Capítulo 2

2 CARACTERÍSTICAS DEL DESLIZAMIENTO DE CEPPO MORELLI

2.1 Localización geográfica

El deslizamiento de *Ceppo Morelli* [1] [2], situado en las proximidades de la localidad del mismo nombre, se encuentra en la margen izquierda de la parte media del valle de *Anzasca*, en el norte del Piemonte italiano, cerca de la frontera con Suiza (ver Figura 2-1). Este valle está recorrido por el río *Anza*, que nace al pie del Monte Rosa, y desemboca en el río *Toce* localizado en la parte baja del valle de *Ossola*.

Tal y como se puede apreciar en las Figuras 2-2 y 2-3, la carretera nacional SS 549 es la única vía de acceso por tierra a la parte alta del valle.

Figura 2-1: Situación de *Ceppo Morelli* en Italia

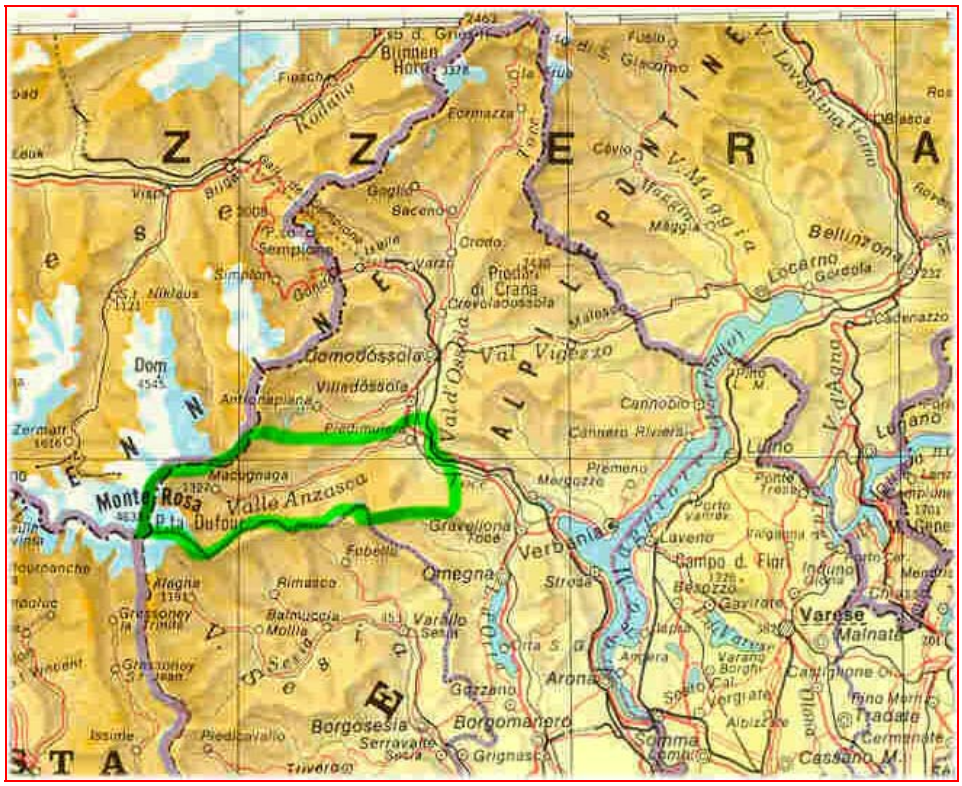

Figura 2-2: Norte del Piemonte

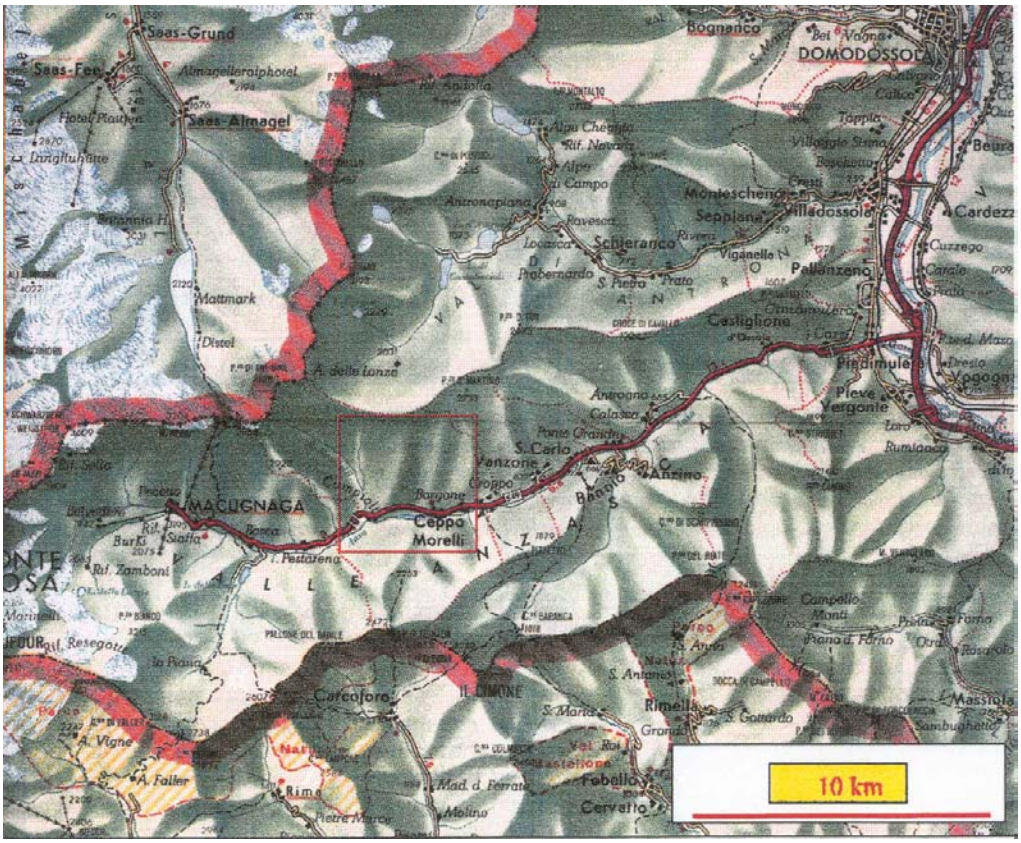

Figura 2-3: Valle de *Anzasca*

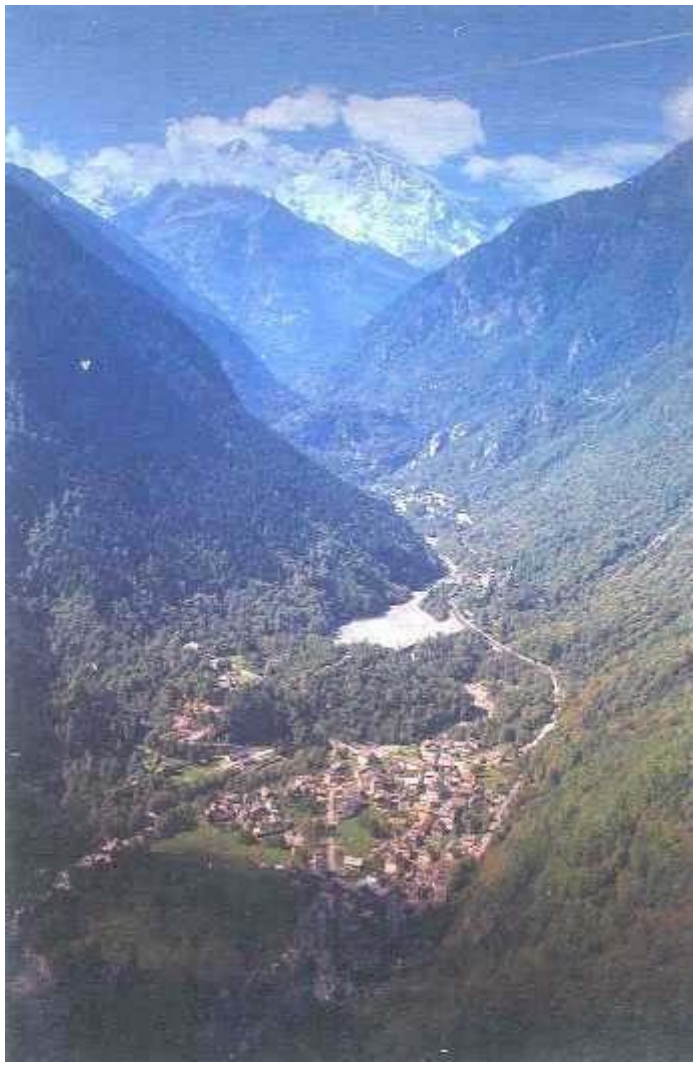

Figura 2-4: Vista aérea de *Ceppo Morelli*

2.2 Problemática del sitio

Los deslizamientos con la consiguiente caída de grandes bloques, han sido muy frecuentes en el valle de *Anzasca* a lo largo de la historia. Los primeros episodios documentados datan de los años 312 y 843 y los más recientes de 1816,1940,1971,1977 y 2000.

