

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Facultad de Geografía e Historia

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física



MÁSTER EN DINÁMICAS TERRITORIALES Y DESARROLLO

Trabajo Fin de Máster

EL RIESGO DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA
PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO.
ESTUDIOS DE CASO EN TOSCANA (ITALIA)

Presentado por:

Mario Mampaso Torremocha

Dirigido por:

Nuria de Andrés de Pablo

Madrid, julio de 2016

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.2. HIPÓTESIS.....	8
1.3. OBJETIVOS.....	9
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN	10
2.1. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.1. Movimientos de ladera: aspectos generales.....	10
2.1.2. La evaluación del riesgo.....	13
2.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	17
2.2.1. Los movimientos de ladera en Europa.....	18
2.2.2. Los movimientos de ladera en América del Norte.....	21
2.2.3. Los movimientos de ladera en América Latina y el Caribe.....	22
2.2.4. Los movimientos de ladera en Asia.....	23
2.2.5. Los movimientos de ladera en África.....	24
3. MATERIALES Y MÉTODO	25
3.1. ANÁLISIS DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN PUBLICADOS REFERIDOS A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA Y A SU GESTIÓN.....	25
3.2. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO.....	26
3.3. ANÁLISIS DE DOCUMENTOS NORMATIVOS Y DE PLANIFICACIÓN.....	26
3.4. TRABAJO DE CAMPO.....	27
3.5. ANÁLISIS DE LOS CASOS DE ESTUDIO.....	27
4. CONTEXTO TERRITORIAL DE LA REGIÓN TOSCANA	28
4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	30
4.1.1. Relieve.....	30
4.1.2. Geología.....	31
4.1.3. Hidrografía.....	36
4.1.4. Clima.....	37
4.1.5. Vegetación.....	41
4.2. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.....	43
4.2.1. Población.....	43
4.2.2. Redes de comunicación.....	44
4.2.3. Usos del suelo.....	46
4.3. PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.....	47

5. NORMATIVA Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO	50
5.1. NORMATIVA	50
5.1.1. Normativa en materia de planificación territorial y urbanismo.....	51
5.1.2. Normativa en materia de defensa del suelo y ordenación hidrogeológica.....	52
5.2. EL RIESGO DE MOVIMIENTOS DE LADERA Y LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO	54
5.2.1. Las cuencas hidrográficas y las Autoridades de Cuenca	55
5.2.2. Los Planes de Cuenca: valor, objetivos y contenidos	56
5.2.3. Los Planes de Ordenación Hidrogeológica: estructura y contenidos.....	57
5.3. ESTRUCTURA DE LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN TOSCANA Y COORDINACIÓN CON LOS PLANES DE CUENCA Y PLANES DE ORDENACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	63
5.3.1. Estructura de la planificación territorial en Toscana	63
5.3.2. Adecuación de los instrumentos de gobierno del territorio con los Planes de Cuenca y los Planes de Ordenación Hidrogeológica	64
6. CASOS DE ESTUDIO	65
6.1. DESLIZAMIENTO EN LA LÍNEA FERROVIARIA PORRETTANA	66
6.1.1. Descripción del deslizamiento	67
6.1.2. Posibles causas	68
6.1.3. Consecuencias	68
6.1.4. Relación del deslizamiento con la planificación territorial.....	68
6.1.5. Intervenciones para estabilizar la ladera	69
6.1.6. Situación actual.....	71
6.2. DESLIZAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE PIAGGIAGRANDE.....	72
6.2.1. Descripción del deslizamiento	73
6.2.2. Posibles causas	74
6.2.3. Consecuencias	75
6.2.4. Relación del deslizamiento con la planificación territorial.....	76
6.2.5. Intervenciones para estabilizar la ladera	77
6.2.6. Situación actual.....	77
6.3. DESLIZAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE RIPAFRATTA	78
6.3.1. Descripción del deslizamiento	79
6.3.2. Posibles causas	80
6.3.3. Consecuencias	81
6.3.4. Relación del deslizamiento con la planificación territorial.....	83
6.3.5. Intervenciones para estabilizar la ladera	84
6.3.6. Situación actual.....	85

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	86
7.1. DISCUSIÓN.....	86
7.2. CONCLUSIONES	88
8. REFERENCIAS	90
8.1. BIBLIOGRAFÍA	90
8.2. DOCUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y CARTOGRAFIA	97
8.2.1. Documentos de planificación	97
8.2.2. Cartografía.....	98
9. ANEXOS	99

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Índice de figuras

Figura 1. Localización de Toscana en Italia	28
Figura 2. Provincias de Toscana	29
Figura 3. Distribución de los movimientos en relación con la pendiente de la ladera.....	31
Figura 4. Climodiagrama de Florencia (1981-2010).....	37
Figura 5. Climodiagrama de Passo della Cisa (provincia de Massa-Carrara)	38
Figura 6. Climodiagrama de monte Cimone (provincia de Módena) (1961-1990).	38
Figura 7. Autoridades de Cuenca presentes en Toscana.	55
Figura 8. Imagen satélite de las obras de estabilización de la ladera junto a las vías férreas.	66
Figura 9. Localización de Corbezzi (Pistoia) en el norte de Toscana	66
Figura 10. Imágenes del deslizamiento en la línea Porrettana poco después de producirse.	67
Figura 11. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera del área afectada.....	69
Figura 12. Obras de estabilización de la ladera deslizada.....	70
Figura 13. Momento de la reapertura de la línea con el tren que parte desde Pistoia.	71
Figura 14. Momento del tren a su paso por la zona deslizada.....	71
Figura 15. Situación actual después de las obras de estabilización de ladera.	71
Figura 16. Imagen satélite del deslizamiento de Piaggiagrande	72
Figura 17. Localización de Piaggiagrande en el noroeste de Toscana	72
Figura 18. Vistas del deslizamiento desde el helicóptero de bomberos	73
Figura 19. Las dos viviendas afectadas por el deslizamiento	74
Figura 20. Imagen del lago formado por el deslizamiento.....	74
Figura 21. Vivienda inclinada e inhabitable	75
Figura 22. Rupturas en la carretera	75
Figura 23. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera del área afectada.....	76
Figura 24. Imagen de satélite del deslizamiento sobre la vivienda que destruyó.....	78
Figura 25. Localización de Ripafratta en la provincia de Pisa.....	79
Figura 26. Vista de la fuerte pendiente de la ladera deslizada	80
Figura 27. Imágenes del deslizamiento poco después de producirse.....	82
Figura 28. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera del área afectada.....	83
Figura 29. Imágenes de la situación actual del deslizamiento	85

Índice de tablas

Tabla 1. Evolución y tasa de crecimiento de la población en Toscana (2000-2015)	43
Tabla 2. Distribución territorial de la población por provincias	43
Tabla 3. Redes ferroviarias de Toscana.....	45
Tabla 4. Estimación del suelo consumido en porcentaje sobre la superficie regional.....	46
Tabla 5. Suelo urbanizado en relación a la altimetría	46
Tabla 6. Suelo urbanizado en relación a la pendiente del terreno	47
Tabla 7. Superficie en peligro por movimientos de ladera (2015)	47
Tabla 8. Superficie urbanizada en áreas con peligrosidad por movimientos de ladera (2015)....	48
Tabla 9. Población en peligro por movimientos de ladera (2011)	48
Tabla 10 Bienes culturales en áreas con peligrosidad por movimientos de ladera (2015).	49
Tabla 11. Superficie de las cuencas hidrográficas en la región y en las provincias de Toscana. ..	56
Tabla 12. Niveles de riesgo adoptados en Italia.....	59
Tabla 13. Matriz de riesgo empleada por las Autoridades de Cuenca	60
Tabla 14. Vulnerabilidad de los elementos en riesgo	62
Tabla 15. Superficie expuesta a cada clase de peligro de la cuenca hidrográfica del Arno (2010)	62

1. INTRODUCCIÓN

Italia es uno de los países europeos que presenta una mayor exposición y vulnerabilidad a los riesgos naturales, especialmente a los hidrogeológicos, es decir, a los movimientos de ladera y a las inundaciones, que son los desastres naturales que se repiten con mayor frecuencia y causan, después de los terremotos, el mayor número de víctimas y de daños. Sólo en los últimos diez años se han gastado más de 3.500 millones de € para afrontar tales eventos (ISPRA, 2015).

Para hacerse una idea de la magnitud que alcanzan los movimientos de ladera, basta observar que de los 700.000 que se han registrado en Europa, más de medio millón han tenido lugar en Italia, tal y como se refleja en el “Inventario de Movimientos de Ladera en Italia” (IFFI, en sus siglas en italiano), y que afectan a una superficie 22.176 km², o lo que es lo mismo, al 7,3% del territorio italiano, y amenazan a más de 7 millones de habitantes de 7.145 municipios, de los cuales 1 millón se encuentran en áreas expuestas a un riesgo alto de movimientos de ladera. Sólo en 2014 se han producido 211 deslizamientos que han causado víctimas, heridos, evacuados y daños a edificios y vías de comunicación (autopistas y ferrocarriles) (ISPRA, 2015).

De acuerdo a datos publicados en 2015 por el Instituto Superior la Protección e Investigación Ambiental (ISPRA), las regiones de Emilia-Romaña, Toscana, Valle de Aosta, Campania, Abruzzo, Piamonte, Lombardía y la Provincia Autónoma de Trento presentan las mayores superficies de territorio expuesto a dichos movimientos.

Las condiciones actuales de riesgo de deslizamiento en Italia están ligadas tanto a las características geológicas, morfológicas e hidrográficas del territorio (hay que tener en cuenta que el 76,9% del país está conformado por colinas (41,7%) y montañas (35,2%)¹), como al fuerte incremento, a partir de los años cincuenta del siglo XX, de las áreas urbanizadas, industriales y de las vías de comunicación, que normalmente han tenido lugar en ausencia de una correcta planificación territorial, además de la falta de mantenimiento de ríos y laderas, la deforestación descontrolada y el abandono del uso y gestión de la montaña. Se trata sólo de algunas de las causas que han agravado de forma sustancial el riesgo hidrogeológico en Italia. De hecho, muchas de las inestabilidades de las laderas se han producido como consecuencia de la infravaloración o de la absoluta falta de consideración de los factores ambientales y características físicas del territorio.

Para prevenir y mitigar los efectos e impactos de los movimientos de ladera es extremadamente importante gestionar el territorio de forma racional, y, por tanto, es necesario proceder a una planificación territorial que tenga en cuenta la organización social, económica y territorial que sirva como instrumento de defensa ante los riesgos naturales.

¹ Istat. Anuario Statistico Italiano 2014. Capitolo 1.
www.istat.it/it/files/2014/11/Asi-2014.pdf [Consultado el 10 de junio de 2014]

1.1. JUSTIFICACIÓN

En este sentido, el presente Trabajo Fin de Máster, concebido como una primera toma de contacto con la investigación científico-académica, significa una aproximación al estudio del riesgo de los movimientos de ladera y su consideración en la planificación territorial de la región italiana de Toscana.

Debido a la importancia de los daños provocados por los movimientos de ladera tanto en Toscana como en Italia, es necesario estudiar sus causas, su localización y sus posibles efectos sobre la población y sus actividades, con el objetivo de aplicar medidas de planificación y ordenación del territorio destinadas a mitigar el riesgo que suponen.

Además, la elección de dicha temática y ámbito territorial está motivada por el interés personal que me suscita, así como por la actualidad del tema, y por la curiosidad de conocer qué medidas se toman al respecto en un país desarrollado, pero a la vez tan vulnerable ante los riesgos naturales.

1.2. HIPÓTESIS

El presente trabajo parte con las siguientes hipótesis generales:

- Los movimientos de ladera son procesos naturales generados por la interacción de un conjunto de variables como el tipo de material geológico de la ladera, la topografía y el ángulo de la pendiente, el clima, la vegetación, el agua y el tiempo, pero también pueden generarse por causas antrópicas, como la deforestación para fines agrícolas o ganaderos, o las construcciones que suponen una modificación de la composición de la ladera y una mayor inestabilidad de la misma. La acción humana hace que aumente la frecuencia de los movimientos de ladera y que sus consecuencias sean más graves.
- Los movimientos de ladera se consideran riesgos naturales en la medida que afectan a la población y a sus actividades, infraestructuras y usos del suelo.
- Un mejor estudio de los movimientos de ladera y su inclusión como riesgos potenciales en la planificación del territorio conduce a la prevención y a una mejor actuación ante el proceso.

Y se concreta con las siguientes hipótesis particulares:

- Las características físicas de la región Toscana son propicias para que se produzcan numerosos movimientos de ladera, especialmente en el Apenino Tosco-Emiliano y los Alpes Apuanos.
- Las dinámicas territoriales producidas en Toscana en las últimas décadas, caracterizadas por el aumento de la densidad de población, la progresiva urbanización y consumo de suelo en colinas y montañas, el abandono de actividades agrosilvopastorales y la mala gestión de las masas forestales, cauces y torrentes, han supuesto una mayor vulnerabilidad y exposición al riesgo.
- No se aplican correctamente las normas y medidas establecidas en los planes para mitigar el riesgo de movimientos de ladera, especialmente a escala local.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es analizar y evaluar la incidencia de las políticas en la planificación territorial y la gestión de los movimientos de ladera en Toscana, a partir de la presentación de tres estudios de caso de desastres naturales provocados por deslizamientos de tierra.

Asimismo, se persiguen una serie de objetivos específicos:

- Establecer un marco teórico y conceptual sobre el tratamiento de los riesgos naturales, y en particular sobre los movimientos de ladera, pasando desde un enfoque global a uno local.
- Analizar la normativa, legislación y planificación comunitaria, nacional y regional en relación a los movimientos de ladera y la planificación territorial, así como su posterior ejecución.
- Estudiar tres casos de desastres naturales provocados por deslizamientos de tierra en Toscana y su relación con la planificación del territorio.
- Observar en el trabajo de campo las medidas estructurales y no estructurales que se han tomado en cada uno de los tres casos de estudio.
- Identificar y analizar las dinámicas territoriales que han determinado la formación de territorios vulnerables a los movimientos de ladera en Toscana.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Movimientos de ladera: aspectos generales

La mayor parte de la superficie terrestre está formada por laderas y son una de las componentes fundamentales del relieve (Young, 1972), por lo que no resulta extraño que los movimientos de ladera sean los fenómenos geomorfológicos más frecuentes y más extendidos en el mundo (McGuire et al., 2004). Existen numerosas definiciones que intentan explicar el concepto de “movimientos de ladera” (*landslides*), también denominado como “movimientos en masa” o “movimientos de remoción en masa” (*mass movements*), de las cuales merece la pena rescatar las realizadas por Varnes (1978): “un movimiento hacia abajo y hacia fuera de los materiales que forma una ladera bajo la influencia de la gravedad” y Cruden (1991): “movimiento de una masa de roca, tierra o derrubios hacia debajo de una ladera”.

A pesar de que la definición sea aparentemente simple, los movimientos de ladera son fenómenos muy complejos, cuya clasificación resulta a menudo incierta. El sistema de clasificación más adoptado es el propuesto por Varnes en 1978, posteriormente revisado por Carrara et. al. en 1985 y por Cruden y Varnes en 1996. Según el enfoque adoptado por el proyecto EPOCH (*The Temporal Occurrence and Forecasting of Landslides in the European Community*) (1991-1993), se efectúa la clasificación de los movimientos de ladera según el tipo de movimiento de la masa y la naturaleza del material transportado. Los movimientos se han subdividido en seis tipos diferentes (Varnes, 1978) (Anexo I):

- 1) Desprendimientos o caídas de rocas (*falls o rockfalls*). Se definen como una masa generalmente de rocas que se desprende de un talud abrupto (cantil, desmonte), mediante una superficie de corte normalmente pequeña (Ayala-Carcedo et al., 1987). Los materiales descienden por caída libre si la ladera es subvertical y cuando el ángulo es menor las partículas saltan (Gutiérrez, 2008). En laderas con inclinaciones menores de 45° las partículas se movilizan rodando (Cruden y Varnes, 1996). Los bloques desprendidos, al impactar con la ladera, suelen romperse en fragmentos más pequeños. Además, los desprendimientos suelen subdividirse en caídas de rocas, detritos y tierra, aunque la mecánica de los procesos es muy similar. Las causas son muy variadas. Una de las más importantes se debe a la formación de hielo en las diaclasas, los sucesivos ciclos de hielo y deshielo producen la fragmentación de la roca. Las precipitaciones muy intensas, la socavación de la ladera producida por erosión fluvial y marina y los temblores sísmicos son otras causas de desprendimientos (Gutiérrez, 2008).
- 2) Vuelcos (*topples*). Consisten en una rotación hacia fuera de la ladera de una masa de roca o suelo, en torno a un punto o eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada (Cruden y Varnes, 1996). Los vuelcos son roturas que se desarrollan sobre materiales con estructuras verticales, formada por planos de discontinuidad de la roca. Las causas que provocan los vuelcos son, de nuevo, los ciclos de hielo y deshielo y la meteorización salina en areniscas y disolución en calizas (Gutiérrez, 2008).

- 3) Deslizamientos (*slides*). Son movimientos de ladera de una masa de suelo o roca que tiene lugar sobre superficies de rotura o sobre estrechas zonas de intensa deformación por cizallamiento (Cruden y Varnes, 1996). Existen dos grandes tipos de deslizamientos:
- a. Deslizamientos rotacionales (*slumps*). Son movimientos más o menos rotacionales, alrededor de un eje que es paralelo a las curvas de nivel de la ladera, y que implica un desplazamiento de cizalla a lo largo de una superficie cóncava, que es visible o puede reconocerse sin dificultad (Varnes, 1978). La superficie de cizalla puede tener forma circular o de cuchara. Los deslizamientos rotacionales pueden producirse en rocas, detritos y tierra. Los factores desencadenantes de los deslizamientos rotacionales (Buma y van Asch, 1996) son: laderas con bloques muy fracturados (deslizamientos rotacionales de rocas); laderas con potentes regolitos o depósitos morrénicos (tierra y detritos); laderas sin vegetación; laderas de margas y arcillas (Selby, 1985) y substratos rocosos con estratificación horizontal (Young, 1972). También hay que incluir las socavaciones basales provocadas por los cursos fluviales y la acción del oleaje (Varnes, 1978), las excavaciones y construcciones, los terremotos, las explosiones, las sobrecargas súbitas y el ascenso de los niveles freáticos como consecuencia de lluvias y fusiones rápidas de nieve (Gutiérrez, 2008).
 - b. Deslizamientos traslacionales (*translational slides*). La masa se desliza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie ondulada y la componente rotacional es mínima (Varnes, 1978). Este deslizamiento se produce a favor de planos de discontinuidad de las rocas (estratificación, pizarrosidad, fallas, diaclasas) y en depósitos con variaciones claras en la resistencia al cizallamiento (Dikau et al., 1996). Se pueden originar en rocas, detritos y tierra, y se pueden subdividir en (Gutiérrez, 2008): deslizamientos de bloques (*block slides*), deslizamientos rocosos (*rock slides*), deslizamientos de tierra y detritos (*slab slide*), deslizamientos de detritos (*debris slide*), coladas de barro (*mudslide*, *mudflow* o *earth flow*), deslizamientos con coladas de barro (*slump-earth flow*).
- 4) Expansiones laterales (*lateral spreading*). Se caracterizan por el desplazamiento de una vertiente combinado con la subsidencia de la cima. Las expansiones laterales más habituales se manifiestan en formaciones geológicas en donde existen formaciones duras situadas encima de una formación arcillosa propensa a la licuefacción (Cruden y Varnes, 1996).
- 5) Coladas o flujos (*flows*). Son movimientos continuos, similares a un líquido viscoso, que no preserva la estructura interna original del material desplazado, sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre (Bromhead, 1986). Los flujos pueden subdividirse en varios tipos en función del material afectado, por tanto, encontramos flujos de detritos (*debris flows*), flujos de tierra (*soil flows*) y flujos de rocas (*rock flows*) (Dikau et al., 1996; Dikau, 2004). Los flujos de detritos movilizan fragmentos de roca, bloques y cantos en una matriz arenosa con escaso contenido en arcilla. Los flujos de tierra se desarrollan en arenas, limos y arcillas saturados en agua o licuefactados, que adquieren un comportamiento fluido (flujos de barro), aunque también se producen solo en arenas (Gutiérrez, 2008).

- 6) Movimientos de masa complejos (*complex landslides*). Es la combinación de dos o más tipos de movimientos. Se manifiesta por las diferentes partes de la masa movilizada o por las distintas etapas del desarrollo de los movimientos (Varnes, 1978). Los movimientos complejos más comunes son tres (Gutiérrez, 2008): las avalanchas de rocas (*rock avalanche*), los flujos deslizantes (*flow slides*) y los grandes deslizamientos gravitacionales (*deep-seated gravitational slope*).
- a. Las avalanchas de rocas pueden definirse como “un movimiento en masa fluidificado, fundamentalmente por aire, que moviliza rápidamente grandes volúmenes de roca, derivados de la desintegración de rocas desprendidas, que se movilizan por influencia de la gravedad” (Seijmonsbergen et al., 2005). Son movimientos muy rápidos que se producen principalmente en las altas montañas con laderas abruptas (Selby, 1993), sus causas pueden ser tanto las socavaciones por procesos fluviales y glaciares, como la retirada de los hielos después de la última glaciación que producen descompresiones en las laderas (Panizza, 1973).
 - b. Los flujos deslizantes son colapsos estructurales del material de ladera, que se fluidifica momentáneamente y moviliza, alcanzando gran velocidad y largo desplazamiento. Está compuesto por materiales poco compactos que pierden su cohesión y alcanzan la fluidificación de la masa (Dikau, 2004). Las causas pueden ser vibraciones, sacudidas sísmicas, precipitaciones intensas, sobrecarga rápida y movilización del soporte inicial (Ibsen et al., 1996).
 - c. Los deslizamientos gravitacionales son deformaciones de grandes dimensiones que se producen en conjuntos sedimentarios levantados tectónicamente formando una estructura plegada. Los complejos de capas levantadas deslizan ladera abajo a favor de materiales de coeficiente de fricción bajo (Gutiérrez, 2008). En Italia algunos casos de estos movimientos complejos los han estudiado Giannini (1951), en las colinas Metallifere (Toscana); Pasuto et al., (1994). En los Dolomitas (Cortina d’Ampezzo); y Gori et al., (2013), en el monte Morrone (Abruzos, Apenino central).

2.1.2. La evaluación del riesgo

El primer intento formal de establecer una clasificación de conceptos y términos en relación a los desastres naturales y el análisis de la vulnerabilidad, lo llevó a cabo el informe de United Nations Disaster Relief Coordinator en 1979, que aporta definiciones para la amenaza, peligro o peligrosidad (*hazard*), la vulnerabilidad (*vulnerability*), los elementos en riesgo (*elements at risk*), el riesgo específico (*specific risk*) y el riesgo total (*total risk*).

Los conceptos de peligrosidad y riesgo han sufrido con el paso de los años ligeras modificaciones por parte de autores en el intento de estandarizar terminologías a menudo erróneamente interpretadas y empleadas (Varnes, IAEG, 1984).

Si bien en los últimos años los conceptos de peligrosidad y riesgo han estado en el centro de atención de investigadores, comisiones científicas y administradores, todavía existen incertezas en cuanto a su empleo y sobre todo en la elección de parámetros para utilizar en su cuantificación.

Actualmente las terminologías de referencia son las propuestas por las comisiones técnico-científicas de la UNESCO (*Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes*) en el ámbito del IAEG (*International Association of Engineering Geology*). A continuación, se citan los elementos que aparecen en la definición del riesgo.

Peligrosidad

Según Bolt et al. (1977) debe considerarse “peligro geológico” cualquier proceso o evento potencial que constituye una amenaza para la salud, la seguridad y el bienestar de una colectividad o para la economía de cualquier población. Según esta definición, sin embargo, un terremoto o un deslizamiento que tienen lugar en un área desierta no constituyen un peligro geológico. En el informe UNESCO de Varnes e IAEG (1984) el concepto de peligrosidad (H) se define como: “probabilidad de que un fenómeno potencialmente destructivo se verifique en un cierto periodo de tiempo y en una cierta área”. La diferencia es notable: un fenómeno es peligroso cuando afecta a la población, a sus actividades e infraestructuras.

Esta definición ha sido aceptada y todavía se utiliza por organismos como el UNISDR (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*), pero presenta problemas a causa de las peculiaridades de los deslizamientos respecto a otros fenómenos naturales, como los terremotos, a los que se adapta mucho mejor la definición. El aspecto más importante es que en dicha definición falta una referencia a las dimensiones del fenómeno y a la intensidad, que condicionan el comportamiento y las potenciales consecuencias. En este sentido Einstein (1988) propone emplear el término “*danger*”, entendido como peligro o intensidad, para caracterizar el fenómeno potencialmente destructivo y el término “*hazard*” para resaltar su imprevisibilidad: el peligro comprende las características mecánicas y geométricas del fenómeno, incluidas su localización en el espacio, mientras la peligrosidad no es más que la probabilidad de que ocurra el fenómeno.

Es evidente el intento de introducir, en la evaluación de la peligrosidad, un parámetro con el cual poder cuantificar el poder destructivo del fenómeno. Fell (1994) intenta resolver el problema presentando el concepto de magnitud (intensidad) y definiendo la peligrosidad como “*producto de la probabilidad de que ocurra por la magnitud*”.

Algunos autores italianos, como Canuti y Casagli (1996), partiendo de la terminología incluida en el informe UNESCO de Varnes e IAEG (1984) proponen para la peligrosidad la siguiente definición: “probabilidad de que un fenómeno potencialmente destructivo de determinada intensidad se verifique en un cierto periodo y una cierta área”: se expresa en términos de probabilidad anual o de tiempo de retorno.

Un estudio de peligrosidad de movimientos de laderas para una cierta área debe ser capaz, por tanto, de prever dónde se producirán, sus dimensiones, su velocidad y su recurrencia temporal (tiempo de retorno), debe manifestar la probabilidad de que el deslizamiento alcance un determinado punto del espacio a través de la posible dirección de propagación del mismo.

En cuanto a los movimientos de ladera muchos modelos previsionales referidos en la literatura se limitan normalmente a definir donde y con qué probabilidad un determinado fenómeno puede suceder, sin determinar explícitamente los tiempos de retorno y la intensidad. En este sentido existen pocos intentos de efectuar una determinación completa de la peligrosidad (Del Prete et al., 1992; Fell, 1994).

Como se puede observar, todas las definiciones ya mencionadas incorporan tres conceptos fundamentales para la comprensión y evaluación de la peligrosidad:

- El concepto de localización espacial, es decir “dónde”;
- El concepto de intensidad o magnitud, es decir las “dimensiones”;
- El concepto de frecuencia o recurrencia, es decir “cuándo” o “cada cuánto” (Cardinali et al., 2002).

Como es de esperar dicha valoración es compleja: en primer lugar, a causa de la discontinuidad espacial y temporal de los procesos de ladera. En segundo lugar, por la dificultad de reconocer de forma exacta la causa que ha determinado el desencadenamiento de un fenómeno; casi siempre se asiste a la coexistencia de varios aspectos estrechamente relacionados, entre factores de predisposición y hechos desencadenantes.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad (V) representa el grado de pérdida que se produce sobre un cierto elemento o grupo de elementos expuestos al riesgo a causa de un fenómeno natural de una cierta intensidad (Varnes e IAEG, 1984). En la práctica la vulnerabilidad exprime la relación que une la intensidad del fenómeno a sus posibles consecuencias. Pueden determinarse o con un enfoque cuantitativo o cualitativo (Leone et al., 1996; Crosta et al., 2001).

El método cuantitativo determina para cada elemento a riesgo un valor numérico comprendido entre 0 (ninguna pérdida) y 1 (pérdida total), a partir del cual se calcula posteriormente la vulnerabilidad total.

Dadas las numerosas variables en juego, el cálculo de la vulnerabilidad es muy complejo. Entre ellas podemos distinguir:

- Intensidad del movimiento de ladera;
- Aspecto constructivo y estructural del elemento en riesgo;
- Posición del elemento en riesgo respecto al fenómeno;
- Presencia de eventuales protecciones.

Análogamente a la peligrosidad, es necesario definir a priori la tipología de unidad territorial de referencia, aunque tal unidad no sea necesariamente igual a la utilizada para el análisis de la peligrosidad.

La literatura sobre el tema muestra la prevalencia de enfoques del tipo heurístico, que llevan a una estimación cualitativa o semi-cuantitativa de la vulnerabilidad expresada en clases; estos métodos se basan en estimaciones subjetivas o en el uso de matrices (Fell, 1994). Normalmente, en estudios preliminares, la vulnerabilidad se fija igual a 1, considerando la destrucción completa de un elemento afectado por el deslizamiento.

Elementos en riesgo y exposición al riesgo

Los elementos en riesgo están representados por la población, las propiedades, las actividades económicas, los bienes y servicios presentes en una determinada área amenazada por el fenómeno potencialmente peligroso (Varnes e IAEG, 1984), y están caracterizadas por su valor económico (W).

El enfoque utilizado para la evaluación de los elementos en riesgo consiste en una estimación cualitativa que comprende el valor relativo de los elementos; normalmente se calcula el valor de un único elemento y después se multiplica por el número total de elementos presentes.

Por exposición al riesgo (E) se entiende, sin embargo, la probabilidad de que un cierto elemento se exponga a un fenómeno potencialmente peligroso. En la literatura el concepto de exposición para los fenómenos naturales no ha sido formalizado en modo sistemático.

La exposición al riesgo es una característica de los elementos en riesgo que a menudo no se considera de forma explícita. En general se refiere a cuándo y cómo un cierto fenómeno se relaciona con los elementos en riesgo, y está por tanto en función de las características propias del elemento y de la intensidad con la cual el elemento interacciona con el fenómeno potencialmente peligroso. Por lo que se refiere a los fenómenos naturales, la exposición está ligada esencialmente a la movilidad/estatismo del elemento en riesgo, y, en particular, a la probabilidad (p) de que tal elemento se encuentre en el punto x, y en el momento t:

$$E_S = p (E_R = x,y) * p (E_R = t)$$

Donde E = exposición al riesgo; p = probabilidad; E_R = elemento en riesgo; x,y = coordenadas del elemento en riesgo; t = momento en el que se produce el riesgo.

En el caso de que el fenómeno peligroso no tenga una cinemática lenta o ya se haya producido (masas que caen o que ya han caído en medio de una carretera), la exposición de los elementos móviles estará influida por la reacción del elemento al peligro (fuga, desviación, arresto, etc.). Esta reacción está influida por parámetros como la visibilidad del fenómeno, la reactividad del elemento en riesgo, la presencia de vías de fuga, etc. Estas dos últimas características son parte de la *vulnerabilidad*. Por tanto, la exposición es función de la vulnerabilidad.

Riesgo

El riesgo viene normalmente definido como una medida de la probabilidad de consecuencias desfavorables para la salud, las propiedades y la sociedad, derivadas de la exposición a un fenómeno peligroso de un cierto tipo y de una cierta intensidad, en un cierto lapso de tiempo y en una cierta área (Smith, 2004).

La evaluación del riesgo representa el paso final de todas las valoraciones anteriormente descritas, es decir, el riesgo (R) es el resultado del producto de la peligrosidad (H) por la vulnerabilidad (V) y por la exposición (E) (Varnes e IAEG, 1984):

$$R = H * E * V$$

Normalmente el riesgo se diferencia según el elemento considerado, por este motivo puede expresarse en términos porcentuales, número o cantidad de unidades perdidas al año.

El tratamiento del riesgo de los movimientos de ladera en la planificación del territorio en Toscana se desarrollará en el capítulo 5.

2.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los movimientos de ladera provocan importantes daños socioeconómicos y son el tercer riesgo natural por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones en todo el mundo (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002).

El principal evento mundial que trata los movimientos de ladera es el *World Landslide Forum*, que ha organizado tres foros desde su creación, el primero de ellos en Tokio (2008), el segundo en Roma (2011) y el último en Pekín (2014). Este foro mundial en el que participaron más de 200 instituciones nacionales e internacionales, tiene como objetivo difundir el conocimiento y el saber-hacer técnico-científico que puede aplicarse en la formulación de políticas para reducir el riesgo de desastres por movimientos de ladera y construir comunidades y territorios resilientes.

Se subraya que los movimientos de ladera son un riesgo que afecta gravemente a la humanidad, provocando numerosas muertes, daños a asentamientos de población, viviendas, patrimonio cultural y natural, infraestructuras y por tanto graves pérdidas económicas. Además, las comunidades más vulnerables a este riesgo son aquellas con menores rentas (Sassa et al., 2015).

Los movimientos de ladera son un fenómeno complejo, que normalmente se desencadena a partir de otros procesos naturales, como terremotos, erupciones volcánicas, lluvias intensas, tifones, huracanes o la fusión de la nieve. La acción del hombre sobre el territorio también puede agravar los impactos de estos procesos, por ejemplo, instalándose y construyendo en áreas de riesgo. Si además se tiene en cuenta que el cambio climático conlleva un nuevo patrón de localización, distribución e intensidad de las precipitaciones, tanto a nivel local como regional, se está produciendo una mayor vulnerabilidad del hombre ante los riesgos geológicos y geomorfológicos. La comprensión de este fenómeno requiere de un enfoque integrado y multidisciplinar, con aportes desde la geología, la climatología, la ingeniería, la sociología, la planificación urbana y territorial, la economía, etc.

Según el *International Landslide Centre*, un proyecto de investigación del departamento de Geografía de la Universidad de Durham, más de 500.000 personas han perdido la vida en todo el mundo a causa de los movimientos de ladera en el siglo XX, la mayoría de los cuales se han producido en áreas montañosas de los países menos desarrollados. En las primeras 25 semanas de 2003, se produjeron cerca de 2.000 muertes provocadas por 139 movimientos de ladera, el 95% de los cuales tuvo lugar en los países menos desarrollados. Aunque es difícil cuantificar con exactitud las pérdidas económicas que generan estos riesgos, se estima que superan los 10 billones de dólares americanos anuales en todo el mundo².

A continuación, se analizará de forma sucinta la problemática del riesgo de movimientos de ladera en varias regiones del mundo, empezando por Europa, con especial consideración a Italia, y continuando con América del Norte, América Latina y Caribe, Asia y África.

²https://www.dur.ac.uk/geography/research/research_projects/?mode=project&id=71/
[Consultado el 4 de junio de 2016]

2.2.1. Los movimientos de ladera en Europa

En Europa, los movimientos de ladera más catastróficos se asocian con precipitaciones torrenciales, junto con la erosión del suelo, la fusión de la nieve, los terremotos, las erupciones volcánicas, la socavación por el oleaje y erosión fluvial (Hervás, 2003).

El riesgo de movimientos de ladera en Europa está directamente relacionado con las condiciones geológicas y morfológicas del continente. Por lo tanto, zonas montañosas, como la península escandinava, los Pirineos, los Alpes, los Apeninos y los Balcanes son las más propensas a sufrir movimientos de ladera. Europa central y del este se ven menos afectadas, con la excepción de Rumania y Bulgaria (European Environment Agency, 2004; Jelínek et al, 2007; Schweigl y Hervás, 2009; Günther et al., 2014).

Según los datos recopilados por las diferentes bases de datos nacionales sobre movimientos de ladera en Europa, en el período 1998-2009, 70 movimientos de ladera provocados por fuertes precipitaciones causaron la pérdida de 312 vidas. (European Environment Agency, 2010). A pesar de que no existe una visión global de las pérdidas económicas totales en Europa, algunos países las han cuantificado. Por ejemplo, España destina 170 millones de euros al año, Suecia entre 8 y 15 millones de euros al año y Noruega 6,5 millones de euros al año para prevenir y reparar los daños provocados por los movimientos de ladera (Schuster, 1996). Italia invirtió aproximadamente 146 millones de euros entre 1957 y 2000 como consecuencia de los daños causados por inundaciones y deslizamientos de tierra (Cellerino, 2006).

