

Analisi dei rischi e dei costi diretti e indiretti delle cadute massi nell'area dei monti di Tramuntana (Majorca) – STM 2014

Premessa

La dott.ssa Federica Fiorucci, assegnista di ricerca presso il CNR – IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), in servizio presso la sede di Perugia, è risultata vincitrice di una borsa Short-Term Mobility 2014 del CNR, nell'ambito della quale ha svolto un periodo di soggiorno di 23 giorni presso l'istituto geominerario di Spagna, sede di Granada.

Il progetto di ricerca si contestualizza nell'ambito degli studi riguardanti l'impatto dei fenomeni gravitativi sulla viabilità, e si prefigge lo scopo di analizzare costi diretti e indiretti derivanti da fenomeni di caduta massi.

Introduzione

Nelle aree montuose le frane, e le cadute masse in particolare, rappresentano uno dei maggiori pericoli che le comunità si trovano ad affrontare. Le cadute massi sono una delle cause primarie di incidenti lungo le strade legati a cause naturali (**Guzzetti et al., 2000**), e sono anche uno dei principali motivi di interruzione delle infrastrutture viarie (strade e ferrovie) nelle aree di montagna. Il contesto spaziale limitato delle aree di montagna non consente la creazione reti stradali ridondanti, e questo comporta una elevata vulnerabilità delle comunità che vi risiedono, che possono rimanere isolate a causa dell'interruzione della viabilità.

Molti autori hanno tentato di valutare la pericolosità e il rischio associato ai movimenti di massa in aree montane (**Pierson et al., 1990; van Dijke and van Westen 1990; Evans and Hungr 1993; Hungr et al., 1999**), e lungo le reti di comunicazione (**Bunce et al., 1997; Hungr et al., 1999; Budetta, 2002; Guzzetti et al., 2004; Wilson et al., 2005; Zezere et al., 2007; Guzzetti et al., 2003, 2004**). Altri autori ne hanno analizzato i costi diretti e indiretti dovuti alle interruzioni di strade e ferrovie (**Remondo et al., 2008; Zezere et al., 2007; Bonachea et al., 2009; Jaiswal et al., 2010, Meyer et al., 2014**).

La valutazione dei costi dei rischi naturali e degli eventi catastrofici è una questione complessa. Gli effetti degli eventi catastrofici provocano lo spostamento della ricchezza da un settore all'altro, e la perdita di un settore può essere compensata da guadagni in altri settori. Per tanto le valutazioni dei costi delle catastrofi naturali richiedono definizioni ben circostanziate rispetto alla terminologia utilizzata (costo diretto, interruzione dell'attività, ecc.) e (ii) ai limiti spaziali e temporali dell'ambito dell'analisi (**Merz et al 2010**).

I costi diretti sono classificati in costi di mercato e non. I **costi di mercato** si riferiscono ai danni riportati dai manufatti e dall'ambiente fisico. Il valore di tale costo può essere valutato come il costo per la riparazione o sostituzione del bene distrutto o danneggiato. In generale i costi di mercato sono perdite per beni e servizi che possono essere negoziati sul mercato e per i quali può essere facilmente determinato un prezzo. I **costi diretti non di mercato** comprendono tutti i danni che non possono essere riparati o sostituiti attraverso l'acquisto sul mercato. Questa categoria comprende, tra gli altri, i costi legati all'impatto dell'evento sulla salute, la perdita di vite umane, danni patrimoniali e le perdite naturali dell'ecosistema, e danni ai beni storici e culturali (**Hallegatte et al., 2010; Meyer et al., 2012**).

In quest'analisi sono definiti come costi diretti le perdite economiche causate dall'impatto diretto dell'evento su strutture e infrastrutture (costi di rimozione del materiale e messa in sicurezza delle pareti rocciose).

Le perdite indirette, comprendono tutte le perdite che non sono imputabili direttamente all'evento naturale, ma che ne sono conseguenza. Il costo indiretto si ripercuote sull'economia per un periodo più lungo del disastro stesso. Alcuni autori hanno tentato di valutare gli effetti dei disastri naturali considerando anche gli effetti nel lungo periodo (**Brown Gaddis et al. 2006; Jonkman et al., 2008; Jaramillo 2009**). La comunità scientifica dà diverse definizioni di costo indiretto (**Meyer e Messner 2005; FLOODsite 2009; e ConHaz 2011**). Una delle questioni chiave sta nel come considerare le **perdite dovute all'interruzione attività produttiva**. In alcuni casi tali "perdite" sono trattate come costo diretto, altre volte sono considerate un costo indiretto, oppure possono essere trattate come una categoria a sé stante.

Diversamente da come definito nel progetto ConHaz, che tratta le perdite causate dall'interruzione dei processi di produzione (o interruzione di attività) in una categoria a parte, in

questo lavoro considereremo le interruzioni delle attività produttiva nella categoria dei costi indiretti.

