

Caractérisation des phénomènes météorologiques extrêmes sur les routes italiennes

P. Villani*, B. Dessì**, A. Cataldo***, D. Spizzichino**, (T.C. 2.5 PIARC)

* Politecnico di Milano - Département Génie Civil & Environnemental, Italie paola.villani@polimi.it

** ISPRA, Institut italien pour la protection environnementale et la recherche, Département de la protection des terres et Géoresources, Rome, Italie, barbara.dessi@isprambiente.it, daniele.spizzichino@isprambiente.it,

***ISPRA, Direction Générale antonio.cataldo@isprambiente.it

Résumé

Selon les météorologistes, la probabilité, la fréquence, la durée, l'intensité (gravité) des phénomènes extrêmes se multiplieront et seront plus fréquentes à l'avenir: ces phénomènes entraîneraient davantage d'événements de ruissèlement et d'inondations qui pourraient entraîner de plus importants événements de glissement de terrain et des interruptions du réseau routier. En Italie, plus du 10% du territoire, soit 80% des communes italiennes, a été classé avec un niveau élevé ou très élevé de risque hydrogéologique, d'où des impacts potentiels sur la population et sur le système économique à l'échelle locale et nationale très importants. Depuis 2000, le Ministère Italien de l'Environnement a confié à l'ISPRA le projet RenDIS (Répertoire de mesures d'atténuation pour la protection des sols) pour suivre et répertorier les programmes et les mesures d'urgences mis en place pour réduire le risque hydrogéologique.

Cet article décrit les systèmes de planification, de prévention et d'alerte établis en Italie et trace les axes de ce qui reste à faire, vus les coûts très élevés que de nombreuses régions (particulièrement celles qui sont touchées par la chaîne des Apennins) ont dû soutenir suite aux événements climatiques intenses et de dégradations des sols, qui ont provoqué des problèmes importants dans la viabilité routière et pour l'accessibilité des lieux.

1. Un peu d'histoire

Le programme scientifique pour l'évaluation des phénomènes météorologiques extrêmes s'inscrit dans le cadre d'un programme national pour l'atténuation des risques hydrogéologiques. Ce programme est basé sur l'identification des zones à risque avec différents niveaux des hasards et des dommages et, à venir, de planification des interventions. Déjà avec la Loi n° 2359 du 25 juin 1865 des Préfets et des Maires en Italie pouvaient disposer de la propriété privée si les digues se détruisaient, pour les glissements de terrain, pour le effondrement des ponts et dans tous les cas d'urgence. En 1906, des règles spéciales, pour la défense des habitants et des routes d'inondations de glissements de terrain et de l'érosion côtière causée par fortes tempêtes, ont été délivrés.

Le Décret Royal n° 193 de 1909 excluait la constructibilité sur des sites inappropriés (glissants, boueux, détrempés, et cetera...) mais seulement quatre-vingts ans après a été promulgué la Loi n°183 de 1989 sur la « Protection des sols » par l'institution des Autorités de Bassin Versant (en italien «Autorità di Bacino») et la prédisposition des projets spécifiques. Avec la Loi n°225 de 1992, a été créé le Service Nationale de la Protection Civile pour toutes les opérations de sauvetage dans la prévention des catastrophes et des risques post-événement.

Depuis vingt ans le système italien structure les événements potentiels au niveau de bassin versant et détermine le cadre cognitif de référence (périodes de retour, ampleur des dégâts attendus).

Avec la Loi n°267 du 03/08/1998 le gouvernement a engagé un programme national pour le renforcement des réseaux de surveillance hydrométéorologique et des chutes de pluie abondantes.

1.1 Méthodologie

Au cours des 130 dernières années, le climat italien est devenu plus chaud et sec avec une évolution plus marquée et rapide dans l'environnement alpin. Alors que les températures sont en nette augmentation, les précipitations ont des tendances contradictoires et pas bien délinées. L'intensité des phénomènes de pleine au contraire est en train de augmenter de façon alarmante. Afin de contribuer à l'évolution des connaissances sur le changement climatique et de risque hydraulique une série d'études études ciblées sur la caractérisation météo-climatique des événements pluviométriques à

l'échelle des bassins hydrographiques a été lancée, mais il est encore trop tôt pour définir une tendance précise à l'échelle nationale. Ne pouvant rien dire sur les tendances, les objets d'intérêt et étude deviennent les phénomènes de risque.

Le risque est représenté par la possibilité qu'un phénomène naturel ou anthropique peut provoquer des effets néfastes sur la population, les établissements et les infrastructures.

La notion de risque est donc liée non seulement à la capacité de calculer la probabilité qu'un événement dangereux se produise, mais aussi par la possibilité de pouvoir définir à l'avant les dommages causés. Risque et danger ne sont pas la même chose: le danger est représenté par l'événement calamiteux qui peut affecter une certaine zone (la cause), le risque est représenté par les possibles conséquences de ce dernier, c'est-à-dire les dommages qui peuvent être attendus (l'effet).

Pour évaluer concrètement un risque la connaissance des menaces potentielles ne suffit pas, mais il faut également évaluer attentivement la valeur des biens qui peuvent être affectées par un événement.

Le risque est ensuite traduit dans la formule, soit dite de l'évaluation chiffrée du risque:

$$R = F \times V \times E$$

F = fréquence: la probabilité qu'un phénomène d'une intensité particulière se produise dans une zone donnée sur une période de temps de référence.