En relación con el cambio global, se espera que además de aumento de la temperatura media del planeta, se alteren los patrones de precipitaciones en Europa (Pachauri y Resinger, 2007). Serán más variables en el espacio, disminuirán en el Mediterráneo y aumentarán en el centro y norte de Europa, y más intensas y frecuentes. A parte del cambio de patrón de las precipitaciones, también se señalan algunas tendencias que pueden desencadenar un mayor número de movimientos de ladera en Europa (Margottini et al., 2007):

- El aumento de los flujos de detritos (*debris flow*) debido a lluvias torrenciales, junto a la erosión y degradación del suelo, como consecuencia del aumento de las temperaturas y la aridez.
- Menor frecuencia de deslizamientos lentos debido a la disminución de las precipitaciones medias y la consiguiente disminución de la capacidad de recarga de los mantos freáticos;
- El cambio de la morfología de las pendientes cubiertas por permafrost, que con el aumento de las temperaturas se irán descongelando.

Sin embargo, hasta el momento, es difícil pronosticar a largo plazo la dinámica del riesgo de movimientos de ladera en el contexto de cambio global, ya que en gran parte los deslizamientos están provocados por eventos meteorológicos excepcionales (European Environment Agency, 2010). La Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA), señala que la planificación del territorio es un factor clave en la gestión del riesgo, abordándola con políticas de prevención y mitigación del mismo. La reducción de la vulnerabilidad es un factor clave que ha de abordarse en las estrategias de evaluación de riesgos. Hasta el momento, las metodologías y la legislación en materia de gestión del riesgo de movimientos de ladera son bastante heterogéneas en Europa, e incluso inexistentes en muchos países.

Por tanto, es necesario mejorar la cooperación a nivel europeo con el fin de reducir el impacto de los deslizamientos. Sería idóneo elaborar directrices para evaluar el riesgo, así como armonizar las bases de datos nacionales sobre movimientos de ladera para crear una base de datos europea.

La situación en Italia

En Italia el riesgo de movimientos de ladera está difundido por todo el territorio y representa un problema de notable importancia (Anexo II). Entre los factores naturales que favorecen estos desastres, se encuentran las características geológicas y geomorfológicas, que dan lugar a una orografía compleja, con tres cuartas partes del territorio italiano conformado por colinas y montañas, y una multitud de cuencas hidrográficas de pequeñas dimensiones. Las precipitaciones torrenciales que normalmente sufre el país, provocan el aumento de los cursos fluviales en poco tiempo, y como consecuencia se producen fenómenos violentos con dinámicas muy rápidas como inundaciones, coladas de fango y deslizamientos de tierra que suponen un alto riesgo para la población y sus actividades.

Las causas que predisponen y determinan estos procesos de inestabilidad son múltiples, complejas y normalmente están combinadas entre ellas. Además de la cantidad de agua o de nieve caída, la deforestación y los incendios son otras causas que propician los movimientos de ladera. Los territorios montañosos de Italia (Alpes y Apeninos), por lo general, están expuestos a un alto riesgo de movimientos de ladera a causa de la naturaleza de las rocas y de la pendiente, suponen una cierta inestabilidad para la ladera. Además, las características climáticas y la distribución anual de las precipitaciones contribuyen a aumentar la vulnerabilidad del territorio (Trigilia et al., 2015).

También el riesgo de movimientos de ladera está fuertemente condicionado por la acción antrópica. A partir de los años cincuenta del siglo XX, el aumento de la densidad de población, la progresiva urbanización, la despoblación y el abandono de la montaña, la continua deforestación, el uso de técnicas agrícolas poco respetuosas con el medio ambiente, y la falta de conservación de las laderas y de los cursos fluviales, han aumentado la exposición a procesos naturales peligrosos y por tanto al riesgo, poniendo en evidencia la fragilidad del territorio italiano (Trigilia et al., 2015).

De los 645.230 movimientos de ladera que se han censado en las bases de datos de los países europeos, 485.004 han tenido lugar en Italia, tal y como refleja el Inventario de Movimientos de Ladera en Italia (Proyecto IFFI, por sus siglas en italiano), realizado por el ISPRA (*Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale*) y por las Regiones y Provincias Autónomas (Van Den Eeckhaut y Hervás, 2012). En Toscana Los deslizamientos rotacionales y traslacionales, los movimientos de tipo complejo y los flujos lentos son los fenómenos más comunes (Morini et al., 2007).

Cada año se producen más de un centenar de movimientos de ladera que causan víctimas, heridos, evacuados, y daños a edificios, bienes culturales y vías de comunicación. Se registraron más de 200 movimientos en 2015; 211, en 2014 con 14 víctimas; 112, en 2013 con una víctima; 85, en 2012 con 5 víctimas; 70, en 2011 con 18 víctimas; y 88, en 2010 con 17 víctimas. Desde 1964 hasta 2013, se han registrado al menos 1.297 víctimas, 1.731 heridos y 15 desaparecidos por movimientos de ladera en toda Italia, mientras que en Toscana las cifras han sido de 62 víctimas, 89 heridos y 1 desaparecido por el mismo fenómeno (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, 2015). Estas cifras se encuentran entre las más altas de toda Europa, y demuestran cómo Italia es un país frágil y vulnerable al impacto de los movimientos de ladera.

Se calcula que estos procesos han afectado a un área total de 22.176 km², es decir, al 7,3% del territorio italiano. Actualmente, cerca de un 20% de la superficie del país está en peligro por posibles movimientos de ladera (Anexo II). Toscana (10.854 km²), Campania (8.220,6 km²) y Trento-Alto Ádige (5.490,5 km²) son las regiones con mayor superficie total en peligro. En Toscana esta superficie representa el 47,2% del territorio regional, y amenaza a 1.198.110 personas, 88.827 empresas y 7.374 bienes culturales (Trigilia et al., 2015).

En cuanto a los costes económicos provocados por los desastres hidrogeológicos (que incluyen inundaciones y movimientos de ladera), un estudio llevado a cabo por ANCE (*Associazione nazionale costruttori edili*) y CRESME (*Centro ricerche economiche, sociologiche e di mercato*), estima que entre 1944 y 2012 han ascendido a 61,5 billones de euros (Bellicini, 2012). Dicho estudio evidencia como la financiación pública para el restablecimiento, la reconstrucción y la mitigación del riesgo hidrogeológico ha crecido notablemente en los últimos años. El Ministerio del Ambiente y de la Protección del Territorio y del Mar, ha destinado 7,9 billones entre 1991 y 2011 para reducir el riesgo hidrogeológico (Guzzetti, 2015).

La frecuencia del número de desastres geológicos impone una política de previsión y prevención ya no centrada en la reparación de los daños y el suministro de provisiones, sino en la identificación de las condiciones de riesgo y en la adopción de intervenciones para su reducción (Andreotti y Zampetti, 2007).

2.2.2. Los movimientos de ladera en América del Norte

En Estados Unidos y Canadá, dos de los países más desarrollados del mundo, la problemática de los movimientos de ladera es recurrente. Pese a que no suponen uno de los procesos naturales más destructivos (ya que los huracanes, las inundaciones, las tormentas, o las olas de frío y calor alcanzan una magnitud superior), los deslizamientos, desprendimientos y flujos de detritos son fenómenos que se producen en gran parte de Norteamérica.

Las actividades del ser humano también pueden provocar movimientos de ladera en áreas inestables. Walker y Shiels (2013) las más comunes en Norteamérica: el aumento del consumo de territorio, provocado por la urbanización dispersa y la construcción de nuevas infraestructuras de comunicación y abastecimiento; ciertas prácticas agrícolas y forestales, que implican cambios en la composición y densidad de las especies lo que se traduce en una mayor inestabilidad de las laderas (por ejemplo, la tala de árboles y vegetación elimina la cubierta protectora que intercepta el agua procedente de las precipitaciones dando lugar a una mayor escorrentía superficial y erosión); y el fuego y los incendios inducidos por el hombre, ya que la quema de vegetación elimina todo el entramado de raíces que funcionan como mecanismo de sujeción de la ladera, y al quedarse al descubierto, las fuertes tormentas erosionan y aumentan los canales de drenaje, dando lugar a deslizamientos y flujos de derrubios (Cannon y DeGraff, 2009).

En Estados Unidos las áreas con mayor susceptibilidad a los movimientos de ladera corresponden con las grandes cadenas montañosas: los Apalaches, las Montañas Rocosas y la cadena costera del Pacífico. También en las regiones sísmicas más activas están se producen numerosos movimientos de ladera, como en California, Alaska y Hawái.

En Canadá, los movimientos de ladera se producen en numerosas partes del país, incluso en zonas no montañosas. A grandes rasgos existen cuatro grandes áreas especialmente expuestas a este proceso³: las vertientes con pendientes pronunciadas de la cadena costera del Pacífico; las áreas con suelos de grano fino que se encuentran en ambientes costeros que han estado próximos a los márgenes del hielo durante el Cuaternario (Gutiérrez, 2008). En estas áreas abundan las arcillas rápidas (*quick clays*) y las arcillas sensibles, como la "arcilla de Leda" (*Leda clay*), que provocan extensiones laterales, deslizamientos y flujos rápidos, a menudo catastróficos, cuando su alcanzan su punto de saturación (Eden y Mitchell, 1970); en los valles de las praderas del oeste de Canadá, donde la dinámica fluvial erosiona las arcillas expansivas; y en las regiones del norte de Canadá con presencia de suelos de grano fino ricos en hielo y permafrost.

³ Government of Canada. Natural Resources Canada.
http://publications.gc.ca/collections/collection_2008/nrcan/M4-59-2-2008E.pdf [Consultado el 10 de junio de 2016].

Se calcula que, en 2014, los costes económicos producidos por movimientos de ladera y avalanchas en Estados Unidos fueron de 61 billones de dólares, y representaron sólo el 1% de los costes económicos por desastres naturales⁴. Sin embargo, causaron 64 muertes, siendo el segundo riesgo más mortífero después del tiempo severo, es decir tormentas, granizadas, fuertes vientos, etc. En Canadá las estimaciones de costes económicos anuales rondan entre los 200 y los 400 millones de dólares. Además, desde 1840, los movimientos de ladera han provocado más de 600 víctimas mortales³.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) cuenta con un programa sobre el riesgo de movimientos de ladera, que incluye numerosa información sobre el riesgo, sistemas de alerta y monitoreo de posibles movimientos, información a nivel local y estatal, programas de educación a la población sobre el riesgo y programas de investigación encargadas de realizar mapas de peligrosidad y riesgo⁵.

2.2.3. Los movimientos de ladera en América Latina y el Caribe

Sepúlveda y Petley (2015) indican en su investigación que, en el período 2004-2013, se registraron 611 movimientos de ladera que causaron 11.631 muertes, en su mayoría como resultado de precipitaciones torrenciales. Otro informe de UNISDR y la Corporación OSSO (2013), calcula que entre 2010 y 2011 se registraron más de 1.000 pérdidas de vidas humanas y más de 10.000 viviendas destruidas por la ocurrencia de deslizamientos.

La mayoría de movimientos de ladera en América Latina se desencadenan como resultado de otros riesgos naturales, especialmente los huracanes, las inundaciones, los terremotos y las erupciones volcánicas. Basta citar algunos ejemplos como los deslizamientos a raíz del huracán Mitch en Tegucigalpa (Honduras) en 1998 (Harp et al., 2002), los provocados por el terremoto del 13 de enero de 2001 en El Salvador (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2001) o las intensas precipitaciones que causaron un gravísimo deslizamiento con numerosas víctimas y damnificados en Llojeta (Bolivia) en 2003 (O'Hare y Rivas, 2005).

Las áreas más vulnerables se encuentran en Haití, América Central, Colombia, la cordillera andina y el sudeste de Brasil, pero siempre se refleja en ellas la combinación de varios factores como el relieve abrupto y la debilidad de los materiales litológicos, las precipitaciones tropicales de alta intensidad o la elevada densidad de población, sobre todo de escasos recursos, asentada en chabolas en piedemontes y colinas inestables.

La presencia de asentamientos de población informales sobre laderas con fuertes pendientes e inestables o sobre los pies de un volcán dispara la cifra de víctimas mortales, como consecuencia de la pobreza y marginación de parte de la población que se ve obligada a ocupar los terrenos menos aptos para la construcción. La planificación urbana y territorial es en la mayoría de casos ineficaz o inexistente.

⁴ Hazards & Vulnerability Research Institute. 2014 U.S. Hazard Losses.

http://hvri.geog.sc.edu/SHELDUS/docs/Summary_2014.pdf [Consultado el 10 de junio de 2016].

⁵ United States Geological Survey <http://landslides.usgs.gov/> [Consultado el 11 de junio de 2016].

2.2.4. Los movimientos de ladera en Asia

Las características orográficas del terreno, la vulnerabilidad de los suelos, las precipitaciones torrenciales asociadas a los monzones y la actividad sísmica, hacen de Asia un territorio con todos los condicionantes necesarios para que se produzcan movimientos de ladera, especialmente en el Himalaya, China, el sudeste asiático, y los archipiélagos de Indonesia, Filipinas y Japón.

Nepal es uno de los países más afectados por los riesgos geológicos, geomorfológicos y meteorológicos. Debido a su localización en plena cordillera del Himalaya, con un 83% del territorio montañoso, y a su exposición a los monzones, que representan entre el 60% y 80% de las precipitaciones totales anuales y producen deslizamientos e inundaciones anualmente causando cuantiosos daños a la población y tierras de cultivo (Department of Water Induced Disaster Prevention, 2014). Las pérdidas se agravan aún más con los terremotos, como el sucedido el 25 de abril de 2015, que desencadenó 3.000 deslizamientos, más que en los cinco años anteriores⁶. Debido al escaso desarrollo económico de Nepal, la carencia de suficientes sistemas de monitoreo y de planes de prevención y mitigación del riesgo aumentan la vulnerabilidad del país a los riesgos citados.

Hong Kong, una región muy desarrollada, también es un territorio muy propenso a los deslizamientos, al estar conformado en un 60% por colinas y montañas. Además, es uno de los lugares más densamente poblados del planeta, con 6.500 hab/km². Aquí se han producido deslizamientos catastróficos debido al alto grado de inclinación de las vertientes, las fuertes lluvias procedentes de los tifones y a la intensa modificación del relieve para adecuarlo al crecimiento de la ciudad, construyendo numerosos bloques residenciales y vías de comunicación al pie de las laderas. Los peores sucesos se produjeron en 1889, 1926, 1964, 1966, 1968 y 1970, causando numerosas víctimas y destrucción de viviendas (CEDD, HKSARG, 2014). Desde 2010, Hong Kong cuenta con un programa de prevención y mitigación de movimientos de ladera, en el cual el gobierno ha invertido unos 19,6 billones de dólares en estudios del terreno y obras para garantizar la seguridad de las infraestructuras y viviendas, mediante una cuidada reforestación de la montaña, la creación de sistemas de drenaje, aterrazamientos, muros de contención y mallas metálicas e incluso la relocalización de edificios en áreas de riesgo (Geotechnical Engineering Office et al., 2011). La recuperación y revaloración del paisaje también es una de los objetivos marcados por el programa Su aplicación está siendo un éxito debido a la reducción significativa de los daños económicos y sociales provocados por los deslizamientos⁷.

Junto al crecimiento demográfico, la proliferación de nuevas infraestructuras de comunicación y abastecimiento, el aumento de la silvicultura y de la actividad agrícola en pendientes pronunciadas, cabe esperar que la importancia de los deslizamientos aumente en los próximos años en Asia (Forbes y Broadhead, 2011).

⁶ Nepal Earthquake Assessment Unit. Landslides and Flash Floods in the Monsoon. 23.06.2015. https://www.humanitarianresponse.info/en/system/files/documents/files/150623_monsoon_hazard_analysis_final_.pdf [Consultado el 12 de junio de 2016].

⁷ The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. Civil Engineering and Development Department. Landslip Prevention and Mitigation Programme (LPMitP) http://www.cedd.gov.hk/eng/projects/landslip/land_lpm.html [Consultado el 12 de junio de 2016].

Las estadísticas disponibles indican que la frecuencia de movimientos de ladera que causan muertes o afectan a personas en Asia ha aumentado más de cinco veces desde la década de 1970⁸. Pero también parte de este aumento se debe a una mayor proliferación de informes y comunicaciones en las últimas décadas, al aumento de la actividad humana en las zonas vulnerables y a las consecuencias del cambio climático (International Council for Science Regional Office for Asia and the Pacific, 2008).

Entre 1950 y 2009, la frecuencia de deslizamientos mortales más alta fue en China, seguida de Indonesia, India, Filipinas, Japón, Pakistán y Nepal. Estos siete países representan el 87% de las 17.830 muertes relacionadas con deslizamientos registrados en Asia entre 1950 y 2009, y el 82% del total de los 267 deslizamientos registrados (Forbes y Broadhead, 2011).

2.2.5. Los movimientos de ladera en África

Los movimientos de ladera constituyen uno de los riesgos geológico más importante en África debido al impacto que provocan en casi todos los países del continente, especialmente en los sub-saharianos. Al igual que en otras regiones del mundo, los movimientos de ladera se producen como consecuencia de terremotos, erupciones volcánicas, incendios forestales o inundaciones (Mulugeta et al., 2007).

Las zonas de África más propensas a los movimientos de ladera son el Macizo etíope (Abebe et al., 2010), la cordillera volcánica de Camerún (Mesmin, 2007), el Rift de África oriental (Knapen et al., 2006) y Sudáfrica (Diop et al., 2009). Además, hay que mencionar que en los ambientes tropicales el peligro que presentan los deslizamientos es muy importante, debido a la presencia de regolitos más o menos potentes y las elevadas precipitaciones, lo que facilita la movilización superficial o profunda de la capa alterada (Gutiérrez, 2008; Kervyn et al., 2015).

En Kenia se han llevado a cabo algunas investigaciones interesantes sobre los deslizamientos. Se apunta a un aumento considerable de estos fenómenos debido a una serie de causas (Maina-Gichaba et al., 2013): la intensidad y los patrones de las lluvias torrenciales (que también se pueden ver afectadas por El Niño (Ngecu y Mahtu, 1999)); las sacudidas sísmicas y volcánicas, y los truenos; y ciertas actividades humanas, entre las que se encuentran el aumento de la población, que se asienta en colinas y montañas, la quema de vegetación para ganar tierras de cultivo, el aumento de la cabaña ganadera, la deforestación o las explosiones.

Los impactos de los deslizamientos son notables. Entre los socioeconómicos destacan la pérdida de numerosas vidas y tierras agrícolas, poniendo en peligro la producción de alimentos, la destrucción de infraestructuras básicas de comunicación y abastecimiento. Los impactos ambientales son, entre otros, la contaminación de los ríos y lagos, la desaparición de una parte importante de la cubierta forestal o los daños provocados al ganado. Maina-Gichaba et al. (2013), proponen una serie de medidas para mitigar los efectos negativos de los deslizamientos. Por ejemplo, fomentando el cultivo de árboles con raíces profundas, desalentando los asentamientos y cultivos en áreas con pendientes pronunciadas, deteniendo la quema de vegetación o colocando estructura para conservar los suelos potencialmente deslizables.

⁸ International Disasters Database. <http://www.emdat.be/database>. [Consultado el 25 de abril de 2016].

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. ANÁLISIS DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN PUBLICADOS REFERIDOS A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA Y A SU GESTIÓN

La frecuencia cada vez mayor de procesos naturales que se convierten en desastres y ponen en riesgo a la población y sus bienes ha despertado un gran interés científico. Así, en las últimas décadas, se han publicado numerosas investigaciones desde múltiples disciplinas acerca de los riesgos naturales, y cómo no, de los movimientos de ladera.

A la hora de seleccionar la bibliografía para elaborar el marco teórico y el estado de la cuestión, se han considerado algunos aspectos fundamentales, como su repercusión en la comunidad científica, el año de publicación (procurando que sea lo más actual posible) o el ámbito territorial de referencia, con un importante peso de publicaciones italianas, pero también europeas o americanas. La finalidad es sustentar el trabajo con publicaciones de cierto peso.

Es interesante además mencionar que existen algunos autores que han creado escuela, y naturalmente se han tenido en cuenta en el presente trabajo. David J. Varnes, geólogo estadounidense, fue pionero en el estudio de los movimientos de ladera, y las clasificaciones que propuso en 1978 y 1991, son a día de hoy las más citadas y empleadas a nivel mundial. También se puede recordar a David M. Cruden, ingeniero y geólogo canadiense que ha trabajado junto a Varnes, y ha publicado numerosos artículos y libros sobre deslizamientos, mecánica de rocas e ingeniería geotécnica.

A medida que se ha ido consultado la literatura para elaborar el marco teórico y el estado de la cuestión, se ha observado que la gran mayoría de publicaciones sobre los movimientos de ladera incluyen su definición, su clasificación, su localización (con diferentes enfoques, que pueden centrarse en ámbitos locales, regionales, nacionales o internacionales), sus causas, sus impactos y propuestas de mitigación y prevención del riesgo.

Sin embargo, las publicaciones centradas en estudiar las medidas adoptadas desde la planificación territorial y urbana para evitar el desastre son todavía escasas, si bien en los últimos años se está investigando con énfasis metodologías para evaluar el riesgo. De hecho, la consideración de los riesgos naturales en la planificación territorial es relativamente nueva en la gran mayoría de países. En Italia, no fue hasta 1989 cuando se decretó que todo el territorio nacional contase con planes específicos y mapas de peligrosidad y riesgo de inundaciones y movimientos de ladera.

En este sentido, se ha observado que los países más desarrollados cuentan con programas específicos para prevenir y mitigar los efectos negativos de los riesgos naturales, que incluyen, en otras cuestiones, avanzados sistemas de monitoreo, mapas de peligrosidad y riesgo, planes territoriales sectoriales o planes de emergencia de protección civil. Por el contrario, en los países menos desarrollados, debido a la falta de recursos, no se cuenta con estas valiosas herramientas.

3.2. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

En primer lugar, se ha realizado un estudio del contexto territorial de Toscana, reconociendo las características físicas que favorecen los movimientos de ladera, y las características socioeconómicas que explican el grado de vulnerabilidad y exposición al riesgo. El análisis del contexto territorial sirve para establecer los criterios de selección de los casos de estudio, que son los siguientes:

- Los movimientos de ladera deben haberse producido al menos en los dos últimos años, de forma que sean recientes y exista una línea de investigación abierta, pero también que exista información suficiente para llevar a cabo el estudio.
- Los movimientos de ladera deben haber tenido lugar en diferentes contextos ambientales (es decir, tanto en colinas a baja altitud, como en zonas de alta montaña), y en diferentes cuencas hidrográficas y provincias de la región, para observar diferencias y similitudes entre cada caso.
- Los movimientos de ladera deben haber provocado una serie de pérdidas y daños diferentes, desde desalojos hasta destrucción de viviendas o vías de comunicación, para mostrar el grado de gravedad de los mismos.

Una vez establecidos los criterios de selección, se han visitado las páginas web de diferentes periódicos nacionales, regionales y locales buscando artículos, vídeos e imágenes sobre deslizamientos que cumplieren con los criterios establecidos. Además, se ha contemplado la factibilidad de poder realizar el trabajo de campo y visitar los tres deslizamientos.

Los tres casos de estudio seleccionados se localizan en distintos puntos de Toscana, en las localidades de Corbezzi, Piaggiagrande y Ripafratta.

3.3. ANÁLISIS DE DOCUMENTOS NORMATIVOS Y DE PLANIFICACIÓN

Una vez seleccionados los casos de estudio, se ha procedido a la recopilación, clasificación y consulta de toda la legislación y normativa vigente en materia de planificación territorial y urbana, y gestión de defensa del suelo y ordenación hidrogeológica, que es la terminología empleada en Italia que incluye el riesgo de movimientos de ladera, además del riesgo de inundación.

En primer lugar, se han recogido y analizado la normativa en materia planificación territorial y urbana siguiendo una escala jerárquica vinculante, es decir, primero se han considerado las leyes y decretos emanados por el Estado, y a continuación éstos se han adoptado por parte de la Región. En cuanto a la defensa del suelo y ordenación hidrogeológica, como en el caso anterior, se ha seguido una escala jerárquica, pero en este caso, se han considerado primero las directivas emanadas por la Unión Europea, y a continuación su adopción por parte de Estado y Región.

En segundo lugar, se ha llevado a cabo el análisis de los documentos de planificación territorial y urbanística (normas, cartografía, etc.) relacionados con el riesgo de movimientos de ladera que se han visto involucrados en los tres casos de estudio, siguiendo de nuevo una escala jerárquica. Se han analizado por tanto los Planes de Ordenación Hidrogeológica (PAI) de las cuencas hidrográficas de los ríos Serchio y Arno, y posteriormente se ha comprobado que sus normas y disposiciones estuviesen recogidas por los planes subordinados, es decir, se han analizado también el Plan de Orientación Territorial de Toscana (PIT), los Planes Territoriales de Coordinación Provincial (PTCP) de las provincias de Pistoia, Lucca y Pisa, y los Planes Reguladores Generales (PRG) de los municipios de Pistoia, Barga y San Giuliano Terme.

3.4. TRABAJO DE CAMPO

Una vez que se ha recopilado todo el material mencionado y se han seleccionado los tres casos de estudio, se ha realizado el trabajo de campo del 8 al 14 de mayo de 2016. En primer lugar, se han planificado las rutas que se iban a seguir en cada uno de los deslizamientos con Google Earth. A continuación, se han definido los objetivos del trabajo de campo: observar el estado actual de los tres deslizamientos, comprobar la relación entre la normativa de los planes y la cartografía de peligrosidad y riesgos de cada deslizamiento, conocer las medidas estructurales que se han ejecutado en cada zona para garantizar la estabilidad de la ladera y, por último, obtener material fotográfico. Además, durante el trabajo de campo se ha utilizado la siguiente cartografía técnica:

- Cartografía topográfica: obtenida en el portal SIG GEOscopio de la Región Toscana.
- Cartografía geológica:
 - *“Carta Geologica d’Italia – Foglio 262 Pistoia”* a escala 1:50.000. Producida por el *Servizio Geologico d’Italia (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)*.
 - *“Carta Geologica del Bacino del fiume Serchio”* a escala 1:100.000. Producida por la *Autorità di Bacino del Fiume Serchio*.
- Cartografía de peligrosidad y riesgo de movimientos de ladera:
 - *“Piano di Bacino del fiume Arno - Piano Stralcio Assetto Idrogeologico - Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante - livello di sintesi. Stralcio n. 16”* a escala 1:25.000. Producida por la *Autorità di Bacino del Fiume Arno*.
 - *“Carta della franosità del Bacino del fiume Serchio. Sezione 250110”* a escala 1:10.000. Producida por la *Autorità di Bacino del Fiume Serchio*.
 - *“Carta della franosità del Bacino de fiume Sercho. Sezione 261140”* a escala 1:10.000. Producida por la *Autorità di Bacino del Fiume Serchio*.

3.5. ANÁLISIS DE LOS CASOS DE ESTUDIO

El análisis de los tres casos de estudio se ha realizado después del trabajo de campo. En cada uno de ellos se ha llevado a cabo la descripción y características del deslizamiento, las posibles causas que los han provocado y las consecuencias socioeconómicas que han generado. Para ello se ha recurrido a noticias de periódicos locales, vídeos, imágenes, informes, artículos científicos y mapas geológicos.

Un aspecto fundamental que también se presenta, es la relación de los deslizamientos con la planificación territorial. Para ello se describe la situación anterior de cada deslizamiento y la situación actual de cada zona afectada, de modo que se pueda observar si se han producido o no modificaciones en la normativa y planificación, e igualmente, si se han aplicado o no.

En la situación previa a cada deslizamiento, se hace hincapié en observar si el deslizamiento era la reactivación de uno anterior, el nivel de peligrosidad atribuido a la ladera (a partir de la consulta de la cartografía de peligrosidad), y las medidas estructurales y no estructurales realizadas (o no), antes de producirse el deslizamiento.

Por último, se analiza la situación actual de cada zona afectada por el deslizamiento. Se describen tanto las medidas estructurales realizadas (obras de estabilización de la ladera, etc.) como las medidas no estructurales, es decir, si se ha modificado la normativa y el nivel de peligrosidad de la ladera, y se si aplicado o no.

4. CONTEXTO TERRITORIAL DE LA REGIÓN TOSCANA

Actualmente, Toscana es una de las veinte regiones administrativas de Italia, cuyo estatuto entró en vigor en 1970. Esta región se encuentra en el centro-noroeste de la península itálica y presenta una forma triangular (Figura 1). Está delimitada al norte y este por el Apenino Tosco-Emiliano, que separa Toscana de las regiones de Liguria y Emilia-Romaña; al oeste por los mares de Liguria y Tirreno; mientras, por el sur y sureste, no existen barreras orográficas, sino que la presencia de una serie de factores socioculturales separa Toscana de las regiones de Lacio, Umbría y Marcas. Además, también forman parte del territorio toscano las islas de Gorgona, Capraia, Elba, Pianosa, Montecristo, Giglio y Giannutri, situadas a pocos kilómetros de la costa, entre la isla francesa de Córcega y la península itálica. Este conjunto de islas se conoce como archipiélago toscano.

Su extensión longitudinal alcanza los 220 km, comprendida entre los meridianos 9°47' Este y 12°22' Este. Latitudinalmente se extiende a lo largo de 260 km entre los paralelos 42°14' Norte y 44°28' Norte. En total, la Región Toscana ocupa una superficie de 22.987 km² (un 7,6% de la superficie italiana), y es la quinta región más extensa de Italia, por detrás de Sicilia, Piamonte, Cerdeña y Lombardía.



Figura 1. Localización de Toscana en Italia

Fuente: elaboración propia.

Administrativamente, Toscana se compone de una ciudad metropolitana⁹ (Floencia, capital regional), nueve provincias (Arezzo, Grosseto, Livorno, Lucca, Massa-Carrara, Pisa, Pistoia, Prato y Siena) (Figura 2), y 279 municipios, repartidos como sigue: 42 en Floencia, 37 en Arezzo y Pisa, 36 en Siena, 33 en Lucca, 28 en Grosseto, 22 en Pistoia, 20 en Livorno, 17 en Massa-Carrara y 7 en Prato.



Figura 2. Provincias de Toscana

Fuente: elaboración propia.

⁹ La ciudad metropolitana representa uno de los diez entes administrativos del territorio italiano identificados por la Ley n. 56/2014 “Disposiciones sobre las ciudades metropolitanas, provincias, unión y fusión de municipio”. La ciudad metropolitana pasa a ocupar el territorio de la provincia. El principal objetivo es reducir costes administrativos, eliminando funciones y cargos que pertenecían a la provincia y delegándolos en manos de la ciudad metropolitana.

http://presidenza.governo.it/GovernoInforma/documenti/province_cittametropolitane.pdf [Consultado el 4 de junio de 2016]

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

4.1.1. Relieve

Según Trigilia e Iadanza (2008), un 66,5% del territorio de Toscana está conformado por colinas (territorio con pendientes superiores a 3° o entre 300 y 600 m), una cuarta parte está ocupada por montañas (territorio por encima de los 600 m) y en el resto (8.5%), dominan las llanuras (territorio por debajo de los 600 m y con pendientes inferiores a 3°) (Anexos III y IV).

El sector montañoso incluye toda la vertiente del mar Tirreno y del mar de Liguria del Apenino Tosco-Emiliano o Apenino Septentrional, y gran parte del llamado Anti-Apenino, caracterizado por una serie de estribaciones que se alejan de la cadena principal, con dirección noroeste-sureste. En el Apenino Tosco-Emiliano se encuentran las mayores altitudes, que en muchos casos superan los 1.900 metros (Libro Aperto, 1937 m; Corno alle Scale, 1945 m; monte Pisanino, 1946 m; Monte Giovo, 1991 m; Monte Prado, 2.054 m). El Apenino Tosco-Emiliano y el Anti-Apenino, del que forman parte los Alpes Apuanos y los relieves de la meseta toscana (colinas Metalíferas, colinas de Chianti, monte Amiata, Pratomagno) están separados por el río Arno y el valle de Chiana.

Además de ser escasas, las llanuras están muy fragmentadas. A lo largo del litoral los dos únicos tramos llanos con cierta extensión son la Versilia y la Maremma. La Versilia se desarrolla a lo largo de 50 km entre las desembocaduras al mar de Liguria de los ríos Magra y Arno, y se encuentra limitada al este por los Alpes Apuanos, la Maremma, siguiendo la costa del mar Tirreno, se extiende entre la ciudad de Piombino y continúa por el Lacio. Las llanuras internas, más extensas, se corresponden con las cuencas fluviales de los principales colectores. Las más importantes son las que forman el río Arno (el Valdarno inferior, desde Florencia hasta su desembocadura en el mar de Liguria) y el valle de Chiana. También destacan la llanura de Lucca al oeste y la llanura de Arezzo al este.

La costa peninsular se desarrolla a lo largo de 379 km, y es, por lo general, baja y arenosa, a excepción de un tramo de la costa de Livorno y el promontorio de Piombino, el cabo de Punta Ala y el monte Argentario. Por su parte, la costa insular alcanza 254 km. Elba es la mayor de las islas menores italianas, con 223,5 km².

La composición del relieve es fundamental a la hora de conocer la génesis y la evolución de los movimientos de ladera. Cabe destacar el estudio elaborado por Trigilia e Iadanza (2007) donde analizan la relación de los diferentes movimientos de ladera censados en Italia hasta 2006 con la pendiente del terreno (Figura 3). En dicho estudio se destaca que los movimientos rápidos y extremadamente rápidos, como los desprendimientos y los vuelcos se producen principalmente en pendientes de 30° a 40°, mientras que los movimientos de dinámica más lenta, como los deslizamientos rotacionales, traslacionales y complejos se producen por lo general en pendientes de 10° a 15°.

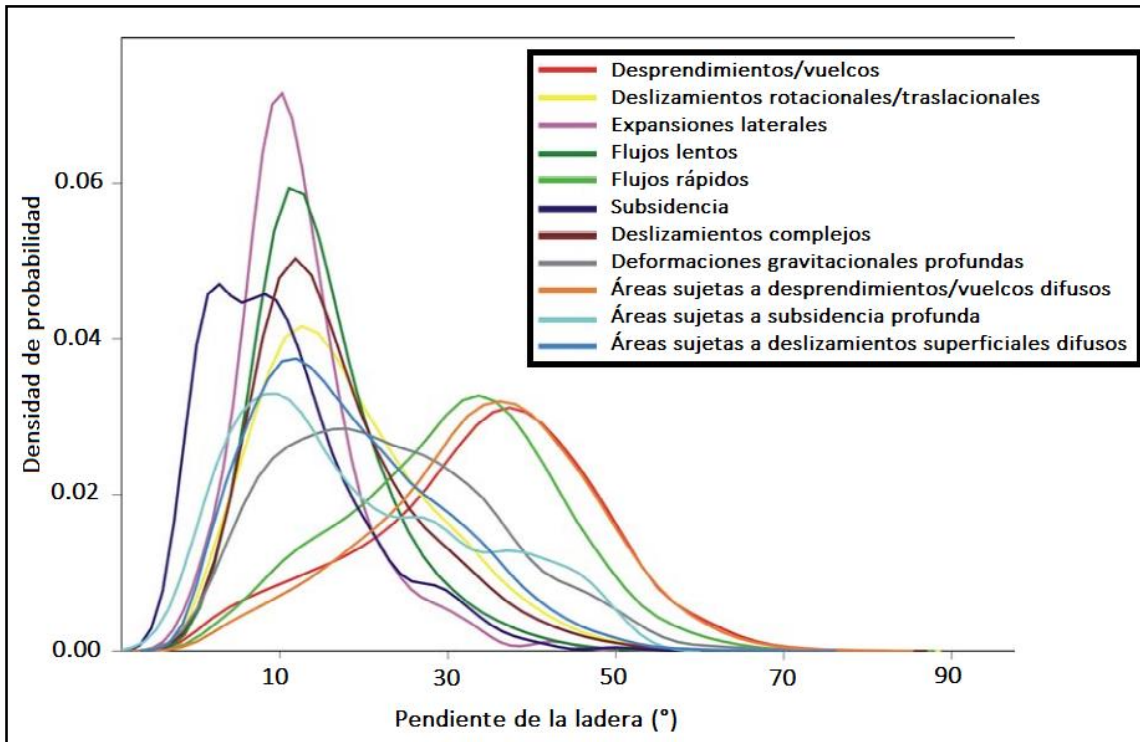


Figura 3. Distribución de los movimientos en relación con la pendiente de la ladera

Fuente: Trigilia e Iadanza (2007).

