



PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività A2.1

Definizione di metodi di studio delle instabilità cosismiche e delle situazioni geologiche complesse:

frane sismoindotte in terra e di crollo

Metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti cosismici sulle instabilità di versante finalizzati alla valutazione dell'Indice di Operatività del Contesto Territoriale (IOCT)

PON GOVERNANCE E CAPACITA' ISTITUZIONALE 2014-2020

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA
DI
RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO
AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE

Commissione tecnica interistituzionale

Mauro Dolce (presidente)

Laura Albani, Salvo Anzà, Walter Baricchi, Lorenzo Benedetto, Michele Brigante, Gennaro Capasso, Vincenzo Chieppa, Luigi D'Angelo, Lucia Di Lauro, Calogero Foti, Luca Lo Bianco, Giuseppe Marchese, Paolo Marsan, Mario Nicoletti, Mario Occhiuto, Ezio Piantedosi, Roberta Santaniello, Luciano Sulli, Carlo Tansi, Federica Tarducci, Carmela Zarra

Segreteria

Elda Catà, Carletto Ciardiello, Giuseppe Tiberti

Struttura responsabile dell'attuazione del Programma

Angelo Borrelli (responsabile), Anna Natili (supporto)

Coordinamento

Fabrizio Brammerini, Angelo Corazza, Biagio Costa, Italo Giulivo, Gaetano Mignone, Paolo Molinari, Francesca Romana Paneforte

Unità operativa rischi

Paola Bertuccioli, Sergio Castenetto, Stefano Ciolli, Andrea Duro, Emilio De Francesco, Antonio Gioia, Pietro Giordano, Giuseppe Naso, Stefania Renzulli, Daniele Spina

Unità di raccordo DPC

Sara Babusci, Lavinia Di Meo, Valter Germani, Biagio Prezioso, Chiara Salustri Galli

Amministrazione

Gabriella Carunchio, Pietro Colicchio, Francesca De Sandro, Stefania Nardella

Referenti Regioni

Campania: Mauro Biafore (coordinatore), Claudia Campobasso, Luigi Cristiano, Nicola Di Benedetto, Luigi Gentilella, Maurizio Giannattasio, Francesca Maggiò; Puglia: Tiziana Bisantino, Lucia Di Lauro (coordinatrice), Pierluigi Loiacono, Giuseppe Pastore, Francesco Ronco, Maria Trabace, Isabella Trulli; Calabria: Domenico Pallaria, Francesco Russo (coordinatore), Giuseppe Iritano, Carlo Tansi; Sicilia: Nicola Alleruzzo, Aldo Guadagnino, Antonio Torrisi.

CNR

Massimiliano Moscatelli (referente)

Struttura tecnica

Francesco Stigliano (coordinatore operativo), Gianluca Carbone, Marco Modica, Federico Mori, Edoardo Peronace

Massimo Cesarano, Ilaria Mazzini, Francesco Filice, Gino Cofone, Anita Di Giulio, Francesca Trapasso, Angelo Gigliotti, Vincenzo Galizia, Paolo Tommasi, Girolamo Belardi, Stefania Montesanti, Francesca Argiolas, Biagio Giaccio, Giuseppe Cosentino

Struttura gestionale

Lucia Paciucci (coordinatore gestionale), Laura Ragazzi, Francesco Petracchini

Referee

Paolo Boncio, Paolo Clemente, Maria Ioannilli, Massimo Mazzanti, Roberto Santacroce, Carlo Viggiani

A2.1 - Definizione di metodi di studio delle instabilità cosismiche e delle situazioni geologiche complesse: frane sismoindotte in terra e di crollo

Responsabile CNR-IGAG: Edoardo Peronace

Responsabile DPC: Sergio Castenetto

A cura di

Edoardo Peronace (CNR-IGAG), Federico Mori (CNR-IGAG), Giuseppe Naso (DPC), Carolina Fortunato (CNR-IGAG).