V = vulnérabilité: Probabilité que les cibles sensibles (ou cibles sensibles: personnes, bâtiments, infrastructures et activités économiques) puissent être endommagées par la suite d'événements d'une certaine intensité.

E = exposition ou effectifs exposés: valeur correspondant au nombre d'unités (ou «valeur») de chacun de cible sensible présent dans une dite zone.

En ce qui concerne les coulées de boue et les débordements des eaux, les risques et la définition des travaux nécessaires pour prévenir les dommages dans les zones exposées à glissement de terrain, sont évalués par moyen de:

modèles de formation de débris ou dits à "rhéologie coulombienne": visant à représenter les phases de déclenchement (d'un point de vue énergétique,) ; et de mobilisation post-collaps (effet « avalanche » et liquéfaction des terrains) ;

modèles de propagation (érosion, dépôt et impact): caractéristiques dynamiques, coulées de boue ou phénomènes macro-viscose (glissements de terrain) :

modèles d'intervention structurelle sur les pentes, cours d'eau et objets à risque),

préparation de systèmes d'alarme et d réglementation des territoires ;

interaction avec les infrastructures dans le lit de rivière ;

travaux spécifiques.

1.2 Glissement de terrain et série historique

La série historique de glissement de terrain qui ont touché le territoire d'Italie est marquée par des événements particulièrement pertinents et parmi eux on peut citer :

-inondation de Pieve Santo Stefano (Arezzo) causée par une occlusion du Tibre qui s'est produite après l' effondrement de Belmonte le 14 février 1855 ; après un mois de pluie incessante, un glissement de terrain se détache de la colline et glisse vers le sud du village. Le barrage naturel formé fait disparaître sous les eaux Pieve Santo Stefano. Le grand-duc Léopold II arrive pour visiter et parcour en signe d'incrédulité sur le pays (sur la paroi extérieure du sanctuaire de la Madonna dei Lumi, une plaque de marbre montre le niveau atteint par les eaux soulevées à ce stade).

-Le 25 et 26 octobre 1954, des coulées de boue et de débris produites par des pluies intenses ont inondé certains quartiers de Salerne et cinq villes voisines (Cava dei Tirreni, Maiori, Minori, Vietri et Tramonti) causant des dégâts et pertes: 318 morts ou disparus 157 blessés et environ 5 500 personnes évacuées. Les routes et le réseau de chemin de fer entre Naples et le sud d'Italie ont été détruits à plusieurs endroits.

Le 9 octobre 1963, environ 300 millions de mètres cubes de roche se brisent depuis les pentes du mont Toc, entre les départements de Belluno et Pordenone et glissent dans la digue-réservoir du Vajont. Le glissement de l'énorme éboulements rocheux, l'un des plus importants dans les Alpes à cette époque historique, a fait déborder l'eau du réservoir en forme de vague de quelque quelques dizaines de mètres de hauteur que a dépassé le barrage, presque sans le ruiner, s'est abattue contre Casso et Erto, deux villages situés sur le côté opposé à celui du glissement de terrain et atteint en quelques minutes de la ville de Longarone, qui a été inondée et détruite La catastrophe du Vajont a causé la mort d'environ 2000 personnes.

-En1966les pluies étaient tellement fortes que seulement dans le département de Belluno il y ait eu nombreux glissements de terrain et effondrements qui détruisirent ou endommagèrent plus de 4300 bâtiments, 528 ponts et 1346 routes et certains parmi eux en plusieurs endroits. Le 3 et 4 novembre de la même année sont aussi évoqués comme les jours de l' « inondation de Florence ».

- Le 7 et 8 octobre 1970 les pluies localisées mais très intense, typiques de la côte ligure, firent tomber 900 mm d'eau en 24 heures, correspondant à 90 % de la moyenne annuelle des précipitations et déterminèrent dégâts importants à Gênes et vingt autres communes. Les rues et les deux lignes de chemins de fer entre Gênes et Alessandria ont été détruites à plusieurs endroits par les inondations et les glissements de terrain.

- Le 13 Décembre 1982, un glissement de terrain grand, profond, concernant 342 hectares de terrain, commença à se déplacer juste au nord du port d'Ancône. Le glissement de terrain endommagé la route côtière et la voie ferrée le long d'un front de 2,5 kilomètres et détruisa plus de 280 bâtiments dont deux hôpitaux et la faculté de médecine de l'Université d'Ancône.

-Du 17 au 19 juillet 1987, en Valtellina (Lombardie), des fortes et prolongées précipitations déterminèrent nombreux glissements de terrain et débris mais quelques jours plus tard, le 28 juillet, une avalanche de roche de 35 millions de cubes mètres se détacha du Monte Zandilla, environ 7 km au sud de Bormio et écrasa dans la vallée du fleuve Adda, en l'obstruant. Au total, 49 morts, 12 disparus et 31 blessés, dont . 27 décès et 9 blessés provoqué par la seule avalanche. Suite au glissement de terrain, , firent évacuées plus de 20.000 personnes et les 162 communes des 5 départements touchés (Sondrio, Como, Lecco, Bergamo et Brescia), estimèrent une recette d'endommagements qui s'éleva entre 1000 et 2000 milliards de lires (500–1000 millions euros).