4.1.2. Geología

La disposición actual del relieve italiano es el resultado de una compleja evolución geológica que comienza a finales de la era Paleozoica, entre el Carbonífero (350 Ma) y el Pérmico (250 Ma), cuando tuvo lugar la orogenia hercínica (nombre que proviene de las montañas alemanas del Harz) o varisca. En esta orogenia se conformaron las Ardenas en Holanda, la cordillera de los Vosgos y el Macizo Central en Francia, la Selva Negra en Alemania, el macizo de Bohemia en Europa central, la mitad occidental de la península Ibérica, los Urales y los Apalaches en América del Norte. En Italia, la orogenia hercínica es visible en Cerdeña, Sicilia y el sur de Calabria (Silia y Aspromonte). Además, el mar de Tethys, precedente del Mediterráneo, se abrió entre Laurasia y Gondwana, permitiendo la deposición de sedimentos procedentes de los continentes.

Durante el Mesozoico (de 230 Ma a 65 Ma) decreció la actividad orogénica, debido a un periodo de calma tectónica, y Europa fue invadida por el mar, de modo que la mayor parte de las tierras se vieron sometidas a importantes movimientos eustáticos (tanto regresivos como transgresivos). La acumulación de sedimentos en las zonas de subsidencia dio lugar a la formación de numerosas cuencas sedimentarias. Las áreas de sedimentación marina más profundas se fueron acumulando en un gran geosinclinal (geosinclinal de Tethys) situado al sur del continente, que fue intensamente deformado durante la orogenia alpina (en la era Terciaria).

Desde el Cretácico superior hasta el Eoceno medio (de 65 a 40 millones de años (Ma) tuvo lugar el plegamiento alpino, producido por el acercamiento de los escudos africano y europeo y el consiguiente levantamiento de los materiales acumulados en el amplio geosinclinal de Tethys, y que dio origen a numerosas cordilleras montañosas. En África levantó el Atlas, y en Europa, la cordillera Bética y los Pirineos en la península Ibérica; el macizo del Jura y los Alpes en el corazón de Europa; los Apeninos en la península Itálica; y los Alpes Dináricos, los Balcanes y los Cárpatos en el este de Europa.

La vertiente más meridional de los Alpes ocupa parte del norte de Italia, en cuyo territorio dibuja un arco sobre la amplia llanura del Po. En la península, los Apeninos representan la columna vertebral de Italia, y se dividen a grandes rasgos en tres conjuntos: Apeninos Septentrionales (Apeninos Ligures y Apenino Toscano-Emiliano); Apeninos Centrales (Apenino Umbros y Apenino Abrucenses); y Apeninos Meridionales (Apeninos Campanos, Apeninos Lucanos y Apeninos Calabreses).

La historia geológica del Apenino Tosco-Emiliano se puede dividir en dos momentos importantes (Pagni, 2016):

1. De 27 a 10 Ma: en esta fase se levantaron los Apeninos por efecto de la colisión de los dos paleo-continentes y de los posteriores fenómenos comprensivos que han llevado a la superposición de series sedimentarias depositadas en diferentes zonas de sedimentación (dominios paleogeográficos).
2. De 10 Ma a la actualidad: a la elevación del edificio orogénico le siguió una fase de distensión de los Apeninos en la parte occidental y comprensión en la franja padano-adriática. En la parte occidental, y, por tanto, en gran parte del territorio de Toscana, la tectónica distensiva ha dado origen a depresiones tectónicas (*graben*), donde se han formado amplios valles y dorsales montañosas (*horst*) orientales en dirección noroeste-sureste y delimitadas por sistemas de fallas. En esta fase se produjo, además, un adelgazamiento de la corteza terrestre por la apertura de la cuenca del Tirreno, que ha provocado la aparición de manifestaciones volcánicas intrusivas y efusivas en la Toscana meridional y en las islas del archipiélago toscano.

Más detalladamente, se deben identificar tres componentes básicos de la geología de Toscana que se ha ido formando con el paso de millones de años: los dominios y unidades estructurales alpinos (Anexo V), los depósitos post-orogénicos y el magmatismo post-orogénico (Pagni, 2016).

1. Dominios de sedimentación y unidades estructurales alpinos

Durante la orogenia alpina los depósitos acumulados en las grandes cuencas de sedimentación sufrieron procesos de deformación, ruptura, metamorfismo e intrusiones magmáticas que dieron como resultado una nueva configuración de unidades estructurales. Los ambientes de deposición, junto con la posición relativa de los sedimentos originarios dentro del orógeno, dan como resultado en la Toscana cuatro dominios geológicos, compuestos por una o varias unidades estructurales:

- “*Dominio de Umbría y Marcas*”.

Es el dominio más externo del Apenino septentrional que aflora en Toscana. Los afloramientos están constituidos por turbidíticas siliciclásticas y margas hemipelágicas y se observan en el extremo nororiental de la región (Alpe de San Benedetto, alrededores de Marradi y de Palazzuolo sul Senio).

- “*Dominio de Toscana*”.

Está constituido por sucesiones litológicas depositadas en la franja más periférica del continente africano-adriático. En este dominio se distinguen dos unidades estructurales: la sucesión metamórfica toscana y la sucesión no metamórfica toscana, subdividida por varios autores (Boccaletti y Guazzone, 1974; Boccaletti et al., 1977; Carmignani et al., 1978) en dos nuevas unidades estructurales, la Falda Toscana y la Unidad Cervarola-Falterona.

- *Sucesión metamórfica toscana.*

Se compone de varias unidades litológicas derivadas de la deformación y metamorfismo en facies de esquistos verdes de sucesiones depositadas en el margen continental africano. Los afloramientos más extensos se encuentran en los Alpes Apuanos, en los Montes Pisanos, en la Montagnola Senese y Colinas Metallifere.

- *Sucesión no metamórfica toscana.*

- *Falda Toscana:* es una unidad tectónica no metamórfica que deriva del margen continental africano, y se compone de una serie de formaciones litológicas datadas desde el Triásico superior (200 Ma) hasta el Mioceno inferior (23 Ma). La sucesión se abre con una serie carbónica constituida por dolomías, calizas dolomíticas, margas, calizas nodulosas, jaspes y arcillas. La sucesión se cierra con el flysch turbidítico del Oligoceno-Mioceno. Los afloramientos más notables de la serie carbonática de la Falda Toscana se localizan en el extremo noroccidental de la región, en las dos vertientes del valle del río Serchio, en la Val di Lima entre Montecatini Terme y Monsummano.
- *Unidad Cervarola-Falterona:* está constituida por flysch turbidíticos siliciclásticos de edad comprendida entre el Oligoceno inferior (Rupeliano – 28 Ma) y el Mioceno medio (Langhiano – 14 Ma). Este flysch forma gran parte de la base de los Apeninos en la parte oriental de Toscana, extendiéndose desde Cutigliano-San Marcello Pistoiese al Mugello, Prato Magno, Casentino, para continuar en la vertiente izquierda del valle de Chiana hasta el límite con Umbría.

- “*Dominio de sub-Liguria*”.

Las sucesiones litológicas pertenecientes al Dominio de sub-Liguria se colocan por encima de las unidades del Dominio Toscano. Este dominio está formado por areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y margas, y se considera una zona de transición entre el Dominio Toscano y el Dominio de Liguria-Piamonte, donde aparecen litologías típicas de los fondos oceánicos.

El Dominio de sub-Liguria está presente en varios afloramientos de limitada extensión en la Toscana septentrional (altos valles de los ríos Magra y Serchio) y entre Castagneto Carducci y Campiglia Marittima. En la Toscana meridional aparecen algunos afloramientos más extensos, al sur de Grosseto y en la vertiente sur del río Albegna.

- “Dominio de Liguria-Piamonte”.

Las unidades estructurales de este dominio representan porciones de la litosfera oceánica del mar de Tetis, apiladas por encima del borde del paleo-continente africano (Dominio Toscano) durante la deformación orogénica. El Dominio de Liguria-Piamonte se divide, a su vez, en dos dominios denominados “Dominio de Liguria interno” y “Dominio de Liguria externo”. Ambos caracterizados por la presencia de rocas ofiolíticas.

Las sucesiones sedimentarias del “Dominio Liguria-Piamonte” se extienden por todo el territorio toscano y comprenden varias unidades estructurales, pertenecientes a uno u otro de los dos dominios, con sucesiones sedimentarias diferentes entre ellas.

2. Depósitos post-orogénicos

Desde el Mioceno superior (7 – 5,5 Ma), después de la tectónica compresiva que ha producido la emersión de los Apeninos, comienza una tectónica distensiva con la formación de varias depresiones tectónicas (*graben*), separadas por notables elevaciones (*horst*), con dirección noroeste-sureste y delimitadas por fallas, que han condicionado casi toda la hidrografía superficial actual.

Las fosas tectónicas más occidentales fueron invadidas por el mar repetidamente, después de las variaciones del nivel del mar provocadas por las glaciaciones y los movimientos de la corteza terrestre, dando lugar a depósitos de tipo continental y marino. Las fosas más orientales, las más elevadas, se convirtieron en cuencas lacustres (lagos de Castelnuovo, Garfagnana, Barga, Mugello y Valdarno).

Detalladamente se pueden identificar al menos tres fases sedimentarias.

- Mioceno superior (11,3–5,3 Ma): depósitos de tipo continental constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas lignitíferas y margas, y depósitos marinos constituidos por arcillas y calizas bioclásticas de ambientes lacustres y marinos. La reanudación de las depresiones tectónicas favoreció la apertura de rías poco profundas en el continente con la formación de depósitos evaporíticos (p. ej. yesos y alabastros de Volterra)
- Plioceno (5,3–2,5 Ma): la transgresión marina creó en el interior nuevas y amplias cuencas como la de Volterra–Radicondoli, Val D’Elsa–Siena–Radico-fani llegando hasta la dorsal monte Albano–montes del Chianti-monte Cetona. En estas cuencas se depositaron arcillas, areniscas, conglomerados y calizas bioclásticas.
- Pleistoceno (2,5 Ma–11.500 años): en esta última fase, la Toscana, como gran parte del Apenino había adquirido la configuración actual con valles fluviales y amplias cuencas fluvio-lacustres (Valdarno superior, cuenca de Florencia-Prato-Pistoia). Sólo en las zonas más cercanas a la costa se tienen evidencias de transgresiones y regresiones marinas como consecuencia de glaciaciones, con descensos del nivel del mar de 150 m, con deposición de arcillas, areniscas, calizas y conglomerados.

3. El magmatismo post-orogénico

Desde el Mioceno superior (8,4 Ma) a tiempos geológicamente recientes (200.000 años) el desgarramiento y la disminución de la corteza terrestre por la abertura de la cuenca del Tirreno ha dado lugar en la Toscana suroccidental a una serie de fenómenos magmáticos, tanto intrusivos como efusivos, con magmas provenientes de diferentes fuentes y caracterizados por un amplio espectro composicional. Se identifican las siguientes fases magmáticas:

- Una primera fase, datada hace 6-7 Ma, comprende las rocas plutónicas de la isla de Montecristo, del monte Capanne en la isla de Elba y el primer periodo de actividad volcánica de la isla de Capria.
- Una segunda fase que comprende las rocas plutónicas de Porto Azzurro (5,9 Ma), de la isla de Giglio (5 Ma), de Campiglia (5-4,3 Ma), de Gavorrano (4,4 Ma), de monte Spinosa y Monteverdi (3,8 Ma), de Radicondoli (2,5 Ma) y de Travale (2,4 Ma). A esta fase pertenecen también las riolitas de San Vincenzo (4,7 Ma) y de Roccastrada (2,5 Ma) y el segundo periodo de actividad de la isla de Capraia (4,6-3,5 Ma).
- La última fase empieza con el emplazamiento de las rocas ígneas de Radicofani (1,3 Ma) y del granito de Carboli-Larderello (1,3 Ma). Las vulcanitas del monte Amiata (200.000 años) son las manifestaciones más recientes.

Los fenómenos post-magmáticos son todavía evidentes en Toscana por las frecuentes manifestaciones termales e hidrotermales, que pueden observarse, por ejemplo, en el parque de las fumarolas de Sasso Pisano (provincia de Pisa).

Se ha observado que las condiciones orográficas y geológicas de Toscana son propensas a que se produzcan movimientos de ladera, debido a la estructura geológica (muy deformada y fracturada recientemente), las pendientes, los materiales litológicos y las emisiones magmáticas.

Como se mencionó en el punto 4.1.1, la mayor parte de Toscana está compuesta por colinas y montañas, según Trigilia e Iadanza (2008) dos tercios del territorio toscano lo conforman colinas y un cuarto lo conforman montañas. Algunas de estas montañas son jóvenes y están todavía poco erosionadas, lo que significa que existen gran cantidad de pendientes pronunciadas, con taludes por encima de los 25-30°, condición favorable para que se produzcan movimientos de ladera.

En cuanto los materiales litológicos, abundan algunos como los flysch, las areniscas, las margas, las arcillas, etc., que presentan una estructura suelta, esquistosa y tableteada, poco cohesionada y con una resistencia mecánica débil. Esta composición es propicia para que se produzcan, sobre todo, deslizamientos rotacionales y traslacionales.

4.1.3. Hidrografía

Toscana se caracteriza por una gran riqueza y variedad de cursos fluviales, que, en relación con la morfología del territorio, consisten principalmente en ríos cortos, con regímenes hidrológicos de carácter torrencial, debido a las fuertes precipitaciones que se producen en periodos de tiempo muy cortos (Anexo VI).

El Arno es el principal río toscano, con 241 km de longitud y 8.228 km² de cuenca hidrográfica, un tercio de la superficie regional. Sus afluentes principales son el Sieve (62 km) y Bisenzio (47 km) por la derecha, y el canal de Chiana (62 km), el Elsa (63 km) y el Era (54 km) por la izquierda.

Al sur del Arno el otro gran río es el Ombrone, con 161 km de longitud y 3.494 km² de cuenca hidrográfica. Nace en los montes de Chianti y desemboca en el Tirreno al suroeste de la ciudad de Grosseto.

Al norte del Arno, el Serchio desemboca en el mar de Liguria y es otro de los ríos más importantes, con 105 km de longitud y 1.435 km² de cuenca hidrográfica. Nace en el Apenino Tosco-Emiliano, recorre la comarca de Garfagnana y baña la llanura de Lucca. En esta cuenca llegan a registrarse precipitaciones de 2.500 mm (Azzari, 2006) anuales en las zonas más elevadas.

Otros ríos que drenan la Toscana son, de norte a sur el Magra (70 km), el Cecina (79 km), el Cornia (53 km), el Bruna (44 km), el Albegna (58 km) y el Fiora (80 km). Todos ellos desembocan en el mar Tirreno y el mar de Liguria. Además, algunos ríos de la vertiente adriática nacen en Toscana, en el Apenino Tosco-Emiliano. Destacan el Reno (212 km), el Lamone (90 km), el Montone (90 km) y el Marecchia (70 km). En total se han identificado 48 ríos y 643 torrentes en Toscana¹⁰.

Por otra parte, la región cuenta con escasos lagos. Las láminas de agua que ocupaban las llanuras litorales y las cuencas intramontanas hasta épocas geológicas recientes (200.000 años), se han colmado con depósitos fluviales dando lugar a las actuales llanuras. Sin embargo, permanecen todavía presentes los lagos costeros de Massaciucoli (690 Ha) y de Burano (236 Ha), y la laguna de Orbetello (2.690 Ha). En el interior se encuentran algunos lagos de escasas dimensiones, como el de Chiusi y Montepulciano en el valle de Chiana.

¹⁰ Regione Toscana. Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico. Elenco di Fiumi e Torrenti riconosciuti dalla Carta Tecnica Regionale.

<http://www.regione.toscana.it/documents/10180/12605187/Allegato+L+elenco+fiumi+e+torrenti.pdf/64f1f356-815b-44e5-b9a2-eca550468d37> [Consultado el 10 de junio de 2016].

4.1.4. Clima

Tipos de climas

Situada en la cuenca mediterránea, Toscana está localizada en la zona de climas templados. Según la clasificación de Köppen (Rapetti y Vittorini, 2012) se pueden distinguir hasta dos tipos de climas zonales y un clima azonal, debido a los grandes contrastes que presenta el territorio.

Clima Csa

El litoral, las llanuras y las colinas de escasa altitud (por debajo de los 400 m) cuentan con un clima de tipo Csa, más conocido como clima mediterráneo, con sequía estival y temperatura media del mes más cálido por encima de los 22 °C. Es el principal clima de Toscana. Como ejemplo del clima Csa se muestra el climodiagrama de Florencia del período 1981-2010 (Figura 4).

Considerando datos del período 1981-2010, la temperatura media anual oscila entre los 13,1 °C de Arezzo, a 250 m y 116 km del mar, y los 16,1 °C de Livorno, a nivel de mar. El mes más cálido es julio, con temperaturas medias que van desde los 23,6 °C de Grosseto hasta los 25,5 °C de Prato. Por el contrario, enero es el mes donde se registran las temperaturas más bajas, con medias entre los 4,4 °C de Arezzo y los 8,9 °C de Livorno.

Cabe destacar que las precipitaciones son por lo general abundantes, con un máximo en los meses de octubre y noviembre, y mínimos en julio y agosto. La media anual oscila entre los 650 mm de Grosseto (en el sur de Toscana y a nivel de mar) y los 1.183 de Pistoia (en el norte de Toscana, a 85 m y 54 km de la costa).

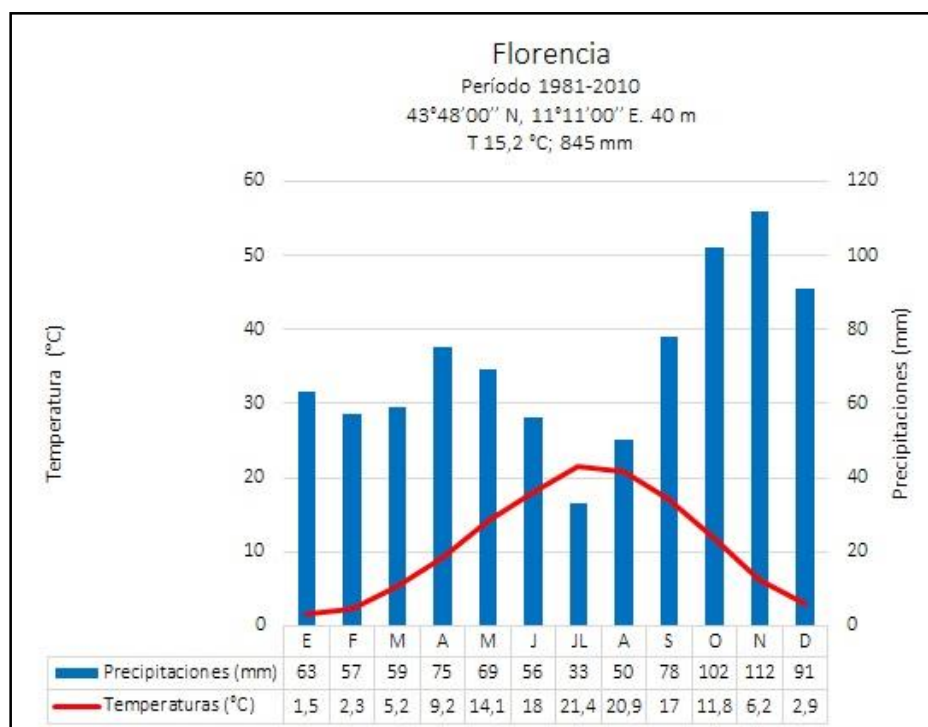


Figura 4. Climodiagrama de Florencia (1981-2010)

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Servizio Meteorologico Aeronautica Militare Italiana.

Clima Cfc

En las zonas de baja y media montaña (400 m-1.200 m), de los Alpes Apuanos y el Apenino Tosco-Emiliano, aparece el clima de tipo Cfc (Figura 5). Se trata de un clima lluvioso templado, húmedo en todas las estaciones, característico de la costa occidental de los continentes. La temperatura media anual es de 10,8 °C. En verano los meses de julio y agosto superan los 20°C de media, mientras que los inviernos son fríos con 1,5°C de medio enero y 2,3 °C en febrero. Todos los meses son húmedos, con precipitaciones totales anuales que superan los 1.500 mm, con un máximo muy destacado en otoño (octubre y noviembre) y otro en el mes de abril, y mínimos en verano (julio y agosto).

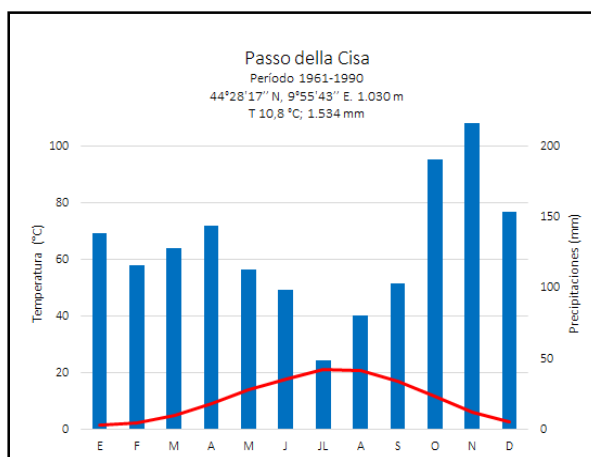


Figura 5. Climodiagrama de Passo della Cisa (provincia de Massa-Carrara) (1961-1990)

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Servizio Meteorologico Aeronautica Militare Italiana.

Clima de alta montaña

En las altitudes más elevadas, como en San Pellegrino in Alpe (1.524 m), el monte Cimone (2.165 m) y a lo largo de las crestas del Apenino Tosco-Emiliano, el clima es de alta montaña (Figura 6).

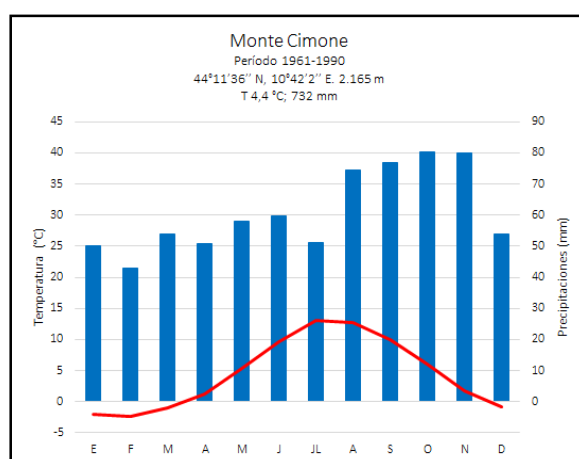


Figura 6. Climodiagrama de monte Cimone (provincia de Módena) (1961-1990)

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Servizio Meteorologico Aeronautica Militare Italiana.

Debido a la influencia de la altitud los climas Csa y Cfc se ven modificados por un descenso general de las temperaturas y una distribución más regular de las precipitaciones. La temperatura media anual es de 4,5 °C, con cuatro meses con temperaturas bajo cero (de diciembre a marzo) y veranos frescos (julio 13 °C, agosto 12,7 °C). Las precipitaciones son regulares a lo largo de todo el año y permiten que todos los meses sean húmedos. Además, son algo más escasa (732 mm) y suele caer en forma sólida.

El climodiagrama de la figura 4.6 se corresponde con la estación meteorológica del monte Cimone, que se encuentra en el Apenino Tosco-Emiliano (provincia de Módena, Región de Emilia-Romaña), a sólo 5 km de Toscana, que se tiene en cuenta aquí por ser la única estación en el Apenino con datos disponibles (periodo es 1961-1990).

Distribución temporal y espacial de las precipitaciones

De todos los parámetros climáticos que inciden en los movimientos en masa, el más importante, sin duda, es la precipitación, ya que es el principal contribuyente a la rotura de la ladera. Por ello, es importante mencionar los patrones estacionales y espaciales de las precipitaciones.

Distribución temporal de las precipitaciones

La cantidad de precipitaciones en Toscana son el producto de múltiples y complejos fenómenos atmosféricos, ligados principalmente al frente polar, que en otoño se dirige hacia latitudes meridionales hasta llegar al norte de África, mientras en primavera y en verano se retira hacia el norte de Europa. De la circulación general atmosférica y el frente polar se deriva un régimen pluviométrico bimodal, con el máximo de precipitaciones en octubre o noviembre, mientras que, en verano, cuando el Mediterráneo occidental se encuentra bajo la influencia del anticiclón de las Azores, tiene lugar la estación seca (Rapetti y Vittorini, 2012).

El otoño es por tanto la estación más lluviosa, siendo octubre y noviembre los meses más húmedos. En invierno, las precipitaciones son abundantes, aunque disminuyen ligeramente de diciembre a marzo. Ya en primavera, las precipitaciones son más irregulares. En abril se registra un aumento considerable de las precipitaciones, para después reducirse hasta el periodo estival. El verano presenta normalmente uno o dos meses secos, julio y/o agosto, en la gran mayoría del territorio toscano. En las zonas de alta montaña, por encima de los 1.900 m aproximadamente, se observan los mismos patrones, pero todos los meses del año son húmedos.

Distribución espacial de las precipitaciones

La distribución de las precipitaciones está caracterizada por una elevada variabilidad espacial, ya que en el Apenino septentrional y en los Alpes Apuanos son copiosas e intensas, en la Toscana central son moderadas y oscilan entre los 800 y los 1.000 mm anuales, en la Toscana meridional alcanzan entre 600 y 900 mm, mientras que, en el archipiélago toscano, donde la sequía meteorológica puede alcanzar valores característicos de las zonas semiáridas mediterráneas, se sitúan por debajo de los 600 mm (Anexo VII).

Las isoyetas de los 2.500 y 2.000 mm delimitan las altitudes más elevadas del Val de Lima y de los Alpes Apuanos; la isoyeta de los 1.500 mm, que abarca áreas más extensas, bordea, salvo en alguna interrupción, la cresta principal del Apenino Tosco-Emiliano hasta el Alpe de San

Benedetto y rodea las cumbres del Pratomagno y del monte Amiata; la isoyeta de los 1.000 mm delimita, empezando desde la alta Versilia, en el noroeste de Toscana, la parte septentrional de la cuenca hidrográfica del río Arno con el límite meridional marcado por el curso del río, para volver a aparecer en la parte centro-meridional de la región, en los montes del Chianti, en las colinas Metallifere, en el monte Amiata y junto al monte Capanne, en la isla de Elba. Al sur del río Arno el valor de las isoyetas varía desde los 900 mm de la parte central de la región hasta los 600 mm del promontorio de Piombino, del monte Argentario y de la baja llanura del río Ombrone, en la provincia de Grosseto.

La estación más lluviosa es Campagrina (municipio de Stamezza, provincia de Lucca) en los Alpes Apuanos, con la precipitación media anual de 3.111 mm y registros máximos de 4.731 mm en 1960, y mínimos de 2.109 mm en 1956 (Rapetti y Vittorini, 2012).

Umbrales de precipitaciones y movimientos de ladera

En los últimos años se ha asistido un detallado estudio de los patrones de precipitaciones en Toscana y el norte de Italia. Algunos autores (Guzzetti, 2000; Luino, 2005; Brunetti et al. 2010; Giannecchini, D'Amato Avanzi, 2012) apuntan a un aumento de la frecuencia de las precipitaciones torrenciales, que a menudo desencadenan numerosas inundaciones y movimientos de ladera con graves daños al territorio y a la población.

Los episodios más recordados se han producido en Versilia y Garfagnana el 19 de junio de 1996 con 14 víctimas (Annunziati et al., 2000; D'Amato Avanzi & Giannecchini, 2003; D'Amato Avanzi et al., 2004); en el valle medio del río Serchio el 20 de noviembre de 2000 con 5 víctimas (D'Amato Avanzi et al., 2002; Casagli et al., 2006; Giannecchini & Verani, 2006); en Carrara el 23 de septiembre de 2003 (Cortopassi et al., 2008) y en el noroeste de Toscana en diciembre de 2009 y octubre de 2010 (D'Amato Avanzi et al., 2010).

En diciembre de 2009, a consecuencia de las constantes y abundantes precipitaciones registradas en el noroeste de Toscana (Alpes Apuanos, valle del Serchio, Apenino Tosco-Emiliano), se detectaron más de 600 movimientos de ladera, principalmente deslizamientos complejos, rotacionales y flujos de detritos de cinemática rápida, debido a la saturación de los suelos (D'Avanzi et al., 2012). En todas las estaciones de esta zona se registraron más de 500 mm en diciembre de 2009. Las precipitaciones más intensas se produjeron entre el 24 y 25 de diciembre de 2009 en la provincia de Lucca. En 15 horas se recogieron 263,8 mm en Campagrina (media 17,5 mm/h), 167,2 mm en Cardoso (media 11,14 mm/h) y 164,6 mm en Fabbriche di Vallico (media 10,9 mm/h).

De nuevo octubre de 2010 fue un mes muy húmedo donde se produjeron intensas tormentas torrenciales en todo el norte de Italia. En Toscana, la provincia de Massa-Carrara fue la más afectada. En esta provincia el 31 de octubre de 2010 se registraron las precipitaciones más altas, alcanzando los 198,8 mm en la localidad de Cerreto, y una intensidad máxima de 46 mm/h entre las 2:00 y las 3:00 de la mañana (D'Avanzi et al., 2012). Estas lluvias torrenciales provocaron cientos de flujos de detritos y deslizamientos rotacionales. A causa de los mismos hubo dos víctimas en Lavacchio y una en Mirteto, 64 evacuados de diversas localidades de la provincia.

4.1.5. Vegetación

La marcada diversidad morfológica y climática de Toscana se refleja en la vegetación presente. Cabe destacar que Toscana es una de las regiones italianas que cuenta con mayor superficie forestal. Según las estimaciones realizadas en 2005 por el INFC (*Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*), Toscana cuenta con 1.151.539 Ha de bosques, lo que representa aproximadamente la mitad de la superficie total regional. En Italia, los bosques ocupan 10.467.533 Ha, un 34,7% de la superficie total. Morini et al. (2007) han realizado una clasificación de los pisos de vegetación presentes en Toscana, identificando tres: el piso mediterráneo, el piso basal y el piso montano.

Piso mediterráneo

El piso mediterráneo se desarrolla entre la costa y los 300-400 m snm. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 14 °C y 18 °C, con medias del mes más frío por encima de 5 °C. En este piso se pueden distinguir dos formaciones vegetales principales: la maquia mediterránea (o bosques de latifolias esclerófilas) y los bosques de coníferas mediterráneas. En conjunto estas dos formaciones cubren una superficie de 241.904 Ha, correspondiente al 22% de la superficie forestal de Toscana.

La maquia mediterránea se encuentra en un 85% en las provincias de Pisa, Livorno, Siena y Grosseto, mientras que las coníferas mediterráneas se encuentran principalmente en las provincias de Pisa, Florencia, Lucca, Grosseto y Siena. Cabe destacar que la maquia mediterránea presenta varios niveles de degradación, y a medida que ésta es más acentuada, también lo es la susceptibilidad a los movimientos de ladera.

- Bosque mediterráneo: compuesto por encinas (*Quercus ilex*) y alcornoques (*Quercus suber*), representa la vegetación clímax en ausencia de la intervención antrópica.
- Bosque de encinas: corresponde con los encinares que actualmente tienen una estructura de tallo alto (con una altura de entre 15 y 25 m). Gracias a la amplia sombra que proyectan, impiden el desarrollo del sotobosque, y, por tanto, presentan una menor susceptibilidad a los incendios.
- Maquia alta: se compone de vegetación de monte bajo (con una altura de entre 3 y 15 m), con especies como la encina, el madroño (*Arbutus unedo*), el fresno de flor (*Fraxinus ornus*). En el estrato arbustivo aparecen el brezo (*Erica tetralix*), el labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*) o el mirto (*Myrtus communis*).
- Maquia media o mediterránea: comprende arbustos con un porte de 1,5 m a 3 m como el brezo (*Erica tetralix*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*) y el enebro (*Juniperus communis*).
- Maquia baja: si las condiciones estacionales son difíciles o los incendios se repiten con frecuencia, la maquia media sufre una progresiva reducción de densidad y altura (por debajo de los 1,5 m), dando lugar a especies de la familia genistae (*Chamaecytisus*, *Cytisus* y *Genista*), el enebro (*Juniperus communis*), la jara pringosa (*Cistus ladanifer*) y otros arbustos.
- Garriga: es el último estadio de degradación. Aparece sobre suelos calizos, cuando la cobertura de la maquia baja es menos densa, dejando parte del suelo al desnudo. Se desarrollan plantas aromáticas como el tomillo (*Thymus vulgaris*), la lavanda (*Lavandula*) o el romero (*Rosmarinus officinalis*).

Por su parte, las coníferas mediterráneas más comunes son el pino marítimo (*Pinus pinaster*), el pino piñonero (*Pinus pinea*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*). El pino marítimo es la especie que ocupa la mayor superficie de bosque, con 42.000 Ha., repartidas entre el monte Pisano (provincia de Pisa), el monte Albano (provincias de Florencia, Pistoia, Prato), la cuenca de los ríos Farma y Merse (provincias de Siena y Grosseto) y los pies de los Alpes Apuanos y del Apenino de Pistoia.

Piso basal

Este piso, con temperaturas medias anuales en torno a los 10 °C-15 °C y medias del mes más frío entre 0 °C y -1 °C, se localiza entre los 300-400 m y los 900-1.000 m. A menudo se distingue un piso sub-montano entre los 600 y 1.000 m, dominado por la presencia del castaño común (*Castanea sativa*), y un piso que correspondería con las colinas (entre los 400 y 600 m) dominado por especies caducifolias de la familia *Quercus* (*Quercus cerris*, *Quercus pubescens*). Sin embargo, no existe una clara distinción entre ambos pisos a causa de la adaptabilidad de estas especies y de la influencia ejercida por el tipo de terreno.

En cualquier caso, el roble es la especie dominante en este piso, con una extensión de unas 363.000 Ha, distribuidas entre las provincias de Grosseto, Siena, Arezzo y Florencia. Se desarrolla principalmente en los bosques de monte bajo.

El castaño común, con 176.000 Ha, es la otra especie con mayor extensión. Se encuentra junto a la ostria (*Ostrya carpinifolia*) y la robinia (*Robinia pseudoacacia*) en las provincias de Massa-Carrara, Lucca y Pistoia, donde la influencia del relieve montañoso es mayor.

Piso montano

Este piso incluye los montes Apeninos por encima de los 900-1.000 m y parte del monte Amiata y de los Alpes Apuanos. Las temperaturas medias anuales rondan entre los 6 °C y los 12 °C, y las medias del mes más frío entre los -2 °C y -4 °C.

La especie dominante en este piso es el haya (*Fagus*), que conforma extensos hayedos junto a otras especies como el arce blanco (*Acer pseudoplatanus*), el fresno común (*Fraxinus excelsior* L.) o el aliso gris (*Alnus incana*). Sin embargo, los hayedos se encuentran interrumpidos por algunas reforestaciones con abetos (*Abies alba*, *Pseudotsuga menziesii*) o pinos negros (*Pinus nigra*). La superficie forestal en este piso alcanza las 109.700 Ha, de las cuales cerca de 75.000 están constituidas por hayedos. Los bosques de arce blanco cubren cerca de 14.000 Ha. Los abetos blancos se encuentran únicamente en la Reserva Natural Campolino (provincia de Pistoia) y las cumbres del monte Amiata.

En el límite inferior del piso montano se encuentran algunas plantaciones artificiales de pino negro, ampliamente utilizado en las grandes reforestaciones de principios de siglo XX. Se encuentran en la sierra de Calvana y el monte Morello (provincias de Prato y Florencia), en el valle Valtiberina (provincia de Arezzo) y en el Parque Nacional del Apenino Tosco-Emiliano (provincia de Massa-Carrara) con una superficie total de 10.640 Ha.

Por su parte, el límite superior del piso montano está ocupado, por lo general, por bosques de protección, que en algunas zonas dejan espacio a brezales (*Calluna vulgaris*) y prados de alta montaña.

