

Analisi dell'evento franoso di Castelmola (ME): dalla back analysis al dimensionamento della barriera paramassi

Geol. Orazio Barbagallo - Catania, Ing. Paola Marchiò e Ing. Stocchero Fabio - CDM DOLMEN

Analisi del caso

A inizio anno nel comune di Castelmola (ME), lungo la parete calcarea che delimita a nord est l'abitato, si è verificato un crollo di diversi massi rocciosi che sono scoscesi a valle, e nel loro percorso hanno interessato la stradina pedonale che congiunge l'abitato di Taormina con Castelmola e la Strada Provinciale 10 che rappresenta l'unica via di accesso al centro abitato di Castelmola.

L'evento franoso aveva avuto dei fenomeni pregressi, infatti già nel 2013, sul versante orientale della Rocca su cui si adagia l'abitato di Castelmola, era avvenuto un crollo di blocchi rocciosi, fenomeno che si è ripetuto a novembre del 2016, quando dalla parete rocciosa posta all'ingresso dell'abitato si sono staccati quattro grossi blocchi litoidi che sono rotolati a valle lungo lo stesso pendio ove si è verificato l'attuale scoscendimento.

Caratteristiche geologiche dell'area

Da un punto di vista geologico l'area risulta estremamente complessa, caratterizzata da una struttura a thrust con le unità appenninico-maghrebidi sormontate dalle unità Kabilo-calabridi, che costituiscono l'ossatura dei Monti Peloritani. Il contatto fra queste unità è marcato dalla Linea di Taormina, che rappresenta un thrust a basso angolo, originatosi in età oligo-miocenica, successivamente ritagliato da strutture trascorrenti ad alto angolo di età più recente.