Entre le 2 et le 6 novembre 1994, le nord-ouest de l'Italie a été affecté par un événement météorologique particulièrement intense: la région le plus durement frappée fut le Piémont, où des milliers de glissements de terrain provoquèrent 78 décès, un dispersé et 93 blessés, 9500 personnes évacuées, 496 communes endommagés et dégâts particulièrement sévères pour le réseau routier avec 10 ponts complètement détruits et 100 détériorés, et dans le sud du Piémont quelques villes et villages restèrent isolées pendant plusieurs jours. Les dégâts les plus importants eurent lieu dans la vallée de Tanaro (affluent de rive droite du Pô), dans les villes de Alessandria, Asti et Alba.

Le 19 juin 1996, ce qui sera connu comme le déluge de la Versilia, 474 mm de pluie tombèrent en 12 heures, causant de centaines de glissements de terrain dans un bassin versant très restreint, avec comme conséquences l'inondation d'une vaste étendue de terres plaines, 13 morts et 1500 sans abri.

Le 5 mai 1998, dans ce qui sera par suite connu comme les affaissements de Sarno, la pluie insistante déclencha nombreuses coulées de débris sur le sommet du Pizzo d'Alvano, à l'est de Naples. Les glissements de terrain, pas consolidés pour les sols volcaniques, furent particulièrement destructeurs. Les villes de Episcopio, Siano, Bracigliano et Quindici furent inondés par des vagues répétées de boue et de débris. Il y eut 157 morts, 5 disparus et 70 blessés de centaines de personnes déplacées et sans-abri. L'événement a produit un impact significatif et a donné lieu à la rédaction d'une nouvelle législation sur les procédures d'évaluation des risques de glissement de terrain.

- Le 8, 9, 10 Septembre 2000 inondation à Soverato: 561 mm de pluie en trois jours et 13 morts

- Entre le 13 et le 16 octobre 2000, le nord-ouest de l'Italie fut affecté par un événement météorologique particulièrement intense. Dans les Alpes occidentales tombèrent jusqu'à 600 mm de pluie en 48 heures. Les fortes pluies produisirent nombreux glissements de terrain, les débris s'écoula et provoqua des inondations dans le Piémont la Ligurie et la Vallée d'Aoste, qui fut la région la plus touchée.. Les glissements de terrain causerent 37 morts ou disparus (dont aussi dans le Trentin-Tyrol du Sud 1 le Canton du Tessin, en Suisse), et plus de 40 000 personnes évacuées.

- Le 29 août 2003 dans le Val Canale et Canal del Ferro (Udine), fortes pluies concentrées dans le temps et l'espace (plus de 300 mm de précipitations en 6 heures environ) provoquerent un glissement de terrain sur l'autoroute A23.

- En octobre 2009 dans les hameaux de Giampileri Superiore, Altolia et Brig (Messine) et dans la municipalité de Scaletta Zanclea fortes pluies déclenchement le hydrogéologique : une série de glissements de terrain et des coulées de débris submerger de nombreuses routes entre Giampileri Superiore et Scaletta Zanclea

- 13-17 Février à San Fratello (ME), environ 2000 personnes furent évacuées

- 25 et 26 octobre 2011 inondations en Lunigiana et Cinque Terre, 542 mm de pluie en six heures, 13 victimes

- 4 novembre 2011, à Gênes fortes pluies causerent 6 morts.

- 11 Novembre 2012 - dans le département de Massa-Carrara une averse investit tout le territoire avec des précipitations supérieures à 200 mm en deux heures et jusqu'à 300 mm dans les collines. Les fortes pluies déclenchèrent nombreuses coulées de boue: 5000 foyers touchés et 300 personnes évacuées.

- Le 28 Novembre 2012 entre Carrara et Ortonovo, deux semaines après les inondations du 11 novembre, un nouvel fort orage s'abattit dans les mêmes zones et détermina nouveaux glissements de terrain et dégâts sur les lieux déjà touchés. La Route Nationale Aurelia entre Massa et Sarzana fut fermée pour un glissement de terrain. Les fortes précipitations cumulèrent plus de 200 mm de pluie en deux heures.

Cette liste met aussi en évidence que les événements climatiques indésirables en Italie se produisent tout le long de l'année et ils ne sont pas forcément associés aux saisons hivernales.

2. Les événements extrêmes à l'échelle locale

Les événements météorologiques exceptionnels qui ont touché la Province de Lucques et de Massa-Carrara, les 31 octobre et 1er novembre 2010 ont permis le lancement de diverses initiatives pour la sécurité de la région (communautés de montagne avec la couleur bleue).

Les interventions sont liées à la reconstruction et l'amélioration des routes de campagne et du réseau de circulation vicinale, plus particulièrement adressés à l'amélioration des chaussées, des accotements, et des fossés, et spécifiquement:

- renforcement, amélioration et adaptation des pistes et des chemins forestiers avec la construction de nouvelles routes ou chemins (réservés aux poids lourds, aux tracteurs

- agricoles) afin de permettre l'afforestation et le reboisements et, en général, relier les zones boisées avec les voies publiques pavées;
- amélioration, adaptation et mise aux normes de routes et de pistes forestières existantes, par le biais de élargissement, de développement ou restauration des réseaux de drainage, des bâtiments ou réparation des passages et autres ouvrages connexes, stabilisation des chaussées, consolidation ou restauration des escarpements;
 - réalisation et amélioration des infrastructures d'approvisionnement et accumulation des eaux de surface;
 - amélioration du système de récolte des eaux, remodelage et imperméabilisation, travaux pour la mise en sécurité ;
 - réduction des pertes de tuyaux et tuyauteries des canaux en plein air ;
 - régime hydrogéologique ;
 - réduction, consolidation de pentes et de régime des eaux ;
 - sécurisation et restauration des noyaux boisés
 - restauration et consolidation des talus.