Nella ricerca si studieranno le cadute massi che hanno interessato l'area della Serra di Tramuntana attraverso delle analisi:

- (i) *ex post* cioè su eventi che si sono già verificati, e
- (ii) *ex ante* cioè su scenari simulati

e si prenderanno in considerazione in entrambi i casi i

- (i) costi diretti,
- (ii) e i costi indiretti

Nel dettaglio il **costo diretto** sarà valutato per le interruzioni che hanno interessato la Ma-10 tra il 2008 e il 2012 (analisi *ex-post*). La strada Ma-10, con una lunghezza di 111 km, costituisce il corridoio di trasporto principale del versante settentrionale e costiero della Serra di Tramontana. La strada ha un percorso molto tortuoso che si sviluppa nella parte nord occidentale della costa. La Ma-10 è una strada strategica per l'isola, essa costituisce il di collegamento per dodici comuni dell'area ed è al servizio di una popolazione di 98.000 abitanti. Nell'analisi *ex ante* i **costi diretti** saranno valutati in base ai risultati delle simulazioni delle cadute massi eseguita utilizzando il software STONE.

Per quanto riguarda i **costi indiretti**, in questo lavoro saranno analizzate le perdite che il comparto turistico può subire a seguito di interruzioni della viabilità. Vista la complessità delle definizioni di costo indiretto, occorre porre limiti ben definiti all'analisi, in termini di tempo, di spazio e di settore economico indagato. In questo caso saranno indagati i costi indiretti derivanti dall'interruzione della strada Ma-2141, all'economia del turismo di due piccoli insediamenti Sa Calobra e Cala Tuent. L'interruzione della viabilità per frana rende i due centri molto vulnerabili, poiché la Ma-2141 rappresenta l'unica via di comunicazione per accedere ai due insediamenti. L'analisi *ex post* valuterà le perdite all'economia turistica a seguito dell'interruzione della viabilità per una frana occorsa nel 2008. L'analisi *ex ante* sarà condotta simulando interruzioni della viabilità in diversi periodi dell'anno, in modo tale che l'analisi tenga conto anche della discontinuità stagionale dei flussi turistici.

Area di studio

La Serra di Tramuntana è un'area di circa 1100 km² situata nel nord - ovest dell'isola di Maiorca (Figura 1). La Serra è caratterizzata da pendii con forte energia di rilievo, più accentuata nella parte costiera, dove si caratterizza per alte scogliere a picco sul mare. La vetta maggiore (1445 m slm Puig Major) si localizza nel settore centrale della Serra (area di Lluc). In quest'area le cadute massi sono fenomeni abbastanza comuni e producono impatti notevoli sulla viabilità principale e secondaria.