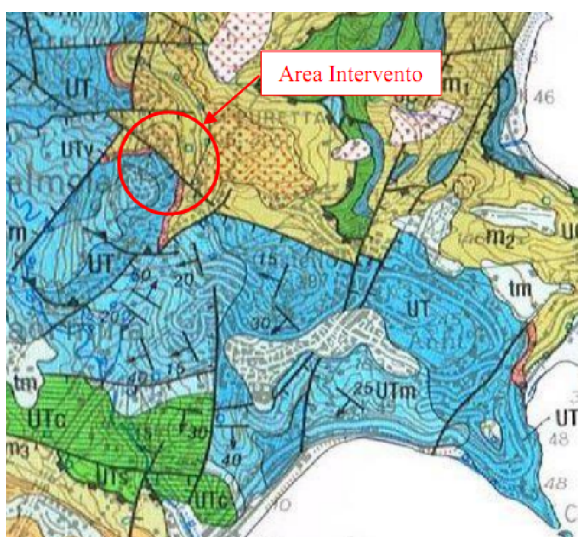


Figura 1 - Stralcio carta geologica

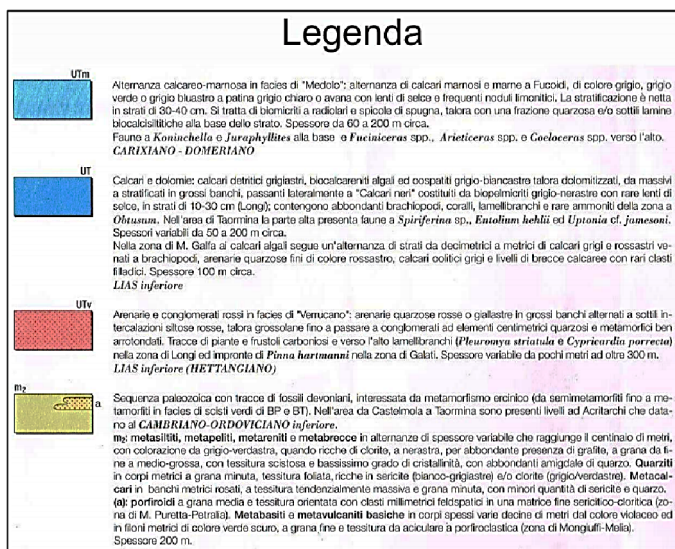


Figura 2 - Legenda carta geologica

Data la configurazione orografica si osservano forme di instabilizzazione in atto e/o potenziali, infatti nella cartografia del Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del Bacino Idrografico compreso fra il Fiume Alcantara e la Fiumara Agrò (097) non sono evidenziati dissesti nell'area e di conseguenza non sono presenti zone a pericolosità e a rischio geomorfologico. Si individua, nella carta della carta delle pericolosità e del rischio geomorfologico CTR 613120, aggiornata nella Conferenza programmatica del 25/01/2017, una frana da crollo attiva con codice 097-5CM-048, che comporta a valle una vasta area con pericolosità P4 molto elevata e con elementi a rischio R3 elevato e R4 molto elevato.

Descrizione dell'evento

L'evento franoso del gennaio 2019 prende origine da una superficie di stacco, posta immediatamente al di sotto della piazza di ingresso a Castelmola, in corrispondenza di una rientranza della roccia, che mostra tracce di alterazione di color marrone-bruno, indicative del passaggio di acque d'infiltrazione circolanti nell'ambito dell'ammasso roccioso.

La superficie di rottura, ubicata su di una preesistente frattura, mostrava un assetto molto acclive a franapoggio rispetto al pendio, caratteristica che ha evidentemente favorito lo scivolamento dei massi.

In prossimità della nicchia di distacco, la parete litoide presentava grosse cavità, dovute sia a fenomeni di scalzamento dell'ammasso roccioso, causato dall'elevato grado di fratturazione, che all'azione erosiva delle acque di infiltrazione e di fenomeni di dissoluzione delle rocce carbonatiche.

**Figura 3** - Foto del 2016 per confronto**Figura 4** - Foto del 2019

Già da un semplice primo esame visivo del versante risultavano evidenti le condizioni di elevato detensionamento dell'ammasso calcareo, capaci di condizionare la separazione ed il distacco di blocchi rocciosi di elevata volumetria.

**Figura 5** - Foto di blocco caduto**Figura 6** - Foto di blocco caduto

In occasione della frana del 5 gennaio 2019 si è verificato il crollo di una cospicua porzione litoide che, al momento dello stacco, probabilmente era composta da pochi blocchi di grandi dimensioni, poi frantumatisi in seguito all'urto con la parete rocciosa, che in totale presenta un volume non inferiore a 13 m³ circa, per

un peso di almeno 30 tonnellate. Lo sciame di blocchi ha invaso la strada pedonale Sottoporta-Cuculunazzo, attualmente interdetta alla fruizione. Altri blocchi hanno raggiunto la strada provinciale SP 10, che collega l'abitato di Castelmola con Taormina, alcuni si sono fermati su uno spiazzale della strada, uno in particolare ha attraversato la carreggiata fermandosi sul ciglio di valle dell'arteria stradale.

A seguito dei sopralluoghi in sito si è potuto constatare la caduta di 18 blocchi di maggiore dimensione, opportunamente misurati e catalogati, unitamente ad una serie di ciottoli minori risultati dai fenomeni di ulteriori frammentazioni dei massi in caduta, il cui volume complessivo è difficilmente valutabile.

Indagini in sito

Visto il carattere di urgenza per la progettazione delle opere di mitigazione e di dimensionamento della barriera paramassi sono stati effettuati una serie di rilievi in sito di supporto all'attività di progettazione.

Le indagini effettuate sono consistite nella misura del volume dei blocchi scoscesi onde valutare sia la magnitudo dell'evento sia il cosiddetto "Blocco di progetto" da inserire alla base delle calcolazioni per il dimensionamento della barriera. È stato effettuato il rilievo dei blocchi caduti, per ognuno dei quali è stato misurato il volume, nella tabella 1 sono riportati i risultati delle misure.