3. Conséquences de érosion hydrogéologiques en Italie

Le territoire national italien, en raison de sa conformation orographique, des caractéristiques géologiques et géomorphologiques et de sa orographie avec des jeunes reliefs toujours en levage, est souvent touché par des phénomènes hydrauliques et hydrogéologiques de grande intensité. Entre les années 1279 et 2002, le catalogue AVI des zones vulnérables, publié par le CNR-IRPI rapporte 4,521 événements avec des dégâts dont 2.366 liés aux glissements de terrain (52,3%), 2.070 aux inondations (45,8%) et 85 aux avalanches (1,9%).

Pendant la même période ont été enregistrées on peut compter une moyenne d'environ 13,8 victimes après les glissements de terrain et 49,6 victimes dues aux phénomènes d'inondations (source AVI CNR-IRPI). Au cours des 50 dernières années ces estimations montrent une diminution des pertes causées par des phénomènes hydrauliques (31 décès par an), avec un'augmentation exponentielle de coûts économiques associés .

Seulement au XXe siècle ont été enregistrés en Italie plus de 10000 entre tués, blessés ou disparus, 350.000 personnes sans-abri ou déplacées, destruction ou endommagement de milliers de maisons, des dizaines de milliers de ponts et des centaines de kilomètres de routes et de chemins de fer.

Les événements comme ceux de la Val Pola, en Lombardie (28 juillet 1987) avec 28 victimes, l'inondation du Piémont (septembre 1994) avec 69 blessés, les inondations et glissements de terrain dans la Versilia (juin 1996) avec 16 victimes, les glissements de terrain en Campanie (mai 1998) avec 160 victimes, l'inondation de Soverato (septembre 2000) avec 13 victimes, la Val d'Aoste et le Piémont (novembre 2000), les phénomènes de 2003 dans diverses régions du Pays, les coulées de débris a Scaletta-Zanlea et Giampilieri dans l'agglomération de Messine en octobre 2009 avec 31 victimes, 6 disparus et 1054 personnes déplacées, l'inondation en Lunigiana e dans les Cinque Terre les 25 et 26 octobre 2011, l'inondation du 4 novembre 2011 à Gênes et l'inondation du 28 novembre 2012 entre Carrara et Ortonovo sur la limite entre la Ligurie et la Toscane, sont seulement les épisodes plus récents d'une situation générale d'incompatibilité entre les politiques de développement socio-économique adoptées et la dynamique de l'environnement naturel. Le rapport " Écosystème et hasards" (Legambiente & Protezione Civile 2011), estime que seulement en Italie, dans la décennie 1991-2001 il y a eu 12 000 glissements de terrain et inondations, causant plus de 1340 victimes et endommagements économiques calculés à plus de 10 milliards d'euros (voir Tableau 1). En 2003, les inondations majeures ont affecté plus de 300.000 personnes et ressources économiques nécessaires à la réhabilitation des zones touchées, s'élevant à une facture de 2.184

millions d'euros. On compte nombreux épisodes de débordement d'eau , que chaque année provoquent l'inondations des zones agricoles et des petites ou grandes agglomérations, causant d'importants dégâts même sans victimes.

Tableau 1. Grands glissements de terrain et inondations en Italie (1991 – 2012)

Années	Nombre de grands glissements de terrain	Nombre des inondations
1991	705 *	112 *
1992	780 *	125 *
1993	557 *	95 *
1994	692 *	84 *
1995	744 *	81 *
1996	2272 *	152 *
1997	2455 *	103 *
1998	1671 *	84 *
1999	700 *	73 *
2000	1177 *	72 *
2001	322 *	22 *
2002		
2003		
2004		11 **
2005		12 **
2006		17 **
2007		15 **
2008		13 **
2009	>100 **	7 **
2010	88 **	14 **
2011	70 **	8 **
2012	85 **	10 **

* Source AVI - ** Source ADA ISPRA

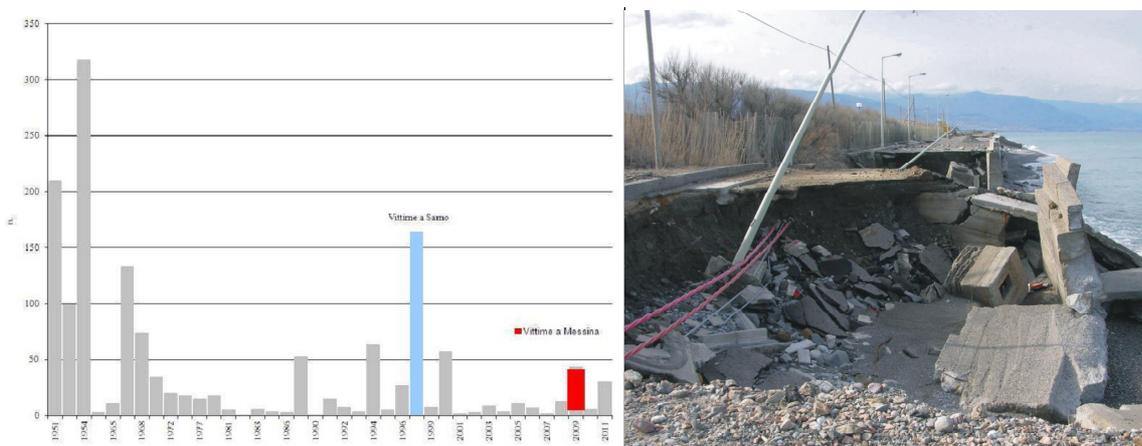


Fig. 1 - Victimes des inondations en Italie (ISPRA Annuaire 2011) [2]

Les catastrophes naturelles et en particulier les événements géologiques et hydrauliques, soit à l'échelle européenne que au niveau mondial, semblent enregistrer une forte

augmentation . La même tendance semble se retrouver dans la série italienne historique où, par exemple, dans le 10 dernières années on enregistre 4 événements séculaires dans le Piémont [3].