La carretera nacional SS 549 es la única vía de acceso a *Macugnaga*, importante centro de turismo invernal, que durante el episodio de lluvias de Octubre del año 2000 tuvo que ser cortada al tráfico debido a la caída de material detrítico de hasta 300 m^3 con el consiguiente aislamiento de toda la parte superior del valle.

Tal evento obligó a las autoridades italianas a abastecer de productos de primera necesidad por vía aérea hasta que pudo ser inaugurada al tráfico rodado una variante de la carretera bloqueada

que recorre el otro lado del valle gracias a la instalación de dos puentes provisionales por parte del ejército.

Figura 2-5: Un bloque alcanza la carretera nacional

Figura 2-6: Invasión de una carretera por el material movilizado

2.3 Marco regional

2.3.1 Clima

La zona de estudio está gobernada por el régimen climático *subalpino*.

El Servicio Nacional *Idrografico e Mareografico* posee en la zona 14 estaciones que arrojan una media para el periodo comprendido entre los años 1951 y 1986 de 1.594 mm de precipitación anual repartidos a lo largo de 119 días lluviosos, lo que proporciona una intensidad media de 13,4 mm/día. Los picos de precipitación acumulada corresponden a los meses de mayo y octubre con 198 mm y 190 mm, respectivamente.

En las Tablas 2-1 y 2-2 se recogen las temperaturas medias y los grosores medios de nieve medidos en las estaciones más próximas a la zona del deslizamiento.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
T (ºC)	-0,2	0,9	3,9	7,5	11,5	15,2
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T (ºC)	17,9	17,0	13,8	9,4	4,2	1,2

Tabla 2-1: Temperaturas medias

Mes	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Nivel (cm)	49	61	89	86	80	67	1

Dato	Nivel (cm)	Año
Máximo nivel nieve	785	1971-1972
Mínimo nivel nieve	137	1985-1986
Media	438	

Tabla 2-2: Información sobre grosores de nieve

2.3.2 Morfología regional

El valle de *Anzasca*, drenado por las aguas del río *Anza*, es el último valle que se incorpora al valle de *Ossola* por la margen derecha, por donde fluye el río *Toce*, que acaba desembocando en el Lago *Maggiore*.

La morfología de dicho valle está dictada por la acción fluvial y glacial al igual que por la actividad de los distintos deslizamientos que se han producido en sus laderas a lo largo de las distintas eras geológicas. También se encuentran vestigios subglaciales como el barranco de *Calasca*. El valle de *Anzasca* es abrupto: en apenas 30 km pasa de la cota 1.378 m en la aldea de *Pecetto di Macugnaga* a la cota de 247 m en la localidad de *Piedimulera*. Dicha característica morfológica está presente a lo largo de todo el valle. Por ejemplo, aguas arriba poco antes de *Ceppo Morelli* existe una zona de rápidos que limita con el llano de *Macugnaga*.

2.3.3 Geología regional y condiciones estructurales

La zona del deslizamiento está situada en la "*Monte Rosa* basement nappe" (Unidades Suprapeninas). Tal y como muestra la Figura 2-7, dicha capa contiene *augengneisses polimetamófricos* y *paraesquistos* y está caracterizada por varios episodios de deformación alpina dúctil. Así, a escala regional, la capa base está deformada por el antiforme de *Vanzone*, cuyo flanco se dirige hacia el NW y cuya cresta lo hace hacia el SW.

Los distintos episodios de deformación regional dúctil han producido distintos efectos, tales como la aparición de la foliación tanto principal como secundaria. La tectónica está caracterizada por la presencia de fallas y sistemas de fracturas parcialmente paralelas a los planos axiales del antiforme de *Vanzone*.

Finalmente, existen depósitos aluviales recientes, como son las masas de suelo heterogéneo y no cohesivo y los depósitos de fragmentos de roca.