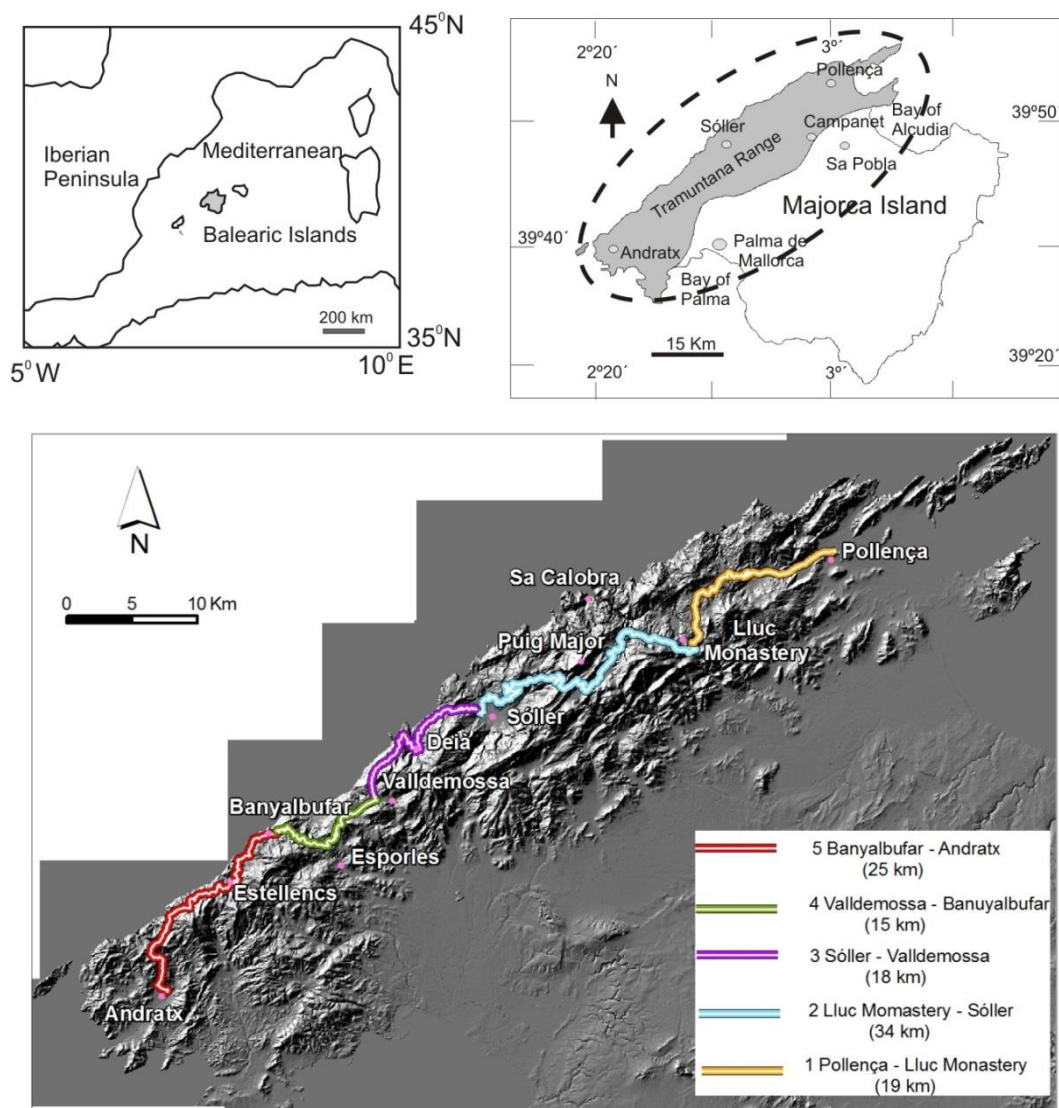


Figura 1. Localizzazione dell'area di studio e della strada Ma-10.

Da un punto di vista geologico i rilievi sono costituiti da arenarie silicee del Triassico inferiore, e da litologie carbonatiche costituite prevalentemente da calciti e dolomiti, che costituiscono la struttura della montagna. Nell'area a sud ovest, lungo la costa, sono presenti anche argille e gessi e rocce vulcaniche, che affiorano lungo un sovrascorrimento del Triassico inferiore allineato in direzione NE-SO.

Il clima dell'isola di Maiorca è tipicamente mediterraneo, con inverni miti ed estati caldo-secche. Le precipitazioni massime sono registrate durante i mesi autunnali. In questo periodo le masse d'aria fredda provenienti da Nord vanno in contrasto con l'aria calda trattenuta dal mare dando origine al fenomeno della "gota fría" (pioggia fredda), caratterizzato da forti temporali accompagnati da piogge intense. La topografia svolge un ruolo guida sulla distribuzione delle precipitazioni. Nel settore centrale (Lluc) la precipitazione media annua è pari a 1.200 mm, mentre nella porzione posta a SO (Calaviá) le piogge medie annue non superano i 300 mm.

L'area è caratterizzata da diffusi fenomeni di frana, costituiti principalmente da cadute massi, ma sono presenti anche scivolamenti di terra e scivolamenti rotazionali. La distribuzione dei movimenti di massa è controllata dalla litologia. **Mateos et al., 2012** ha dimostrato che la maggior parte delle frane (23 movimenti franosi su 34) si localizza nei versanti esposti a nord, questo è dovuto a sia alle pendenze maggiori sia all'affioramento di materiali soffici (gessi e argille).

In generale la tipologia del movimento di massa è influenzata dalla litologia presente. Le colate di terra e scivolamenti di terra si localizzano nelle aree di affioramento dei materiali poco coerenti come le argille, mentre nelle aree di affioramento della dolomia si verificano fenomeni come le cadute massi e i crolli o gli scivolamenti planari in roccia. Anche i fattori d'innescio sono diversi a seconda del movimento e del materiale coinvolto; piogge intense e prolungate attivano frane di tipo scivolamento colata mentre le cadute massi e i crolli sono attivati da cicli di gelo e disgelo (**Mateos et al., 2012**).

Eventi climatici innescanti le cadute massi

Tra l'ottobre 2008 e il maggio 2010, l'isola di Maiorca ha conosciuto uno degli inverni più freddi e piovosi degli ultimi 40 anni. Tra il 21 ottobre 2008 e il 10 gennaio 2009, nel settore centrale della Serra sono state registrate le precipitazioni più elevate da quando è disponibile un sistema di rilevamento strumentale (1944), con un evento di 296 mm di pioggia in 24 ore registrato il 15

dicembre 2008 a Sóller. Nel complesso la precipitazione cumulata nell'anno idrologico 2008-2009 è stata pari a 2.260 millimetri, contro una media annua di 1.300 mm.