4.2. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

4.2.1. Población

Según datos del ISTAT, a 1 de enero de 2015, la Toscana contaba con 3.752.654 habitantes. Es la novena región más poblada de Italia (60.795.612 habitantes). La tasa de crecimiento de la población es modesta, aunque continua desde comienzos del siglo XXI (Tabla 1).

Año	Población	Tasa de crecimiento anual (%)	Año	Población	Tasa de crecimiento anual (%)
2000	3.491.308		2008	3.615.187	0,46
2001	3.494.857	0,05	2009	3.641.389	0,36
2002	3.498.497	0,05	2010	3.657.340	0,22
2003	3.507.126	0,12	2011	3.668.948	0,16
2004	3.531.825	0,35	2012	3.667.780	-0,02
2005	3.557.577	0,36	2013	3.692.828	0,34
2006	3.570.259	0,18	2014	3.750.511	0,78
2007	3.581.920	0,16	2015	3.752.654	0,03

Tabla 1. Evolución y tasa de crecimiento de la población en Toscana (2000-2015)

Fuente: elaboración propia a partir de datos del ISTAT. Datos a 1 de enero de cada año.

La densidad de población de Toscana (163,3 hab./km²) se encuentra por debajo de la media nacional (201,3 hab./km²), en parte debido a la gran extensión de la región. Los 3.752.654 habitantes que viven en Toscana se reparten de forma muy heterogénea en las diez provincias que componen la región, como se muestra en la tabla 2.

Provincia	Población	Superficie (km ²)	Densidad (hab./km ²)
Florenia	1.012.180	3.513,69	288,1
Pisa	421.816	2.444,72	172,5
Lucca	393.478	1.773,22	221,9
Arezzo	346.442	3.233,08	107,2
Livorno	339.070	1.213,71	279,4
Pistoia	292.509	964,12	303,4
Siena	270.285	3.820,98	70,7
Prato	252.987	365,72	691,8
Grosseto	224.481	4.503,12	49,9
Massa Carrara	199.406	1.154,68	172,7
Toscana	3.752.654	22.987,04	163,3

Tabla 2. Distribución territorial de la población por provincias

Fuente: elaboración propia a partir de datos del ISTAT a 1 de enero de 2015.

La población se concentra principalmente en la ciudad metropolitana de Florencia (algo más de un cuarto de la población, 1.012.180 habitantes), en las llanuras del Arno y el Serchio y en la costa, especialmente en su mitad septentrional, en la denominada Versilia (Anexo VIII). Expresado en números, dos terceras partes de la población viven en zonas de colinas (66,2%), un cuarto de la población en llanuras (20,3%) y el resto en las montañas (13,4%)¹¹.

Toscana se caracteriza por contar con escasas ciudades muy habitadas, de hecho, tan sólo tres superan los 100.000 habitantes: Florencia, con 381.037 hab., Prato con 191.002 hab. y Livorno con 159.542 hab. Sin embargo, sí existen multitud de ciudades medias y pequeñas repartidas por toda la región, que corresponden con las capitales provinciales, como en el caso de Arezzo (99.434 hab.), Pistoia (90.542 hab.), Pisa (89.523 hab.), Lucca (89.290 hab.), Grosseto (81.837), Massa (69.836 hab.), Carrara (63.861 hab.) y Siena (53.943 hab.). Por tanto, la Toscana asume un carácter policéntrico en su red de asentamientos.

Destaca además el carácter rural de la gran mayoría de municipios toscanos. De los 279 municipios actuales, dos tercios (188 municipios) cuentan con menos de 10.000 habitantes, y 126 municipios están por debajo de los 5.000 habitantes.

4.2.2. Redes de comunicación

Red de carreteras

En Italia la red de carreteras se clasifica en función de las características constructivas, técnicas y funcionales de las mismas¹². Destaca la identificación de dos grandes categorías de carreteras: las autopistas y las carreteras extraurbanas. Las carreteras extraurbanas a su vez se dividen por importancia en estatales, regionales y provinciales. Según datos de 2011¹³, Toscana está dotada con 497 km de autopistas, 878 km de carreteras estatales, 1.321 km de carreteras regionales y 8.312 km de carreteras provinciales. En total, la red de carreteras de Toscana es la quinta más extensa de Italia, alcanzando los 11.008 km.

Los ejes de comunicación más importantes de la región los constituyen las autovías (A), las carreteras estatales (SS y RA) y las carreteras regionales (SGC y SR), que conectan las principales ciudades italianas con las capitales provinciales de Toscana. Florencia se comporta como nodo de primer orden en los ejes fundamentales de comunicación (Anexo IX). Cabe destacar los ejes primarios que articulan la región:

- La A1 Milán-Roma, que conecta a Florencia y Arezzo con Bolonia y Roma;
- La carretera de gran comunicación SGC que une Florencia con Pisa y Livorno;
- La A11 Florencia-Mare, que une la capital regional con Prato, Pistoia y Lucca hasta la costa.
- La vía Aurelia-SS1 Roma-Ponte San Luigi, que conecta Grosseto, Livorno y Massa con Roma.
- La A12 Génova-Roma, que recorre el litoral toscano junto a la SS1.

¹¹ Istat. Anuario Statistico Italiano 2014. Capitolo 1.

www.istat.it/it/files/2014/11/Asi-2014.pdf [Consultado el 10 de junio de 2014]

¹² Decreto Legislativo N. 285 del 30/04/1992 "Nuovo codice della strada". Artículo 2. http://www.mit.gov.it/mit/site.php?p=normativa&o=vd&id=1&id_dett=2 [Consultado el 10 de junio de 2016].

¹³ Automobile Club d'Italia-Dotazione di infrastrutture stradali sul territorio italiano (2011).

http://www.aci.it/fileadmin/documenti/studi_e_ricerche/dati_statistiche/Infrastrutture_stradali_in_Italia/Dotazione_di_infrastrutture_stradali_in_Italia.pdf [Consultado el 10 de junio de 2016].

Otros ejes importantes los constituyen la A15 Parma-La Spezia, que atraviesa la comarca de Garfagnana; la SR64 Pistoia-Bolonia; la SS12 Pisa-Passo del Brennero; el enlace RA3, que conecta Siena a la A1 por Florencia; el enlace RA6 Siena-Perugia y la SS223 Siena-Grosseto. La red se completa con numerosas carreteras regionales y provinciales que conectan el resto de localidades toscanas entre sí.

Red ferroviaria

Según el artículo 13 del Decreto del 21 de marzo de 2000¹⁴, la “Rete Ferroviaria Italia SpA”, en calidad de gestor de la infraestructura ferroviaria nacional, identifica tres categorías en la clasificación de la red ferroviaria italiana (Anexo X):

- Redes fundamentales: son las líneas con alta densidad de tráfico y elevada calidad infraestructural. Suponen los ejes de conexión entre las principales ciudades italianas, así como con los países limítrofes. En el caso de Toscana existen tres ejes principales que caracterizan la red fundamental: el eje Génova-Roma (líneas 32 y 33), el eje Bolonia-Roma (líneas 46 y 47), y el eje Florencia-Pisa (línea 280).
- Redes complementarias: son la malla de conexión en el ámbito regional. Presentan una menor densidad de tráfico. Se dividen en líneas secundarias, líneas con escaso tráfico y líneas lanzadera.
- Líneas de nodo: se localizan en las áreas metropolitanas y sirven de conexión entre los principales intercambiadores de las redes fundamentales y complementarias.

En comparación con el resto de Italia, Toscana es la región que cuenta con más km de vías en servicio (1.476), por detrás de Piamonte (1.897 km) y Lombardía (1.677 km). En total Italia posee 16.674 km de vías en servicio¹⁵. La red fundamental y la red complementaria (Tabla 3) están compuestas por las siguientes líneas:

RED FUNDAMENTAL			RED COMPLEMENTARIA		
Nº	Línea	Km	Nº	Línea	Km
32	La Spezia-Pisa	76	255	Bolonia-Pistoia	99
33	Pisa-Roma	336	256	Viareggio-Florencia	101
46	Bolonia-Florencia	96	257	Lucca-Pisa Central	24
47	Florencia-Roma	316	259	Cecina-Volterra	30
250	Parma-La Spezia (Liguria)	120	260	Campiglia Marittima-Piombino	16
252	Aulla Lunigiana-Lucca	90	272	Borgo S. Lorenzo-Florencia	54
258	Pisa-Cecina	51	273	Florencia -Faenza	102
280	Florencia- Livorno	101	275	Florencia-Siena	63
M55	Pisa-Livorno	20	282	Siena-Chianciano Terme	89
			283	Siena-Grosseto	102
			285	Terontola-Foligno	83
			M60	Pistoia-Montevarchi	87

Tabla 3. Redes ferroviarias de Toscana

Fuente: Rete Ferroviaria Italiana.

¹⁴http://www.rfi.it/cms-file/allegati/rfi/pir/Appendice_normativa.pdf [Consultado el 10 de junio de 2016].

¹⁵<http://www.rfi.it/rfi/LINEE-STAZIONI-TERRITORIO/Istantanea-sulla-rete> [Consultado el 10 de junio de 2016].

4.2.3. Usos del suelo

La Región Toscana y el Consorzio LaMMA (Laboratorio de Monitorización y Modelación Ambiental para el desarrollo sostenible) han creado cinco categorías principales para dividir los usos y la cobertura del suelo toscano¹⁶: 1-Territorios modelados artificialmente; 2-Superficie agrícola utilizada; 3-Bosques y ambientes semi-naturales; 4-Zonas húmedas; y 5-Cursos fluviales.

Del análisis de los datos que se muestran en el Anexo XI se desprende que más de la mitad del territorio (52,12%) está ocupado por bosques (especialmente bosques de latifolias (39,65%)) y ambientes semi-naturales. Más de un tercio de la superficie está explotada por la agricultura (38,40%), especialmente por los cultivos regados (25,56%), los olivos (4,91%) y los viñedos (3,28%) (Toscana cuenta con hasta 52 vinos con denominación de origen)¹⁷.

El territorio urbanizado corresponde al 8,53% de la superficie total, donde se incluyen además todas las redes de comunicación (carreteras, ferrocarril, aeropuertos, puertos, etc.). Destaca que las zonas residenciales discontinuas (2,10%) superan en cuatro veces a los tejidos urbanos continuos (0,49%). En comparación con la década de los años cincuenta del siglo XX, Toscana ha aumentado notablemente el consumo de suelo urbanizado, lo que incrementa la exposición y vulnerabilidad al riesgo (Tabla 4).

Región	Años 50	1989	1996	1998	2006	2008	2013
Toscana	1,6-3,0	3,7-5,5	4,5-6,4	4,5-6,5	5,1-7,2	5,2-7,2	5,3-7,4

Tabla 4. Estimación del suelo consumido en porcentaje sobre la superficie regional. Se muestran los valores mínimos y máximos del intervalo de confianza al 95%

Fuente: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015¹⁸.

También resulta interesante observar el suelo urbanizado en relación a la altimetría y la pendiente del terreno (Tablas 5 y 6).

Región	% suelo urbanizado entre 0 y 300 m	suelo urbanizado entre 0 y 300 (Ha)	% suelo urbanizado entre 300 y 600 m	suelo urbanizado entre 300 y 600 (Ha)	% suelo urbanizado por encima de 600 m	suelo urbanizado por encima de 600 (Ha)
Toscana	7,2	87.417	3,1	20.906	1,7	7.281

Tabla 5. Suelo urbanizado en relación a la altimetría

Fuente: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015. Datos referidos a 2012.

¹⁶ Regione Toscana–Consorzio LaMMA. Uso e copertura del suolo - Confronto dati 2007/2010: http://www.regione.toscana.it/documents/10180/70970/a26d4ab26816b5b5b9e94a48aa5d0430_statist_icheucs20072010.pdf/2d96ae5e-4042-43be-9890-21930bc4d997 [Consultado el 10 de junio de 2016].

¹⁷ Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali. Elenco alfabetico Vini DOP: <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/8%252F8%252F0%252FD.47bbb9230228c76ec88f/P/BLOB%3AID%3D4625/E/pdf> [Consultado el 2 de junio de 2016].

¹⁸ Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015 http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/Rapporto_218_15.pdf

Estos indicadores son especialmente importantes si se relacionan con los movimientos de ladera. A pesar de que el suelo urbanizado en zonas con pendientes superiores al 10% es escaso, son precisamente estas zonas donde se producen la mayoría de deslizamientos rotacionales, traslacionales y complejos, como se explicó en el apartado 4.1.1.

Región	% suelo urbanizado en pendientes de 0 al 10%	suelo urbanizado en pendientes de 0 al 10% (Ha)	% suelo urbanizado en pendientes superiores al 10%	suelo urbanizado en pendientes superiores al 10% (Ha)
Toscana	9,6	78.497	2,5	37.107

Tabla 6. Suelo urbanizado en relación a la pendiente del terreno

Fuente: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Il consumo di suolo in Italia. Edizione 2015. Datos referidos a 2012.

4.3. PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Una vez descritas las características físicas y socioeconómicas de la región Toscana, es importante mencionar la peligrosidad y vulnerabilidad a los movimientos de ladera. Trigilia et al. (2015) han recopilado una detallada base de datos de la superficie, la población, las empresas, los bienes culturales y el territorio urbanizado en peligro, de todos los municipios, provincias y regiones de Italia. De esta base de datos se observa que Toscana es una de las regiones con mayor número de elementos en peligro de todo el país, y por tanto es notoria su vulnerabilidad. Los niveles de peligrosidad son cinco (4-muy alta, 3-alta, 2-media, 1-moderada, y AA-área de atención). Estos conceptos se explicarán en el capítulo 5.

Casi la mitad de la superficie toscana cuenta con algún tipo de peligrosidad por movimientos de ladera (10.861 km², 47%), de hecho, es la región de Italia con mayor superficie en peligro, le sigue Campania con 8.220 km². La superficie con peligrosidad alta y muy alta afecta a 3.063 km² (13%), especialmente a las provincias de Lucca, Grosseto, Florencia y Siena (Tabla 7).

Provincia	Superficie (km ²)	P4 (km ²)	P3 (km ²)	P2 (km ²)	P1 (km ²)	AA (km ²)	P4+P3 (km ²)	% PR+P3	Total (km ²)	% Total
Massa-Carrara	1.155	32	104	181	1	0	135	12	318	28
Lucca	1.773	50	405	158	828	0	455	26	1.441	81
Pistoia	964	8	103	93	388	25	111	12	618	64
Florencia	3.514	86	430	821	1.302	105	516	15	2.744	78
Livorno	1.213	9	56	28	18	0	65	5	111	9
Pisa	2.445	58	189	494	299	0	247	10	1.040	43
Arezzo	3.233	45	204	262	1.595	57	249	8	2.163	67
Siena	3.821	108	361	383	423	91	469	12	1.366	36
Grosseto	4.503	115	677	0	0	8	792	18	800	18
Prato	366	3	20	44	171	23	23	6	261	71
Toscana	22.987	514	2.549	2.464	5.024	309	3.063	13	10.861	47

Tabla 7. Superficie en peligro por movimientos de ladera (2015)

Fuente: Trigilia et al. (2015).

También la superficie urbanizada en peligro es elevada (445 km², 39%) y de nuevo supone la mayor superficie de toda Italia a nivel regional, por detrás de Campania con 354 km². A nivel provincial destaca la gran superficie urbanizada en peligro de Arezzo (71%), Lucca (60%) Y Florencia (51%) (Tabla 8).

Provincia	Superficie urbanizada (km ²)	P4 (km ²)	P3 (km ²)	P2 (km ²)	P1 (km ²)	AA (km ²)	P4+P3 (km ²)	% PR+P3	Total (km ²)	% Total
Massa-Carrara	69	2	4	5	0	0	6	9	11	16
Lucca	128	2	13	13	50	0	14	11	77	60
Pistoia	79	0	4	9	17	1	4	5	31	40
Florencia	208	2	8	37	56	4	9	4	106	51
Livorno	99	0	2	1	2	0	2	2	5	5
Pisa	136	1	2	19	19	0	3	2	41	30
Arezzo	146	2	5	19	78	1	6	4	104	71
Siena	131	1	9	16	19	1	10	8	46	35
Grosseto	117	2	12	0	0	0	13	11	14	12
Prato	45	0	1	3	6	0	1	2	10	22
Toscana	1.156	11	58	122	247	7	69	6	445	39

Tabla 8. Superficie urbanizada en áreas con peligrosidad por movimientos de ladera (2015)

Fuente: Trigilia et al. (2015).

En el 47% de superficie en peligro por movimientos de ladera se asienta un tercio de la población toscana (1.198.100 habitantes). Las provincias con mayor población en peligro son Florencia, Grosseto, Arezzo y Lucca. En zonas con peligrosidad muy alta y alta viven 134.731 habitantes. Las provincias de Lucca, Grosseto, Florencia y Siena son las más afectadas en este sentido (Tabla 9). Con respecto al resto de Italia, Toscana es la región mayor número de población en peligro por movimientos de ladera, le siguen las regiones de Campania (1.169.205) y Liguria (859.521).

Provincia	Población	P4	P3	P2	P1	AA	P4+P3	% PR+P3	Total	% Total
Massa-Carrara	199.650	4.046	11.019	7.029	25	931	15.065	8	23.050	12
Lucca	388.327	4.907	28.496	32.385	149.208	0	33.403	9	214.996	55
Pistoia	287.866	439	8.795	31.544	51.053	2.631	9.234	3	94.462	33
Florencia	973.145	4.084	18.102	102.575	191.413	3.437	22.186	2	319.611	33
Livorno	335.247	616	2.462	3.165	8.855	0	3.078	1	15.098	5
Pisa	411.190	1.729	6.180	56.032	60.303	0	7.909	2	124.244	30
Arezzo	343.676	1.398	6.642	36.216	200.875	877	8.040	2	246.008	72
Siena	266.621	2.181	14.687	44.672	44.761	754	16.868	6	107.055	40
Grosseto	220.564	3.399	13.760	0	0	162	17.159	8	173.21	8
Prato	245.916	286	1.503	11.593	22.653	230	1.789	1	362.65	15
Toscana	3.672.202	23.085	111.646	325.211	729.146	9.022	134.731	4	1.198.110	33

Tabla 9. Población en peligro por movimientos de ladera (2011)

Fuente: Trigilia et al. (2015).

Además, un total de 7.374 bienes culturales, prácticamente la mitad de los existentes en Toscana, se localizan en áreas con peligrosidad, especialmente afectan a las provincias de Florencia, Siena y Arezzo (Tabla 10). Toscana es la cuarta regiones con mayor número de bienes culturales, y la segunda con mayor número en áreas con peligrosidad, por detrás de Liguria (9.296).

Provincia	Bienes culturales	P4	P3	P2	P1	AA	P4+P3	% PR+P3	Total	% Total
Massa-Carrara	659	9	54	77	0	0	63	10	140	21
Lucca	1.213	13	130	100	660	0	143	12	903	74
Pistoia	884	3	66	90	236	24	69	8	419	47
Florencia	3.827	24	87	490	1.174	27	111	3	1.802	47
Livorno	575	6	14	4	4	0	20	3	28	5
Pisa	1.690	14	49	383	147	39	63	4	632	37
Arezzo	1.834	26	71	132	1.139	20	97	5	1.388	76
Siena	4.022	87	511	712	342	31	598	15	1.683	42
Grosseto	982	82	211	0	0	6	293	30	299	30
Prato	282	0	0	13	67	0	0	0	80	28
Toscana	15.968	264	1.193	2.001	3.769	147	1.457	9	7.374	46

Tabla 10 Bienes culturales en áreas con peligrosidad por movimientos de ladera (2015).

Fuente: Trigilia et al. (2015).

5. NORMATIVA Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

5.1. NORMATIVA

Resulta comprensible la dificultad con la que se encuentran los órganos legislativos a la hora de crear un instrumento normativo capaz de abarcar todos los riesgos naturales y ambientales, poniendo orden en la metodología, en los criterios de intervención, en la definición de los órganos institucionales que deben intervenir, pero, sobre todo, incluyendo en la planificación territorial las incertidumbres derivadas de los problemas ambientales.

Esta complejidad se ha reflejado en una gran producción de documentos a lo largo del tiempo, que han ido variando. Esto es lo que encontramos al analizar la normativa sobre la planificación del territorio en relación con el riesgo hidrogeológico.

A excepción del Regio Decreto n. 3267 del 30 de diciembre de 1923, focalizado en las restricciones hidrogeológicas, la gestión de los bosques y la ordenación hidráulica-forestal de las cuencas, Italia ha sufrido hasta 1989 un fuerte retraso en la promulgación de normas que considerasen los procesos naturales, como los movimientos de ladera y las inundaciones, en la planificación territorial y urbanística. La Ley n. 183 del 18 de mayo de 1989, inspirada en los principios de la Comisión de Marchi¹⁹, es la primera norma orgánica para la reordenación organizativa y funcional de defensa del suelo que identifica la cuenca hidrográfica como base territorial de referencia para la protección hidrogeológica y las Autoridades de Cuenca, como instituciones responsables de la elaboración de los Planes de Cuenca, es decir, el instrumento fundamental para la planificación territorial para evitar riesgos naturales, estando los otros planes de nivel regional, provincial y local subordinados al Plan de Cuenca.

Sin embargo, hasta la catástrofe de Sarno y Quindici (provincia de Salerno, Campania) del 5 de mayo de 1998 donde una inundación y numerosos deslizamientos provocaron la muerte de 160 personas, la Ley 183/89 no ha tenido plena actuación, ya que hasta este momento se habían adoptado pocos planes. Con la emanación del Decreto Ley n. 180 del 11 de junio de 1998, convertido en Ley 267/1998, se procede a la identificación, delimitación y clasificación de las áreas en riesgo hidrogeológico por movimientos de laderas e inundaciones, y a la creación de los Planes de Cuenca para la Ordenación Hidrogeológica (PAI por sus siglas en italiano), que establecen medidas de protección con restricciones y reglas para usar el territorio. La Ley 183/89 se ha derogado en varias ocasiones y en parte se ha integrado en el Decreto Legislativo 152/2006.

¹⁹ La Comisión de Marchi fue una comisión interministerial instituida tras la avenida de Florencia de noviembre de 1966 para estudiar la ordenación hidráulica y la defensa del suelo en Italia. El nombre de la comisión se debe al ingeniero Giulio de Marchi, al cual se le había asignado la tarea de “examinar los problemas técnicos, económicos y administrativos y legislativos afectados por la avenida, con el objetivo de continuar e intensificar las intervenciones necesarias para la ordenación hidráulica y la defensa del suelo, sobre la base de una completa y actualizada programación”. La Comisión produjo un notable trabajo que se culminó en los “Actos de la Comisión” de 1974 y fue un referente para actuar frente a los riesgos hidrogeológicos en Italia. <http://www.censu.it/relazione-de-marchi/> [Consultado el 12 de junio de 2016].

5.1.1. Normativa en materia de planificación territorial y urbanismo

A continuación, se cita la evolución histórica de los principales actos legislativos relativos a planificación territorial y urbanismo, presentando, en primer lugar, las leyes y decretos emanados por la República Italiana, y, posteriormente, su adopción mediante las leyes de la Región Toscana.

República Italiana

- Ley 24-11-2003, n. 326 “Conversión en ley, con modificaciones, del Decreto Legislativo 20-09-2003, n. 269, se establecen las normas urgentes para favorecer el desarrollo y para la corrección de la evolución de las finanzas”.
- Decreto del Presidente de la República 08-06-2001, n. 327 “Texto único de las disposiciones legislativas y reglamentarias en materia de expropiación para utilidad pública. (Texto A)”.
- Decreto del Presidente de la República 06-06-2001, n. 380. “Texto único de las disposiciones legislativas y reglamentarias en materia de construcción”.
- Ley 23-12-1994, n. 724. Art. 39 “Medidas de racionalización de las finanzas públicas”
- Ley 08-02-1985, n. 47 “Normas en materia de control de la actividad urbanística, sanciones, recuperación y amnistía de las obras de construcción”.
- Ley 28-01-1977, n. 10 “Normas para la edificabilidad de los suelos”.
- Decreto del Presidente de la República 15-01-1972, n. 8 “Transferencia a las Regiones con estatuto ordinario de las funciones administrativas estatales en materia de urbanismo y de carreteras, acueductos y obras públicas de interés regional”.
- Ley 06-08-1967, n. 765 “Modificaciones e integraciones a la ley urbanística 17-08-1942, n. 1150”.
- Ley 17-08-1942, n. 1150 “Ley urbanística”.

Región Toscana

- Ley Regional 03-01-2005, n. 1 “Normas para el gobierno del territorio”.
- Ley Regional 20-10-2004, n. 53 “Normas en materia de amnistía urbanística”.
- Deliberación Consejo Regional 25-01-2000, n. 12 “Aprobación del Plan de Dirección Territorial – Artículo 7 L.R. 16-01-1995, n. 5”.
- Ley Regional 14-10-1999, n. 52 “Normas sobre las concesiones, las autorizaciones y las denuncias a actividades de construcción – Disciplina de los controles en las zonas sujetas a riesgo sísmico – Disciplina de la contribución de concesiones – Sanciones y vigilancia de la actividad urbanística – Modificaciones e integraciones a la Ley Regional 23-05-1994, n. 39 y modificación de la Ley Regional 17-10-1983, n. 69”.
- Ley Regional 01-12-1998, n. 88 “Atribución a los entes locales y disciplina general de las funciones administrativas y de las tareas en materia de urbanismo y planificación territorial, protección de la naturaleza y del medioambiente, tutela del medioambiente de la contaminación y gestión de los residuos, recursos hídricos y defensa del suelo, energía y recursos geotérmicos, obras públicas, carreteras y transportes conferidos a la Región por el Decreto Legislativo 31-03-1998, n. 112”.
- Ley Regional 16-01-1995, n. 5 “Normas para el gobierno del territorio”.

5.1.2. Normativa en materia de defensa del suelo y ordenación hidrogeológica

En cuanto a la normativa en materia de defensa del suelo y ordenación hidrogeológica (terminología empleada en Italia que incluye el riesgo de movimientos de ladera), también se presenta su recorrido histórico siguiendo una escala jerárquica, en la que en el primer nivel se encuentra la Unión Europea, en el segundo nivel, Italia, y en el tercer nivel, Toscana.

Esta circunstancia está justificada por el hecho de que las directivas comunitarias en materia de riesgos naturales son vinculantes para todos los países de la Unión Europea. Posteriormente, los Estados deben elaborar sus propias leyes sobre cómo alcanzar los objetivos de las directivas, y pasan por tanto a cumplirse por parte de las regiones.

Unión Europea

- Directiva 23-10-2007, n. 2007/60/CE. Directiva 2007/60/CE del Parlamento europeo y del Consejo del 23-10-2007 relativa a la evaluación y a la gestión del riesgo de aluviones²⁰.
- Recomendación 2002/413/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 30-05-2002 relativa a la actuación de la gestión integral de las zonas costeras en Europa²¹.

República Italiana

- Decreto Legislativo 23-02-2010, n. 49. Aplicación de la directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y a la gestión del riesgo de aluviones (Gaceta Oficial, n. 77 del 02-04-2010).
- Decreto Legislativo 03-04-2006, n. 152. Normas en materia ambiental.
- Ley 31-07-2002, n. 179. Disposiciones en materia ambiental.
- Decreto Legislativo 12-10-2000, n. 279 convertido en Ley por la Ley 11-12-2000, n. 365. Intervenciones urgentes para las áreas con riesgo hidrogeológico muy elevado, en materia de protección civil, y a favor de zonas afectadas por desastres naturales.
- Decreto Legislativo 13-05-1999, n. 132, convertido en Ley por la Ley 13-07-1999, n. 226. Intervenciones urgentes en materia de protección civil.
- Decreto del Presidente del Consejo de Ministros 29-09-1998. Acto de dirección y coordinación para la identificación de los criterios relativos a los cumplimientos del art. 1, apartados 1 y 2, del Decreto Ley 11-06-1998, n. 180.
- Decreto Legislativo 11-06-1998, n. 180 convertido en ley por la Ley 1998, n. 267, modificado por el Decreto Legislativo 13-05-1999, n. 132, convertido en ley por la Ley 13-07-1999, n. 226 y sucesivamente modificado por el Decreto Legislativo 12-10-2000 convertido en Ley por la Ley 11-12-2000, n. 365. Medidas urgentes para la prevención del riesgo hidrogeológico y a favor de las zonas afectadas por desastres de movimientos de ladera en la región Campania.
- Decreto del Presidente del Consejo de Ministros 14-02-1997. Directivas técnicas para la identificación y la delimitación, por parte de las Regiones, de las áreas con riesgo hidrogeológico.

²⁰ Las directivas son actos legislativos en los cuales se establecen objetivos que todos los países de la UE deben cumplir. Sin embargo, corresponde a cada país elaborar sus propias leyes sobre cómo alcanzar esos objetivos. http://europa.eu/eu-law/decision-making/legal-acts/index_es.htm [Consultado el 15 de junio de 2016].

²¹ Las recomendaciones no son vinculantes. Permiten a las instituciones dar a conocer sus puntos de vista y sugerir una línea de actuación sin imponer obligaciones legales a quienes se dirigen. http://europa.eu/eu-law/decision-making/legal-acts/index_es.htm [Consultado el 15 de junio de 2016].

- Decreto del Presidente del Consejo de Ministros 18-07-1995. Acto de dirección y coordinación para determinar los criterios de integración y de coordinación entre las actividades cognitivas del Estado, de las Autoridades de Cuenca y de las Regiones para la redacción de los Planes de Cuenca, según la Ley 1989, n. 183, por el que se establecen disposiciones para la reestructuración orgánica y funcional de la defensa del suelo.
- Ley 05-01-1994, n. 37. Normas para la protección ambiental de las tierras públicas de los ríos, arroyos, lagos y otras aguas públicas.
- Decreto del Presidente de la República 14-04-1994. Acto de dirección y coordinación en relación a los procedimientos y criterios de las cuencas hidrográficas.
- Decreto de Presidente de la República 14-04-1993. Acto de dirección y coordinación a las regiones en relación a los criterios y modalidades para la redacción de los programas de manutención hidráulica y forestal.
- Decreto del Presidente de la República 07-01-1992. Acto de dirección y coordinación para determinar los criterios de integración y de coordinación entre las actividades cognitivas del Estado, de las Autoridades de Cuenca y de las Regiones para la redacción de los Planes de Cuenca.
- Ley 08-11-1991, n. 360. Intervenciones urgentes para Venecia y Chioggia.
- Ley 07-08-1990, n. 253. Disposiciones complementarias a la Ley 183/89.
- Decreto del Presidente del Consejo de Ministros 23-03-1990. Acto de dirección y coordinación para el desarrollo y la adopción de sistema provisionales y programáticos del artículo 31 de la Ley 18-05-1989, n. 183, por la que se establecen normas para la reestructuración orgánica y funcional de la defensa del suelo.
- Ley 18-05-1989, n. 183. Normas para la reestructuración orgánica y funcional de la defensa del suelo.
- Real Decreto 30-12-1923, n. 3267. Reordenación y reforma de la legislación en materia de bosques y de terrenos montañosos.
- Real Decreto 25-07-1904, n. 523. Texto único de las disposiciones de ley en relación a las obras hidráulicas de diferentes categorías.

Región Toscana

- Ley Regional 11-12-1998, n. 91. Normas para la defensa del suelo.
- Ley Regional 1-12-1998, n. 88. Atribución a los entes locales y disciplina general de las funciones administrativas y de las tareas en materia de urbanismo y planificación territorial, protección de la naturaleza y del medioambiente, tutela del medioambiente de la contaminación y gestión de los residuos, recursos hídricos y defensa del suelo, energía y recursos geotérmicos, obras públicas, carretas y trasportes conferidos a la Región por el Decreto Legislativo 31-03-1998, n. 112.
- Deliberación Consejo Regional n. 155, 20-05-1997. Directrices sobre los criterios de diseño para la implementación de intervenciones en el ámbito de la defensa hidrogeológica.
- Ley Regional 11-07-1994, n. 50. Intervenciones estructurales destinadas a garantizar la seguridad hidráulica de las cuencas hidrográficas de Toscana.

5.2. EL RIESGO DE MOVIMIENTOS DE LADERA Y LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

En Italia el riesgo de movimientos de ladera se incluye dentro del llamado “riesgo hidrogeológico”, es decir, se trata del riesgo de inestabilidad de las laderas o de los cursos fluviales bajo ciertas condiciones ambientales, meteorológicas y climáticas, que pueden agravarse debido a las actividades del ser humano sobre el territorio (Gisotti, 2012). En otras palabras, el riesgo hidrogeológico incluye dos tipos de riesgos naturales principales: los movimientos de ladera y las inundaciones. Como se explicará en el siguiente apartado, la consideración del riesgo hidrogeológico, y por tanto del movimiento de ladera, en la planificación territorial, es una tarea encomendada a las Autoridades de Cuenca.

La lucha o el control del riesgo hidrogeológico cuenta con dos momentos fundamentales: la previsión y la prevención (Gisotti, 2012). Según el art. 3 de la Ley 225/1992 *Institución del Servicio Nacional de Protección Civil*, la previsión del riesgo “consiste en las actividades dirigidas al estudio y a la determinación de las causas de fenómenos desastrosos, a la identificación de los riesgos y a la delimitación de las zonas del territorio sujetas a dichos riesgos”. Dichas actividades incluyen, por ejemplo, la elaboración de mapas de peligrosidad y riesgo.

Partiendo de la citada definición de previsión, se llega a la prevención, es decir, una vez realizada la cartografía de peligrosidad y riesgos, se pasa a la adopción de intervenciones para su mitigación (ya que es imposible eliminar completamente el riesgo). La prevención consiste en aplicar tanto con medidas no estructurales como medidas estructurales (UNDRO, 1991):

Las medidas no estructurales incluyen:

- A nivel normativo: prescripciones técnicas que impongan la construcción de viviendas e infraestructuras capaces de resistir a los posibles desastres.
- A nivel de planificación: la redacción de planes específicos sobre riesgos naturales. Pueden ser tanto planes territoriales sectoriales como planes de actuación e intervención ante situaciones de riesgo, tarea que por lo general lleva a cabo la Protección Civil.
- A nivel técnico-científico: estudios e investigaciones sobre los materiales y técnicas a utilizar en las obras para reducir el riesgo.
- A nivel informativo: la educación, formación e información a las administraciones, entes públicos y privados y población para actuar ante situaciones de riesgo.

Las medidas estructurales incluyen la realización de obras con las cuales se estabilizan las laderas. Algunos de los métodos más utilizados (Gutiérrez, 2008) son: el drenaje superficial (utilizando canaletas o zanjas de drenaje que conducen el agua a zonas externas al deslizamiento) o subterráneo (empleando drenes horizontales, pozos verticales, galerías de drenaje y zanjas con relleno drenante; la repoblación forestal, a través del reforzamiento de las raíces, interceptación de la lluvia y evapotranspiración; la siembra de cubierta vegetal, ya que disminuye la erosión superficial y las raíces de las plantas absorben agua e incrementan la resistencia al cizallamiento; las mallas metálicas, muy utilizadas para evitar caídas de rocas a las vías de comunicación; las inyecciones de hormigón, que evitan la meteorización y caída de fragmentos; y la construcción de muros de sostenimiento, contención y revestimiento; o el descabezamiento, que consiste en reducir el peso en la parte superior del talud.

5.2.1. Las cuencas hidrográficas y las Autoridades de Cuenca

La Ley 183/1989 (Título II, Capítulo I, artículo 13), ha identificado en la cuenca hidrográfica el ámbito territorial de referencia para defender el suelo y ha subdividido el territorio nacional italiano en cuencas hidrográficas en tres categorías: nacionales, interregionales y regionales. La delimitación de tales cuencas hidrográficas se ha llevado a cabo a partir de criterios geomorfológicos y ambientales (Nespor y De Cesaris, 2008). Se reconocen once cuencas hidrográficas nacionales (siete en la vertiente adriática y cuatro en la vertiente tirrénica), diecinueve cuencas interregionales (once en la vertiente adriática, cinco en la vertiente tirrénica y dos en la vertiente jónica) y multitud de cuencas regionales.