Figure 4: geologic and structural framework (CNR, 1990). **Quaternary**: 1 Undifferentiated continual deposits. - **Austroalpine system:** - 10 Rootless sheets of granulite to amphibolite facies. – 11b *Arolla-Gneiss Minuti* basement complex. – 11d *Fobello-Rimella* mylonitic schists. – 12a Eclogitic Micaschists complex. **Piemont-Ligurian ophiolite nappe system:** 33c Metabasalts. – 35a Undifferentiated calc-schists. **Pennine nappe system:** 38a Post-Hercynian metasedimentary cover. – 39a Undifferentiated mi-caschists. - 39c marbles. – 41a Augengneiss and massive metagranitoids. – 42c metamorphic clastic and volcanic sequences. – 44a micaschists. - 44b orthogneiss. – 45b undifferentiated sedimentary cover – 52b *Tarentaise* unit. – 53a *Valais* calcschists unit. – 55a Lower Pennine nappes, mainly Alpine orthogneiss. – 56a undifferentiated *Baceno-Verampio* micaschists and *Lucomagno* metasedimentary cover. **Shoutern Alps:** 105b granitoids. – 106 Phyllites, micaschists and minor paragneiss. – 107a Hercynian orthogneiss. – 107c metabasites in greenschists and amphibolite facies. – 108b cumulus gabbros. – 109a metapelites. – 109b metabasites. Red point shows the investigated area.

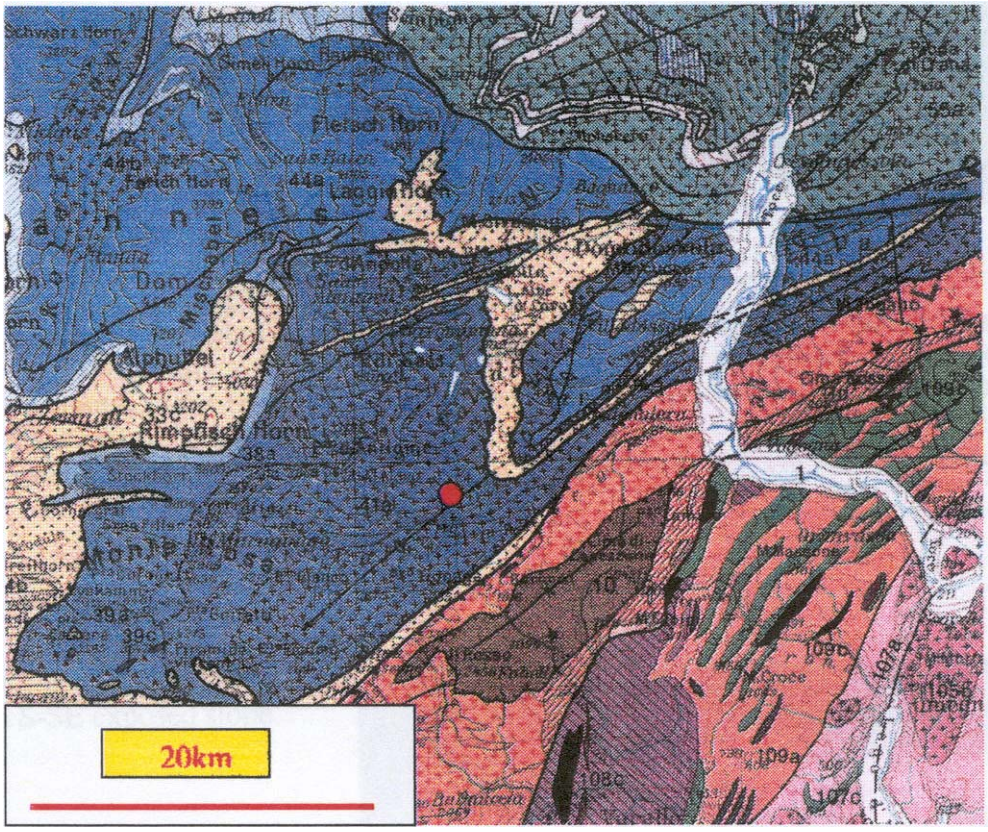

Figura 2-7: Mapa geológico regional

2.4 Marco local

2.4.1 Geología local y condiciones estructurales

La campaña de medición llevada a cabo por las autoridades italianas durante los meses de Octubre y Noviembre del 2000 arroja la presencia de las siguientes familias de discontinuidades:

Sistemas de foliación:

S1 – (135/35): Esquistosidad/folación principal, muy persistente, poco espaciada, JRC medio = 2, JCS medio = 22 Mpa, ángulo de fricción medio = 28-30º.
S2 – (135/55-60): Esquistosidad/foliación secundaria, muy persistente.