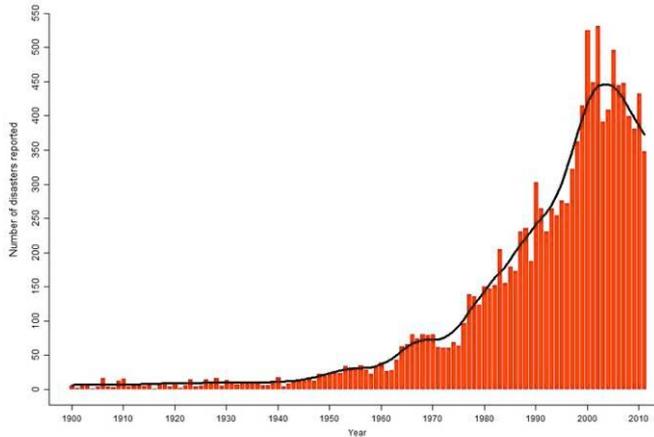


Fig. 2 - Catastrophes naturelles dans la période 1900 – 2011 (EM-DAT)

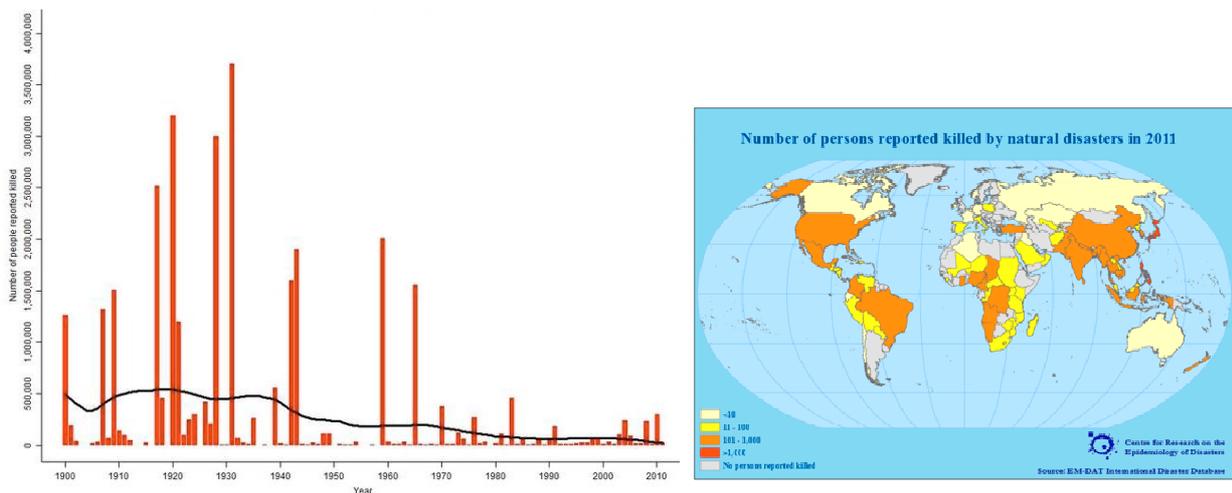


Fig.3 - Nombre de personnes tuées par des calamités naturelles dans la période 1900-2011

Un'étude récente menée par le Ministère de l'Environnement (MATTM), après les enquêtes effectuées par les Autorità di Bacino , en actuation de la Loi 180/98 et ses modifications ultérieures et intégrations (« Decreto Sarno») a révélé la présence en Italie d'environ 13 000 zones à risque élevé ou très élevé pour inondations, glissements de terrain et avalanches. Ces zones s'étendent par une superficie de 29.517 Km², soit le 9,8 % du territoire national (4,1 % inondations, 5,2 % glissements de terrain, avalanches 0,5 %), concernant 6.633 communes italiennes (81,9 %), les centres urbains, les zones de production et infrastructures, et les zones de fort développement économique et social du Pays. Le projet IFFI a produit une répartition complète et homogène des glissements de terrain sur le territoire national, y compris ceux qui ne sont pas dangereux pour les infrastructures urbaines et territoriales en général. Ce projet, liste et cartographie les glissements de terrain survenus sur le territoire national. À ces jours il répertorie plus de 486 000 glissements de terrain affectant une superficie de 20.800 km², soit 6,9 % du

territoire national [4,5]. Pour chaque glissement de terrain est disponible en ligne un cartographie informatisée détaillée (échelle 1:10 000) et une carte contenant les principaux paramètres descriptifs du phénomène (par exemple le lieu, le type de lithologie du mouvement, lithologie, utilisation, causes, date de déclenchement, dommages et interventions).

