiciones de contorno	CC2, CC3
somprimj:	Modelo elástico lineal con juntas en su totalidad y glaciar	CC1
somtallj:	Modelo elástico lineal con juntas sobre línea T-T y glaciar	CC1
sjplasae, sjplasca, sjplasce:	Modelo elástico lineal en el medio continuo con juntas plásticas en su totalidad y con glaciar	CC1