*Commissione tecnica per la microzonazione sismica
(articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907)*

Microzonazione sismica

Linee guida

*per la gestione del territorio in aree interessate da
instabilità di versante sismoindotte (FR)*

versione 1.1

Roma, 2017

Microzonazione sismica

Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)

Versione 1.1 a cura di:

Edoardo Peronace (CNR-IGAG), Federico Mori (CNR-IGAG), Giuseppe Naso (DPC), Carolina Fortunato (CNR-IGAG).

Versione 1.0 a cura di:

Fabrizio Bramerini (DPC), Sergio Castenetto (DPC), Margherita Giuffrè (CNR-IGAG), Giuseppe Naso (DPC)

Gruppo di lavoro

Regione Emilia Romagna: L. Martelli

Regione Friuli Venezia Giulia: F. Kranitz

Regione Liguria: D. Bottero

Regione Lombardia: S. De Andrea

Regione Piemonte: V. Giraud

Regione Toscana: M. Baglione

Regione Veneto: R. Mariani

Politecnico Milano: M. Compagnoni, F. Pergalani

Univ. Bicocca Milano: F. Agliardi, G.B. Crosta, P. Frattini, A. Valagussa

Univ. Firenze: C. Madiati

Univ. Genova: S. Barani, R. De Ferrari, G. Ferretti

Università di Pescara: Valter Fabietti

DPC: Fabrizio Bramerini, Sergio Castenetto, Giuseppe Naso, Emanuela D'Agostini

CNR-IGAG: Silvia Giallini, Massimiliano Moscatelli

COMMISSIONE TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (ex art. 5 OPCM 3907/2010)

Mauro Dolce (DPC, Presidente), Walter Baricchi (Consiglio Nazionale degli Architetti Pianificatori Paesaggisti Conservatori), Fabrizio Bramerini (DPC), Sergio Castenetto (DPC, segreteria tecnica), Serafino Frisullo (Collegio nazionale geometri), Giuseppe Ianniello (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti), Luca Lo Bianco (UNCEM), Luca Martelli (Conferenza Unificata), Rossella Monaco (Conferenza Unificata), Raffaele Nardone (Consiglio nazionale dei Geologi), Giuseppe Naso (DPC), Antonio Ragonesi (ANCI), Fabio Sabetta (DPC), Raffaele Solustri (Consiglio nazionale degli Ingegneri), Elena Speranza (DPC)

Rappresentanti delle Regioni e delle Province autonome

Maria Basi (Regione Abruzzo), Gerardo Colangelo (Regione Basilicata), Giovanna Petrungero (Regione Calabria), Crescenzo Minotta (Regione Campania), Luca Martelli (Regione Emilia - Romagna), Graziano Cecchi (Regione Friuli-Venezia Giulia), Adelaide Sericota (Regione Lazio), Daniele Bottero (Regione Liguria), Silvio De Andrea (Regione Lombardia), Pierpaolo Tiberi (Regione Marche), Rossella Monaco (Regione Molise), Vittorio Giraud (Regione Piemonte), Angelo Carlo Sileo (Regione Puglia), Andrea Motti

(Regione Umbria), Massimo Baglione (Regione Toscana), Massimo Broccolato (Regione Valle d'Aosta), Enrico Schiavon (Regione Veneto), Giovanni Spampinato (Regione Sicilia), Saverio Cocco (Provincia Autonoma di Trento), Claudio Carrara (Provincia Autonoma di Bolzano)

Hanno inoltre partecipato ai lavori della Commissione tecnica

Giuliano Basso (Regione Veneto), Antonio Colombi (Regione Lazio), Marina Credali (Regione Lombardia), Eugenio Di Loreto (Regione Lazio), Antonio Gerardi (Regione Lazio), Norman Natali (Regione Umbria), Isabella Trulli (Regione Puglia), Rocco Onorati (Regione Basilicata), Giuseppe Iiritano (Regione Calabria), Giorgio Pipponzi (Regione Abruzzo), Antonio Torrisi (Regione Siciliana)

L'attività di supporto e monitoraggio è svolta in accordo con CNR-IGAG (responsabile scientifico Gian Paolo Cavinato e Massimiliano Moscatelli)