Dans la période 1993-2003 ont été alloués des ressources économiques pour plus de 1 milliard €/ an pour les dommages causés par les inondations et il faudra enquêter sur ce qui ont été les coûts supportés dans les années ultérieures à 2003. Les coûts moyens annuels d'interventions soutenus par l'Etat s'élevaient à environ 600 millions d'Euros par an, dont 25 % pour les interventions du aux « Decret Sarno » (environ \$ 4,5 milliards d'Euros sur 11 ans), tandis que on a déjà dépensé environ 50 mln €/ an sur d'autres fonds (8 %0). Le montant nécessaire pour pour sécuriser le territoire italien est de 44 milliards d'Euros, dont 27 pour les régions du Centre-Nord, 13 pour le Sud e 4 pour l'érosion côtière causée par les fortes tempêtes), et on a compté environ 10.000 victimes, blessé ou disparus en Italie entre 1900 et la 2013 en raison de l'hydrogéologie. Pour ce qui concerne les fonds alloués et issus par les arrêtés de la Protezione Civile (arrêtés 353) "post événement" les données les plus récentes font référence à un un total de 3.546.635.769 euros pour la période 2003 - 2013.

4. *Projet ReNDiS*

Le projet ReNDiS (Répertoire National des Interventions pour la conservation des Sols), qui à été développé et géré par ISPRA, a pour tâche principale la collection, la mise à jour et en place d'une base de données nationale pour le suivi des interventions urgentes financées par le Ministère de l'Environnement pour la réduction des risques hydrogéologiques (« Decret Sarno » D.L. 180/98 et ses intégrations et modifications successives). Le projet, qui à été lancé en 1999 est entièrement réalisée avec des technologies "open source" et se compose d'une plate-forme web-GIS "un géodatabase qui sert d'archive principal (archive principal) et deux applications secondaires, dont ReNDiS-ist pour la gestion des données et l'interface en ligne et ReNDiS-web pour la visualisation et l'accès public à la consultation des données en réseau.

Dans la base de données, chaque information est organisée comme en un seul lot d'action dont l'exécution (la Loi de financement, de planification et la phase d'exécution) est constamment surveillée à l'échelle nationale. Le Tableau 2 montre le total des fonds alloués à chaque région. À présent, 4710 interventions ont été financées par le MATTM pour un montant de plus de 4 milliards d'euros.

Le projet ReNDiS est actuellement le principal outil opérationnel pour la gestion des informations sur la surveillance et la mise en œuvre des interventions financées par le Ministère. L'objectif final est de bâtir progressivement un cadre unitaire et global de interventions publiques pour la conservation des sols et pour celail a été conçu au fin de pouvoir être facilement implémenté (y compris les services *wms*) avec les bases de données gérées par d'autres institutions. La base de données permet de partager les informations entre différentes administrations et, par conséquent, améliorer le cadre cognitif à l'appui de la planification des tâches et des actions pour la défense des sols par le risque hydrogéologique. Enfin, il favorise la transparence de l'administration publique étant accessible sur le web au grand public.

Tableau 2 - Localisation géographique des ressources de financement

REGION	n. interventions	Ressources (MLD €)
Abruzzo	144	118
Basilicata	235	111
Calabria	450	393
Campania	287	384
Emilia-Romagna	317	269
Friuli Venezia Giulia	72	84
Lazio	275	304
Liguria	115	113
Lombardia	481	415
Marche	262	164
Molise	161	80
Piemonte	458	236
Puglia	212	315
Sardegna	98	138
Sicilia	424	629
Toscana	528	403
Trentino - Alto Adige	61	39
Umbria	90	97
Valle d'Aosta	29	30
Veneto	173	151
TOTAL	4.872	4.473

5. Étude de cas : interruption et l'isolement de petites collectivités

5.1 Choix des étude de cas

Le département de Lucques, pour la relevance de phénomènes instabilité hydrogéologique constitue un cas d'étude intéressant. L'analyse historique [5,6] met en évidence que le territoire de Lucques est particulièrement touchée par les glissements de terrain peu profondes et les inondations associées à des pluies intenses. Des événements importantes ont eu lieu en 1774, 1885, 1902, mais d'autres mineur événements ont un temps de retour relativement court, entre 25 et 30 ans. Le déluge de 1996 a été, du point de vue des dégâts et de l'amplitude, tout à fait comparables à celle du 25 septembre 1885. Surtout au cour des derniers 10 ans (2003-2012), dans le département de Lucques, certains événements souvent considérés comme exceptionnels sont devenus récurrents presque chaque année, avec quatre inondations graves en termes de répercussions et respectivement en novembre 2009, octobre 2010, novembre 2011 et octobre 2012 [7].

Méthodologie d'analyse

La méthodologie adoptée pour l'étude de l'interaction par l'instabilité du réseau routier fournit une estimation des routes qui sont les moins exposée aux risque hydraulique et du glissement de terrain selon le schéma méthodologique illustré dans la Figure x à travers l'analyse spatiale sur des couches thématiques GIS ci-dessous.

Les différentes sections routières encodées dans le logiciel TeleAtlas®, dans leur complexe, constituent les éléments exposés, dont la caractérisation c'est une étape essentielle dans l'analyse des risques. Pour ce qui concerne la vulnérabilité, il faut souligner qu'en absence des courbes de vulnérabilité spécifique pour la planification des infrastructures, a été précautionneusement considéré constant et égal à 1, en supposant

que, dans le contexte spécifique, la simple présence de biens (terrains et bâtiments) dans les zones de risque élevé déterminera automatiquement une grande vulnérabilité.

Inventaire des glissements de terrain en Italie (projet IFFI): les données sur les glissements de terrain sont extraits de l'inventaire des glissements de terrain en Italie (projet IFFI), développé depuis le 1997 par ISPRA et par les régions et les départements autonomes d'Italie.