Tanto S1 como S2 emergen en profundidad.

Sistemas de fractura:

K1 – (25/85): Sistema de fracturas, muy persistente (>100m), espaciamiento 10-100 m. Este sistema está dispuesto hacia el E y fija el límite derecho del deslizamiento (mirando hacia el fondo del valle).
K2 – (340/85): Sistema de fracturas, muy persistente (50m), espaciamiento de más de 20 m. Menor resistencia y espaciamiento que la familia K1.
K3 – (314/88): Sistema de fracturas. Geométricamente similar al sistema K2. Debido al poco número de medidas realizadas, K2 y K3 podrían pertenecer a la misma familia de juntas.

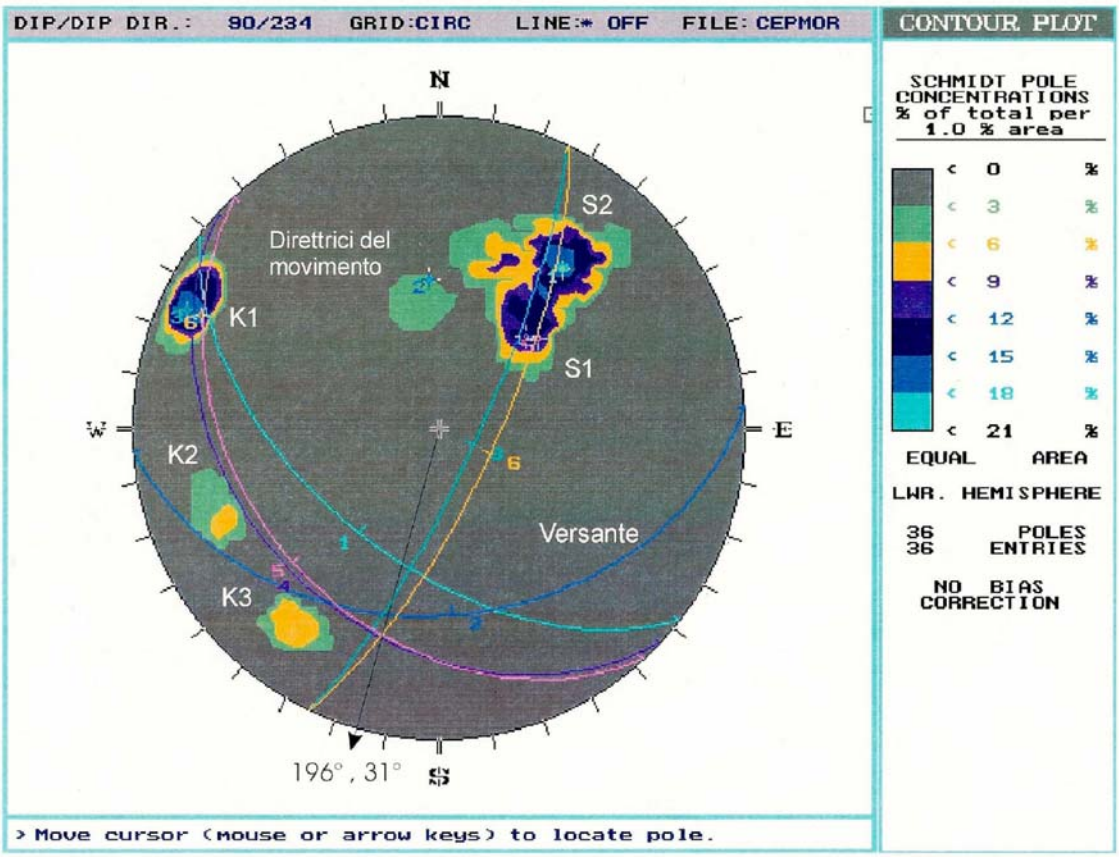

Figura 2-8: Proyección estereográfica de las discontinuidades principales (falsilla de Schmidt)

En la Figura 2-8 podemos observar la proyección estereográfica de las principales familias de discontinuidades. Dicha proyección ha sido realizada en el diagrama equiareal de Schmidt. La intersección de las familias S1 y K1 representa la dirección principal del movimiento del deslizamiento, cuyas coordenadas son (31/196).