Struttura tecnica di supporto

Gianluca Acunzo, Maria Sole Benigni, Flavio Bocchi, Gianluca Carbone, Monia Coltella, Chiara Conte, Noemi Fiorini, Margherita Giuffrè, Federico Mori, Roberto Razzano

Sommario

Premessa.....	11
PARTE PRIMA Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di instabilità di versante sismoindotte.....	16
1 Definizioni generali.....	16
2 Generalità.....	18
3 Carte, livelli di microzonazione sismica e zone di instabilità di versante.....	21
3.1 Screening preliminare: definizione di una soglia di pericolosità sismica di base (H_{FR}).....	25
3.2 Carta delle MOPS – livello 1 ($Z_{A_{FR}}$ – Zone di Attenzione per instabilità di versante).....	27
3.2.1 Frane in terra.....	30
3.2.2 Frane di crollo.....	31
3.3 Carta di MS – livello 3 ($Z_{S_{FR}}$ – Zone di Suscettibilità per l'instabilità di versante).....	33
3.3.1 Frane in terra.....	35
3.3.2 Frane di crollo.....	38
3.4 Carta di MS – livello 3 ($Z_{R_{FR}}$ – Zone di rispetto per l'instabilità di versante).....	41
3.4.1 Frane in terra.....	42
3.4.2 Frane di crollo.....	44
3.5 Riepilogo dei metodi e delle zone per la Carta delle MOPS e per la Carta di MS.....	46
4 Modalità di rappresentazione e perimetrazione delle zone.....	48
4.1 Modalità di rappresentazione delle zone.....	48
4.2 Modalità di perimetrazione delle zone.....	48
PARTE SECONDA Disciplina d'uso del suolo in zone interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR).....	51
5 Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da instabilità di versante sismoindotte.....	51
6 Disciplina d'uso.....	52
6.1 Aree edificate.....	53

6.1.1	Obbligo di approfondimento (Aree edificate)	53
6.1.2	Programma Zone Instabili.....	54
6.2	Aree non edificate o non urbanizzate.....	57
6.2.1	Obbligo di approfondimento (Aree non edificate o non urbanizzate).....	57
6.2.2	Intervento limitato.....	57
6.3	Programma Infrastrutture.....	58
7.1	Aree edificate.....	58
7.1.1	Obbligo di approfondimento (Aree edificate)	58
7.1.2	Programma Zone Instabili.....	59
8	Ruoli delle Istituzioni pubbliche.....	61
9	BIBLIOGRAFIA.....	63
	APPENDICE A1 - Metodologia per l'identificazione della coppia M-D di soglia.....	66
	APPENDICE A2 - Indicazioni operative per la Carta delle MOPS e programmazione nuove indagini.....	71
	A2.1 - Omogeneizzazione dei dati da inventari (PAI, IFFI, ecc.) ai fini della redazione della Carta delle MOPS - livello 1 (a cura della Regione Liguria).....	71
	A2.2 - Individuazione delle aree potenzialmente franose (APF) e delle aree di evoluzione della frana (AE) (a cura della Regione Toscana)	78
	A2.3 - Definizione di indagini e parametri per la programmazione degli approfondimenti superiori (a cura della Regione Emilia Romagna)	84
	APPENDICE A3 - Calcolo dei coefficienti $K_{h_{eq}}$ e K_h (a cura del DPC).....	91
	APPENDICE A4 - Progetto "INTERREG MASSMOVE" (a cura dell'Università Bicocca, Milano, Regione Friuli Venezia Giulia e Regione Veneto).....	93
	APPENDICE A5 - Metodologia per l'identificazione della soglia di a_{max} (a cura dell'Università Bicocca, Milano).....	138
	APPENDICE A6 - Metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti cosismici sulle instabilità di versante finalizzati alla valutazione dell'Indice di Operatività del Contesto Territoriale (IOCT).....	143
	A6.1 Introduzione.....	147
	A6.2 Deformazioni cosismiche.....	147

A6.3 Bibliografia.....	156
A6.4 Schema riassuntivo Appendice 6	157
APPENDICE B1 – Schema di Programma Zone Instabili.....	160
Finalità generale.....	160
Oggetto e finalità specifiche.....	160
Strumenti di attuazione. Piani attuativi.....	161
APPENDICE B2 – Schemi sintetici di classificazione.....	163
APPENDICE B3 – Schema riassuntivo della disciplina d'uso.....	169