Cada una de ellas está gestionada por una Autoridad de Cuenca, que es un ente mixto, compuesto por Estado y/o Regiones que cuenta con un comité institucional, un comité técnico, un secretario general y una secretaría técnico-operativa (Artículo 12, Capítulo III, Título I). La Autoridad de Cuenca actúa en las cuencas hidrográficas, consideradas como unidad física indisoluble, sobre las cuales ejecutar las acciones de protección y defensa del territorio. Esto es, dicho en otras palabras, la redacción de los Planes de Cuenca y de los Planes de Ordenación Hidrológica.

Por lo que se refiere a Toscana, se encuentran hasta doce autoridades de cuenca: cuatro de ellas nacionales (Po, Arno, Tíber y Serchio), cinco interregionales (Magra, Reno, Lamone, Conca-Marecchia, Fiora) y tres regionales (Toscana Nord, Toscana Costa y Ombrone) (Figura 7 y Tabla 11).



Figura 7. Autoridades de Cuenca presentes en Toscana

Fuente: Morini et al., 2007.

Autoridad de Cuenca	Superficie (km ²)	Superficie en Toscana (km ²)	Provincias de Toscana
Arno	9.116	8.970	Arezzo, Florencia, Livorno, Lucca, Pisa, Pistoia y Siena.
Tíber	17.375	1.190	Arezzo
Serchio	1.565	1.565	Lucca, Pisa y Pistoia
Po	74.000	14	Massa-Carrara y Pistoia
Magra	1.713	993	Massa-Carrara y Lucca
Reno	4.925	573	Florencia, Pistoia y Prato
Lamone	500	218	Florencia
Conca-Marecchia	1.248	129	Arezzo
Fiora	825	422	Grosseto y Siena
Toscana Nord	375	430	Lucca y Massa-Carrara
Toscana Costa	2.766	2.725	Livorno
Ombrone	5.690	5.690	Grosseto y Siena

Tabla 11. Superficie de las cuencas hidrográficas en la región y en las provincias de Toscana.

Fuentes: <http://www.regione.toscana.it/-/piano-di-tutela-della-acque-della-toscana>

[Consultado el 9 de junio de 2016].

5.2.2. Los Planes de Cuenca: valor, objetivos y contenidos

El artículo 17, del Título II de la Ley 183/1989 hace referencia a los valores, objetivos y contenidos del Plan de Cuenca. En relación a los movimientos de ladera cabe destacar los siguientes aspectos:

El valor que asume el Plan de Cuenca: “El Plan de Cuenca tiene valor de plan territorial sectorial y es el instrumento cognitivo, normativo y técnico-operativo mediante el cual se planifican y programan las actuaciones y las normas con el fin de conservar, defender y valorar el territorio, así como el correcto uso de los recursos hídricos según las características físicas y ambientales del territorio” (Ley 183/1989, Título II, Capítulo II, Artículo 17, Apartado 1).

Los objetivos del Plan de Cuenca:

- La ordenación, la conservación y la recuperación del suelo de las cuencas hidrográficas, con intervenciones hidrogeológicas, hidráulico-forestales, hidráulico-agrarios, silvo-pastoriles y de forestación (...) (apartado a, punto 1, artículo 3, Capítulo I, Título I, Ley 183/1989)
- La defensa y la consolidación de las laderas y áreas inestables, y la defensa de los núcleos de población e infraestructuras contra los movimientos de ladera, avalanchas y otros fenómenos de inestabilidad (apartado e, punto 1, artículo 3, Capítulo I, Título I, Ley 183/1989).

Los contenidos del Plan de Cuenca:

- El cuadro cognitivo y actualizado del sistema físico y de los usos del territorio previstos por los instrumentos urbanísticos municipales e intermunicipales (apartado a, punto 3, artículo 17, capítulo II, Título II, Ley 183/1989).

- La identificación y cuantificación de las situaciones, en acto o potenciales, de degradación del sistema físico y sus causas (apartado b, punto 3, artículo 17, capítulo II, Título II, Ley 183/1989).
- Las directivas a las cuales deben uniformarse la defensa del suelo, la ordenación hidrogeológica e hidráulica y la utilización de las aguas del suelo (apartado c, punto 3, artículo 17, capítulo II, Título II, Ley 183/1989).
- La indicación de las zonas que deben someterse a vínculos especiales en relación a las específicas condiciones hidrogeológicas, con el objetivo de conservar el suelo y el ambiente, y prevenir futuros daños provocados por la acción antrópica (apartado m, punto 3, artículo 17, capítulo II, Título II, Ley 183/1989).

Además “los Planes de Cuenca están coordinados con los programas nacionales, regionales y sub-regionales de desarrollo económico y de uso del suelo. Por tanto, las autoridades competentes (...) poseen doce meses desde la aprobación del Plan de Cuenca para adecuar los planes territoriales y los programas regionales previstos por la Ley n. 984/1977” (apartado 4, artículo 17, Capítulo II, Título II, Ley 183/1989). Por tanto, el resto de planes territoriales están subordinados al Plan de Cuenca.

5.2.3. Los Planes de Ordenación Hidrogeológica: estructura y contenidos

El Plan de Ordenación Hidrogeológica (PAI, por sus siglas en italiano) es uno de los muchos planes sectoriales que se incluyen dentro del Plan de Cuenca. El PAI contiene una detallada descripción de los riesgos hidrogeológicos existentes en la cuenca, identificados en la cartografía de riesgos, un programa con las intervenciones destinadas a reducir tal riesgo a niveles socialmente aceptables, y el plan financiero con todos los costes económicos que supone la ejecución del PAI.

A continuación, se explicará de forma sucinta la estructura y contenidos de los PAI de los ríos Arno (aprobado el 11/11/2004) y Serchio (aprobado el 01/02/2005), ya que, como se verá en el capítulo 6, son los instrumentos de planificación involucrados en los tres casos de estudio analizados.

PAI del río Arno

El objetivo general del PAI es “garantizar niveles de seguridad adecuados respecto a los fenómenos de inestabilidad hidráulica y geomorfológica en acto o potenciales” (art. 1, Norme di attuazione e allegati, Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio “Assetto Idrogeologico”). El PAI está constituido por tres bloques principales (art. 4: Norme di attuazione e allegati, Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio “Assetto Idrogeologico”):

- El informe general de la cuenca hidrográfica y el riesgo hidrogeológico, que incluye:
 - Una primera parte con la relación entre el PAI y la planificación de cuenca, y un breve recorrido a su evolución histórica.
 - Una segunda parte referente a la peligrosidad y el riesgo hidrogeológico.
 - Una tercera parte con el análisis territorial de la cuenca que incluye la geología estructural, los lineamientos y la evolución tectónica, la morfología y evolución de la cuenca hidrográfica, los procesos geomorfológicos actuales, la red hidrográfica, etc.

- Una cuarta parte con la metodología operativa para la delimitación de las áreas con peligrosidad hidráulica y de movimientos de ladera.
- Por último, un apartado con los problemas y criticidades surgidas en el análisis de las áreas en riesgo de inundaciones y de movimientos de ladera.
- Las normas de actuación, compuestas por 38 artículos.
- La cartografía de peligrosidad y riesgos, que incluye:
 - La delimitación de las áreas con peligrosidad hidráulica a escala 1:10.000 y 1:25.000.
 - Los elementos en riesgo de las áreas con peligrosidad hidráulica a escala 1:10.000.
 - La delimitación de las áreas con peligrosidad por fenómenos geomorfológicos de ladera a escala 1:10:000 y 1:25.000.
 - Los elementos en riesgo de las áreas con peligrosidad por fenómenos geomorfológicos de ladera a escala 1:10.000).

PAI del río Serchio

Por su parte el PAI del río Serchio está concebido para “mejorar, en un período de 15 años, las condiciones del régimen hidráulico y la estabilidad de las vertientes, reconduciendo los actuales niveles de riesgo a situaciones socialmente aceptables, a través del respeto de las características naturales y su dinámica, y la potencialidad de utilización del territorio, con el fin de permitir un desarrollo sostenible del territorio” (punto 1, art. 1, Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico).

El PAI persigue los objetivos generales de “identificación y delimitación de las áreas en peligro y en riesgo hidrogeológico; y definición de normas específicas de protección e identificación de las intervenciones de mitigación del riesgo” (punto 1, art. 3, Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico).

Al igual que en el caso anterior, los contenidos del PAI son (art. 6, Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico):

- El informe general de la cuenca hidrográfica y el riesgo hidrogeológico, que incluye:
 - Los rasgos territoriales que caracterizan a la cuenca: el encuadre geográfico, geológico y geomorfológico, la red hidrográfica y la estabilidad de las vertientes.
 - Un análisis sobre la identificación de las áreas susceptibles de sufrir movimientos de ladera. Se señala la clasificación de los movimientos de ladera, los mapas de peligrosidad e incluso el análisis de algunos deslizamientos producidos en la cuenca del Serchio.
 - Un análisis sobre la identificación de las áreas inundables, que incluye análisis hidrológicos, geomorfológicos, hidráulicos y las condiciones de peligrosidad hidráulica.
 - Los instrumentos de intervención y obras necesarias para reducir el riesgo hidrogeológico, es decir, las intervenciones estructurales y no estructurales.
- La cartografía de peligrosidad y riesgos, compuesta entre otros mapas por:
 - Los mapas de áreas en peligro de movimientos de ladera de la cuenca hidrográfica del Serchio a escalas 1:10.000 y 1:100.000.
 - Los mapas de áreas inundables con tiempos de retorno de 30 y 200 años a escalas 1:25.000 y 1:75.000.
- Las normas del plan, conformadas por 52 artículos, 12 directivas y 2 recomendaciones.

Metodología para la clasificación del riesgo de movimientos de ladera

Los entes encargados de realizar la planificación territorial y urbanística deben identificar y delimitar en sus planes la cartografía de riesgos de movimientos de ladera a escala 1:10.000. En ella deben establecer una clasificación con cuatro niveles de riesgo, teniendo en cuenta los elementos expuestos: asentamientos, infraestructuras, obras públicas y privadas, edificaciones aisladas, nuevas de zonas de expansión urbana, etc., tal y como se indica en el acto de orientación y coordinación del Decreto del Presidente del Consejo de Ministros del 29 de septiembre de 1998 (Tabla 12)²².

Riesgo		Descripción
Moderado	R1	Escasos daños a la sociedad, a la economía y al patrimonio ambiental.
Medio	R2	Daños menores a los edificios, a las infraestructuras y al patrimonio ambiental que no perjudican la seguridad de las personas, el uso de los edificios y el funcionamiento de las actividades económicas.
Elevado	R3	Aparecen problemas para la seguridad de las personas; daños funcionales a edificios y a infraestructuras con la consecuente inutilización de los mismos; la interrupción del funcionamiento de las actividades socioeconómicas; y daños relevantes al patrimonio ambiental.
Muy elevado	R4	Pérdida de vidas humanas y lesiones graves a personas; daños graves a edificios, infraestructuras y al patrimonio ambiental; destrucción de actividades socioeconómicas.

Tabla 12. Niveles de riesgo adoptados en Italia.

Fuente: DPCM 29 settembre 1998 «Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione, dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180».

²² D.P.C.M. 29-09-1998. http://www.aip-suoli.it/suolo/cd_leggi/doc/DPCM_29091998.pdf [Consultado el 9 de junio de 2016]

La identificación de los niveles de riesgo se utiliza con el objetivo de programar las intervenciones y establecer las prioridades de ejecución de las mismas. El riesgo que se deriva de los procesos hidrogeológicos, al que se hace referencia en el PAI, es el producto de tres factores, como se explicó en el capítulo 2, apartado 2.1.2: la peligrosidad o probabilidad de que suceda el fenómeno; el valor socioeconómico de los elementos expuestos; y la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Para calcular el riesgo, las autoridades de cuenca emplean la siguiente matriz (Tabla 5.3):

Tipo de inestabilidad	Nivel de peligrosidad (P) P1 Baja P2 Media P3 Elevada P4 Muy elevada	Peligrosidad = Intensidad (I) x probabilidad (p)	Elementos en riesgo (Vulnerabilidad)	Riesgo R = I x p x V	Niveles de riesgo R1 Moderado (1-6) R2 Medio (6-12) R3 Elevado (12-30) R4 Muy elevado (30-50)
A	P4	10	1-5	10-50	R2-R4
B	P3	7	1-5	7-35	R2-R4
C1	P3	7	1-5	7-35	R2-R4
C2	P3	7	1-5	7-35	R2-R4
C3	P2	3	1-5	3-15	R1-R3
C4	P4	10	1-5	10-50	R2-R4
C5	P4	10	1-5	10-50	R2-R4
C6	P4	10	1-5	10-50	R2-R4
D1	P4	10	1-5	10-50	R2-R4
D2	P4	10	1-5	10-50	R2-R4
E1	P3	7	1-5	7-35	R2-R4
E2	P2	3	1-5	3-15	R1-R3
E3	P1	1	1-5	1-5	R1
F	P1	1	1-5	1-5	R1
G	P1	1	1-5	1-5	R1

Tabla 13. Matriz de riesgo empleada por las Autoridades de Cuenca

Fuente: Direttiva n. 12 – Metodologia per la classificazione del rischio da frana e idraulico. Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico – Norme (T.U. 2014). Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio.
http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/piani/1_agg_pai/approvato/TU_NORME_PAI_2014.pdf

[Consultado el 9 de junio de 2016]

La definición de los tipos de inestabilidad es la siguiente:

Se consideran áreas con peligrosidad por movimiento muy elevada (P4):

- A: Movimientos de ladera activos.
- C4: Áreas sujetas a movimientos por erosión de la ribera del río.
- C5: Áreas en rocas coherentes y semi-coherentes sujetas a movimientos de ladera por fuerte pendiente. En especial: áreas expuestas a posibles desprendimientos.
- D2_a: Áreas afectadas por deformaciones gravitacionales profundas.

Se consideran áreas con peligrosidad por movimiento elevado (P3):

- B: Movimientos quiescentes, es decir, son deslizamientos inactivos, pero debido a sus condiciones morfológicas presentan una potencial inestabilidad y consecuente reactivación.
- C1: Áreas sujetas a movimientos en terrenos predominantemente arcillosos con pendientes pronunciadas y/o con situaciones morfológicas locales que favorecen su inestabilidad.
- C2: Áreas sujetas a movimientos en terrenos detríticos con pendientes pronunciadas.
- D1: Masas rocosas desplazadas por movimientos de ladera.
- D2_b: Área afectadas por deformaciones gravitacionales profundas.
- C3: Áreas sujetas a movimientos en terrenos arcillosos, arenosos y con conglomerados en pendientes pronunciadas.
- E1: Áreas que potencialmente pueden sufrir movimientos de ladera por sus características litológicas.

Se consideran áreas con peligrosidad por movimiento media (P2):

- E2: Áreas que potencialmente pueden sufrir movimientos de ladera por sus características litológicas.

Se consideran áreas con peligrosidad por movimiento baja (P1):

- E3: Áreas que potencialmente pueden sufrir movimientos de ladera por sus características litológicas
- F: Áreas con media estabilidad con esporádicos y locales indicios de inestabilidad y áreas estables con ausencia de movimientos activos o quiescentes.
- G: áreas de fondo de valle y/o llanuras.

Para la vulnerabilidad se establece un valor dependiendo del elemento en riesgo (Tabla 14):

Elementos en riesgo	Vulnerabilidad
<ul style="list-style-type: none"> • Asentamientos urbanos • Edificaciones aisladas • Presas e infraestructuras hídricas • Instalaciones recreativas, campings 	5
<ul style="list-style-type: none"> • Carreteras estatales • Carreteras provinciales • Carreteras municipales • Líneas ferroviarias 	4
<ul style="list-style-type: none"> • Líneas eléctricas • Acueductos, red de alcantarillado, depuradoras • Carreteras secundarias 	3
<ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones deportivas • Obras urbanas menores 	2
<ul style="list-style-type: none"> • Patrimonio ambiental 	1

Tabla 14. Vulnerabilidad de los elementos en riesgo

Fuente: Direttiva n. 12 – Metodologia per la classificazione del rischio da frana e idraulico. Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico – Norme (T.U. 2014). Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio.

http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/piani/1_agg_pai/approvato/TU_NORME_PAI_2014.pdf

[Consultado el 9 de junio de 2016]

En el caso de la cuenca hidrográfica del río Arno, el 78,4% de la superficie está en peligro por movimientos de ladera, lo que equivale a 7.154 km², como se muestra en la tabla 15:

Clase de peligrosidad por movimientos de ladera	Superficie (km ²)	Proporción respecto a la cuenca
P4 Muy elevada	10,0	0,11%
P3 Elevada	458,4	5,02%
P2 Media	2.234,7	24,47%
P1 Baja	4.442,3	48,65%
TOTAL	7.145,4	78,24%

Tabla 15. Superficie expuesta a cada clase de peligro de la cuenca hidrográfica del Arno (2010)

Fuente: Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Autorità di Bacino del Fiume Arno.

http://www.adbarno.it/rep/pai_parteV.pdf [Consultado el 9 de junio de 2016]

5.3. ESTRUCTURA DE LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN TOSCANA Y COORDINACIÓN CON LOS PLANES DE CUENCA Y PLANES DE ORDENACIÓN HIDROGEOLÓGICA

5.3.1. Estructura de la planificación territorial en Toscana

La estructura de la planificación territorial en Toscana está claramente jerarquizada en tres niveles, tal y como define el artículo 9 de la Ley Regional n. 1/2005 “Normas para el gobierno del territorio”. En el primero de ellos se encuentra el Plan de Orientación Territorial (PIT, por sus siglas en italiano), de escala regional; en el segundo nivel se encuentra el Plan Territorial de Coordinación Provincial (PTCP), de escala provincial; y en el último nivel se encuentran el Plan Estructural Municipal o Plan Regulador General (PRG), de escala municipal.

El Plan de Orientación Territorial

Tal y como se recoge en el artículo 48 de la L.R. 1/2005, el Plan de Orientación Territorial, identifica y define: “los sistemas territoriales y funcionales que definen la estructura del territorio (...) los principios para la utilización de los recursos esenciales y las prescripciones inherentes a los relativos niveles mínimos de prestación y calidad; las áreas declaradas de notable interés público” (punto 1, art. 48). Además “delinea la estrategia de desarrollo territorial” (punto 3, art. 48). Por último “los instrumentos de planificación de los municipios y provincias y los actores del gobierno del territorio, se adecuan al Plan de Orientación Territorial” (punto 6, art. 48).

El Plan Territorial de Coordinación

El artículo 51 de la L.R. 1/2005 se dedica al Plan Territorial de Coordinación, de escala provincial. Debe identificar y definir: “los sistemas territoriales y funcionales que definen la estructura del territorio; (...) los criterios para la utilización de los recursos esenciales; los criterios para la recualificación y la valorización de los paisajes y la identificación y descripción de los ámbitos paisajísticos de interés provincial” (punto 1, art. 51). También “delinea la estrategia de desarrollo territorial de la provincia” (punto 2, art. 51). “Los instrumentos de planificación de los municipios y los actores de gobierno del territorio se adecuan al Plan Territorial de Coordinación” (punto 5, art. 51).

El Plan Regulador General

Por su parte, el Plan Regulador General, de escala municipal, se recoge en el artículo 53 de la L.R. 1/2005. Identifica y define “los recursos que constituyen la estructura identitaria del territorio municipal a través de la identificación de los sistemas y de los sub-sistemas territoriales y funcionales: (...) los principios de gobierno del territorio; los criterios para la utilización de los recursos esenciales y los relativos niveles mínimos prestacionales y de calidad referidos a cada sistema territorial y funcional; la disciplina de la valorización del paisaje y las disposiciones a nivel de detalle de protección del ambiente, de los bienes paisajísticos y culturales según las directrices del Plan de Orientación Territorial y del Plan Territorial de Coordinación” (punto 1, art. 53). También hay que mencionar que el Plan Regulador General se subordina a los planes anteriormente descritos (apartado b, punto 3, art. 53).

5.3.2. Adecuación de los instrumentos de gobierno del territorio con los Planes de Cuenca y los Planes de Ordenación Hidrogeológica

“Los Planes de Cuenca están coordinados con los programas nacionales, regionales y subregionales de desarrollo económico y de uso del suelo. Por tanto, las autoridades competentes (...) poseen de doce meses desde la aprobación del Plan de Cuenca para adecuar los planes territoriales y los programas regionales previstos por la Ley n. 984/1977” (apartado 4, artículo 17, Capítulo II, Título II, Ley 183/1989).

“Las disposiciones del Plan de Cuenca aprobado tienen carácter inmediatamente vinculante para las administraciones, entes públicos y privados (...)” (apartado 5, artículo 17, Capítulo II, Título II, Ley 183/1989).

Como prevé la Ley 183/1989, el Plan de Cuenca debe coordinarse con los programas y los planes nacionales, regionales y subregionales de desarrollo económico y de uso del territorio, que están todos ellos, subordinados a sus normas. El Plan de Cuenca, a partir del conocimiento del territorio, la identificación y definición de los objetivos estratégicos, debe ser capaz de dictar reglas claras y concretas que constituyan las directrices sobre las cuales los demás planes sectoriales deben adecuarse y subordinarse. Además, debe establecer las acciones clave con las que alcanzar dichos objetivos estratégicos.

La misma situación se aplica a los PAI, tal y como recoge el artículo 27 de las normas de actuación del PAI del río Arno: “Las administraciones y los entes públicos territoriales afectados están obligados, de conformidad con la normativa vigente, a adecuar los propios instrumentos de gobierno del territorio a las disposiciones contenidas en el PAI. Tras la aprobación del PAI las administraciones competentes proceden a verificar la coherencia entre el PAI y los propios instrumentos de planificación urbana. Los resultados de dicha verificación se comunicarán a la Autoridad de Cuenca en un plazo de noventa días desde la entrada en vigor del PAI” (art. 27, Título II, Norme di attuazione e allegati, Piano di bacino del fiume Arno, stralcio “Assetto Idrogeologico”).

En definitiva, el Plan de Cuenca y sus planes sectoriales, se configuran como instrumentos para utilizar el territorio, a partir de su vocación natural, al cual se asocia un programa de intervenciones para mejorar el estado del medioambiente y reducir los riesgos naturales. Son además instrumentos de programación sintéticos, abiertos, en continua actualización, es decir, operan en función de las dinámicas territoriales para adecuarse a las mismas.

6. CASOS DE ESTUDIO

Una vez analizados el contexto territorial de Toscana, y la normativa y planificación territorial en relación a los movimientos de ladera, se presentan y analizan tres casos de estudio en los que se han producido deslizamientos que han afectado y dañado, tanto a infraestructuras como a viviendas y personas, causando importantes pérdidas económicas y sociales.

Al igual que se han producido estos tres movimientos de ladera, anualmente se producen cientos de ellos en Toscana, de hecho, hasta 2013 se habían censado 112.759 en toda la región, de los cuales 23.519 estaban activos. Por tanto, se pretende seleccionar y presentar algunos de los deslizamientos más conocidos y que han tenido mayores repercusiones en Toscana en los últimos años.

Todos los estudios de caso han tenido lugar en el sector noroccidental de Toscana, una de las zonas con mayor propensión a los movimientos de ladera, debido a la configuración orográfica del terreno y a las específicas condiciones climáticas, caracterizadas por precipitaciones torrenciales muy localizadas. Las localidades donde se han producido por orden cronológico son Corbezzoli (municipio y provincia de Pistoia), Piaggiagrande (municipio de Barga, provincia de Lucca) y Ripafratta (municipio de San Giuliano Terme, provincia de Pisa).

Además, es importante mencionar que cada uno de estos movimientos de ladera ha sido reciente, ya que se han producido en los últimos dos años, por lo que se trata de un tema de actualidad y existe una línea de investigación abierta.

En cada estudio de caso se pretende analizar el movimiento de ladera en sí, sus causas y consecuencias, y, sobre todo, la relación que presentan con la planificación del territorio, es decir, si pudieron o no evitarse dichos movimientos, y si se han modificado la normativa y planificación territorial una vez que se han producido.

6.1. DESLIZAMIENTO EN LA LÍNEA FERROVIARIA PORRETTANA

El deslizamiento se produjo junto a las vías de la línea Porrettana, entre los puntos kilométricos 50+650 y 50+730, a escasos metros de la estación de Corbezzi y el pequeño asentamiento rural de montaña de Casciano ($43^{\circ}59'28''N$, $10^{\circ}54'57''E$) (Figura 8), pertenecientes al municipio y provincia de Pistoia (Figura 9). Esta área corresponde con la vertiente sureste de la cuenca del torrente Brana, en el Apenino de Pistoia, torrente que después de haber superado la llanura de Pistoia confluye en el río Ombrone, tributario del río Arno. Por tanto, el deslizamiento se produjo dentro de la cuenca hidrográfica del río Arno.



Figura 8. Imagen satélite de las obras de estabilización de la ladera junto a las vías férreas

Fuente: Google Earth. Fecha de la imagen: 27 de agosto de 2015.



Figura 9. Localización de Corbezzi (Pistoia) en el norte de Toscana

6.1.1. Descripción del deslizamiento

El deslizamiento de tierra que se produjo junto a la estación de tren de Corbezzi tuvo lugar en la noche del 4 al 5 de enero de 2014. En este caso no se provocó una amenaza directa a personas o viviendas, sino la paralización del transporte ferroviario en el tramo entre Porretta Terme (Emilia-Romaña) y Pistoia (Toscana) durante varios meses, lo que causó un grave perjuicio para los usuarios que utilizaban a diario esta línea en sus movimientos pendulares.

La corona del deslizamiento tuvo lugar a pocos centímetros de las vías del tren, ladera abajo, sin llegar a dañarlas. El material deslizado está compuesto por areniscas turbidíticas *silicoclásticas* y areniscas *cuarzo-feldespáticas grises en estratos de grosor medio a espeso, del Mioceno Inferior (Hoja 262-Pistoia del Mapa geológico de Italia 1:50.000)*. El deslizamiento tuvo un espesor de pocos metros, y recorrió una distancia aproximada de 7 metros desde el trazado ferroviario (Figura 10).

Se trata de un deslizamiento complejo, que comparte características con los deslizamientos rotacionales y traslacionales. De hecho, según Morini et al. (2007) el 56,7% de los movimientos de ladera en Toscana son deslizamientos de tipo rotacional/traslacional, y el mayor daño causado por los movimientos de ladera recae sobre las estructuras viarias.



Figura 10. Imágenes del deslizamiento en la línea Porrettana poco después de producirse

Fuente: Provincia di Pistoia (2014).

6.1.2. Posibles causas

Las hipótesis sobre las causas que desencadenaron el deslizamiento coinciden en la misma dirección, es decir, en las condiciones hidrogeológicas a las cuales ha estado sometida la ladera los días previos al deslizamiento. Las intensas precipitaciones registradas en toda en el Apenino Tosco-Emiliano entre finales de 2013 y principios de 2014 podrían haber sido el principal factor desencadenante del deslizamiento, actuando a través de la acción erosiva sobre el material litológico situado junto a las vías.

En Corbezzi se estima que cayeron entre 100,1 y 150 mm el 4 de enero de 2014, y entre 40,1 y 60 mm el 5 de enero de 2014. Lo que supone una total acumulado de entre 140,1 y 210 mm (Regione Toscana, 2014a) Tomando como referencia que en 2013 precipitaron en esta localidad entre 2.000 y 2.250 (Regione Toscana, 2014b), supone que aproximadamente en dos días llovió una décima parte de las precipitaciones que se recibieron durante el año anterior.

6.1.3. Consecuencias

Como medida inmediata se procedió al cierre del tráfico ferroviario del área afectada por el deslizamiento, lo que significó la interrupción de toda la línea 255 Bolonia-Pistoia, más conocida como línea Porrettana, y un grave perjuicio para los desplazamientos pendulares entre estas dos localidades. Posteriormente se ofreció un servicio de transporte alternativo en autobús, no sin dificultades, debido a los retrasos causados por el tráfico en horas punta, lo que provocó numerosas protestas por parte de los usuarios. Prácticamente durante todo el año 2014 la estación de Corbezzi permaneció cerrada.

Los costes económicos fueron de un total de 1.800.000 €, de los cuales la Red Ferroviaria Italiana cubrió 1.300.000 € y la Región Toscana 500.000 €.

6.1.4. Relación del deslizamiento con la planificación territorial

La línea Porrettana, que atraviesa el Apenino Toscano-Emiliano, se proyectó y construyó en 1845, y se inauguró en 1864. Por su parte, la estación de Corbezzi se abrió en 1861. (Ottanelli et al., 2014). Nunca antes se había producido un deslizamiento en esta zona (Lelli, 2015), si bien según la cartografía de riesgos por movimientos de ladera producida por la Autoridad del río Arno en octubre de 2004, la ladera ya estaba identificada como “zona con peligrosidad elevada 3” (Figura 11), es decir, indica la peligrosidad inducida por movimientos de ladera activos, o movimientos inactivos que presentan señales de inestabilidad (movimientos quiescentes).

Sin embargo, pese a que advertía desde hace 9 años de la peligrosidad en la que se encontraba la línea ferroviaria, no se llevó a cabo ningún tipo de medida estructural o no estructural para mitigar los posibles daños del proceso.

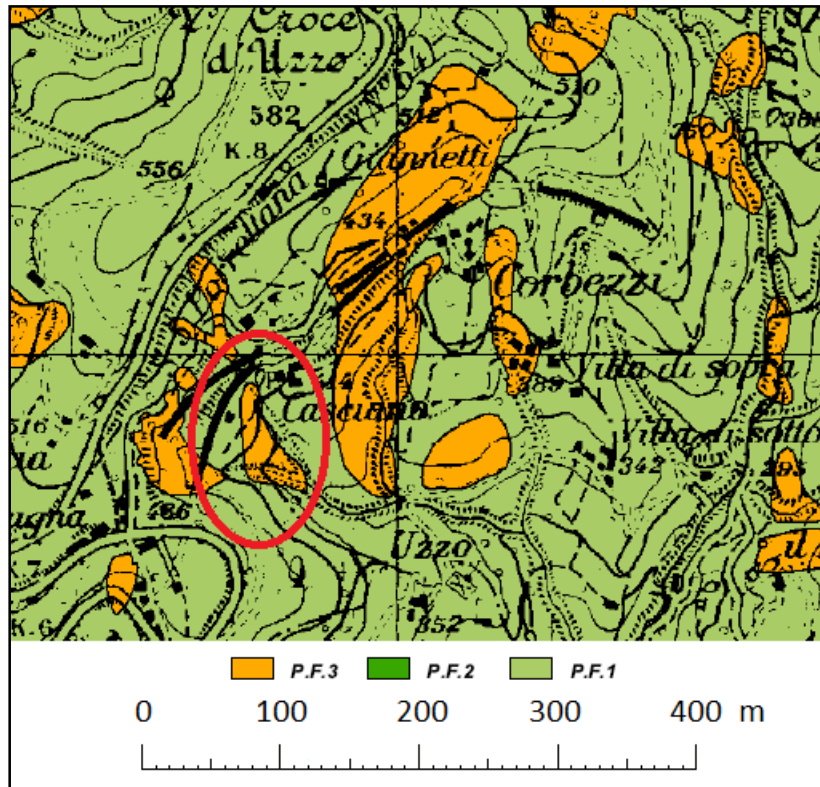


Figura 11. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera del área afectada. La elipse roja señala la zona deslizada

Fuente: Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante - livello di sintesi. Stralcio n. 16 (Piano di Bacino del fiume Arno - Piano Stralcio Assetto Idrogeologico).

6.1.5. Intervenciones para estabilizar la ladera

Los actores implicados en resolver los problemas causados por el deslizamiento fueron varios, entre los que se incluyen el ayuntamiento y la provincia de Pistoia, la región Toscana y la Red Ferroviaria de Italia (RFI), propietaria de todas las instalaciones ferroviarias del país.

Las obras de drenaje se ejecutaron inmediatamente después del deslizamiento para regular y drenar las aguas superficiales y para estabilizar la ladera. El objetivo de estas intervenciones fue controlar las condiciones hídricas del entorno e impedir infiltraciones de agua en las zonas inestables para limitar la escorrentía superficial, y, por tanto, controlar la erosión (Figura 12).

La importancia de la realización de las obras y la reactivación del tráfico estaba justificada por diferentes motivos, entre los principales cabe destacar: la movilidad de personas y mercancías, ya que la accesibilidad con el tren a estos núcleos permite la permanencia de la población en la montaña, da la posibilidad a los habitantes de ir al puesto de trabajo, a los centros de estudio y de acceder a los servicios; el impacto ambiental que produce una mayor saturación del tráfico rodado y contaminación con el nuevo servicio de autobuses, que circulaban por las carreteras SS 64 y SS 66; el turismo, ya que esta línea se considera una infraestructura de gran valor histórico y arquitectónico por parte de los habitantes de la zona y usuarios que la utilizan.

Tras considerar estos y otros motivos se procedió al estudio y diseño de las intervenciones que se realizarían. Una tarea ardua y lenta que duró cinco meses. En mayo de 2014 se aprobó el proyecto de obras para estabilizar la ladera y poder reabrir el tráfico ferroviario. El proyecto final consistió en las siguientes intervenciones, tal y como se explica en una entrevista concedida por una ingeniera de la obra al periódico *Il Tirreno* el 14 de diciembre de 2014:

Para reconstruir el muro que ya existía en la obra originaria – dice Maria Gloria Imbroglini, ingeniera responsable de las obras en el deslizamiento – se han colocado 204 micro-palos como cimientos y, encima, se ha instalado el muro, realizado con una doble placa prefabricada y revestido con material granítico completado con la capa de hormigón armado para garantizar la estabilidad de los anclajes. El periodo inicial de las obras ha sido muy complicado sobre todo para que llegasen la maquinaria y los medios, y las abundantes precipitaciones en el mes de julio han ralentizado el progreso de las obras. La única modificación respecto a la situación anterior al deslizamiento ha sido el cambio de los dos postes de alimentación de la línea que se habían deslizado y ahora se encuentran al otro lado de las vías para garantizar una mayor estabilidad²³.

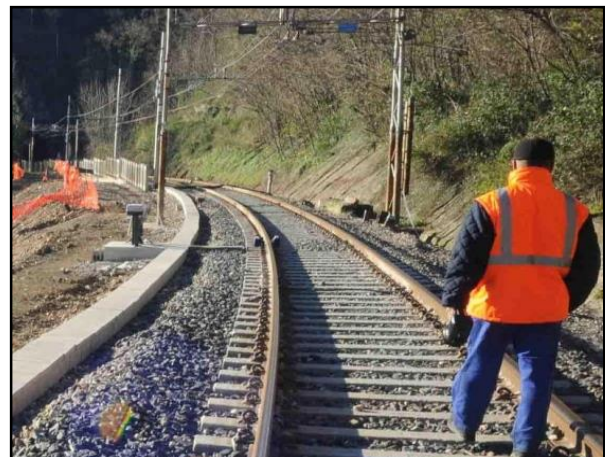


Figura 12. Obras de estabilización de la ladera deslizada

Fuente:

<http://iltirreno.gelocal.it/pistoia/cronaca/2014/10/03/news/treni-decisa-la-data-di-riapertura-della-porrettana-1.10046181>

Fuente:

<http://iltirreno.gelocal.it/pistoia/cronaca/2014/12/14/news/ducento-micropali-per-la-porrettana-1.10498569>

²³<http://iltirreno.gelocal.it/pistoia/cronaca/2014/12/12/news/riapre-la-vecchia-linea-ferroviaria-porrettana-1.10484374> [Consultado el 23 de junio de 2016]

En total las obras se realizaron en 165 días, trabajando todos los días entre 16 y 20 horas con dos turnos de 15 a 20 operarios. Comenzando el 16 de junio de 2015 y finalizando el 27 de noviembre de 2015. Se esperaba que la fecha de la reapertura de la línea ferroviaria fuese breve, debido a que en octubre de 2014 se cumplía el 150º aniversario de la inauguración de la línea Porrettana, sin embargo, no fue hasta el 27 de noviembre de 2014 cuando terminaron los trabajos de rehabilitación y finalmente, el 14 de diciembre de 2014, se abrió de nuevo el tráfico ferroviario (Figuras 13 y 14).