2.5 Deslizamiento

2.5.1 Identificación

El deslizamiento de *Ceppo Morelli* está situado sobre la ladera izquierda del valle, expuesta hacia la dirección S-SE.

Los indicios disponibles revelan que se trata de una rotura cuasi planar que afecta a una formación masiva de gneiss. El movimiento principal sigue un plano paralelo a la foliación principal, definida por la presencia de una capa de micas cuya inclinación es de unos 35º, que a su vez es paralela a la superficie de la ladera de la montaña. En

la parte más baja del volumen movilizado, dicha superficie de deslizamiento viene definida por una combinación de ambos sistemas de foliación presentes, la principal y la secundaria, dando una inclinación algo mayor.

La zona de la ladera donde aflora la superficie de rotura, situada unos 400 metros por encima del fondo del valle, es una fuente continua de bloques que caen por gravedad hasta el río. El volumen de dichos bloques supera normalmente los 1.000 m^3.

Aparentemente, la parte interior del macizo es muy inestable lo que puede provocar más caídas de bloques e incluso avalanchas de rocas.

A grandes rasgos, la superficie de rotura viene delimitada por tres familias de discontinuidades: dos sistemas subverticales de direcciones NNE-SSW y ESE-WNW y otro sistema con buzamiento entre 35º y 60º SW correspondiente a la foliación presente en estos gneisses.

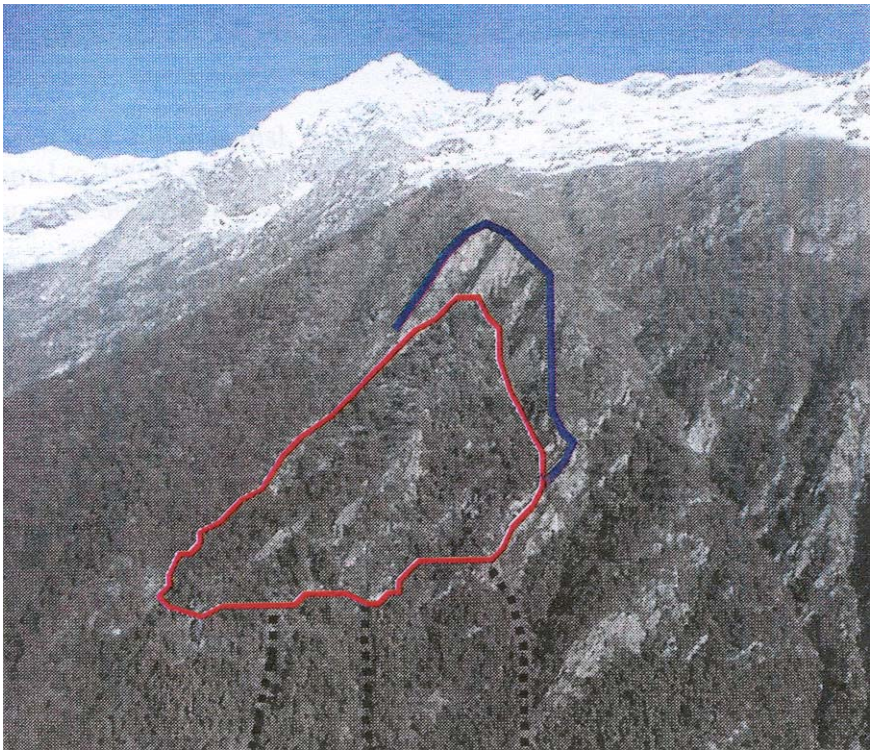

Figura 2-9: Deslizamiento de *Ceppo Morelli*

En la Figura 2-9 la línea roja indica el volumen de macizo rocoso movilizado, la línea azul su posición original y la línea negra los principales caminos seguidos por bloques desprendidos.