Premessa

Il presente documento è stato predisposto con la finalità di modificare e integrare quanto indicato in “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (ICMS, 2008) nella parte riguardante i fenomeni di instabilità di versante sismoindotti. Si evidenzia immediatamente che l'oggetto di questo documento sono unicamente le instabilità di versante che devono il loro movimento, oltre a caratteri predisponenti, alla forzante sismica, quindi in tutto il testo si intende, anche se non specificato, “instabilità di versante sismoindotte”, rimandando ad altri documenti la trattazione del fenomeno generale delle instabilità.

Il documento è stato redatto con la collaborazione di alcune Regioni, che hanno inteso condividere alcune specifiche esperienze territoriali e con il supporto di alcune università ed enti di ricerca. Nelle procedure si è anche fatto riferimento alle esperienze maturate in occasione dei recenti terremoti che hanno interessato il nostro paese e agli studi ad essi seguiti.

L'obiettivo principale di queste linee guida è definire i criteri generali e le procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali, per:

- raccogliere accurate informazioni sul rischio indotto dalla presenza di terreni suscettibili di instabilità di versante;
- mitigare il rischio nelle aree con previsioni di trasformazione;
- mitigare il rischio nelle aree edificate.

Secondo gli ICMS (2008), la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS; livello 1 di MS) può essere redatta con l'utilizzo di dati pregressi, se sufficienti. Nella maggior parte dei casi i dati pregressi, cosiddetti “poveri” (in questo testo definiti “elementi informativi minimi”), consistono in informazioni di base quali la descrizione delle unità litologiche, gli elementi geomorfologici, i livelli di falda rilevati durante le perforazioni. Pertanto, per l'identificazione e definizione della suscettibilità di instabilità di versante, negli studi per la Carta delle MOPS si propongono metodologie che utilizzano dati immediatamente disponibili (ad esempio, inventari dei fenomeni franosi) perché raccolti in situ per precedenti studi o presenti in letteratura o in database pubblici. Per la realizzazione della Carta di Microzonazione Sismica (Carta di MS, livello 3 di MS) si rende necessaria, invece, l'esecuzione di indagini specifiche e approfondimenti per la caratterizzazione dei terreni.

Per quanto riguarda le metodologie di elaborazione, queste Linee Guida, che a seguito della condivisione con le Regioni sono parte integrante degli ICMS (2008), devono necessariamente basarsi sulla documentazione tecnico-normativa (NTC, 2008 e AGI, 2005 e successivi aggiornamenti) e scientifica, disponibile, rimandando ad altri contesti l'utilizzo di metodologie innovative.

In figura 1 è rappresentato uno schema, applicabile a tutte le possibili instabilità sismiche (frane, liquefazioni, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali), che sintetizza le attività, i risultati attesi e il tipo di zona suscettibile di instabilità nell'ambito dei diversi livelli di approfondimento degli studi per la microzonazione sismica (MS).

È da sottolineare l'opportunità di rendere totalmente omogenea, per le diverse instabilità, l'identificazione, il significato e la denominazione delle zone suscettibili di instabilità che, come si evince dallo schema, sono di tre tipi:

- Zone di Attenzione (ZA) negli studi per la Carta delle MOPS
- Zone di Suscettibilità (ZS) negli studi per la Carta di MS
- Zone di Rispetto (ZR) negli studi di per la Carta di MS.