Masso n°	Volume (m ³)
1	1,08
2	0,70
3	0,32
4	0,25
5	1,62
6	0,57
7	0,39
8	0,62
9	0,29
10	0,50
11	0,40
12	1,03
13	0,54
14	0,92
15	0,89
16	0,73
17	0,36
18	0,22

Tabella 1 - Rilievo dei massi frana Castelmola

Il volume minimo è pari a 0,22 m³, il volume massimo è pari a 1,62 m³ per una somma complessiva di 11,41 m³. I dati per il dimensionamento della barriera sono funzione di alcuni parametri quali la media e la deviazione standard della Sample Population dei volumi raccolti nel corso delle indagini. La presenza di valori estremi, per esempio molto più bassi o molto più alti rispetto alla maggior parte dei dati, può aumentare o diminuire in modo significativo sia la media che la deviazione standard, tanto più se si hanno a disposizione pochi campioni. Prima di procedere perciò alla determinazione dei principali parametri è necessario valutare le serie di valori a disposizione eliminando, se sono presenti, i cosiddetti dati anomali (outlier), ovvero i valori non ben interpolati dal modello stimato.

Analisi statistica

In statistica esistono diversi criteri per l'eliminazione dei dati spuri da una serie di valori, nel presente lavoro è stato applicato il criterio di Chauvenet. Supposta una distribuzione normale con media X_m , se x_s è il dato sospetto, si procede calcolando la probabilità associata alla possibile presenza di eventi lontani dalla media per più di x_s . I risultati ottenuti sono riportati nella tabella 2:

Masso n°	Volume (m ³)	Masso n°	Volume (m ³)
1	1,08	1	1,08
2	0,70	2	0,70
3	0,32	3	0,32
4	0,25	4	0,25
5	1,62	5	0,57
6	0,57	6	0,39
7	0,39	7	0,62
8	0,62	8	0,29
9	0,29	9	0,50
10	0,50	10	0,40
11	0,40	11	1,03
12	1,03	12	0,54
13	0,54	13	0,92
14	0,92	14	0,89
15	0,89	15	0,73
16	0,73	16	0,36
17	0,36	max	1,08
18	0,22	verifica	rifiutato
max	1,62	min	0,25
verifica	rifiutato	verifica	rifiutato
min	0,22		
verifica	rifiutato		

Tabella 2 - Criterio di Chauvenet

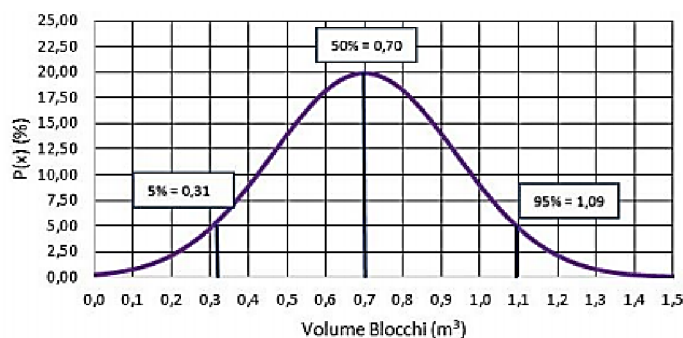
La nuova distribuzione, a meno degli outlier prima eliminati, è formata da 14 massi.

Dato che si è di fronte ad una distribuzione con un numero di campioni piccolo (<30), per ovviare alla conseguente approssimazione degli errori insiti negli stimatori della media della Sample Population rispetto a quelli del Target Population, si è deciso di applicare la correzione di "student", funzione del grado di libertà del campione, riportata nella Tabella 3.

n-1 (gradi di libertà)	13,00
T (variabile di Student)	1,77
media corretta	0,70 m ³
deviazione standard	0,24

Tabella 3 - Correzione valori della media (metodo di Gosset)

Una volta ricavata la deviazione standard e la media corretta dei dati, si è potuto ricostruire la distribuzione normale, restituita nella figura x e nella tabella 4, ove sono stati riportati i valori significativi, compresi quelli degli stimatori statistici di riferimento per i calcoli, dati dai frattili 5% e 95%.