Figura 2-10: Aspecto de la ladera

Figura 2-11: Imagen de la cima de la ladera movilizada

2.5.2 Detalles

Un análisis más detallado del deslizamiento permite dividir el deslizamiento en tres sectores (ver Figura 2-12):

A: Área de coronación. Es la parte superior y superior izquierda del deslizamiento que se corresponde con la zona de escarpes del mismo. Como consecuencia del episodio de lluvias de Octubre del 2000, se ha formado una fractura por tracción en este sector que forma el límite superior del volumen movilizado.

B: Zona central. Es la parte central del deslizamiento. Puede ser dividida a su vez en tres subsectores: B2 se corresponde con la zona central que ha sufrido una traslación en dirección SSW manteniendo su aspecto original; B1 es el límite superior de la zona B2, tiene pendientes de unos 60º lo que puede haber provocado su configuración más caótica; B3 situado debajo de B2 es una zona totalmente caótica

C: Área de influencia del deslizamiento. Está situada por debajo del sector B, tiene forma de abanico y está constituida por material acumulado procedente de la ladera. Se distinguen dos zonas: C1 constituida por avalanchas de rocas antiguas y C2 constituida por avalanchas antiguas y recientes.

Las inundaciones de octubre del año 2000 representan el último episodio catastrófico de los que ha venido sufriendo la ladera de esta montaña a lo largo del tiempo.