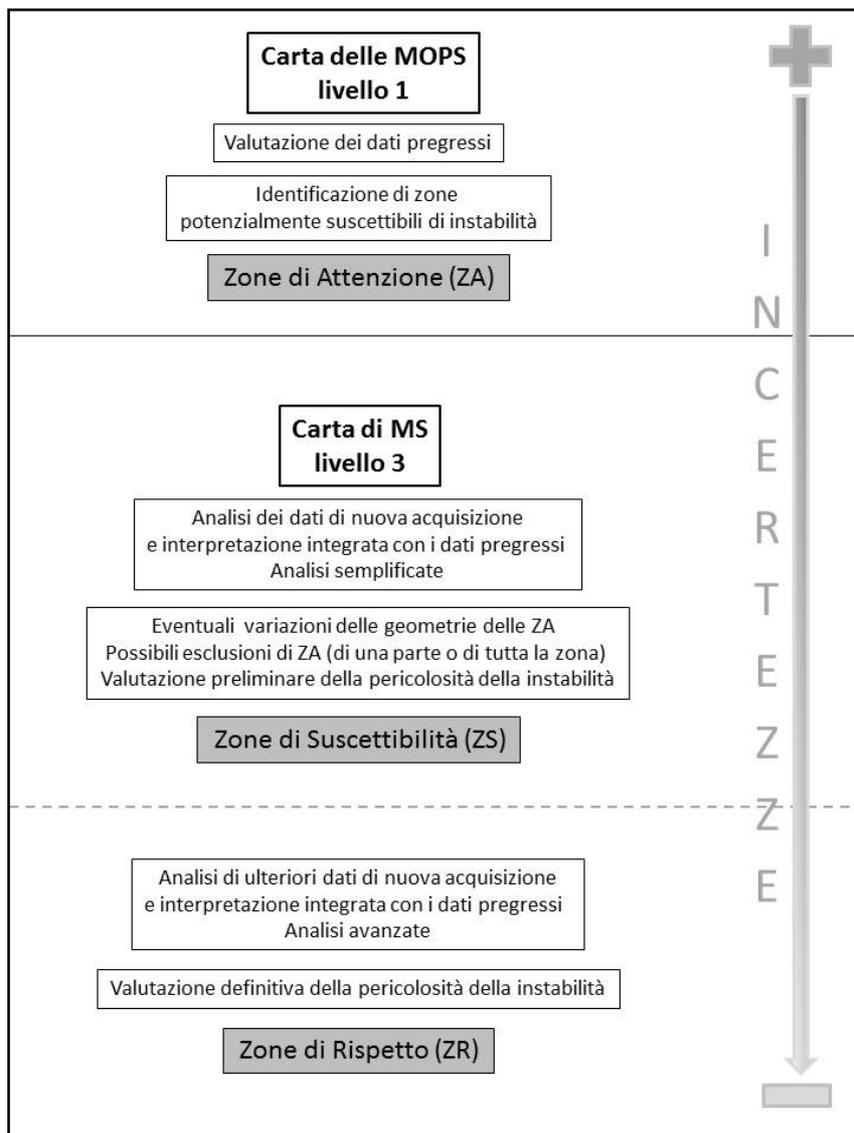


Figura 1 – Schema illustrativo del tipo di zona di instabilità nelle carte MOPS e MS. La raccolta dati e le analisi permettono di ridurre le incertezze dal livello 1 al livello 3.

Concettualmente, il significato dei tre tipi di zone è il seguente:

- *Zone di Attenzione (ZA): sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati.*

- *Zone di Suscettibilità (ZS):* sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità.
- *Zone di Rispetto (ZR):* sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, instabilità di versante, liquefazione, cedimenti differenziali).

Il presente documento è costituito da due parti:

PARTE PRIMA, nella quale si definisce il fenomeno fisico delle instabilità di versante per le frane in terra e per le frane di crollo, e si descrive una procedura tecnico operativa per stabilire forma e dimensioni delle zone investite dal fenomeno.

PARTE SECONDA, nella quale si forniscono indicazioni per la disciplina degli usi del suolo nelle zone investite dal fenomeno, sia dal punto di vista urbanistico che dal punto di vista delle classi d'uso dei manufatti.

Nelle APPENDICI vengono riportate alcune elaborazioni indispensabili per il complemento del testo.