Figura 13. Momento de la reapertura de la línea con el tren que parte desde Pistoia

Fuente: <http://www.nove.firenze.it/slir/w900-h600/images/8/5/85-foto-2.jpg>



Figura 14. Momento del tren a su paso por la zona deslizada

Fuente: <http://www.nove.firenze.it/slir/w900-h600/images/8/5/85-foto-3.jpg>

6.1.6. Situación actual

En el trabajo de campo se comprobó que la ladera está estabilizada tras las obras de sujeción de la misma, y el tráfico ferroviario de la línea Porrettana ha vuelto a ofrecer el mismo servicio anterior al deslizamiento (Figura 15). Sin embargo, debido a que ni la Autoridad de Cuenca del río Arno, ni el municipio de Pistoia han actualizado la cartografía de peligrosidad por movimientos de ladera, queda por conocer si se ha modificado en el nivel de peligrosidad de la ladera.



Figura 15. Situación actual después de las obras de estabilización de ladera

Fuente: Dipartimento Infrastrutture di Comunicazione e Trasporti (2014).

6.2. DESLIZAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE PIAGGIAGRANDE

Este deslizamiento se produjo en la pequeña localidad de Piaggiagrande (municipio de Barga, provincia de Lucca), en el Monte Renaiolo, en el valle medio del río Serchio (noroeste de Toscana) ($44^{\circ}4'53''\text{N}$, $10^{\circ}30'19''\text{E}$) (Figuras 16 y 17). Se trata de un área predominantemente rural entre los Alpes Apuanos y el Apenino Tosco-Emiliano, caracterizada por pendientes muy pronunciadas, materiales litológicos poco consistentes (detritos, arenas, limos, arcillas, etc.) y fuertes precipitaciones en ciertas épocas del año, lo que suele originar una gran cantidad de movimientos de ladera como deslizamientos y flujos de detritos (Giannecchini et al., 2012).



Figura 16. Imagen satélite del deslizamiento de Piaggiagrande

Fuente: Google Earth, imagen del 9 de junio de 2014.



Figura 17. Localización de Piaggiagrande en el noroeste de Toscana

6.2.1. Descripción del deslizamiento

El deslizamiento se desencadenó como consecuencia de varios días con precipitaciones intensas y continuas sobre el valle del río Serchio. El 19 de enero de 2014 se empezaron a avistar las primeras grietas y separaciones del material de la ladera. Al día siguiente el deslizamiento alcanzó su mayor velocidad y magnitud provocando un paisaje desolador tras destruir una carretera de montaña y dos viviendas agrícolas rodeadas por bosques de castaños en Piaggiagrande (Figura 18).

Según el “*Geomorphological Investigations on Landslide Dams*”²⁴, proyecto realizado por investigadores de la Universidad de Florencia sobre las características de los movimientos de ladera en Italia, el deslizamiento de Piaggiagrande se clasifica como rotacional-traslacional, y cuenta con dimensiones excepcionalmente grandes que se detallan a continuación.

El talud presentaba una inclinación importante ($19,7^\circ$) y unos materiales frágiles compuestos por depósitos detríticos: acumulación de fragmentos líticos con matriz arenosa o limo-arenosa en cantidades variables. La corona del deslizamiento se produjo a 643 m de altitud, el material se movilizó a lo largo de 245 metros, cubrió una anchura máxima de 130 metros y se detuvo a unos 558 m de altitud, al alcanzar el cauce del torrente Lopporetta, que quedó bloqueado parcialmente (Figura 20). Esta obstrucción dio lugar a la formación de un pequeño lago con un volumen de 2.000 m^3 . En total se calcula que el deslizamiento tuvo un espesor de 30 metros, un volumen de 700.000 m^3 y alcanzó una velocidad máxima de $5,00\text{E}^{-04} \text{ m/s}$.



Figura 18. Vistas del deslizamiento desde el helicóptero de bomberos

Fuente: Vigili del Fuoco.

²⁴ Geomorphological investigations on landslides dams. Department of Earth Sciences University of Firenze. https://static-content.springer.com/esm/art%3A10.1186%2Fs40677-015-0030-9/MediaObjects/40677_2015_30_MOESM1_ESM.pdf [Consultado el 15 de junio de 2016].



Figura 19. Las dos viviendas afectadas por el deslizamiento

Fuente: Foto Borghesi.

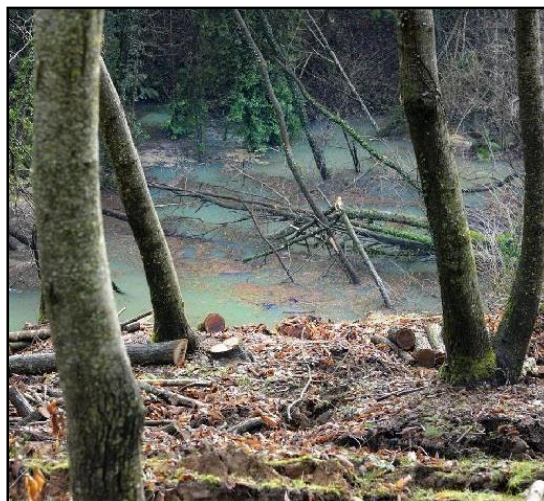


Figura 20. Imagen del lago formado por el deslizamiento

Fuente: Foto Borghesi.

6.2.2. Posibles causas

Como se ha mencionado anteriormente, las montañas del valle del Serchio presentan todos los condicionantes necesarios para que se produzcan movimientos de ladera, pendientes pronunciadas, materiales poco consistentes e impermeables, y precipitaciones torrenciales. En este caso, el principal desencadenante fueron las intensas precipitaciones a las que estuvo sometido el sector noroccidental de Toscana durante el mes de enero de 2014. Cabe destacar que en el valle medio del río Serchio la precipitación media anual (período 1951-1980) se sitúa entre los 1.300 y los 1.700 mm, y en algunos puntos de los Alpes Apuanos pueden llegar a 3.000 mm (Giannecchini et. al., 2012).

En enero de 2014 se produjeron dos episodios de precipitaciones intensas y continuadas. El primero, los días 4 y 5 de enero, cuando se registraron más de 150 mm en 48 horas. Las provincias de Luca y Massa-Carrara fueron las más afectadas por una gran cantidad de deslizamientos sobre varias vías de comunicación primarias (Regione Toscana, 2014b). Dos semanas más tarde, del 16 al 19 de enero, de nuevo se registraron una gran cantidad de precipitaciones en la misma zona, que ya estaba en alerta. Esta vez se alcanzaron los 249 mm en apenas 96 horas en la localidad de Renaio, a 995 m de altitud y apenas a 3,5 km de Piaggiagrande. El 16 de enero precipitaron 10 mm, el 17 de enero 68 mm, el 18 de enero 129 mm, el 19 de enero 42 mm²⁵. En toda la provincia de Lucca en el mes de enero de 2014 llovió el doble con respecto a la media de 1971-2000, pasando de 116 mm para este periodo a 360 mm en el primer mes de 2014²⁶.

²⁵ Autorità di Bacino. Bacino pilota del Fiume Serchio. Cumulate pioggia tra giovedì 16 Gennaio e domenica 19 Gennaio 2014. <http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/upload/notizie/2014/tabella-cumulata-16-19-gennaio.pdf> [Consultado el 15 de junio de 2016].

²⁶ Consorzio LaMMA <http://www.lamma.rete.toscana.it/news/gennaio-%C3%A8-piovuto-il-triplo-rispetto-alla-norma> [Consultado el 15 de junio de 2016].

6.2.3. Consecuencias

El 19 de enero de 2014, cuando se detectaron los primeros indicios del deslizamiento, se desalojó de forma inmediata a las tres familias que vivían en Piaggiagrande, las cuales encontraron alojamiento gracias a sus parientes. Pocas horas más tarde el deslizamiento adquirió una gran velocidad y destruyó dos viviendas rurales de autoconstrucción, levantadas por los propietarios a finales de los años setenta, así como sus tierras de labor, que quedaron irrecuperables (Figuras 19 y 21)²⁷. Además, produjo la destrucción parcial de la carretera de montaña de Renaio, construida en los años cincuenta, a la altura de Piaggiagrande. La carretera mostraba una gran cantidad de fracturas y desniveles (Figura 22), por lo que se procedió a su cierre inmediatamente, dejando a las localidades de Beltempo y Renaio incomunicadas durante varios meses. Además, el deslizamiento llegó a bloquear el torrente Lopporetta al formarse un lago con todas las precipitaciones que continuaron posteriormente.



Figura 21. Vivienda inclinada e inhabitable

Fuente: Foto Borghesi.



Figura 22. Rupturas en la carretera

Fuente: Massimo Pia.

Tras las intensas lluvias el estado crítico de la zona era tal que se declaró a dicho evento de relevancia regional para las provincias de Lucca, Massa-Carrara, Pisa, Pistoia y Prato a través del Decreto del Presidente de la Junta Regional n. 6 del 21 de enero de 2014, y se solicitó el reconocimiento de “emergencia nacional” para la cual se realizó una primera estimación de los daños. En total fueron 5 provincias y 74 municipios en Toscana afectados por las precipitaciones que causaron tantos deslizamientos.

La estimación de los daños económicos para toda Toscana fue de unos 16 millones de euros de “suma urgencia”, y más de un centenar de daños a bienes públicos y privados. El 74% de los mismos se produjo en las provincias de Lucca y Massa-Carrara. Los daños económicos estimados por el deslizamiento de Piaggiagrande se estiman en 1,5 millón de euros²⁸, aportados por los Fondos Regionales de Toscana.

²⁷ Il giornale di Barga, 20/01/2014, <http://www.giornaledibarga.it/?pg=8&id=8792> [Consultado el 15 de junio de 2016].

²⁸ Il giornale di Barga, 11/06/2015. <http://www.giornaledibarga.it/?pg=8&id=11630> [Consultado el 15 de junio de 2016].

Las administraciones locales y provinciales apuntan a varias causas que explican la gravedad de estos acontecimientos, como la despoblación y el abandono de la montaña y el cambio climático, incluso se llega a afirmar que en la localidad de Barga la intensidad de las precipitaciones ha aumentado en un 900% en los últimos veinte años²⁹.

6.2.4. Relación del deslizamiento con la planificación territorial

El deslizamiento se produjo en un área rural de montaña con hábitat disperso, donde la propiedad del terreno es privada. Las únicas competencias que tienen los ayuntamientos para regular el uso del suelo en propiedades privadas es regular el límite de alturas de las edificaciones, pero no establece dónde se puede o no construir dentro de las mismas. En el caso de la carretera, vía de comunicación de propiedad municipal, no existía ninguna medida para protegerse frente a los continuos movimientos de ladera que se producen en la zona.

En estos casos, sucede que se construye en lugares donde no se posee un conocimiento previo de la susceptibilidad y peligrosidad a los movimientos de ladera, y en caso de que se produzcan, se asumen los posibles daños y pérdidas antes que invertir en seguridad. Cabe recordar que la carretera se construyó en la década de los cincuenta y las viviendas en la década de los setenta del siglo XX, probablemente sin estudios previos de la zona.

No obstante, en este mismo lugar ya se detectaron movimientos en 2010, lo que dio lugar a que la Autoridad del Río Serchio, encargada de elaborar la cartografía de riesgo de movimientos de ladera en este territorio, señalase al movimiento como “quiescente”, es decir, que está quieto, pero puede tener movimiento propio, tal y como se refleja en el “Mapa de los movimientos de ladera de la cuenca del río Serchio” a escala 1:10.000, publicado en diciembre de 2010 (Figura 23).

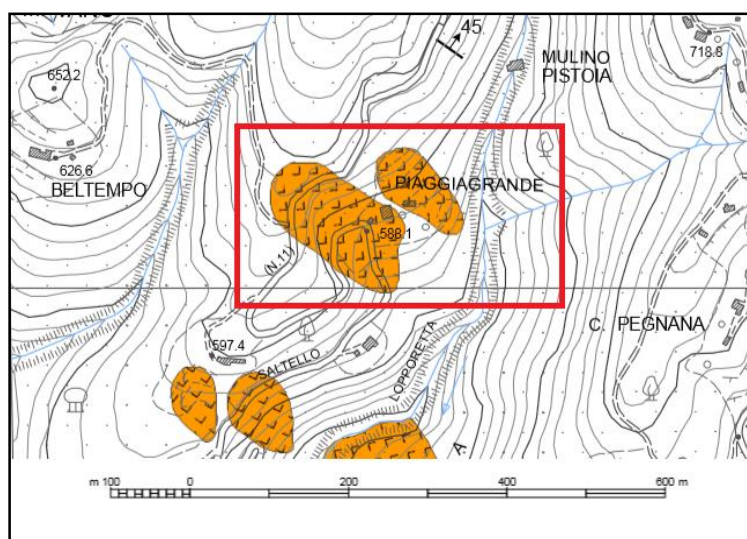


Figura 23. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera del área afectada. El recuadro rojo señala la zona deslizada

Fuente: Carta della franosità del Bacino del fiume Serchio 1:10.000, sezione 250010 (Autorità di Bacino del Fiume Serchio).

²⁹ Il giornale di Barga, 20/01/2014. <http://www.giornaledibarga.it/?pg=8&id=8792> [Consultado el 15 de junio de 2016].

Desde el momento que se publica la cartografía de riesgo de movimientos de ladera por parte de la Autoridad de Cuenca competente, las provincias y municipios deben prevenir estos posibles movimientos mediante intervenciones estructurales (medidas de protección como redes, muros de contención, etc.) o no estructurales (normativa). En el caso de Piaggiagrande no se llevó a cabo a ningún tipo de intervención, lo que aumentó la vulnerabilidad de la localidad, y por tanto se acabaron pagando los daños correspondientes tras el deslizamiento.

6.2.5. Intervenciones para estabilizar la ladera

El deslizamiento fue objeto de estudio y monitorización topográfica con una estación robotizada durante 180 días desde abril de 2014 por parte de la Región Toscana y del Departamento de Protección Civil³⁰.

Tres días después de producirse el deslizamiento, el 23 de enero de 2014, se proyectó la creación de un trazado alternativo a la carretera destruida por el deslizamiento, con el objetivo de comunicar las localidades de Beltempo y Renaio, que quedaron aisladas durante varios meses.

Una vez verificado que el deslizamiento estaba inmóvil, se procedió a la construcción de dicha carretera que se ha proyectado en dos fases. La primera ha consistido en crear una nueva ramificación de la antigua carretera de Renaio poco antes del deslizamiento y llegar hasta la localidad de Beltempo. Este primer tramo fue culminado en julio de 2015 con un coste de 600.000€³¹; La segunda fase, todavía en construcción, conectará Beltempo con Renaio, para su financiación se han solicitado nuevas ayudas a través del PSR (*Piano Sviluppo Regionale*) (Plan de Desarrollo Regional)³².

6.2.6. Situación actual

El deslizamiento está inmóvil, pero todavía no se ha garantizado su estabilidad al cien por cien. Las dos viviendas que quedaron medio destruidas siguen en su ubicación e inhabitables. El nuevo enlace de la carretera para conectar las localidades de Beltempo y Renaio todavía no se ha finalizado, no obstante, dichas obras no han supuesto una mayor inestabilidad para la ladera³³. Debido a que se han tenido que realizar algunas expropiaciones en terrenos privados se ha demorado el tiempo de construcción de la misma³⁴.

³⁰ Bollettino Ufficiale della Regione Toscana, 15/04/2014. Parte Prima n. 16. <http://www.regione.toscana.it/documents/10180/11643302/PARTE+I+n.+16+del+15.04.2014.pdf/07472173-0de3-48bb-afa2-f171f8f48008> [Consultado el 15 de junio de 2016].

³¹ Regione Toscana. Gestione commissariale per gli eventi alluvionali che hanno colpito nel mese nel periodo dal 1 gennaio 2014 all'11 febbraio 2014 il territorio della Regione Toscana. http://www301.regione.toscana.it/bancadati/atti/Contenuto.xml?id=5103548&nomeFile=Delibera_n.861_del_08-09-2015-Allegato-1 [Consultado el 15 de junio de 2016].

³² La Nazione. Edizione Lucca. Pagina 57. www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it/html/download.html?id=1420447644 [Consultado el 15 de junio de 2016].

³³ Comune di Barga. Determinazione del responsabile. A. Lavori pubblici e manutenzione. N. 359 del Reg. Generale. https://start.e.toscana.it/rtrt/pleiade/?pagina=download&nomeFile=EsitoGara_Comune+di+Barga_13387.pdf&tipo=docsito&id=25268 [Consultado el 30 de junio de 2016].

³⁴ Comune di Barga. Determinazione del responsabile. A. Lavori pubblici e manutenzione. N. 1337 del Reg. Generale. https://start.e.toscana.it/rtrt/pleiade/?pagina=download&nomeFile=EsitoGara_Comune+di+Barga_13038.pdf&tipo=docsito&id=16280 [Consultado el 22 de junio de 2016].

6.3. DESLIZAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE RIPAFRATTA

El deslizamiento que se produjo en la pequeña localidad de Ripafratta el 17 de diciembre de 2014, ha sido uno de los casos más controvertidos de los últimos tiempos en Toscana en relación a la falta de manutención de una ladera con inminente riesgo de desprendimiento o deslizamiento. Desde marzo de 2013, los propietarios de la vivienda, que se situaba a los pies de una ladera con una pendiente muy pronunciada, pedían tanto al propietario del terreno, como al ayuntamiento de San Giuliano Terme, la instalación de medidas de protección, que nunca llegaron a producirse, ya que, después de algunos movimientos en los dos últimos años, la ladera terminó por ceder y destruyó gran parte de una vivienda, hoy en día inhabitable, aunque sin dejar víctimas o heridos a su paso.

Ripafratta (municipio de San Giuliano Terme, provincia de Pisa) es una pequeña localidad asentada sobre la llanura del río Serchio y a los pies de los montes Pisanos, compuesta en su gran mayoría por viviendas unifamiliares de forma diseminada. El deslizamiento se produjo en las coordenadas 43°49'32"N, 10°25'15"E (Figuras 24 y 25).



Figura 24. Imagen de satélite del deslizamiento sobre la vivienda que destruyó

Fuente: Google Earth. Imagen del 28 de agosto de 2015.



Figura 25. Localización de Ripafratta en la provincia de Pisa

6.3.1. Descripción del deslizamiento

El deslizamiento de Ripafratta del 17 de diciembre de 2014 fue la conclusión a una serie de movimientos que se habían producido sobre una ladera con una fuerte pendiente, de casi 45° (Figura 26), compuesta por areniscas turbidíticas y cuarzo-feldespáticas, propias de la sucesión no metamórfica denominada Falda Toscana.

En marzo de 2013 ya se produjo un primer deslizamiento de ladera, de dimensiones reducidas, pero que destruyó el muro de contención existente y la granja situada en el patio trasero de la vivienda³⁵. En abril de 2013 y en febrero de 2014 volvieron a producirse nuevos movimientos, destruyendo el nuevo muro de contención que se había levantado³⁶.

Los días 14 y 15 de diciembre de 2014 también se produjeron sensibles movimientos de la ladera que hacían presagiar un deslizamiento completo. Apenas dos días más tarde, el 17 de diciembre de 2014 a las 20:30 se produjo el deslizamiento final de la ladera, de tipo rotacional-traslacional, mientras la familia se encontraba en el interior de la vivienda del número 94 de la Via Fattori. Por fortuna, gracias a los ladridos del perro al ver la ladera deslizarse, la familia compuesta por cinco miembros pudo salir de la vivienda antes de que quedase atrapada por la tierra³⁷.

³⁵ <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2014/12/18/news/frana-ordinanza-per-rimuovere-il-traliccio-di-terna-1.10520506#gallery-slider=undefined> [Consultado el 15 de junio de 2016].

³⁶ Il Corriere Fiorentino, 19/12/2014, Pagina 11.

http://www.ao-pisa.toscana.it/index.php?option=com_attachments&task=download&id=14052 [Consultado el 15 de junio de 2016].

³⁷ <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2014/12/17/news/collina-frana-su-una-casa-1.10515891> [Consultado el 15 de junio de 2016].

La corona del deslizamiento tuvo lugar a una altitud de 52 m hasta derruir parte de la vivienda, a una altitud de 18 m. Con unas dimensiones de 50 metros de largo y un máximo de 40 metros de anchura, en total el área deslizada ocupó una superficie de unos 1.300 m²³⁸.



Figura 26. Vista de la fuerte pendiente de la ladera deslizada

Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Posibles causas

Existen varias causas que han contribuido al deslizamiento de la ladera. Los servicios de Protección Civil y los bomberos de la Región Toscana han identificado las siguientes³⁹:

- En primer lugar, las propias condiciones morfológicas de la ladera, con una pendiente pronunciada y materiales litológicos susceptibles a la ruptura, lo que, unido a las condiciones meteorológicas en los días previos al deslizamiento, con lluvias constantes han permitido la saturación de la capacidad de carga de la ladera, y por tanto su deslizamiento.
- La presencia del poste de tendido eléctrico de la compañía Terna en lo alto de la colina, que se instaló en 1996. Desde entonces los propietarios de la vivienda solicitaron la relocalización del mismo al aumentar la inestabilidad de la ladera sobre la que se situaba;
- El retraso en la obtención de los permisos y el inicio de las obras para garantizar la estabilidad de la ladera y la seguridad de las personas que vivían a los pies de la colina, que duró casi dos años. Después del primer deslizamiento, en marzo de 2013, tanto el propietario de la colina como los habitantes de la vivienda afectada denunciaron el suceso a las autoridades competentes y pidieron la posibilidad de efectuar obras para consolidar la ladera.

³⁸ Distancias y superficie medidas con Google Earth.

³⁹ Il Tirreno. 17/12/2014. <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2014/12/17/news/collina-frana-su-una-casa-1.10515891> [Consultado el 15 de junio de 2016].

Sin embargo, debido a que la ladera se encuentra bajo un *vincolo paesaggistico* (vínculo de paisaje)⁴⁰, la tramitación y la obtención de los permisos y licencias para comenzar las obras se demoraron hasta el 15 de diciembre de 2014, y empezarían el 22 de diciembre, 21 meses después del primer deslizamiento. Primero se necesitó el estudio de la ladera por parte de un geólogo, a continuación, la aprobación por parte de la Oficina de Medio Ambiente del municipio de San Giuliano Terme, y por último el visto bueno de la Superintendencia de Bellas Artes y Paisaje de la Provincia de Pisa.

Tanto los propietarios de la vivienda como de la colina deslizada, afirman que las alarmas de peligro se han ignorado y el riesgo se ha infravalorado⁴¹. Lo cierto es que el proceso burocrático se ha demorado en demasía, y además hay que considerar que en terrenos privados la administración pública no puede intervenir con facilidad⁴².

6.3.3. Consecuencias

El principal daño material fue la destrucción parcial de la vivienda (Figura 27), y como consecuencia, la familia de cinco personas que allí residía, que fue desalojada de forma inmediata. Además, la familia vecina, de seis miembros, también fue evacuada. En total fueron once personas evacuadas. El seguro de hogar de la vivienda destruida no cubre los daños por desastres naturales⁵.

Los costes económicos todavía no se han valorado con exactitud, pero se espera que tanto la empresa Terna, que instaló el poste de tendido eléctrico, como el propietario del terreno, costeen los daños y las intervenciones necesarias para garantizar la seguridad de la zona⁴³.

⁴⁰ El *vincolo paesaggistico* es un instrumento previsto por la legislación del Estado Italiano para proteger las áreas de mayor valor paisajístico. La finalidad del vínculo no es la de bloquear la posibilidad de edificar en tales zonas, sino la de mitigar la construcción de nuevas viviendas o infraestructuras en estas áreas, haciendo compatibles las actividades del hombre con los valores paisajísticos de estos lugares. Desde el momento que un área está sometida a un vínculo de protección paisajística, la Región, la Superintendencia de Bienes paisajísticos y ambientales, y el municipio, redactan la autorización paisajística y deciden las intervenciones que se pueden realizar en dicho lugar.

En otras palabras, no excluye la posibilidad de construir, ampliar o edificar, sino que el procedimiento debe hacerse de acuerdo a las indicaciones y los parámetros identificados para asegurarse de que las medidas no dañen el valor paisajístico y ambiental de la zona, pero que a su vez respeten y preserven sus valores. <http://ambientesc.it/nl/04/03.pdf> [Consultado el 15 de junio de 2016].

⁴¹ Il Tirreno, Edizione Pisa, 18/12/2014. <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2014/12/18/news/frana-ordinanza-per-rimuovere-il-traliccio-di-terna-1.10520506#gallery-slider=undefined> [Consultado el 15 de junio de 2016].

⁴² Il Corriere Fiorentino, 19/12/2014, pag. 11.

⁴³ Il Tirreno, Edizione Pisa, 19/12/2014. <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2014/12/19/news/casa-distrudda-dalla-frana-inchiesta-della-procura-1.10527453> [Consultado el 15 de junio de 2016].



Fuente:

<http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2014/12/17/news/collina-frana-su-una-casa-1.10515891>



Fuente:

www.youreporter.it/foto/Frana_a_Ripafratta_Pisa_17_12_2014



Fuente: www.lanazione.it/pisa/frana-ripafratta-casa-distruita-polemiche-1.505297



Fuente:

<http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2015/01/09/news/rimosso-il-traliccio-di-terna-dalla-collina-della-frana-1.10635067>

Figura 27. Imágenes del deslizamiento poco después de producirse

6.3.4. Relación del deslizamiento con la planificación territorial

El terreno afectado por el deslizamiento es propiedad privada de la familia que lo habitaba, y ellos mismos construyeron su vivienda en la posguerra⁴⁴. Al igual que en los casos anteriores, se ha procedido a una instalación inadecuada de la vivienda, a los pies de una colina con las condiciones necesarias para su ruptura y deslizamiento, aumentando la peligrosidad y la vulnerabilidad de los bienes expuestos.

Cabe recordar que nos encontramos en un territorio competencia de la Autoridad de Cuenca del Río Serchio, de la provincia de Pisa y del ayuntamiento de San Giuliano Terme. En primer lugar, la Autoridad de Cuenca realizó la cartografía con la zonificación de las áreas con riesgo de movimientos de ladera según el nivel de peligrosidad a escala 1:25.000. En el caso de Ripafratta, la cartografía elaborada en diciembre de 2010, antes de que se produjesen los primeros movimientos en marzo y abril de 2013, señala a la zona como “área potencialmente en riesgo de movimientos de ladera debido a las condiciones litológicas” con categoría de “peligrosidad 2”, es decir, peligrosidad media (Figura 28).

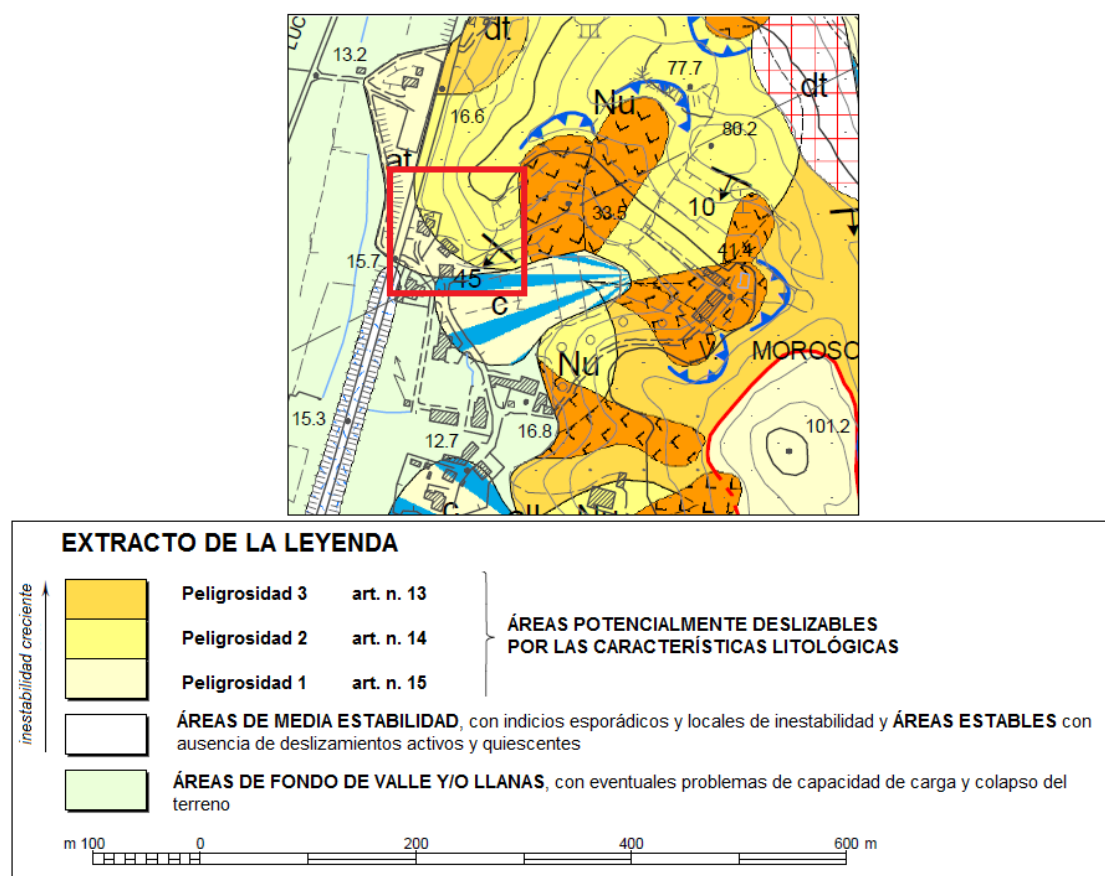


Figura 28. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera del área afectada. El recuadro rojo señala la zona deslizada

Fuente: Autorità di Bacino del Fiume Serchio. Carta della franosità. Scala 1:10.000. Sezione 261140.

⁴⁴ Il Tirreno. Edizione Pisa. 20/12/2015. <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2015/12/20/news/il-tempo-fermato-dalla-maxi-frana-e-dalla-burocrazia-1.12653898> [Consultado el 15 de junio de 2016].

A partir de entonces tanto la provincia de Pisa, como el ayuntamiento de San Giuliano Terme deben actuar a partir de las normas del artículo 14 (*Áreas con peligrosidad media (P2)*) del Plan de Ordenación Hidrológica de la Autoridad de Cuenca del río Serchio, adecuando sus respectivos planes sectoriales y urbanos. Dicho artículo establece que “está restringida la edificabilidad en tales zonas a no ser que se realicen inspecciones geológicas y geotécnicas que excluyan situaciones de riesgo para la seguridad de las personas” (Articolo 14, Norme di Piano, Piano di Bacino Stralcio “Assetto Idrogeologico” Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio).

En el caso de Ripafratta, pese al conocimiento del riesgo de movimiento de la ladera, los procesos burocráticos y administrativos entre una multitud de actores, como los propietarios de los terrenos privados, la empresa Terna, geólogos responsables de evaluar la zona, peritos, ingenieros, etc., que debían llegar a una conclusión para estabilizar la ladera, se retrasaron durante casi dos años. De hecho, se culpa a todo este aparato como gran responsable de lo sucedido⁴⁵.

6.3.5. Intervenciones para estabilizar la ladera

El 22 de diciembre de 2014, cinco días antes del deslizamiento, tendrían que haber empezado las obras para garantizar la estabilidad de la ladera y la seguridad a las personas que vivían junto a la misma, después de los avisos del primer deslizamiento en marzo de 2013.

El 9 de enero de 2015 fue desmontado el poste de tendido eléctrico de la línea de alta tensión Vinchiana-Filettole, de 380.000 voltios y 40 metros de altura, perteneciente a la empresa TERNA, que ya había suscitado muchas protestas por parte de los vecinos desde 1996⁴⁶.

El 28 de abril de 2016 iniciaron las obras para garantizar la seguridad y la estabilidad de la ladera tras la Ordenanza nº 96 del 18/12/2014. Obras que se están llevando a cabo en la colina privada y corren a gasto del propietario. Aún no existe una estimación de la duración de los trabajos, pero debido a que se trata de una obra de gran magnitud se esperan varios meses e incluso años para restablecer la normalidad.

⁴⁵ Il Tirreno. Edizione Pisa. 02/01/2015

<http://quotidiani.gelocal.it/sfoglio/index.html?brand=iltirreno&edizione=pisa&issueld=20150102&code=ceja9mi&page=1&testata=iltirreno#page=37> [Consultado el 15 de junio de 2016].

⁴⁶ Il Tirreno. Edizione Pisa. 09/01/2015.

http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2015/01/09/news/rimosso-il-traliccio-di-terna-dalla-collina-della-frana-1.10635067?refresh_ce [Consultado el 15 de junio de 2016].

6.3.6. Situación actual

En el trabajo de campo se observó que la ladera permanece deslizada, sin ningún tipo de red o protección, por lo que la probabilidad de que se produzcan nuevos movimientos es alta (Figura 29). Como se ha mencionado anteriormente la principal intervención fue la relocalización del poste del tendido eléctrico unos metros más adentro del monte, encontrándose muy cerca de su posición anterior.

Todavía continúan las investigaciones por parte del Fiscal de Pisa para esclarecer las causas y en su caso identificar a los culpables del desastre⁴⁷. Mientras tanto la vivienda permanece tal y como quedó el día del deslizamiento, con algunas habitaciones completamente destruidas y otras partes todavía en pie, pero con numerosas grietas. Por lo tanto, la familia que aquí residía permanece desalojada. El acceso a la zona está prohibido debido a que no se puede garantizar la estabilidad de la misma.



Figura 29. Imágenes de la situación actual del deslizamiento. Se aprecian pocos cambios con respecto a 2014, la vivienda sigue todavía en pie y está prohibido acceder a ella

Fuente: elaboración propia.

⁴⁷ <http://iltirreno.gelocal.it/pisa/cronaca/2015/12/20/news/il-tempo-fermato-dalla-maxi-frana-e-dalla-burocrazia-1.12653898> [Consultado el 15 de junio de 2016].

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este apartado se comparan los resultados obtenidos en la investigación con otros llevados a cabo por otros investigadores en Italia y se exponen las conclusiones finales del trabajo.

7.1. DISCUSIÓN

Como se ha podido observar después de analizar la legislación y la planificación en materia de movimientos de ladera, y presentar los tres casos de estudio, salta a la vista que el problema no reside en identificar y localizar las zonas susceptibles de movilizarse (ya que se cuenta con un detallado estudio de los procesos geológicos, geomorfológicos y meteorológicos que desencadenan los movimientos de ladera), si no en la infravaloración de la peligrosidad y la inaplicación de las normas del Plan de Ordenación Hidrogeológica por parte de la región, provincias y municipios en sus respectivos planes territoriales.

En los tres casos de estudio la cartografía de peligrosidad señalaba las zonas que finalmente se deslizarían como áreas con riesgo potencial de movimiento de ladera. Desde el momento en que se publican la cartografía de peligrosidad los entes territoriales involucrados, es decir la región, las provincias y los municipios, reciben dicha información y son conscientes de las zonas en peligro, por tanto, deben actuar en consecuencia para mitigar eventuales pérdidas y daños provocados por los movimientos de ladera. Por lo tanto, no se ha gestionado correctamente el riesgo.

En las zonas clasificadas con niveles de peligrosidad alto (P3) y muy alto (P4) está prohibido cualquier tipo de construcción salvo que se realice un estudio geológico en detalle que garantice la estabilidad de la zona en cuestión. Sin embargo, el problema se presenta cuando se declaran zonas ya construidas y/o habitadas con peligrosidad alta (P3) y muy alta (P4). Esta es la situación que se ha observado en cada caso de estudio. En estos casos se debe proceder a la modificación de las normas del Plan General Regulador, de escala municipal, y proceder a la construcción de medidas estructurales (muros de contención, redes, canales de drenaje, etc.) y/o a la demolición o relocalización de los bienes expuestos al peligro. Este paso es crítico para reducir el riesgo, sin embargo, en ninguno de los tres casos analizados se han producido intervenciones suficientes para evitar un peligro anunciado. Masciocco (2012) añade que no respetar la normativa y planificación supone el principal factor que ha provocado y continúa provocando ingentes daños y víctimas en Italia.