Figura 7 - Distribuzione teorica normale del valore dei volumi dei blocchi

media corretta	0,70
Deviazione standa	0,24
Fratte 5%	0,31
Fratte 95%	1,09

Tabella 4 - Valori statistici significativi della distribuzione del volume

A questo punto si sono potuti valutare i principali dati del blocco di progetto:

Peso del blocco di progetto in kN e Tonn		
Peso di volume in kN		Peso di volume in Tonn
23,00		2,35
Peso del blocco di progetto in kN		
minimo	massimo	medio
5,84	25,07	16,10
Peso del blocco di progetto in Tonn		
minimo	massimo	medio
0,60	2,56	1,64

Tabella 5 - Dati del blocco di progetto

Analisi traiettografica

Per definire l'energia cinetica dei blocchi in caduta è stata sviluppata un'analisi traiettografica di tipo 3D, utilizzando il software IS GeoMassi, sviluppato e distribuito da CDM DOLMEN Srl di Torino, che impiega il metodo "Lumped Mass ibrido" associato a un'analisi statistica.

Per valutare i rimbalzi dopo l'urto o il rotolamento dei blocchi, bisogna assegnare ai terreni presenti i coefficienti di restituzione e l'angolo d'attrito volvente. Nella fattispecie, tenuto conto che si conoscono il punto di partenza e di arrivo dei massi instabilizzati, si è realizzato uno studio di back analysis.

Sono stati in tal modo definiti i parametri valor medio e scarto quadratico medio (o deviazione standard). La rugosità del terreno, definita dal parametro di scabrezza, è stata valutata in funzione dell'altezza della massima asperità; la distribuzione di questo parametro è uniforme e varia tra zero ed il valore massimo calcolato. Il profilo del versante è stato definito attraverso una sequenza di superfici triangolari le cui coordinate sono state importate da file DTM ASCII.

Nel modello sono state stabilite 2 zone di distacco, alla prima sono stati assegnati 100 massi aventi peso di volume pari a 25 kN/m³ e diametro pari a 1,102 m, alla seconda 100 massi aventi peso di volume pari a 23 kN/m³ e diametro 1.046 m.

Come opera di mitigazione del rischio da caduta massi è stata prevista la realizzazione di una barriera paramassi a 3 moduli, ognuno largo 10 m, per un'ampiezza complessiva di 30 m.