Il periodo 2008-2010, oltre ad aver registrato piogge eccezionali, è stato anche anomalo per il freddo, con abbondanti nevicate e gelate nelle aree più elevate della Serra. Queste condizioni hanno innescato un gran numero di movimenti di massa sia di tipo caduta massi sia di tipo scivolamento e colata. Le cadute massi che si sono verificate durante questo periodo hanno provocato numerose interruzioni alla viabilità principale e secondaria della Serra di Tramuntana (Figura 2).



Figura 2. Foto relative ad alcune cadute massi che hanno interessato la Ma-10 tra il 2008 e il 2012 A) Estellencs rockfall (15/01/2010); B) Banyalbufar rockfall (9/05/2010); C) Pilar rockfall (12/10/2010) and D) Deià rockfall (21/02/2011)

La strada secondaria Ma-2141 che collega CalaTuent e Sa Calobra all'arteria principale della Serra (Ma-10) nel 2008 è stata interessata da due grandi frane, una delle quali ha interrotto la viabilità per Cala Tuent per circa 3 mesi, dal 15 dicembre 2008 alla metà di marzo 2009. Quasi contemporaneamente, il 31 dicembre 2008, uno scivolamento in roccia di grandi dimensioni ha interrotto la Ma-10 poche centinaia di metri a nord dell'innesto con la Ma-2141 per Cala Tuent e Sa Calobra. La tabella 1 riporta le principali caratteristiche delle due frane.

Nome	Cala Tuent	Gorg Blau
Data dell'evento	15 dicembre 2008	31 dicembre 2008
Data di riapertura della strada	Marzo 2009	Aprile 2009
Strada coinvolta	Ma-2141	Ma-10
Tipologia del movimento	Scivolamento rotazionale	Caduta massi
Volume	12,000	30,000
Litologia coinvolta	Argille con gessi	Calcare
Fattore di innesco	Pioggia	Cicli di gelo disgelo

Tabella 1. Caratteristiche delle due frane che hanno interessato la Ma-10 e la Ma-2141 nel dicembre 2008

Analisi Ex-Post

Catalogo degli eventi, impatto fisico, e costi diretti

Il catalogo degli eventi di cadute massi che hanno impatto con la viabilità è gestito dal Servizio di manutenzione stradale di Maiorca insieme al Servizio Geologico di Spagna (IGME). Per quanto riguarda le cadute massi nel catalogo sono raccolte informazioni riguardanti:

- la data di occorrenza degli eventi
- Le conseguenze e i costi
- La localizzazione dell'area di deposito
- Il fattore innescante (le informazioni riguardanti le precipitazioni sono completate con i dati del National Meteorological AEMET).
- Costo per la riparazione della strada

Dal 1995 al 2013 sono stati catalogati 126 movimenti di massa che hanno interessato la strada Ma-10. Tra questi, 87 sono frane che hanno causato gravi danni alla viabilità. In base ai volumi del deposito sono distinte tre classi di cadute massi:

- Classe A: volumi inferiori a 10 m^3
- Classe B: Volume varia $10\text{-}1000 \text{ m}^3$
- Classe C: Volume superiore a 1000 m^3

Il catalogo riporta 73 frane di classe A, 8 frane di classe B e 4 di classe C. Figura 3 riporta la distribuzione spaziale degli eventi in base per sezione di strada su cui hanno impattato.

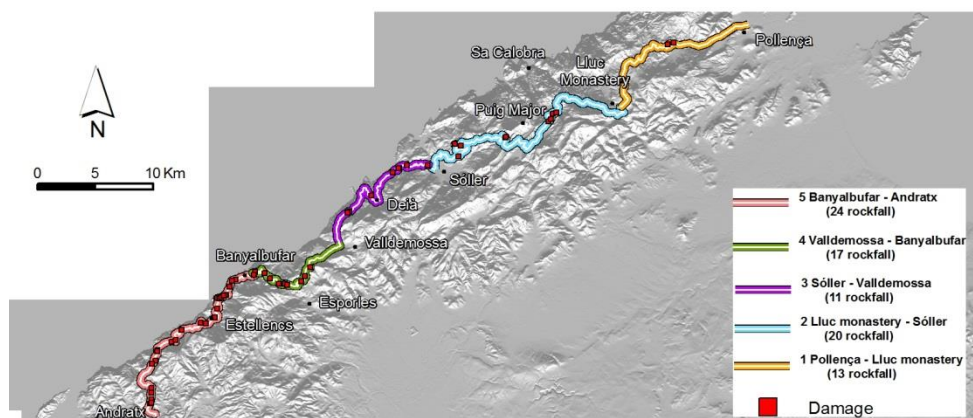


Figura 3. Distribuzione spaziale delle cadute massi rispetto alla sezione della strada Ma-10 su cui hanno impattato

I dati in Tabella 2, riportano per ogni sezione di strada il numero di frane nelle 3 classi e i costi di riparazione sostenuti per ogni sezione stradale. Se si considera il numero di cadute massi per chilometro, le due sezioni meridionali, quella di Valldemossa- Banyalbufar e Banyalbufar- Andratx, sono quelle che presentano il maggior numero di eventi. In particolare nella sezione Banyalbufar- Andratx, sono stati registrati 2 eventi di classe C e di 3 eventi della classe B.