Di Martire et al. (2012) realizan una interesante investigación sobre el peligro de los movimientos de ladera, esta vez en zonas densamente urbanizadas de la región de Campania, y su relación con el incumplimiento de la planificación urbana y territorial. Destacan que la especulación inmobiliaria y la construcción ilegal de numerosas viviendas y hoteles en la costa y a los pies de colinas y montañas abruptas, como en el caso de Nápoles y la isla de Ischia, ha elevado considerablemente el riesgo frente a los movimientos de ladera, debido a que las administraciones regionales y locales se han visto atraídas por el gran negocio que supone la explotación de estos espacios como zonas turísticas y residenciales. En este estudio se denuncia el incumplimiento y la falta de atención a la normativa y planificación existentes, y señalan algunos desastres, como el que se produjo en el monte Vezi (Ischia, Campania) en 2006, para sensibilizar a la población y las administraciones del grave riesgo que se corre con la construcción en zonas totalmente inestables.

Parece evidente que es inalcanzable eliminar por completo la peligrosidad y el riesgo de los movimientos de ladera. Sin embargo, algunos autores como Baiana e Valitutti (2013) o Graziano (2014) sugieren que una estrategia dedicada a la mitigación del peligro en un territorio tan amenazado como el italiano, aunque en apariencia protegido por la gran cantidad de leyes y planes sectoriales, debería centrarse en el concepto de resiliencia. La resiliencia se define como la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad que expuestas a una amenaza son capaces de resistir, adaptarse y recuperarse de los efectos de una amenaza de manera oportuna y eficiente, que incluye la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2009).

Además, Chung (2010) señala cuatro elementos clave para mejorar la resiliencia al peligro de movimientos de ladera: la comunicación pública proactiva y la educación; los servicios integrales de información; la alerta temprana; y la respuesta eficaz a la emergencia. Tres de estos cuatro elementos significan una mejor preparación de la sociedad ante las emergencias, un problema que se está tratando recientemente en Italia.

En este sentido, debe mencionarse el proyecto EDURISK⁴⁸, cuyo objetivo es “difundir una cultura del riesgo para afrontar los terremotos y otros fenómenos naturales a partir de la prevención”. En este proyecto participa un grupo interdisciplinar de expertos (geológicos, sismólogos, ingenieros, psicólogos, pedagogos, periodistas, etc.). Otro buen ejemplo de medidas no estructurales contra los riesgos naturales diseñado por las autoridades italianas es el Plan Nacional de Emergencia contra el Vesubio⁴⁹, en caso de que se produzcan erupciones volcánicas. Además de zonificar las áreas según los niveles de peligrosidad, el plan también se centra en la respuesta ante la emergencia y la evacuación, como se refleja en el programa “Mesimex (Major Emergency Simulation Exercise) 2006⁵⁰”, fundamental para aumentar la conciencia de los peligros relacionados con el volcán y minimizar sus consecuencias negativas. Se espera, por tanto, que en un futuro próximo el peligro de movimientos de ladera se aborde a través de medidas no estructurales como las que se acaban de mencionar (Di Martire et al., 2012).

Por tanto, la definición de la peligrosidad y del riesgo de movimientos de ladera deben considerarse como elementos fundamentales y necesarios en la gestión y planificación del territorio, con el fin de proteger el desarrollo socioeconómico y minimizar los daños derivados de los procesos peligrosos. Si bien es cierto que la planificación no puede por sí sola evitar todos los procesos peligrosos, si es una herramienta que debería servir para aminorar las pérdidas y garantizar niveles razonables de seguridad para la población y sus actividades. No invertir suficientes recursos en prevención conlleva exponerse al riesgo y soportar eventuales pérdidas, que, por lo general, son más costosas y graves que las medidas preventivas. Se debería actuar a priori y no a posteriori.

⁴⁸ <http://www.edurisk.it/> [Consultado el 30 de junio de 2016].

⁴⁹ http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_dossier.wp?contentId=DOS37087 [Consultado el 30 de junio de 2016].

⁵⁰ http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_dossier.wp?contentId=DOS12823 [Consultado el 30 de junio de 2016].

7.2. CONCLUSIONES

El contexto físico de la región Toscana, al igual que el del resto de Italia, presenta todos los condicionantes necesarios para que se produzcan numerosos movimientos de ladera, junto con otros procesos peligrosos como las inundaciones, los terremotos o las erupciones volcánicas. Unos procesos naturales que, junto con las dinámicas territoriales experimentadas en la segunda mitad del siglo XX, de abandono de actividades rurales, aumento de la urbanización, construcción de infraestructuras de comunicación y abastecimiento, etc. han aumentado la exposición y vulnerabilidad al riesgo de movimientos de ladera. Ello se manifiesta en el elevado número de desastres que en las últimas décadas han causado graves daños económicos, sociales y ambientales, con tiempos de recuperación muy largos y costosos.

No obstante, es interesante observar que en el ámbito europeo existe una escasa atención respecto al riesgo de los movimientos de ladera. De hecho, directiva comunitaria 2007/60 “Directiva relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación”, centra la atención en el concepto de “evaluación y gestión” del riesgo de inundaciones, proponiendo la identificación de políticas de gobernanza del territorio capaces de determinar formas sostenibles de convivencia con el riesgo, conciliando seguridad, sostenibilidad y desarrollo. Sin embargo, tal indicación no se encuentra en lo que se refiere a la peligrosidad por movimientos de ladera y el riesgo relacionado. Es más, no se menciona la inestabilidad de las laderas como un problema a afrontar. El motivo de tal carencia quizás se encuentra en la peculiaridad de que dicha problemática no afecta por igual a todo el territorio comunitario, pero sí es un problema en Italia que causa numerosas pérdidas socioeconómicas y daños ambientales en todo el territorio.

Precisamente por esta razón, fue necesaria la emanación de la Ley 183/1989, que supuso la creación de las Autoridades de Cuenca, los entes encargados de planificar el territorio a escala de cuenca hidrográfica y abordar la problemática del riesgo hidrogeológico, es decir, el riesgo de inundaciones y de movimientos de ladera, con la redacción de los Planes de Ordenación Hidrogeológica, al cual deben subordinarse los demás planes territoriales regionales, provinciales y municipales.

Las Autoridades de Cuenca han llevado a cabo detallados estudios geológicos, geomorfológicos e hidrológicos en todo el territorio nacional, con el objetivo de reconocer las zonas susceptibles a los movimientos de ladera, y representarlas en la cartografía de peligrosidad a una escala detallada (1:10.000). Posteriormente se procede a la redacción de normas y usos permitidos en cada zona según el nivel de peligrosidad y riesgo. Se cuenta por tanto con un conocimiento exhaustivo del territorio.

Sin embargo, el problema aparece cuando no se aplican las normas y actuaciones de los Planes de Ordenación Hidrogeológica por parte del resto de planes territoriales, situación que se ha observado en los tres casos de estudio. Si no se produce este paso todo el trabajo previo será un esfuerzo en vano.

Los tres casos de estudio también tenían en común otras características, como la presencia de materiales litológicos susceptibles a la ruptura, pendientes pronunciadas y ausencia de medidas estructurales, que junto con intensas precipitaciones han desencadenado deslizamientos rotacionales/traslacionales. Además, los deslizamientos tienen muchas probabilidades de reactivarse, si no se actúa para evitarlos, de hecho, en dos de los tres casos de estudio, los deslizamientos eran la reactivación de anteriores movimientos.

Además, el tiempo de recuperación de las zonas afectadas es largo y costoso. Solamente en uno de los tres casos, en Corbezzi, se ha podido estabilizar la ladera y se ha reactivado la normalidad del tráfico ferroviario después de once meses de trabajo. En los otros dos casos, a día de hoy todavía, la situación no ha mejorado. En el caso de Ripafratta los procesos burocráticos y judiciales para identificar a los culpables del desastre están dejando a una familia sin vivienda y la ladera con riesgo de una posible reactivación.

También se ha observado que no se han actualizado ni los Planes de Ordenación Hidrogeológica de los ríos Arno y Serchio, ni su correspondiente cartografía de peligrosidad por movimientos de ladera, por lo que no se han modificado los niveles de peligrosidad de las laderas deslizadas. Asimismo, revisando los Planes Reguladores Generales de los tres municipios afectados por los deslizamientos no se han encontrado modificaciones o planes especiales para las zonas dañadas.

En conclusión, pese a que Toscana e Italia cuentan con una legislación y planificación específica que abordan el riesgo de movimientos de ladera, la gestión inadecuada de estos instrumentos por parte de las administraciones públicas como la región, las provincias o los municipios conlleva a no mitigar el riesgo hacia unos niveles aceptables para la población y sus actividades.

8. REFERENCIAS

8.1. BIBLIOGRAFÍA

- Abebe, B., Dramis, F., Fubelli, G. (2010). *Landslides in the Ethiopian highlands and the Rift margins*. Journal of African Earth Sciences, 56(4-5), 131-138.
- Andreotti, S., Zampetti, G. (2007). *Le buone pratiche per gestire il territorio e ridurre il rischio idrogeologico*. Legambiente, Protezione Civile Italiana.
- Annunziati, A., Focardi, A., Focardi, P., Martello, S., Vannocci, P. (2000). Analysis of the rainfall thresholds that induced debris flows in the area of Apuan Alps-Tuscany, Italy (19 June 1996 storm). En *Proceeding of the EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*, 485-493. Maratea, Italy.
- Ayala-Carcedo, F.J., Andreu Posse, F.J., Fe Marques, M., Ferrer Gijón, M., de Simón Gil, A., Fernández Llana, I., ... Cienfuegos Ruiz-Morote, F.J. (1987). *Manual de taludes*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ayala-Carcedo, F.J., Olcina, J. (coords.) (2002). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel.
- Azzari, M. (coord.) (2006). *Atlante Geoambientale della Toscana*. Novara: Istituto Geografico De Agostini.
- Baiani, S., Valitutti, A. (2013). *Resilienza del territorio e del costruito. Strategie e strumenti operativi per la prevenzione, la mitigazione e l'adattamento di contesti fragili e sensibili*. Techne, 5, 95-100.
- Bartolomei, A., Brugioni, M., Canuti, P., Casagli, N., Catani, F., Ermini, L., ... Tofani, V. (2006). *Analisi della suscettibilità da frana a scala di bacino (Bacino del Fiume Arno, Toscana-Umbria, Italia)*. Giornale di Geologia Applicata, 3, 189-195.
- Bellicini, L. (coord.) (2012). *Lo stato del territorio italiano 2012: Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*. Roma: Associazione Nazionale Costruttori Edili, Centro Ricerche Economiche, Sociologiche e di Mercato.
- Boccaletti, M., Guazzone, G. (1974). *Remnant arcs and marginal basins in the Cainozoic development of the Mediterranean*. Nature, 25, 18-21.
- Boccaletti, M., Fazzuoli, M., Loddo, M., Mongelli, F. (1977). *Heat-flow measurements in the Northern Apennine Arc*. Tectonophysics, 41, 101-112.
- Bolt, B., Horn, W., MacDonald, G., Scott, R. (1977). *Geological Hazards: Earthquakes, Tsunamis, Volcanoes, Avalanches, Landslides, Floods*. New York: Springer.
- Bromhead, E.N. (1986). *The stability of slopes*. New York: Surrey University Press.
- Brunetti, M.T., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., Guzzetti, F. (2010). *Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 447-458.
- Buma, J., van Asch, T. (1996). Slide (rotational). En Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, J., Ibsen, M.L. (eds.) *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. Chichester: Wiley.
- Cannon, S.H., DeGraff, J. (2009). The increasing wildfire and post-fire debris-flow threat in western USA, and implications for consequences of climate change. En Sassa, K., Canuti, P. (eds.) (2009) *Landslides-Disaster Risk Reduction*, 177-190. Heidelberg: Springer.

- Canuti, P., Casagli, N. (1996). *Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana*. En Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche. *Fenomeni Franosi e Centri Abitati*. Atti Convegno Fenomeni franosi e centri abitati, Bologna, 27 maggio 1994.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Adrizzone, F., Antonini, G., Galli, M., ... Salvati, P. (2002). *A geomorphological approach to estimate landslide hazards and risk in urban and rural areas in Umbria, Central Italy*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 57-72.
- Carmignani, L., Giglia, G., Kligfield, R. (1978). *Structural evolution of the Apuan Alps: an example of continental margin deformation in the northern Apennines, Italy*. *Journal of Geology*, 86, 487-504.
- Carmignani, L., Lazzarotto, L. (coords.) (2004). *Carta geologica della Toscana 1:250.000*. Firenze: Servizio Geologico Italiano, Direzione delle politiche territoriali e ambientali.
- Carrara, A., D'Elia, B., Semenza, E. (1985). *Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi*. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 20(2), 223-243.
- Cellerino, R. (2006). *La difesa del suolo in Italia: aspetti economici ed amministrativi*. Roma: Scuola superiore della pubblica amministrazione.
- Chung, P.W.K. (2010). *Enhance community resilience to landslide hazard*. Third International Disaster and Risk Conference, May 30–June 3 2010, Davos, Switzerland.
- Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region (2014). *When Hillsides Collapse. A Century of Landslides in Hong Kong*. Hong Kong, Geotechnical Engineering Office.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2001). *El Salvador: Evaluación del terremoto del martes 13 de febrero de 2001*. México DF: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Sede Subregional en México.
- Cooperativa Architetti e Ingegneri Urbanistica (2010). *Atlante Nazionale del Territorio Rurale. Monografie regionali sulla geografia delle aree svantaggiate – Regione Toscana*. Roma: Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.
- Crescenti, U. (1998). *Il rischio da frana: appunti per la valutazione*. *Quaderni di Geologia Applicata*, 5(2), 87-100.
- Crosta, G., Frattini, P., Sterlacchini, S. (2001). *Valutazione e gestione del rischio da frana: principi e metodi*. Milano: Regione Lombardia.
- Cruden, D.M. (1991). *A simple definition of a landslide*. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 27-29.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). *Landslide types and processes*. En *Landslides: Investigation and Mitigation*. Washington, Transportation Research Board, Special Report 247, 36-75.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini, R., Puccinelli, A. (2004). *The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in the north western Tuscany (Italy)*. *Engineering Geology*, 73, 215-228.
- D'Amato Avanzi, G., Galanti, Y., Giannecchini, R. (2012). *The December 2009 and October 2010 Meteorological Events in Northern Tuscany (Italy). Characteristics and Effects on Slope Instability*. *Geologia dell'Ambiente, Supplemento n. 2*, 23-27.

- Del Prete, M., Gostelow, T.P., Pininska, J. (1992). The importance of historical observations in the study of climatically controlled mass movement on natural slopes, with examples from Italy, Poland and UK. *Proceedings 6th International Symposium Landslides*, Christchurch (New Zealand), 10-14 February 1992, 3, 1559-1567.
- Department of Water Induced Disaster Prevention (2014). *Disaster Review 2013*. Patan: Government of Nepal.
- Di Martire, D., De Rosa, M., Pesce, V., Santangelo, M.A., Calcaterra, D. (2012). *Landslide hazard and land management in high-density urban area of Campania region, Italy*. *Natural Hazards Earth System Sciences*, 12, 905-926.
- Dikau, R., Brunnsden, D., Schrott, L., Ibsen, M.L. (1996). Introduction. En Dikau, R., Brunnsden, D., Schrott, L., Ibsen, M.L. *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*, 1-12. Chichester, Wiley.
- Dikau, R. (2004). Mass Movement. En Goudie, A.S. (ed.) *Encyclopedia of Geomorphology*, 644-652. London: Routledge.
- Diop, S., Forbes, C., Chiliza, G.S. (2009). *Landslide inventorization and susceptibility mapping in South Africa*. *Landslides*, 7, 207-210.
- Dipartimento Infrastrutture di Comunicazione e Trasporti (2014). *Progetto Esecutivo: Linea Pistoia-Bologna. Intervento urgente per il ripristino del rilevato ferroviario dal Km. 50+650 al Km. 50+730 completo di ricostruzione del muro di contenimento sottoscarpa e degli interventi di regimazione idraulica di versante*. Pistoia: Provincia di Pistoia.
- Eden, W.J., Mitchell, R.J. (1970). *The mechanics of landslides in leda clay*. *Canadian Geotechnical Journal*, 7, 285-296.
- Einstein, H.H. (1988). Special lecture: Landslide risk assessment procedure. *Proceedings 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne (Switzerland), 10-15 July 1988, 2, 1075-1090.
- European Environment Agency (2004). *Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe*. Copenhagen: European Environment Agency, Environmental Issue Report 35.
- European Environment Agency (2010). *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe: An overview of the last decade*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, EEA Technical Report 13/2010.
- Fell, R. (1994). *Landslide risk assessment and acceptable risk*, *Canadian Geotechnical Journal*, 31(2), 261-272.
- Flageollet, J.C. (1996). *The time dimension in the study of mass movement*. *Geomorphology*, 15, 185-190.
- Forbes, K., Broadhead, J. (2011). *The role of trees and forest in the prevention of landslides and rehabilitation of landslide-affected areas in Asia*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific Publication 2011/19.
- Gasparini, P., Tabacchi, G. (coords.) (2011). *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*. Bologna: Il Sole 24 Ore Edagricole.

- Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Civil Engineering and Development Building (2011). *Technical Guidelines on Landscape Treatment for Slopes*. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, GEO Publication 1/2011.
- Giannecchini, R., Galanti, Y., D'Amato Avanzi, G. (2012). *Critical rainfall thresholds for triggering shallow landslides in the Serchio River Valley (Tuscany, Italy)*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 829-842.
- Giannini, E. (1951). *Alloctonia del Macigno nella regione Bagni di Casciana-Chianni in provincia di Pisa*. *Bollettino della Società Geologica Italia*, 70(1), 79-94.
- Gisotti, G. (2012). *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*. Palermo: Dario Flaccovio Editore.
- Gori, S., Falcucci, E., Dramis, F., Galadini, F., Galli, P., Giaccio, B., Messina, P., Pizzi, A., Sposato, A., Cosentino, D. (2013). *Deep-seated gravitational slope deformation, large-scale rock failure, and active normal faulting along Mt. Morrone (Sulmona basin, Central Italy): Geomorphological and paleoseismological analyses*. *Geomorphology*, 208, 88-101.
- Graziano, P. (2014). *Rischio, vulnerabilità e resilienza territoriale: il caso delle province italiane*. *EyesReg*, 4(1), 1-26.
- Günther, A., Van Den Eeckhaut, M., Malet, J.P., Reichenbach, P., Hervás, J. (2014). *Climate-physiographically differentiated Pan-European landslide susceptibility assessment using spatial multi-criteria evaluation and transnational landslide information*. *Geomorphology*, 224, 69-85.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Educación.
- Guzzetti, F. (2015). *Frane e alluvioni, una lunga storia italiana*. *Ecoscienza*, 3, 12-13.
- Harp, E.L., Castañeda, M., Held, M.D. (2002). *Deslizamientos de tierra provocados por el huracán Mitch en Tegucigalpa, Honduras*. United States Geological Survey, Reporte de archivo abierto 02-33.
- Hervás, J. (Ed.) (2003). *NEDIES Project - Lessons Learnt from Landslide Disasters in Europe*. Ispra: Joint Research Centre, Report EUR 20558 EN.
- Ibsen, M.L., Brunnsden, D., Bromhead, E., Collison, A. (1996). Flow slide. En Dikau, R., Brunnsden, D., Schrott, R., Ibsen, M.L. (eds.) *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*, 202-211. Chichester, Wiley.
- International Council for Science Regional Office for Asia and the Pacific (2008). *Science plan on hazards and disasters. Earthquakes, Floods and Landslides*. International Council for Science Regional Office for Africa Science Plan.
- Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (2015). *Rapporto periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni*. Roma: Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Jelínek, R., Hervás, J., Wood, M. (2007). *Risk Mapping of Landslides in New Member States*. Ispra: Joint Research Centre, Report EUR 22950 EN
- Kervyn, M., Jacobs, L., Maes, J., Bih Che, V., de Hontheim, A., Dewitte, O., Isabirye, M., Sekajugo, J., Kabaseke, C., Poesen, J., Vranken, L., Mertens, K. (2015). *Landslide resilience in Equatorial Africa: Moving beyond problem identification!*. *Belgeo*, 1, 1-19.

- Knapen, A., Kitutu, M.G., Poesen, J., Breugelmans, W., Deckers, J., Muwanga, A. (2006). *Landslides in a densely populated county at the footslopes of Mount Elgon (Uganda): Characteristics and causal factors*. *Geomorphology*, 73, 149-165.
- Lelli, J. (2015). *Analisi dell'evento franoso in località Corbezzi (PT): dalla stabilizzazione di versante all'inserimento nel contesto paesaggistico* (Tesi di Laurea Magistrale inedita). Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali. Università di Bologna.
- Leone, F., Asté, J.P., Leroi, E. (1996). *L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains: pour une meilleure quantification du risque*. *Revue de géographie alpine*, 84(1), 35-46.
- Luino, F. (2005). *Sequence of instability processes triggered by heavy rainfall in the Northern Italy*. *Geomorphology*, 66, 13-39.
- Maina-Gichaba, C., Kipseba, E.K., Masibo, M. (2013). Overview of Landslide Occurrences in Kenya. Causes, Mitigation, and Challenges. En Paron, P., Ochieng Olago, D., Thine Omuto, C. *Developments in Earth Surface Processes*, 16, 293-314.
- Margottini, C., Spizzichino, D., Onorati, G. (2007). *Cambiamenti climatici e dissesto idrogeologico: scenari futuri per un programma nazionale di adattamento*. Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 12-13 settembre 2007, Roma.
- Masciocco, L. (ed.) (2012). *Atti del Convegno Nazionale "Dissesto Idrogeologico. Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia"*. *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento n. 2.
- McGuire, B., Burton, P., Kilburn, C., Willets, D. (2004). *World Atlas of Natural Hazards*. London: Arnold.
- Mesmin, T. (2007). Mapping of natural hazards in Cameroon. *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*, Dresden (Germany), 25-30 August 2013.
- Morini, D., Lavorini, G., Romanelli, S. (2007). Analisi del dissesto da frana in Toscana. En Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici. *Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI – Metodologia, risultati e rapporti regionali*. Roma: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 78/2007.
- Mulugeta, G., Ayonghe, S., Daby, D., Dube, O.P., Gudyanga, F., Lucio, F., Durrheim, R. (2007). *Natural and Human-induced Hazards and Disasters in sub-Saharan Africa*. International Council for Science Regional Office for Africa Science Plan.
- Nespor, S., De Cesaris, A.L. (2008). *Codice dell'ambiente*. Milán: Giuffrè Editore.
- Ngecu, W.M., Mathu, E.M. (1999). *The El Nino triggered landslides and their socio-economic impacts on Kenya*. *Episodes*, 22(4), 284-288.
- O'Hare, G., Rivas, S. (2005). *The landslide hazard and human vulnerability in La Paz City, Bolivia*. *The Geographical Journal*, 171(3), 239-258.
- Ottanelli, A., Zagnoni, R., Antilopi, A. (2014). *La ferrovia Porrettana. Progettazione e costruzione (1845-1864)*. Pistoia: Settegiorni Editore.
- Pachauri, R.K., Resinger, A. (dirs.) (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Panizza, M. (1973). *Glacio pressure implications in the production of landslides in the Dolomitic area*. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 8(1), 289-297.
- Pagni, M. (2016). *Piano di Ambito Toscano*. Firenze: Autorità Idrica Toscana.
- Pasuto, A., Silvano, S., Soldati, M., Tecca, P.R. (1994). *Deep-seated gravitational deformations in northeastern Italy*. Special volume for the International Congress of the International Association of Engineering Geology, 23-27 September 1994, Lisbon.
- Rapetti, F., Vittorini, S. (2012). *Note illustrative della carta climatica della Toscana*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A*, 117-119, 41-74.
- Regione Toscana (2014a). *Report evento meteo-idrologico dei giorni 4-5 gennaio 2014*. Pisa: Centro Funzionale della Regione Toscana.
- Regione Toscana (2014b). *Report pluviometrico anno 2013*. Pisa: Centro Funzionale della Regione Toscana.
- Sassa, K., Yin, Y., Canuti, P. (2015). *The Third World Landslide Forum, Beijing, 2014*. *Landslides*, 12, 177-192.
- Schuster, R.L. (1996). Socioeconomic significance of Landslides. En Turner, A.K., Schuster, R.L. (eds.) *Landslides investigation and mitigation*. Washington DC, Transportation Research Board, Special Report 247, 12-35.
- Schweigl, J., Hervás, J. (2009). *Landslide Mapping in Austria*. Ispra: Joint Research Centre, EUR 23785 EN.
- Seijmonsbergen, A.C., Woning, M.P., Verhoef, P.N.W., de Graaff, L.W.S. (2005). *The failure mechanism of a Late Glacial Sturzstrom in the Subalpine Molasse (Leckner Valley, Vorarlberg, Austria)*. *Geomorphology*, 66, 277-286.
- Selby, M.J. (1985). *Earth's Changing Surface: An introduction to Geomorphology*. Oxford: Oxford University Press.
- Selby, M.J. (1993). *Hillslope Material and Processes*. Oxford: Oxford University Press.
- Sepúlveda, S.A., Petley, D.N. (2015). *Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, 1821-1833.
- Smith, K. (2004). *Environmental hazards: assessing risk and reduction disaster*. London: Routledge.
- Spiker, E.C., Gori, P.L. (2000). *National Landslides Hazards. Mitigation Strategy – A Framework for Loss Reduction*. Reston: United States Geological Survey, Open-file Report 00-450.
- Stassi, G., Valentini, A. (2013). *L'Italia del censimento. Struttura demografica e processo di rilevazione. Toscana*. Roma: Istituto Nazionale di Statistica.
- Triglia, A., Iadanza, C. (2007). Statistiche nazionali ed elaborazioni dati del Progetto IFFI. En Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici. *Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI – Metodologia, risultati e rapporti regionali*. Roma: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 78/2007.
- Triglia, A., Iadanza, C., Bussetini, M., Lastoria, B., Barbano, A. (2015). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Rapporto 2015*. Roma: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Rapporti 233/2015.

- United Nations Disaster Relief Coordinator (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Geneva: Office of the United Nations Relief Coordinator.
- United Nations Disaster Relief Coordinator (1991). *Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options - A Manual for Policy Makers and Planners*. Geneva: Office of the United Nations Relief Coordinator.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2009). *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. Geneva: Office of the United Nations Relief Coordinator.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Corporación OSSO (2013). *Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990-2011: Tendencias y estadísticas para 16 países. Informe*. Panamá.
- Van Den Eeckhaut, M., Hervás, J. (2012). *Landslide inventories in Europe and policy recommendations for their interoperability and harmonisation: A JRC contribution to the EU-FP7 SafeLand project*. Ispra: Joint Research Centre, Report EUR 25666 EN.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement: types and processes. En Schuster, R.L., Krizjer, R.J. (eds.) *Landslides: Analysis and Control*. Washington DC: Transportation Research Board, Special Report 176, 11-33.
- Varnes, D.J., International Association of Engineering Geology (1984). *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. Paris: UNESCO.
- Walker, L.R., Shiels, A.B. (2013). *Landslide Ecology*. New York: Cambridge University Press.
- Young, A. (1972). *Slopes*. Edinburgh: Oliver and Boyd.

8.2. NORMATIVA, DOCUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y CARTOGRAFIA

8.2.1. Normativa

Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Disponible en:

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:ES:PDF>

[Consultado el 6 de julio de 2016].

Legge 18 maggio 1989, n. 183, Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo. Disponible en:

http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/l_n_183_89.pdf

[Consultado el 6 de julio de 2016].

Legge regionale n. 1/2005, Norme per il governo del territorio. Disponible en:

http://www.provincia.pisa.it/uploads/2007_09_25_13_05_36.pdf [Consultado el 6 de

julio de 2016].

8.2.2. Documentos de planificación

Planes de Ordenación Hidrogeológica (PAI)

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Autorità di Bacino del Fiume Arno (2004). Disponible en: http://www.adbarno.it/adb/?page_id=2475 [Consultado el 6 de julio de 2016].

Piano di bacino stralcio, "Assetto Idrogeologico". Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio (2005). Disponible en:

http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/piani/1_agg_pai/adottato/relazione-piano-adottato.pdf [Consultado el 6 de julio de 2016].

Plan de Orientación Territorial

Piano di indirizzo territoriale con valenza di piano paesaggistico. Regione Toscana (2014). Disponible en: <http://www.regione.toscana.it/-/piano-di-indirizzo-territoriale-con-valenza-di-piano-paesaggistico> [Consultado el 6 de julio de 2016].

Planes Territoriales de Coordinación

Piano Territoriale di Coordinamento. Provincia di Pistoia (2009). Disponible en:

http://www.provincia.pistoia.it/RISORSE_TERRITORIO/el_ptc.asp [Consultado el 6 de julio de 2016].

Piano Territoriale di Coordinamento. Provincia di Lucca (2010). Disponible en:

<http://www.provincia.lucca.it/pianificazione/index.php?id=32> [Consultado el 6 de julio de 2016].

Piano Territoriale di Coordinamento. Provincia di Pisa (2006). Disponible en:

http://sit.provincia.pisa.it/sisterims/html/PTC_2004/Intro_PTC_2004.htm [Consultado el 6 de julio de 2016].

Planes Reguladores Generales

Piano Regolatore Generale. Comune di Pistoia (1998). Disponible en:

<http://www.comune.pistoia.it/2026/> [Consultado el 6 de julio de 2016].

Piano Regolatore Generale. Comune di Barga. Disponible en:

http://www.rcbarga.it/SERV_CIT/EDILIZIA/ [Consultado el 6 de julio de 2016].

Piano Regolatore Generale. Comune di San Giuliano Terme (2015). Disponible en:

<http://geografia.sangiulianoterme.sister.it/regolamento-urbanistico> [Consultado el 6 de julio de 2016].

8.2.3. Cartografía

Cartografía geológica

Carta Geologica del Bacino del fiume Serchio (1:100.000). Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Autorità di Bacino del Fiume Arno (2011). Disponible en:

http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/cartografie/geologia/layout_geologia_100K.pdf [Consultado el 6 de julio de 2016].

Carta Geologia d'Italia – Foglio 262 Pistoia (1:50.000). Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Disponible en:

http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/262_PISTOIA/Foglio.html [Consultado el 6 de julio de 2016].

Cartografía de peligrosidad por movimientos de ladera

Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versanti – livello di sintesi (1:25.000). Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Autorità di Bacino del Fiume Arno (2004). Disponible en: http://www.adbarno.it/rep/stralci/pai/pai_pf25k_016.pdf [Consultado el 6 de julio de 2016].

Carta della franosità del Bacino del fiume Serchio (1:10.000) - Sezione 250110. Piano di bacino stralcio, "Assetto Idrogeologico". Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio (2010). Disponible en:

http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/cartografie/variante_pai_adottato/frana/layout_pericolosi_250110.pdf [Consultado el 6 de julio de 2016].

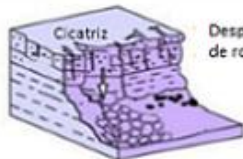
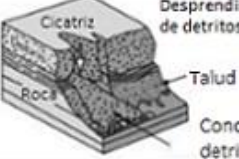

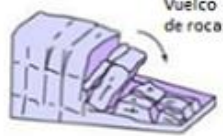


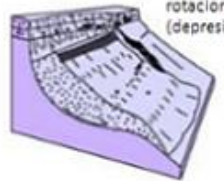
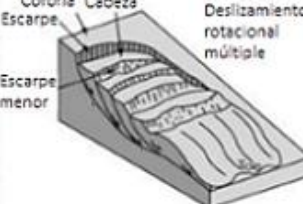
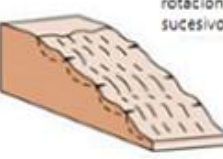



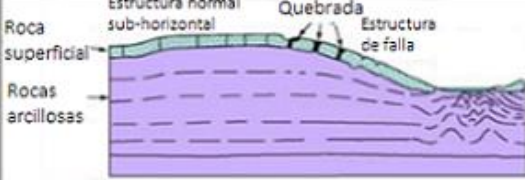

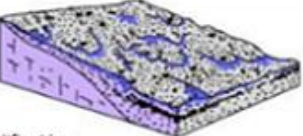

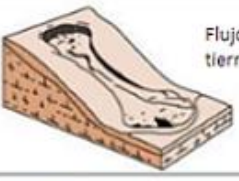
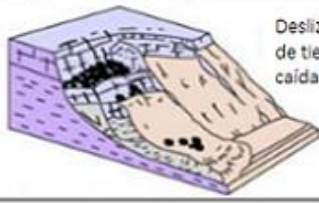
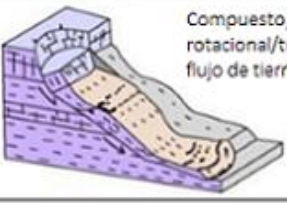
Carta della franosità del Bacino del fiume Serchio (1:10.000) - Sezione 261140. Piano di bacino stralcio, "Assetto Idrogeologico". Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio (2010). Disponible en:

http://www.autorita.bacinoserchio.it/files/cartografie/variante_pai_adottato/frana/layout_pericolosi_261140.pdf [Consultado el 6 de julio de 2016].

9. ANEXOS

Anexo I

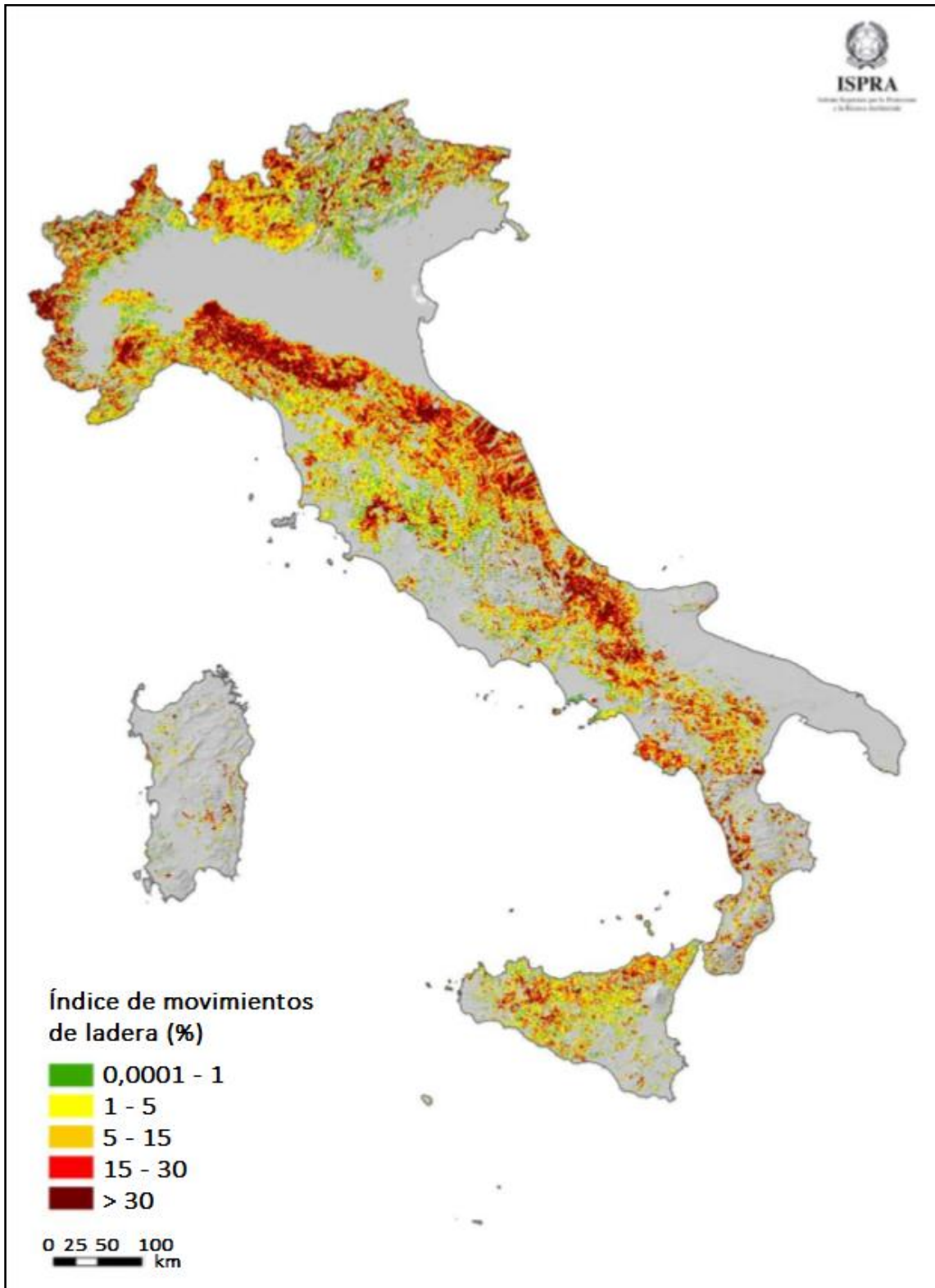
Clasificación de los movimientos de ladera a partir de Varnes (1978).