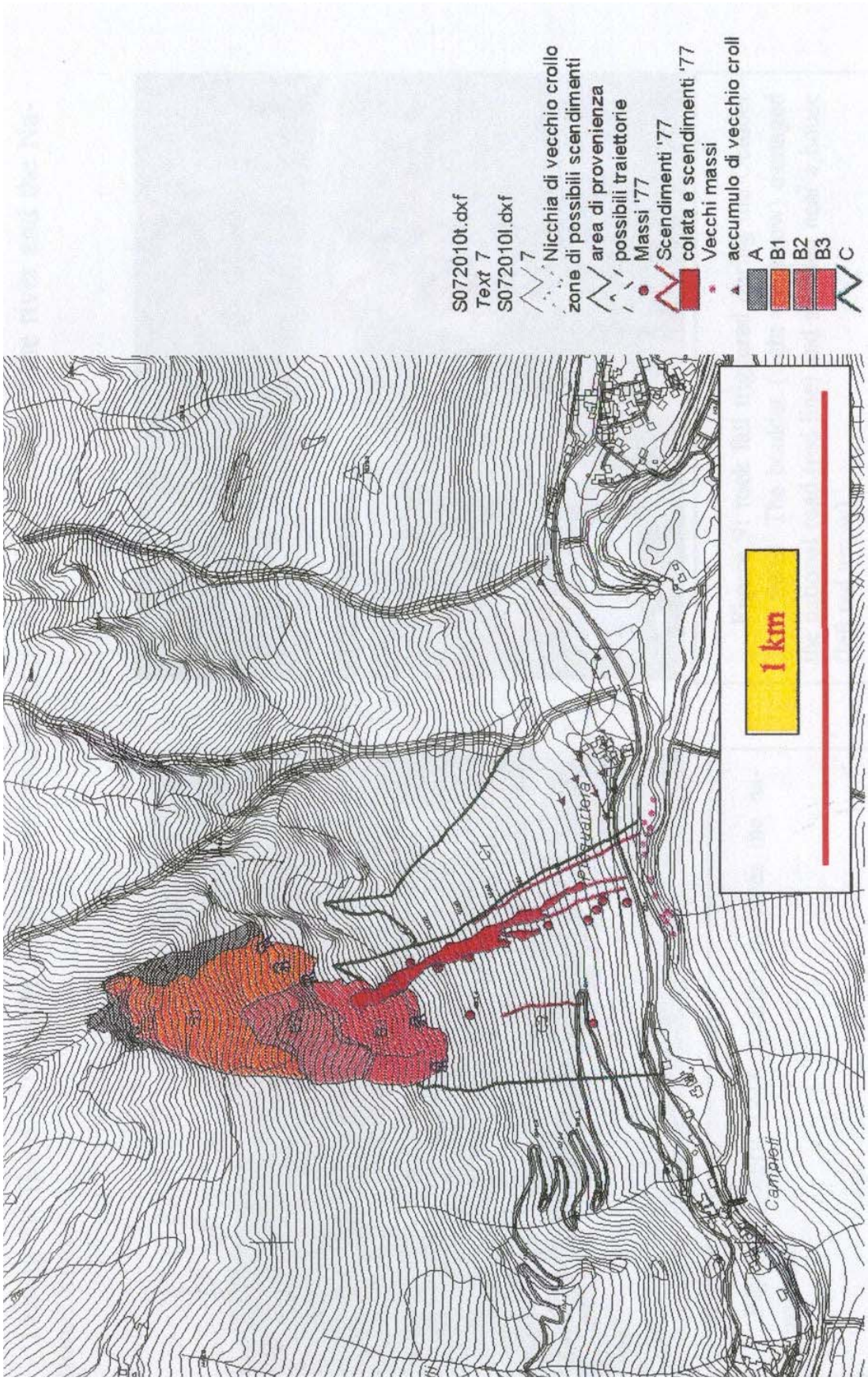

Figura 2-12: Los sectores del deslizamiento de Ceppo Morelli

2.5.3 Morfometría

La superficie total del deslizamiento es del orden de 150.000 m^2 y el volumen total movilizado se estima entre 4 y 6 millones de m^3.

El sector A se extiende desde la cota 1.750 m a la cota 1.400 m, el sector B entre las cotas 1.660 m y 1.200 m y, finalmente, el sector C entre los 1.200 m y los 800 m.

Las mediciones realizadas tras el episodio de lluvias de octubre del 2000, indican un movimiento general de todo el volumen de roca considerado de unos 5 metros (a nivel del escarpe derecho) y un hundimiento relativo de 1,2 metros. En la fractura situada en la parte superior del deslizamiento, se midió un movimiento de entre 2 m y 6 m siguiendo una dirección de 190º-210º. Dicha dirección, según las observaciones realizadas, parece ser que viene condicionada más por la foliación principal que por la propia morfología de la ladera de la montaña. En la Figura 2-8, la intersección de las familias de discontinuidades K1 y SL1, proporcionan una dirección de movimiento muy semejante a la observada en la fractura de la parte superior de la ladera. Finalmente, se estima que la superficie de rotura debe de encontrarse a gran profundidad siendo el escarpe derecho el límite derecho del deslizamiento.

2.5.4 Historia

Existen referencias, que se encuentran entre las más antiguas de Europa, sobre grandes deslizamientos en esta zona. Una crónica del siglo XV informa de movimientos en los años 312 y 843, que debieron de provocar la muerte de 25 caballeros que en ese momento transitaban por esa zona aparentemente transportando una especie de tesoro.

En otoño de 1816 se produjo la caída de un bloque de hasta 1.000 m^3 al lecho del río *Anza*, que todavía hoy se encuentra en el mismo lugar. También hubo desprendimientos de bloques de este orden de magnitud en abril de 1977 que llegaron al fondo del valle. Los habitantes de lugar afirman que la caída de bloques es muy habitual.

2.6 Otros aspectos

2.6.1 Proyectos

En diciembre del 2000, se desvió provisionalmente la carretera nacional hacia el otro lado del valle. Esta actuación, si bien reduce la probabilidad de que los bloques desprendidos alcancen la carretera, no elimina completamente esta posibilidad. Así pues, se baraja como solución definitiva la construcción de un túnel en esta zona por donde discurriría dicha carretera nacional.

Por otro lado, se prevé la construcción en un futuro de varios muros de contención en las inmediaciones de *Prequartera* que los protejan de la caída de bloques. La otra aldea en peligro, *Campioli*, será protegida mediante muros o bien trasladada a otro punto.

2.6.2 Elementos en riesgo

A lo largo del valle se encuentran todas las construcciones que el hombre ha ido levantando, entre las que destacan varias aldeas, la carretera nacional citada anteriormente y parte de una central hidroeléctrica.

2.6.3 Predicciones

Las autoridades italianas han creado dos escenarios futuros: uno muy probable y otro poco probable.

El primero prevé que el movimiento de todo el volumen involucrado pueda provocar la caída de bloques desde la zona donde aflora la superficie de rotura. Los bloques grandes podrían llegar al fondo del valle afectando *Campioli*, la carretera nacional y posiblemente también *Prequartera*.

El segundo, menos probable, propone una gran avalancha desde la ladera hacia el valle que involucre volúmenes de tierras oscilando entre 600.000 m^3 y varios millones de m^3. Dicha avalancha podría taponar el río *Anza*, destruir tanto *Campioli* como la carretera nacional SS 549 y enterrar la aldea de *Prequeartera*.