Number	Stretch	length (Km)	Number of rockfalls Last 18 years	Rock-fall /km Rkm	Rockfall class			Repairing costs (€)
					A	B	C	
1	Pollença-Lluc	19	13	0.68	12	1		130.000
2	Lluc-Sóller	34	20	0.59	17	2	1	1.504.000
3	Sóller-Valldemossa	18	11	0.61	9	1	1	12.057
4	Valldemossa-Banyalbufar	15	17	1.13	16	1		167.240
5	Banyalbufar-Andratx	25	24	0.96	19	3	2	234.040
TOTAL		111	85		73	8	4	2.047.337

Tabella 2 Distribuzione e caratteristiche delle cadute massi che hanno impattato i diversi tratti della Ma-10. La tabella riporta anche i costi sostenuti per la riparazione e riapertura della strada.

La distribuzione degli eventi di caduta massi è stata messa in relazione con il numero di veicoli circolanti. L'analisi è stata condotta a scala mensile. In tabella 3 e 4 sono riportati il numero di veicoli medi circolanti sulla Ma-10 per mese e il traffico giornaliero relativo ai singoli tratti.

Mese	Visitatori in arrivo a Maiorca 2012	# veicoli Ma-10	Traffico giornaliero medio (# veicoli)
Gennaio	313.110	81.408	2.626
Febbraio	340.824	88.614	3.164
Marzo	551.522	143.395	4.625
Aprile	840.012	218.403	7.280
Maggio	1.242.317	323.000	10.419
Giugno	1.498.931	390.000	13.000
Luglio	1.769.435	460.000	14.838
Agosto	1.698.660	441.650	14.246
Settembre	1.462.326	380.204	12.673
Ottobre	974.857	253.346	8.173
Novembre	317.744	82.613	2.754
Dicembre	307.555	79.965	2.580

Table 3. Correlazione tra il numero mensile di arrivi a Maiorca e il e il numero dei veicoli che viaggiano lungo la strada Ma- 10 (dati del 2012).

Il grafico di figura 4 mette in evidenza che i mesi di settembre e ottobre sono quelli di maggiore coincidenza tra il numero di veicoli che transitano lungo la strada e l'insorgenza di fenomeni di caduta massi.

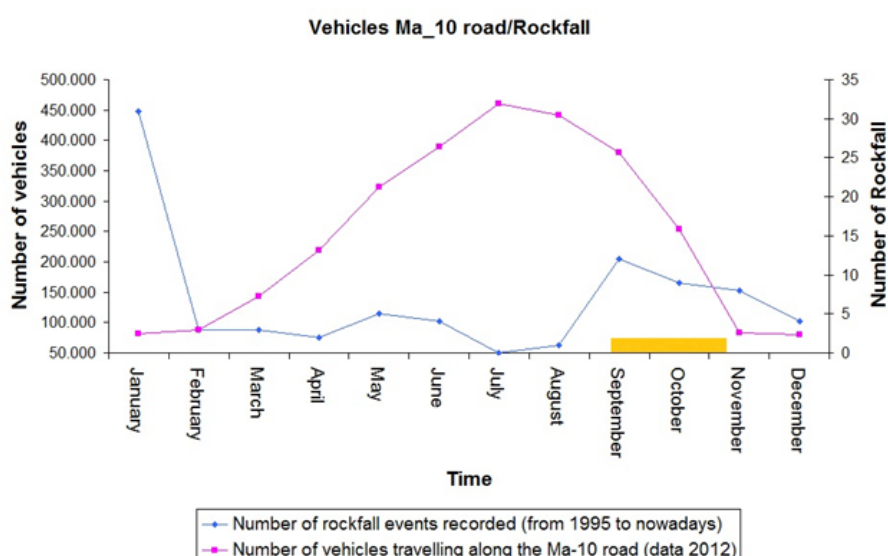


Figura 4. Correlazione il numero di veicoli che transita lungo la Ma-10 e il numero di movimenti di massa mensili.

Il catalogo degli eventi comprende un arco di 18 anni e può essere considerato completo. Utilizzando questo dato è stato possibile analizzare la frequenza mensile e annuale degli eventi di caduta massi. Considerando tutti gli eventi a disposizione per i 111 km della Ma-10, è stata ricavata una frequenza di 4,72 eventi l'anno. L'analisi a scala mensile rileva che il mese con frequenza di eventi maggiore è quello di gennaio (1,72 eventi) mentre il minimo si ha in luglio, mese nel quale il catalogo non registra alcun evento. In generale le stagioni con maggiore frequenza di eventi sono l'autunno e l'inverno con rispettivamente 2,17 e 1,72 eventi.