Material		ROCA	DETRITOS	TIERRA
Tipo de movimiento				
DESPRENDIMIENTOS		 Desprendimiento de rocas	 Desprendimiento de detritos Talud Cono de detritos	 Cicatriz Desprendimiento de tierra Coluvión Cono de detritos
	VUELCOS	 Vuelco de rocas	 Vuelco de detritos Cono de detritos	 Rupturas Vuelco de tierra
DESPLAZAMIENTOS	Rotacional	 Deslizamiento rotacional (depresión)	 Corona Cabeza Deslizamiento rotacional múltiple Escarpe Escarpe menor	 Deslizamientos rotacionales sucesivos
	Traslacional	 Deslizamiento de rocas	 Deslizamiento de detritos	 Deslizamiento de tierra
EXPANSIONES	 Roca superficial Estructura normal sub-horizontal Quebrada Estructura de falla Rocas arcillosas Ej.: abombamiento		 Expansiones de tierra	
FLUJOS	 Soliflucción Flujo de detritos periglacial	 Flujo de detritos	 Flujo de tierra	
COMPLEJOS	 Deslizamiento de tierra con caída de rocas		 Compuesto, deslizamiento rotacional/traslacional con flujo de tierra al pie	

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes del British Geological Survey.

Anexo II

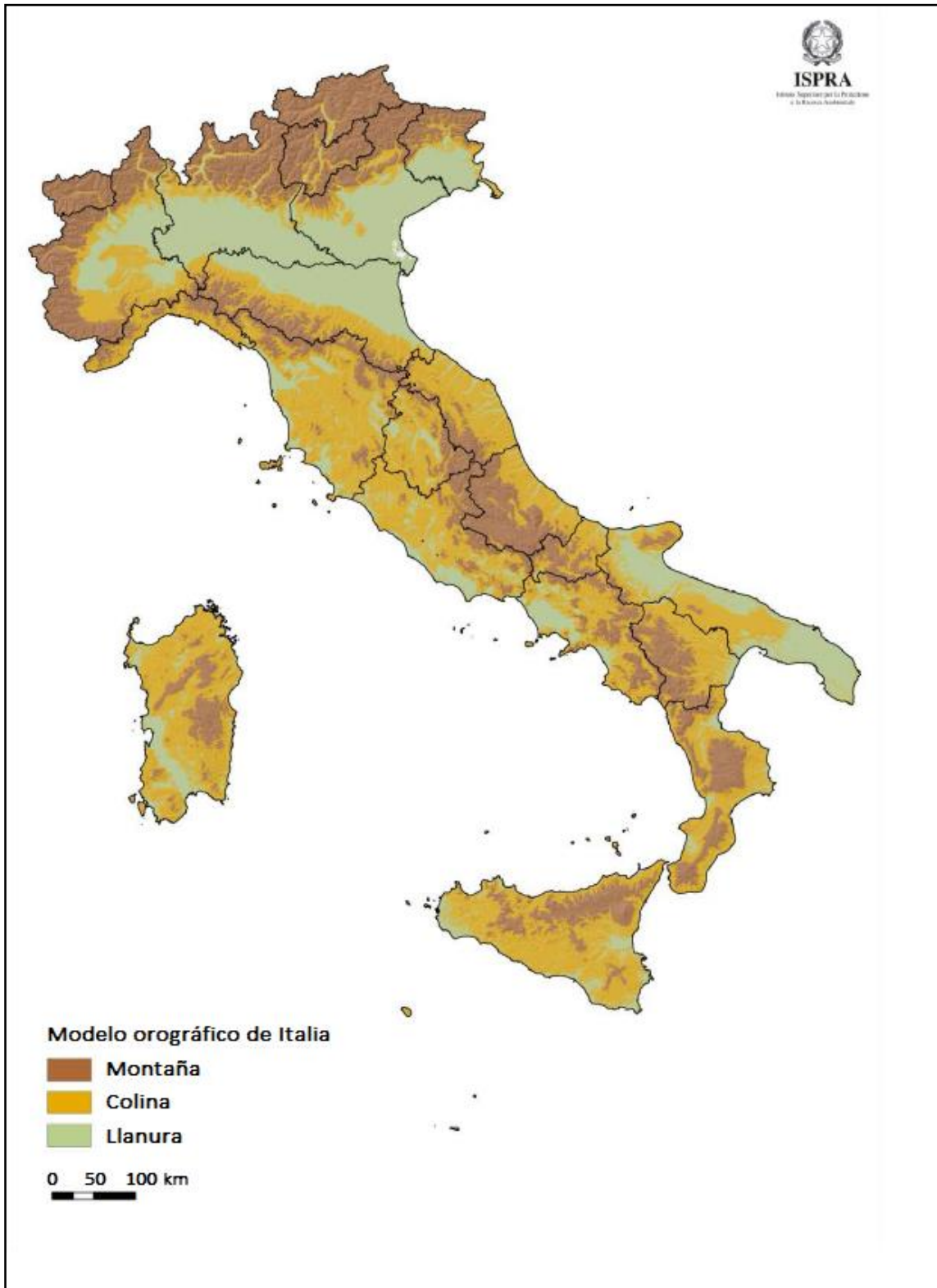
Densidad de movimientos de ladera en Italia (áreas en movimiento/celdas de 1 km de lado).



Fuente: Trigilia et al. (2015).

Anexo III

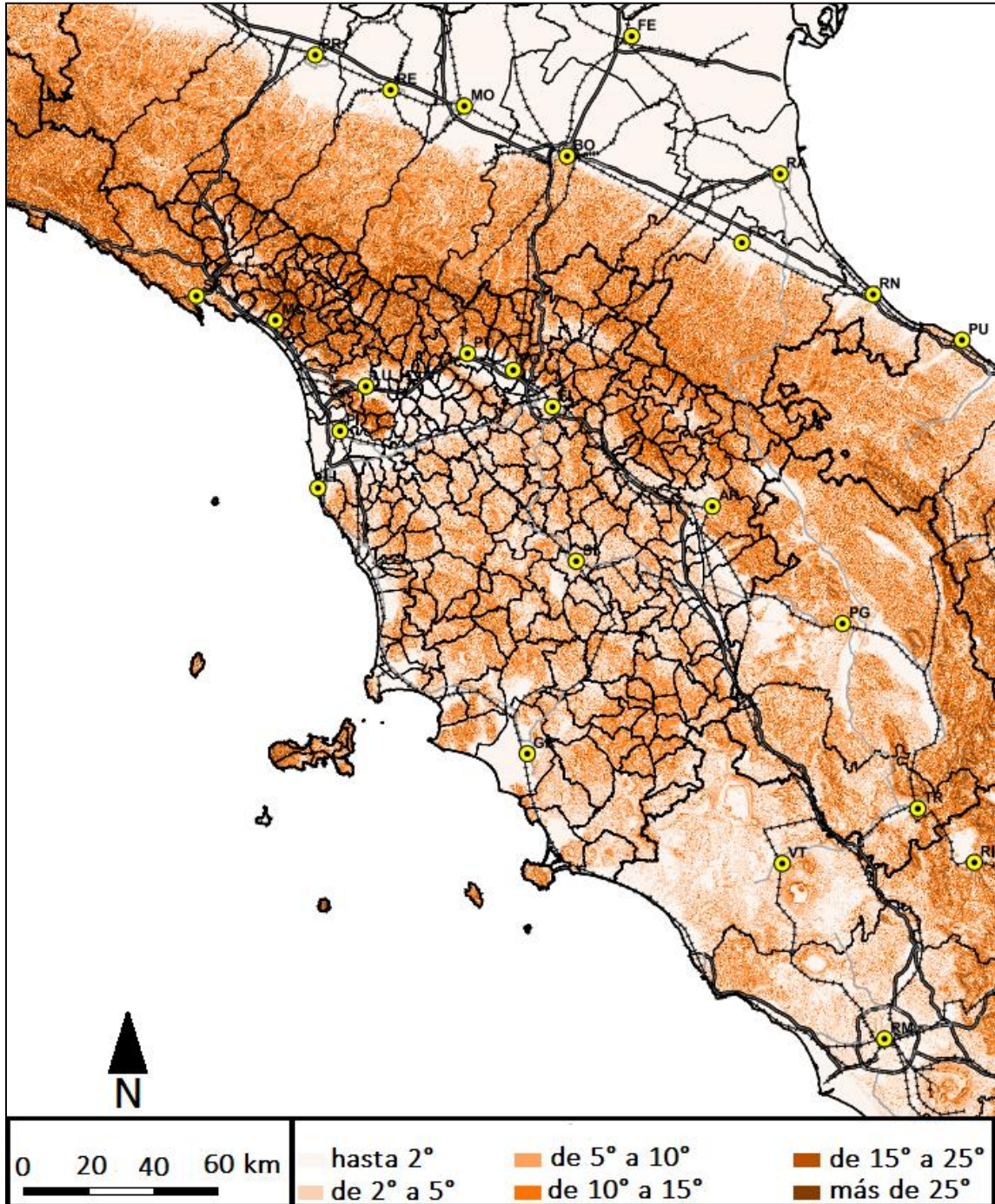
Modelo orográfico de Italia.



Fuente: Trigilia et al. (2015).

Anexo IV

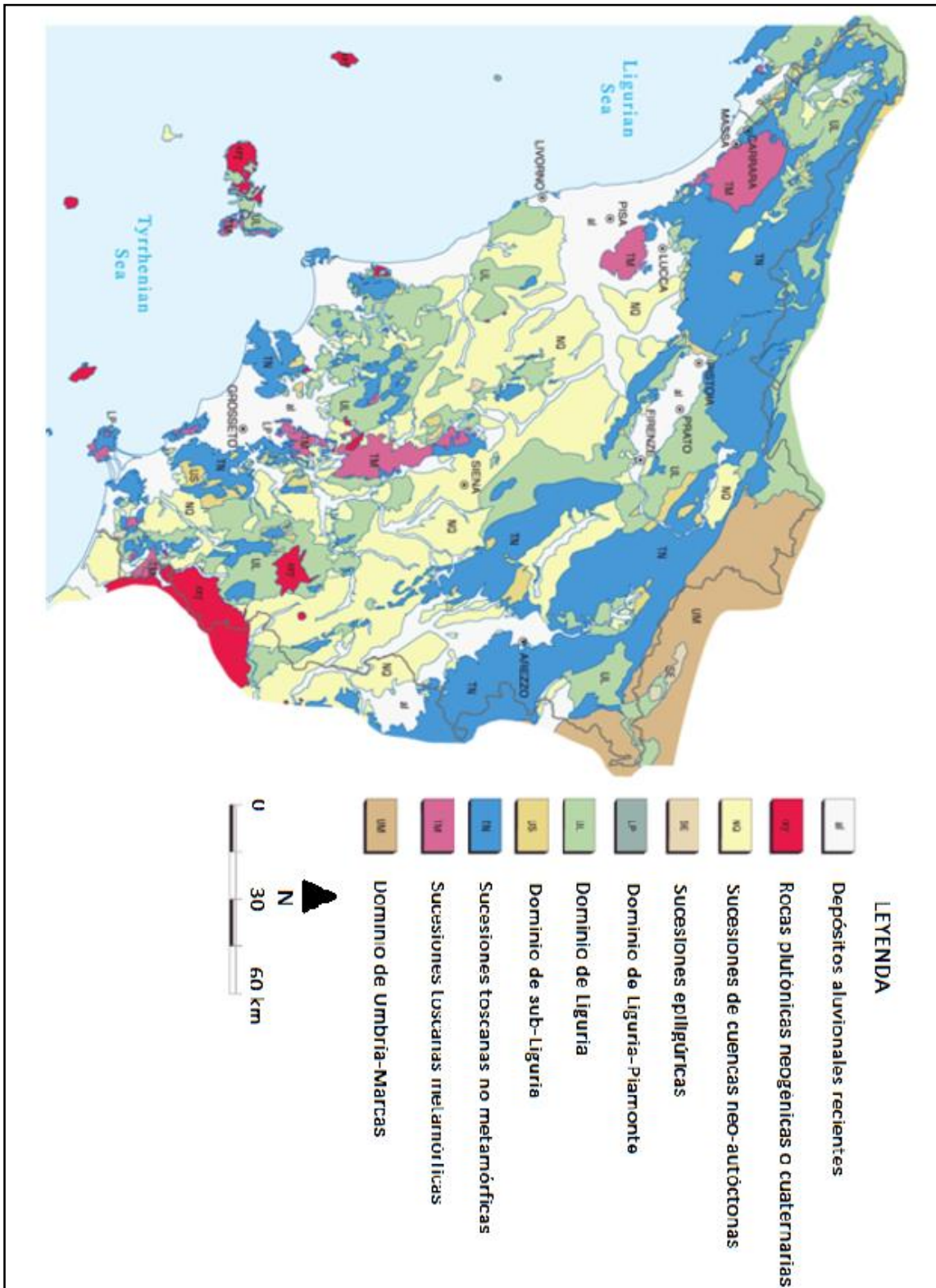
Mapa de pendientes de Toscana.



Fuente: Cooperativa Architetti e Ingegneri Urbanistica (2010).

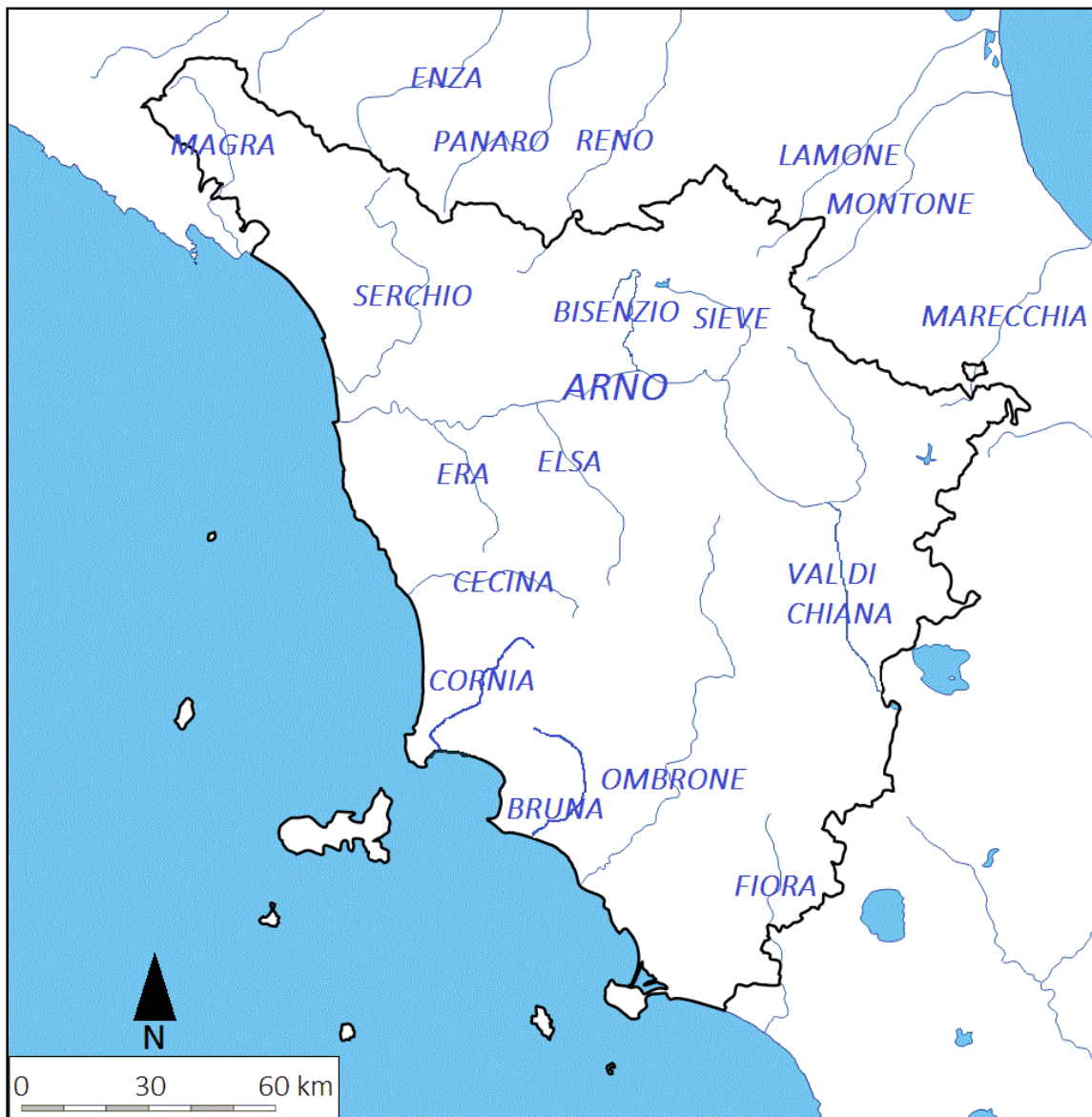
Anexo V

Unidades estructurales geológicas en Toscana.



Fuente: Carmignani et al. (2004).

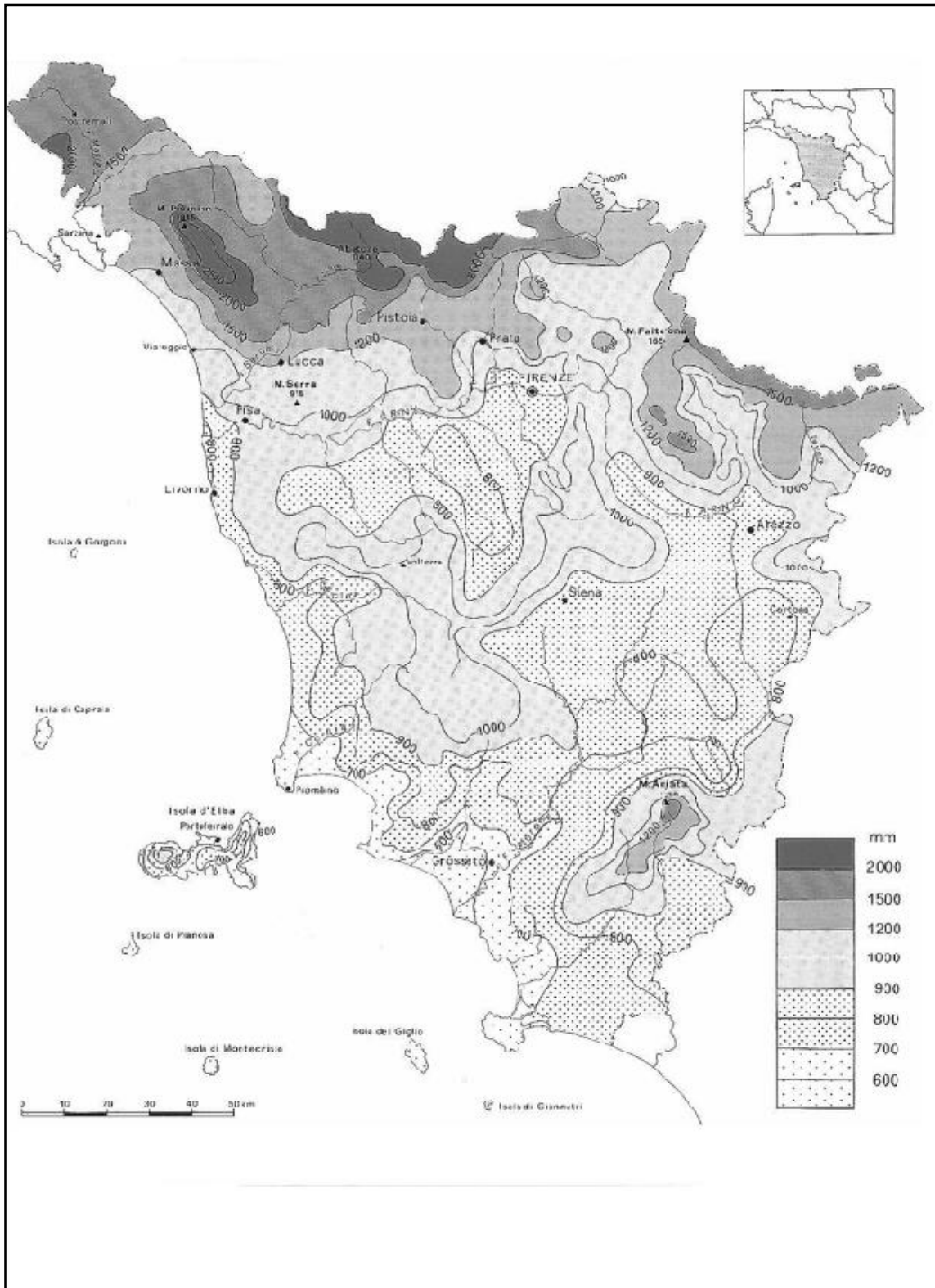
Anexo VI
Red hidrográfica de Toscana.



Fuente: elaboración propia.

Anexo VII

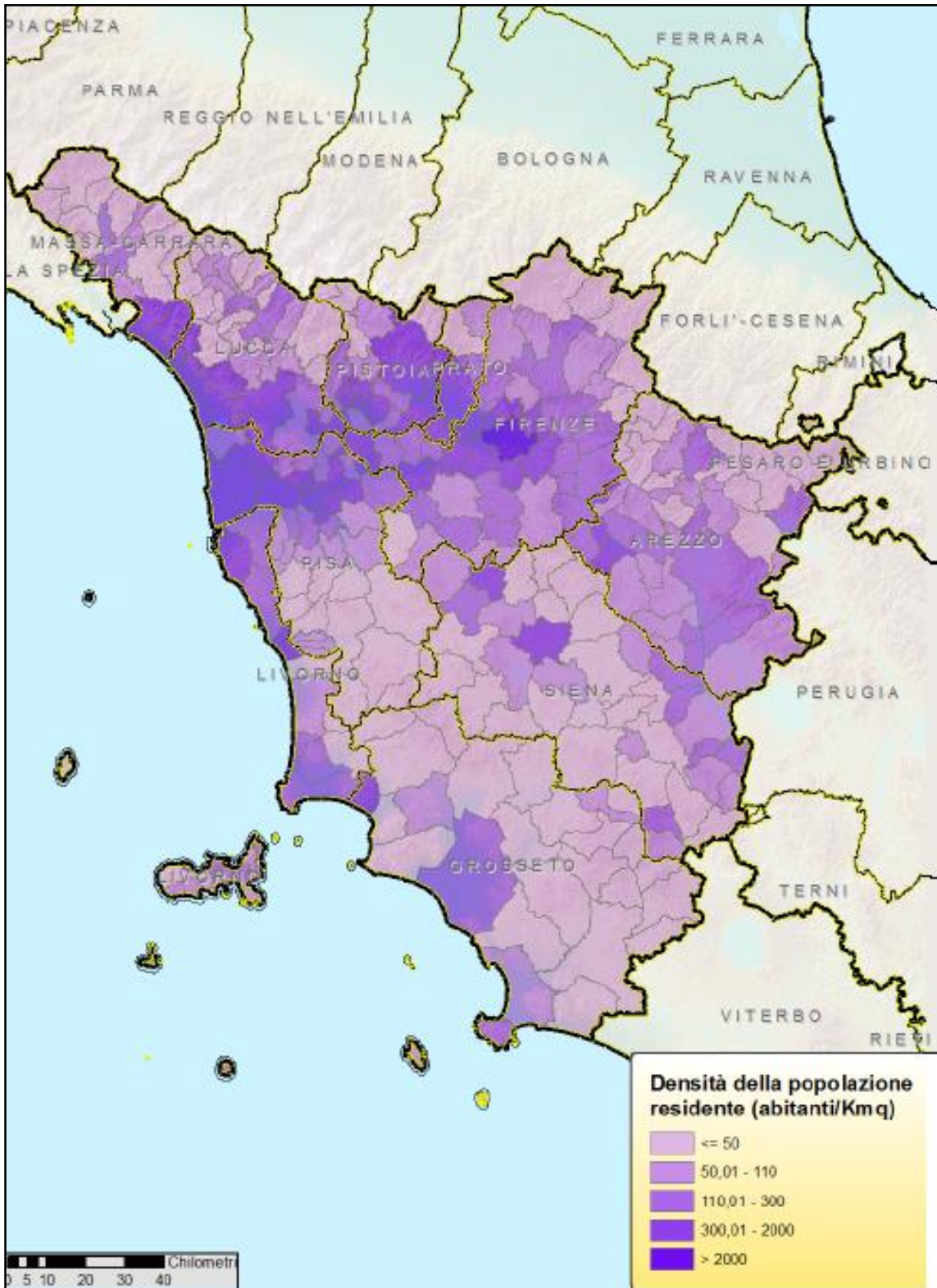
Mapa de las precipitaciones medias anuales en Toscana (1956-1985).



Fuente: Rapetti y Vittorini (2012).

Anexo VIII

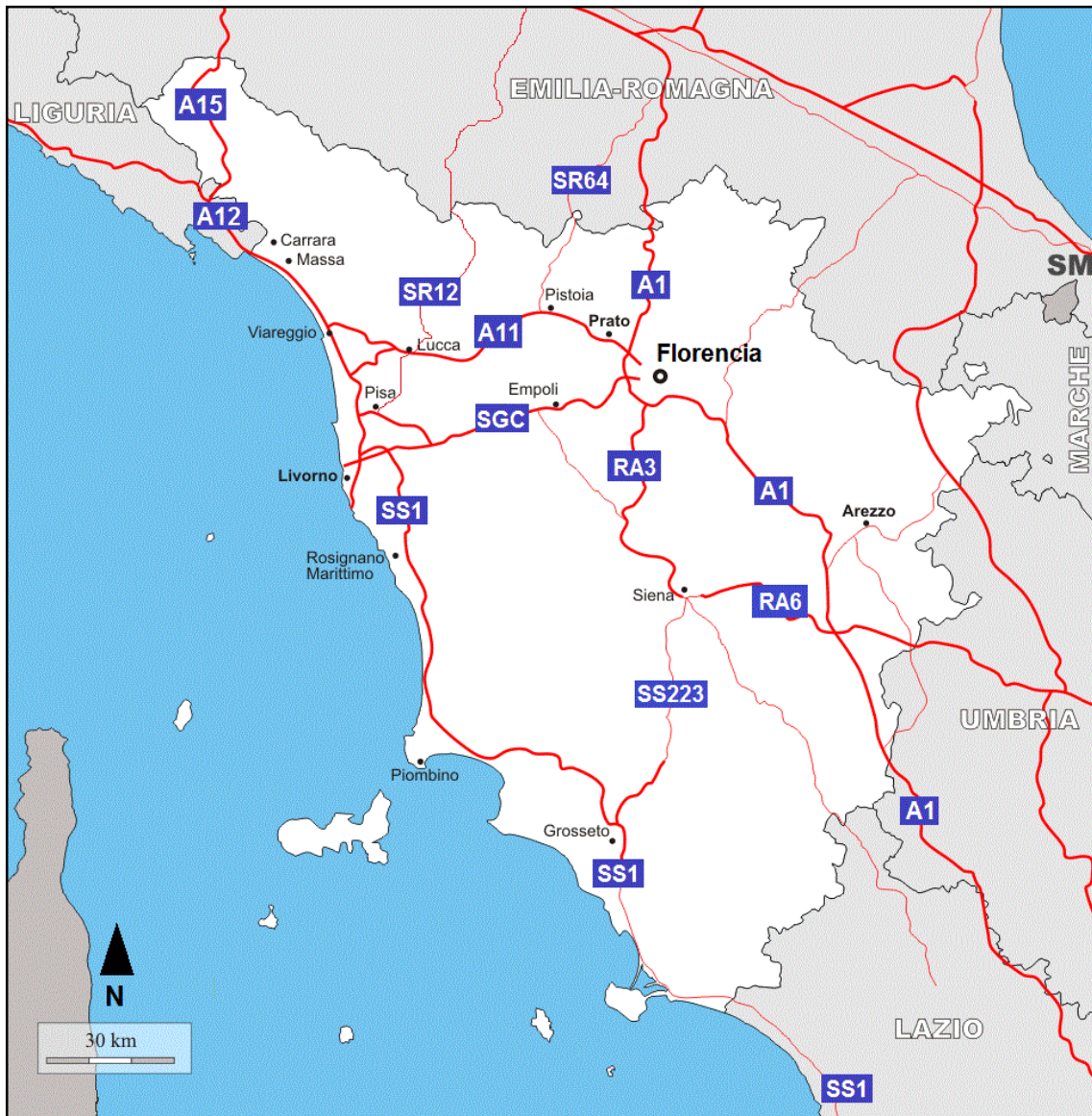
Densidad de población por municipios en Toscana (hab/km²).



Fuente: ISTAT (L'Italia del censimento. Struttura demografica e processo di rilevazione), datos referidos al 15º censo general de la población de 2011.

Anexo IX

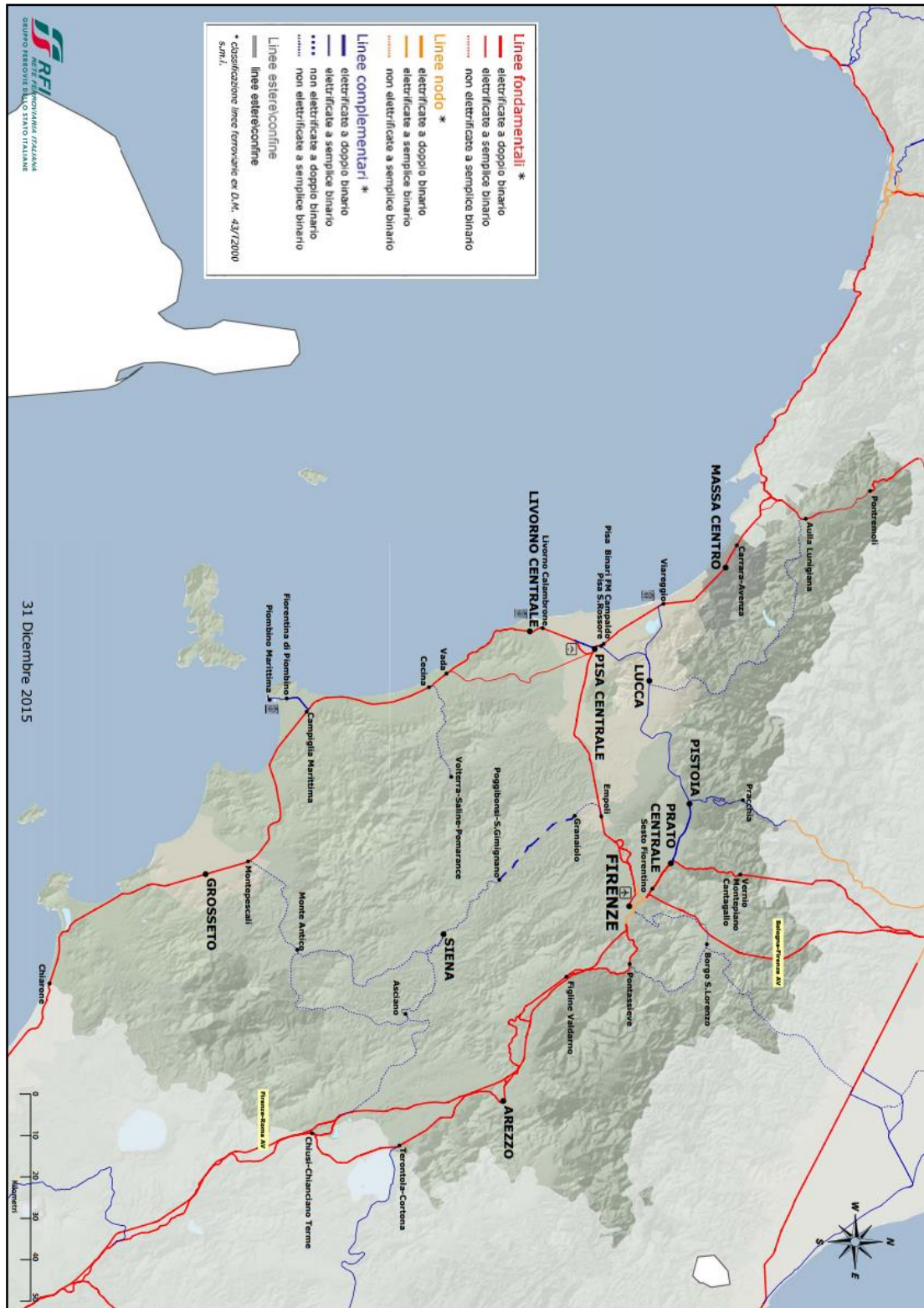
Red principal de carreteras de Toscana.



Fuente: elaboración propia.

Anexo X

Red ferroviaria de Toscana.



Fuente: Rete Ferroviaria Italiana.

Anexo XI

Usos y cobertura del suelo en Toscana (2010).

Uso	Hectáreas	% total	Uso	Hectáreas	% total
1-Territorios modelados artificialmente	196.198	8,53%	Frutales	5.367	0,23%
Redes de comunicación	52.083	2,27%	Áreas agroforestales	3.503	0,15%
Zonas residenciales en tejido discontinuo	48.248	2,10%	Invernaderos estables	1.603	0,07%
Edificios dispersos	33.271	1,45%	Arrozales	315	0,01%
Áreas industriales y comerciales	24.887	1,08%	3-Bosques y ambientes semi-naturales	1.198.257	52,12%
Zonas residenciales en tejido continuo	11.360	0,49%	Bosques de latifolias	911.441	39,65%
Áreas recreativas y deportivas	7.411	0,32%	Bosques mixtos de coníferas y latifolia	91.274	3,97%
Áreas extractivas	6.773	0,29%	Bosques de coníferas	62.686	2,73%
Áreas verdes urbanas	5.142	0,22%	Áreas con vegetación esclerófila	50.449	2,19%
Obras, edificios en construcción	4.097	0,18%	Pastos naturales y praderas	27.269	1,19%
Aeropuertos	1.008	0,04%	Pistas cortafuegos	19.353	0,84%
Cementerios	789	0,03%	Brezales y matorrales	16.665	0,72%
Puertos marítimos	527	0,02%	Playas, dunas y arenas	9.389	0,41%
Descargas, depósitos de chatarra	408	0,02%	Rocas, acantilados, peñascos, etc.	6.860	0,30%
Depuradoras	114	0,00%	Áreas con vegetación forestal y arbustiva en evolución	1.942	0,08%
Implantes fotovoltaicos	50	0,00%	Áreas con vegetación abierta	644	0,03%
2-Superficie agrícola utilizada	882.740	38,40%	Áreas incendiadas	285	0,01%
Cultivos irrigados y no irrigados	587.587	25,56%	4-Zonas húmedas	4.526	0,20%
Olivos	112.870	4,91%	Pantanos internos	3.734	0,16%
Viñedos	75.345	3,28%	Pantanos salobres	651	0,03%
Cultivos temporales asociados a cultivos permanentes.	22.603	0,98%	Zonas inter-mareales	141	0,01%
Cultivos agrarios con presencia de espacios naturales importantes	21.462	0,93%	5-Cursos fluviales	17.148	0,75%
Prados	20.894	0,91%	Cursos de agua, canales e hidrovías	7.647	0,33%
Cultivos y parcelados complejos	15.411	0,67%	Láminas de agua	6.489	0,28%
Arboricultura	9.306	0,40%	Lagunas	2.898	0,13%
Viveros	6.475	0,28%	Mar	115	0,01%

Fuente: Regione Toscana, Consorzio LaMMA. Datos referidos a 2010.