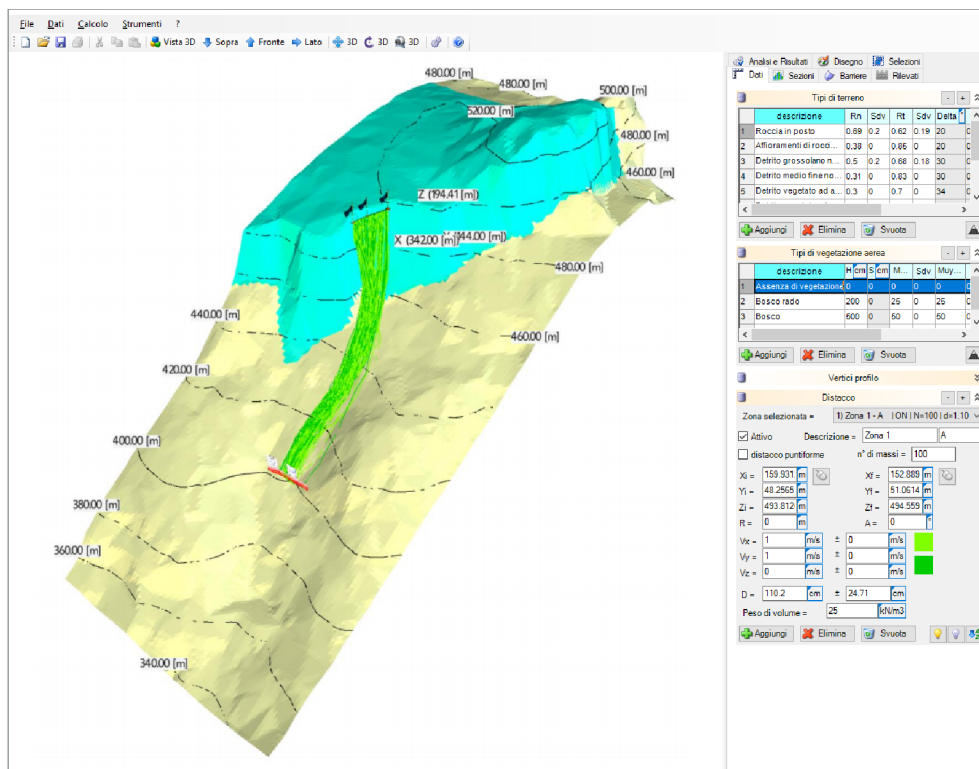


Figura 8 - Schematizzazione in IS GeoMassi

Dimensionamento rete paramassi

Nella Regione Sicilia per i fenomeni di crollo si devono applicare le norme previste nel DDG n° 1067 (direttive per la redazione degli studi di valutazione della pericolosità derivante da fenomeni di crollo) conosciuto con il nome di Decreto Crolli, emanato al fine di garantire l'univocità dei dati di analisi dei fenomeni di crollo per il rilascio di pareri conseguenti a studi per la valutazione della pericolosità dei fenomeni di crollo.

In esso l'approccio logico degli studi prevede la realizzazione di una procedura di analisi sviluppata in più fasi con grado di approfondimento crescente. Ad un primo livello di analisi preliminare (FASE 1) che permette di valutare, in una prima approssimazione cautelativa, l'area di transito ed arresto dei massi in caduta per alcune tipologie e dimensioni delle frane di crollo, segue una fase di scenario progettuale (FASE 2) per la definizione delle energie che si possono sviluppare lungo gli scendimenti dei massi ed una terza fase di progetto (FASE 3) per il dimensionamento degli interventi attivi e/o passivi.

Gli scenari di riferimento per la progettazione delle opere di mitigazione del rischio da fenomeni di crollo devono attenersi a quanto specificato all'interno delle linee guida predisposte dall'European Organisation for Technical Approvals (EOTA) e nella Guida per il benessere tecnico Europeo di SISTEMI DI PROTEZIONE PARAMASSI denominato ETAG 027.

Per definire le caratteristiche principali delle barriere (energia di assorbimento e altezza di intercettazione) sono state applicate le Norme UNI (11211 - 1,2,3 e 4), per il dimensionamento degli elementi di fondazione si è fatto riferimento alle NTC (DM 17/01/2018) e agli Eurocodici. Le ETAG 027 introducono due livelli energetici: il MEL (Livello Energetico Massimo) ed il SEL (Livello Energetico di Servizio); in questo caso, avendo previsto un "crollo di progetto" dato dalla caduta di sciame di blocchi, per la verifica degli SLU si fa riferimento sia al livello energetico MEL che al SEL.

Il quadro complessivo dei risultati ottenuti per i livelli energetici SEL e MEL è riportato nella seguente tabella.

Valori di progetto ottenuti al livello energetico MEL		
velocità calcolata - frattile 95%Vt (m/sec)	altezza calcolata - frattile 95% Hd (m)	energia cinetica richiesta alla barriera Ed (KJ)
20,51	2,86	710,4
Valori di progetto ottenuti al livello energetico SEL		
20,51	2,3	592,01

Tabella 6 - Verifica dimensionamento barriera paramassi

In relazione alle caratteristiche richieste alla barriera in condizioni SEL, si rende necessaria una barriera certificata di livello 5 categoria A, cioè che abbia una capacità di assorbimento in condizioni MEL di 2000 kJ ovvero di 660 kJ in condizioni SEL. L'altezza residua della barriera, dopo il primo impatto, non dovrà essere inferiore a 3 m, ovvero un'altezza minima pre-impatto di 4 m.