Numero	Tratto	Lughezza(Km)	Traffico giornaliero medio (n° Veicoli)
1	Pollença-Lluc	19	4893
2	Lluc-Sóller	34	7650
3	Sóller- Valldemossa	18	5250
4	Valldemossa-Banyalbufar	15	4300
5	Banyalbufar- Andratx	25	6431

Tabella 4. Traffico giornaliero medio per diversi tratti della strada Ma- 10 . Dati del Road Maintenance Service di Mallorca (2010)

Analisi ex-ante

Impatto fisico

Per la valutazione della pericolosità da caduta massi è fondamentale la conoscenza e la comprensione della distribuzione spaziale delle traiettorie attese. La simulazione delle traiettorie attese è stata determinata utilizzando un software gis sviluppato a questo scopo, STONE (**Guzzetti et al., 2002**). STONE utilizza un approccio "*lumped mass*" per simulare i processi di crollo. Il software permette di simulare la cinematica di un masso considerato adimensionale.

I dati in input richiesti da STONE sono le aree sorgente di cadute massi e il numero di massi lanciati da ciascuna area di distacco, un modello digitale di elevazione (DEM) e le mappe dei coefficienti di attrito di rotolamento dinamico, di restituzione normale e tangenziale dell'energia, utilizzate per simulare la perdita di energia durante il rotolamento e nei punti di impatto. Altri parametri necessari per la simulazione sono la velocità iniziale e una soglia di velocità al di sotto della quale il masso ferma. Il software utilizza la tecnologia GIS per produrre dei raster relativi al a) il conteggio cumulativo di traiettorie di massi che hanno attraversato ogni cella. b) la velocità massima calcolata e c) l'altezza massima di volo (**Guzzetti et al., 2004**).

Lungo la strada Ma-10 le aree sorgenti di cadute massi sono costituite principalmente dalle scarpate con pendenze superiori a 50 gradi. Le aree sorgente sono state mappate utilizzando fotografie aeree a scala 1:18000 e verificante con sopralluoghi di campagna.

Ad ogni unità geotecnica affiorante nell'area di studio sono stati assegnati i valori dei parametri di attrito, i coefficienti di restituzione tangenziale e normale. I valori assunti dai parametri sono un punto critico per la modellazione perché la loro corretta identificazione determina la precisione della simulazione. In un lavoro che si sta svolgendo parallelamente a questo, i parametri sono stati calibrati selezionando 30 frane reali in maniera tale che siano comprese tutte le litologie affioranti. È stato eseguito un *tuning* dei parametri che partendo da dati di letteratura sono stati adattati in maniera tale che le traiettorie simulate soddisfacessero al meglio le traiettorie reali delle frane scelte come riferimento. La scelta dei migliori risultati del modello è stata fatta in primo luogo attraverso un confronto visivo, e in secondo luogo attraverso l'analisi del numero reale di massi all'interno delle traiettorie simulate e considerando anche le celle ricadenti all'interno del deposito (veri positivi) e quelle non simulate dal modello (falsi positivi).

In base ai migliori risultati delle simulazioni sono stati desunti i valori dei parametri di attrito, i coefficienti di restituzione tangenziale e normale (Tabella 5)

Geotechnical classification	Rolling friction				Normal restitution				Tangentialrestitution			
	Max	Min	Mean	Mode	Max	Min	Mean	Mode	Max	Min	Mean	Mode
HARD ROCKS	0.55	0.39	0.45	0.40	70	49	63	65	80	59	77	78
MODERATLY HARD ROCKS	0.75	0.4	0.50	0.5	66	41	58.6	59	78	53	67.6	68
SOFT ROCKS	0.6	0.51	0.57	0.6	59	40	55.5	59	72	57	62.3	60
SOFT SOILS	0.7	0.59	0.6	0.59	54	53	53.1	53	58	55	56	56
VERY SOFT SOILS	0.8	0.57	0.63	0.6	59	36	47.5	40	71	50	57	51

Tabella 5. I valori statistici per l'attrito, i parametri di restituzione normale e tangenziale ottenuti per ogni unità geotecnica ottenuti per le simulazioni che hanno dato miglior fitting.

In base al modello realizzato utilizzando il valore medio dei parametri di STONE, sono state analizzate le interruzioni che si potrebbero verificare lungo i 5 tratti in cui è stata suddivisa la MA-10. È stato realizzato un buffer del grafo stradale per un intorno di 14 m. Sono stati intersecati i

risultati del modello con il grafo bufferizzato e sono stati ricavati il numero di interruzioni che si potrebbero verificare la loro lunghezza complessiva e il numero di traiettorie (Tabella 6).