Zones à risque hydraulique: les zones à risque hydraulique considérés dans ce cas d'étude, correspondent aux bandes dangerosité hydraulique produites par l'Autorité du bassin versant de la rivière Serchio.

Graphique de trafic TeleAtlas ® 2009: en ce qui concerne les éléments exposés du département de Lucques, on a utilisé les codes FRC 6 (routes locales), 7 (routes locales de moindre importance), 8 (autres routes secondaires) du graphe routière TeleAtlas mis à jour en 2009.

Tableau 3 - Données retenue pour l'analyse spatiale

Province of Lucca	Total area [km ²]	1772
Glissements de terrain IFFI	Total area [km ²]	102.8
TeleAtlas	Longueur totale [km]	5563
	Longueur FRC 6 [km]	556
	Longueur FRC 7 [km]	3282
	Longueur FRC 8 [km]	37
	Total 6+7+8 [km]	3875
Zones à risque hydraulique	P1 [km ²]	7.3
	P2 [km ²]	15.7
	P2a [km ²]	9
	P3 [km ²]	11.7
	Total P1+P2+P3 [km ²]	43.7

5.1 Mise en œuvre et analyse de données

Les sections de route secondaire (6, 7 et 8) du réseau TeleAtlas de la Province de Lucques, ont été soumis à une analyse (buffer/tampon de 3 mètres) afin de donner mieux représenter la réalité physique exposée ou évaluer la largeur de la chaussée. Il n'a été pas jugé nécessaire, dans cette première cas d'étude, différencier les catégories de routes secondaires prises avec des valeurs différentes.

Les éléments routiers ainsi obtenus ont été ensuite intersectés dans l'espace avec les polygones de glissement de terrain réalisées par le projet IFFI, avec un buffer de 20 m pour tenir compte de la possible évolution du phénomène d'instabilité en progression et régression. Il était donc possible d'obtenir une première estimation de risque des glissements de terrain sur une base communal. Le premier résultat localise 290 km de routes exposées au risque de glissement de terrain soit 5,2 % du réseau total de la province et 7,5 % des routes secondaires (6, 7 et 8).

En ce qui concerne le risque hydrogéologique, utilisant la même procédure décrite ci-dessus (superposition de réseau routier sur les aires de danger hydraulique pour le bassin versant du fleuve Serchio), on a identifié 162 km de routes provinciales exposés à un risque hydraulique soit 3 % de la totalité du réseau départementale et 4.2 % de routes secondaires (6, 7 et 8). Les résultats de cette analyse spatiale sont illustrés dans le tableau ci-dessous et sous forme graphique.

Code TeleAtlas	Length [km]	L. landslides risk [km]	L. flood risk [km]
6	555.75	35.70	27.15
7	3282.24	254.28	128.19
8	37.27	0.15	7.13
TOT	3875.26	290.13	162.46

Inventaire des glissements de terrain en Italie (projet IFFI): données sur les glissements de terrain sont tirées de l'inventaire des glissements de terrain en Italie (projet IFFI), développé depuis le 1997 par l'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) et par les régions et les provinces autonomes de l'Italie.

Zones à risque hydraulique: zones à risque hydraulique considérés dans cette étude, dérivé de dangereuses bandes hydrauliques produites par l'autorité du bassin versant de la rivière Serchio.

Graphique de trafic TeleAtlas ® 2009 : en ce qui concerne les éléments exposés dans la province de Lucques, on a utilisé les codes FRC 6 (routes locales), 7 (routes locales de moindre importance), 8 (autres routes secondaires) du graphe routière TeleAtlas mis à jour en 2009.

Mise en œuvre et analyse de données

Les sections de route secondaire (6, 7 et 8) du réseau TeleAtlas de la Province de Lucques, ont été soumis à analyse (tampon de 3 mètres) afin de donner des éléments de la réalité physique exposée ou quantifier la largeur de la chaussée. Il n'a pas jugé nécessaire, dans cette première étude de cas, différencier les catégories de routes secondaires pris avec des valeurs différentes de tampon.

Les éléments routier ainsi obtenus étaient ensuite recoupés dans l'espace avec les polygones de glissement de terrain réalisées par le projet IFFI, autour de lequel on a créé un tampon de 20 m pour tenir compte de l'évolution possible du phénomène d'instabilité en progression et régression. Il était donc possible d'obtenir une première estimation de risque des glissements de terrain sur une base communal (Figure x). On a trouvé 290 km de routes exposées au risque de glissement de terrain égal à 5,2 % du réseau total de la province et à 7,5 % des routes secondaires (6, 7 et 8).

En ce qui concerne le risque hydrogéologique, utilisant la même procédure décrite ci-dessus (superposition de réseau routier sur les aires de danger hydraulique pour le bassin versant du fleuve Serchio), on a identifié, en ce qui concerne le champ d'application, 162 km de routes provinciales exposés à un risque hydraulique égal à 3 % de la totalité provincial et à le 4.2 % de routes secondaires (6, 7 et 8). Les résultats de cette analyse spatiale sont répertoriés dans le tableau ci-dessous et sous forme graphique à la Figure x.