N	Tratto	# Interruzioni	Lunghezza Totale delle interruzioni (m)	Lunghezza del tratto (km)	%	area	# Traiettorie	# di eventi per km
1	Pollença-Lluc	16	3461	19	18%	66125	2645	0,8
2	Lluc-Sóller	35	10939	34	33%	202400	8096	1,0
3	Sóller- Valldemossa	10	3246	18	18%	9975	1805	0,5
4	Valldemossa-Banyalbufar	8	817	15	5%	16050	642	0,5
5	Banyalbufar-Andratx	21	9649	25	38%	195925	7837	0,9

Tabella 6. Caratteristiche delle interruzioni della Ma-10 derivanti dalla simulazioni realizzate con il software STONE

Secondo i risultati del modello i tratti soggetti a cadute massi sarebbero quello compreso tra Lluc-Soller e Banyalbufar-Andratx in cui sarebbe potenzialmente a rischio rispettivamente il 38% e il 33% del tratto stradale, mentre il numero di interruzioni che potrebbero verificarsi è pari a rispettivamente a 35 e 21 con un numero di eventi per km pari a 1 e 0,9. Il risultato concorda solo in parte con quanto osservato nell'analisi *ex post* in cui i tratti maggiormente interessati da cadute massi (eventi per km) sono quelli di Valldemossa- Banyalbufar e Banyalbufar- Andratx.

Analisi da effettuare

Rimangono da eseguire le analisi *ex post* ed *ex ante* dei costi indiretti e l'analisi *ex post* dei costi diretti. Per quanto riguarda i costi indiretti è necessario avere a disposizione i dati dei flussi turistici registrati *dal Road Maintenance service di Maiorca* presso la stazione di monitoraggio del traffico situata lungo la Ma-2141. La stazione, situata pochi km dopo l'incrocio tra la Ma-2141 e la Ma-10 ed è in grado di monitorare i flussi di biciclette, automobili, autobus e camion che transitano su questa strada. La valutazione dei costi indiretti legati all'interruzione della Ma-2141 sull'economia turistica degli insediamenti Sa Calobra e Cala Tuent si baserà sulla stima del numero dei transiti di turisti, numero di ristoranti e alloggi.

Alcuni dati relativi alle spese e ai giorni di soggiorno dei turisti, sono stati forniti dal Governo delle isole Baleari (www.caib.es/ibewstat) I dati sono relativi a spesa media per turista, numero di giorni

medi di permanenza, costo di affitto di abitazioni a Cala Tuent e numero attività di ristorazione a Cala Tuent e Sa Calobra. I dati raccolti sono riportati in tabella 7.

	Hotel	Casa in affitto
Spesa giornaliera per turista	106,24 € persona/giorno	117,66 € persona/giorno
Numero di giorni di soggiorno (valore medio)	10,77 € persona/giorno	7,39 € persona/giorno
Costo di affitto di una casa a Cala Tuent da Aprile a Ottobre (valore medio)		30 € persona/giorno
	Cala Tuent	Sa Calobra
Numero di attività ristorazione	2	14

Tabella 7. Dati economici relativi al comparto turistico a Maiorca e numero di attività di ristorazione a Sa Calobra e Cala Tuent.

Una volta noti i flussi turistici, l'idea è di effettuare una simulazione delle perdite indirette legate all'interruzione della strada, che tenga conto della stagione. I flussi turistici, infatti, hanno forti variazioni stagionali e un'interruzione della strada nel periodo autunnale produrrebbe un impatto economico molto diverso rispetto a un'interruzione che avviene nella stagione primaverile-estiva.

Per quanto riguarda l'analisi ex ante dei costi diretti, saranno utilizzati i risultati della simulazione di STONE, per stimare i costi di rimozione del materiale dalla sede stradale. Non è possibile stimare i costi di relativi agli interventi di messa in sicurezza, che dipendono fortemente dal tipo di intervento che sarà previsto.

Bibliografia

- Bonachea, J., Remondo, J., Gonzalez-Diez, A., Diaz de Teran, J. R., and Cendrero, A. 2009: Landslide risk modelling: an experience in northern Spain, in: *Landslide Processes: from geomorphologic mapping to dynamic modelling*, edited by: Malet, J. P., Remaitre, A., and Bogaard, T., Strasbourg, European Centre on Geomorphological Hazards (CERG), ISBN 2-95183317-1-4, 259–264,.
- Brown Gaddis, E., Miles B., Morse S., Lewis D. 2006. Full-cost accounting of coastal disasters in the United States: Implications for planning and preparedness. *Ecological Economics* 63 (2007) 307-318.
- Budetta, P., and M. Panico. 2002. Il metodo _Rockfall Hazard Rating System_ modificato per la valutazione del rischio da caduta massi sulle vie di comunicazione. *Geologia Tecnica & Ambientale* 2:2–13 , (in Italian).

- Bunce, C. M., D. M. Cruden, and N. R. Morgenstern. 1997. Assessment of the hazard from rock fall on a highway. *Canadian Geotechnical Journal* 34:344–356.
- Budetta, P. 2002. Risk assessment from debris flows in pyroclastic deposits along a motorway, Italy. *Bulletin Engineering Geology and Environment* 61:293–301.
- Evans, S. G., and O. Hungr. 1993. The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal* 30:620–636.
- Guzzetti, F. 2000. Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy, *Eng. Geol.*, 58(2), 89–107,.
- Guzzetti, F., G. Crosta, R. Detti, and F. Agliardi. 2002. STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. *Computers and Geosciences* 28:1079–1093.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, C., Ardizzone, F., and Galli, M. 2003. Impact of landslides in the Umbria Region, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3:5 469–486.
- Hallegatte S., Przyluski V. 2010. The Economics of Natural Disasters Concepts and Methods. The World Bank Sustainable Development Network Office of the Chief Economist. <http://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/1813-9450-5507>.
- Hungr, O., and R. D. Beckie. 1998. Assessment of the hazard from rock fall on a highway: Discussion. *Canadian Geotechnical Journal* 35:409.
- Hungr, O., S. G. Evans, and J. Hazzard. 1999. Magnitude and frequency of rock falls along the main transportation corridors of south-western British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal* 36:224–238.
- Jaiswal, P., van Westen, C. J., and Jetten, V. 2010. Quantitative assessment of landslide hazard along transportation lines using historical records, *Landslides*, under review,.
- Jaramillo, C. R. H. (2009), Do Natural Disasters Have Long-Term Effects on Growth?, Universidad de los Andes, mimeo
- Jonkman S.N., Bočkarjova M., Kok M., Bernardini P., 2008. Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands, *Ecological Economics* Volume 66, Issue 1, 15 May 2008, Pages 77-90
- Mateos RM, García-Moreno I, Azañón JM 2012. Freeze-thaw cycles and rainfall as triggering factors of mass movements in a warm Mediterranean region: the case of the Tramuntana Range (Majorca, Spain). *Landslides* 9:417–432
- Merz, B., Elmer, F., and Thieken, A. H. 2010.: Reply to Comment on "Significance of "high probability/low damage" versus "low probability/high damage" flood events" by C. M. Rheinberger (2009), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 3-5, doi:10.5194/nhess-10-3-2010
- Meyer V. & Messner, F., 2005. National Flood Damage Evaluation Methods. A Review of Applied Methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany. Discussion Papers, Umweltforschungszentrum Leipzig–Halle, Department Ökonomie, Leipzig: 47 pp.

- Meyer V., Becker N., Markantonis V., Schwarze R. 2012. Costs of Natural Hazards -A Synthesis. http://conhaz.org/CONHAZ_WP09_1_Synthesis_Report_final.pdf
- Meyer, N.K., Schwanghart, W., Korup, O., Nadim, F. 2014 Roads at risk – traffic detours from debris flows in southern Norway. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., 2, 6623-6651. [DOI: 10.5194/nhessd-2-6623-2014]
- Pfurtscheller C., Lochner B., Thieken A.H. 2011. Costs of Alpine hazards. ConHaz-Report of WP8 http://conhaz.org/project/cost-assessment-work-packages/wp1-8-finalreports/CONHAZ%20REPORT%20WP08_1.pdf/at_download/file. Innsbruck
- Pfurtscheller, C. 2014: Regional economic impacts of natural hazards – the case of the 2005 Alpine flood event in Tyrol (Austria), Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 359-378, doi:10.5194/nhess-14-359-2014.
- Pierson, L. A., Davis, S. A., and van Vickle, R. 1990 The Rockfall Hazard Rating System implementation manual. Oregon State Highway Division, Report FHWA-OR-EG-90- 01, Washington, USA, 80 pp.
- Van Dijke, J.J., and C.J. van Westen. 1990. Rockfall hazard: a geomorphologic application of neighbourhood analysis with Ilwis. ITC Journal 1990–1:40–44.
- Wilson, R. A., Moon, A. T., and Hendrickx, M. 2005 Application of quantitative risk assessment to the Lowrence Hargrave Drive Project, New South Wales, Australia, in: Landslides Risk Management, edited by: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., and Eberhardt, E., Taylor and Francis, London, 589–598.
- Zezere, J. L., Oliveira, S. C., Garcia, R. A. C., and Reis, E. 2007 Landslide risk analysis in the area North of Lisbon (Portugal): evaluation of direct and indirect costs resulting from a motorway disruption by slope movements, Landslides, 4, 123–136.

Web sites

<http://conhaz.org/>

<http://www.floodsite.net/>

<http://www.caib.es/>