6. Conclusion: impacts économiques des interruptions. Méthodologies et politiques qui peuvent être mises en oeuvre

Les Régions italiennes, face aux importants dégâts économiques, travaillent sur la prévention des interruptions routières. La région Toscane a alloué 1 milliard d'euros sur trois ans pour protéger la montagne, pour maintenir les services, assurer les résidences et protéger le territoire et les ressources naturelles. On a disposé pour les interventions plus de 878 millions d'euros (376 millions euros, dont 42,8 %, sont des ressources régionaux, 142 millions d'euros provenant de l'Etat et 192 millions des fonds européens pour le FEADER, le FEDER et le FSE). Les domaines couverts par ces crédits sont ceux de la « mobilité et infrastructures » avec 163 millions d'euros (soit 18,6 % du total), "Agriculture et Forêts", avec un total de 147 millions d'euros (soit à 16,7 % du total), "ressources naturelles", avec 138 millions d'investissement pour les projets liés aux ressources hydriques et « Défense de sol et sécurité du territoire" avec presque 110 millions en investissement (12,5 %), dont la moitié d'origine régionale.

Les investissements concernent le réseau routier, les infrastructure et la conservation des sols, domaines stratégiques pour l'ensemble de la région et pas seulement pour les zones montagneuses, mais aussi pour le soutien à l'économie (industrie, artisanat, tourisme, agriculture) et aux services (santé, sociale et éducative). La prévention de risque

hydrogéologique est cruciale : les régions montagneuses ou rurales et les zones isolées devraient être préservés avec une maintenance constante et spécifique avec des plans d'atténuation pour réduire les graves risques hydrauliques et hydrogéologiques qui peuvent se répercuter sur ces territoires.

Bibliographie

[1] Delmonaco G., Leoni G., Margottini C., Puglisi C., & Spizzichino D. (2003), *Large scale debris-flow hazard assessment: a geotechnical approach and GIS modelling*. *Natural hazards and Earth System Sciences* 3: 1-13.

[2] ISPRA (2011), *Annuario dei dati Ambientali (Yearbook 2011)*

[3] ISPRA (2006), *Annuario dei dati Ambientali (Yearbook 2006)*

[4] Trigila A., Iadanza C. (2008) *Landslides in Italy - Special Report 2008* (Rapporti ISPRA 83/2008).

[5] Trigila A., Iadanza C., Spizzichino D. (2008) *IFFI Project (Italian Landslide Inventory) and risk assessment*. Proceedings of the First World Landslide Forum, 18-21 November 2008, United Nations University, Tokyo, Japan, ICL (International Consortium on Landslides) – ISDR (International Strategy for Disaster Reduction), pp. 603-606

[6] Delmonaco G., Leoni G., Margottini C., Puglisi C., & Spizzichino D. (2003), *Large scale debris-flow hazard assessment: a geotechnical approach and GIS modelling*. *Natural hazards and Earth System Sciences* 3: 1-13.

[7] Serchio River Basin Authority (2011), *Report event*

[8] Tuscany Region (2013), *Report on the implementation of policies for the mountains*

[9] Spizzichino D., Campobasso C., Dessì B., Gallozzi P. L., Traversa F. (2009), "*Strategie di lungo periodo per gli Interventi di mitigazione del dissesto e la stabilità dei versanti: l'esperienza italiana di monitoraggio ed il progetto ReNDiS*". *Geoitalia 2009 - 7th Forum of the Italian Federation of Earth Sciences Rimini*, 9 - 11 September 2009

[10] Spizzichino D., Campobasso C., Gallozzi P. L., Dessì B., Traversa F. (2009), "*Economic aspects of hydro geological risk mitigation measures management in Italy: the ReNDiS project experience*". *European Geosciences Union 2009 General Assembly, Vienna Austria*, 19-24 April 2009.

[11] Borga M., Boscolo P., Zanon F., Sangati M. (2007). *Hydrometeorological analysis of the August 29, 2003 flash flood in the eastern Italian Alps*. *Journal of Hydrometeorology*, 8(5), 1049-1067.

[12] Cellerino R. (2006) *La difesa del suolo in Italia: aspetti economici ed amministrativi*, Scuola superiore della pubblica amministrazione

[13] Cruden D.M., Varnes D.J. (1996). *Landslide types and processes*. In: A.K. Turner, R.L. Schuster (eds) *Landslides investigation and mitigation* (Special report 247, pp. 36-75). Transportation Research Board, Washington, D.C.

[14] EEA (2003) *Europe's environment: the third assessment report* (Environmental assessment report No 10). Copenhagen: European Environment Agency.

[15] IPCC (2007) *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)*.
Legambiente & Protezione Civile, 2007 - *Ecosistema a Rischio*, rapporto annuale

[16] Margottini C., Spizzichino D., Onorati G. (2007) *Cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico e politiche di adattamento in Italia: un percorso tra passato presente e futuro*. Atti della Conferenza nazionale sui Cambiamenti Climatici 2007. Roma 12-13 settembre 2007 Palazzo della Fao.

[17] Schuster R.L. (1996). *Socioeconomic significance of landslides*. in: A.K. Turner, R.L. Schuster (eds) *Landslides investigation and mitigation* (Special report 247, pp. 12-35). Transportation Research Board, Washington, D.C.

Liens utiles

CNR-GNDCI web site: The AVI project URL: http://avi.gndci.cnr.it/welcome_en.htm

Civil Protection Agency of the Friuli Venezia Giulia Region URL: <http://www.protezionecivile.fvg.it>

[b] EM-DAT: The OFDA/CRED international DisasterDatabase - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium www.emdat.be

ICL –International Consortium on Landslides URL: <http://iclhq.org/Europe.htm>

Italian Landslide Inventory – IFFI Project URL: <http://www.sinanet.apat.it/progettoiffi>

CNR-GNDCI web site: The AVI project URL: http://avi.gndci.cnr.it/welcome_en.htm