¹ Nel testo il concetto di "zona di suscettibilità per instabilità di versante" è inteso in maniera diversa da come lo si intende in una parte della letteratura di settore, che per suscettibilità intende una valutazione del fenomeno nella quale non sono compresi i termini quantitativi (e la frequenza di accadimento). Negli studi di MS, invece, le Zone di Suscettibilità (ZS) per tutte le instabilità sono intese come aree nelle quali si sono condotte elaborazioni quantitative semplificate. In termini generali, le Zone di Attenzione (ZA) sono aree che potrebbero definirsi suscettibili di instabilità secondo l'accezione della letteratura.

Le presenti linee guida sono state approvate dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907), nella seduta del 2 marzo 2017 e costituiscono un'integrazione e un approfondimento degli ICMS (2008). Vengono messe a disposizione delle Regioni e delle Province Autonome affinché ne favoriscano l'uso come strumento operativo e ne definiscano il livello prescrittivo.

La struttura del presente documento è analoga a quella delle Linee guida per la gestione del territorio interessato da Faglie Attive e Capaci (FAC), approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome nella seduta del 7 maggio 2015. In particolare la seconda parte, riguardante la disciplina d'uso del suolo, riporta lo stesso schema di indicazioni urbanistiche e edilizie.

PARTE PRIMA

Descrizione del fenomeno fisico e delle zone di instabilità di versante sismoindotte

1 Definizioni generali

Si definiscono alcuni termini generali che descrivono il fenomeno fisico delle instabilità di versante sismoindotte. Nel testo, a meno di esplicita distinzione, i termini “instabilità di versante” e “frana” sono sinonimi.

Frana (instabilità di versante). Il movimento di una massa di roccia, di blocchi, di detrito o di terra lungo un versante.

I tipi di movimento si possono classificare come²:

- Crolli
- Ribaltamenti
- Colamenti
- Scorrimenti traslazionali e/o rotazionali
- Complessi

Frana in terra. Il movimento di una massa di terra che comporta uno spostamento per taglio lungo una o più superfici. Per la maggior parte sono frane per colamento o scorrimento.

Frana di crollo. È caratterizzata dalla caduta libera di blocchi di roccia e detrito, distaccatisi dal versante lungo discontinuità prevalentemente verticali. Per la maggior parte sono frane di crollo s.s. e ribaltamento.

Frana attiva. Una frana che è attualmente in movimento; può essere un movimento di primo distacco o di riattivazione. Tra le frane attive può essere utile distinguere, in relazione alle modalità di esplicazione (occorrenza) nel tempo e nello spazio:

- frane con ricorrenza continua
- frane con ricorrenza intermittente;

² In una prossima revisione si affronterà anche il problema delle DGPV, deformazioni gravitative profonde di versante

- ricorrenza a intervalli stagionali
- ricorrenza a intervalli annuali
- ricorrenza a intervalli decennali

Frana inattiva. Tra le frane inattive sono comprese quelle riferibili a condizioni morfoclimatiche diverse dalle attuali sia quelle che, pur essendo prodotte nell'attuale sistema morfoclimatico, sono state stabilizzate e rese inattive per intervento antropico.

Frana quiescente. È una frana che, pur non mostrando attività al momento del rilevamento, per indizi geomorfologici o testimonianze (dirette, storiche, ecc.) possiede un'oggettiva possibilità di riattivazione nell'attuale sistema morfoclimatico.

2 Generalità

Le finalità di questa prima parte del documento sono:

- fissare dei requisiti minimi per gli studi di MS al fine di individuare le zone suscettibili di instabilità;
- definire procedure standard per l'individuazione delle zone instabili per frana in funzione della tipologia, della qualità delle indagini svolte e dei metodi di analisi;
- specificare il grado di incertezza dei risultati;
- definire il sistema di rappresentazione delle zone.

La letteratura geotecnica è ricca di notizie di frane in pendii naturali e artificiali avvenute in tempi lontani e recenti in occasione di terremoti.

Dall'osservazione dei fenomeni franosi sismoindotti è stato rilevato che il rapporto causa-effetto è molto complesso:

- terremoti di bassa magnitudo possono scatenare frane imponenti;
- terremoti forti possono non attivare movimenti di pendii in condizioni di stabilità precarie.

Le instabilità osservate sono molto varie:

- crolli
- distacchi parziali
- rotture generalizzate
- collassi istantanei
- movimenti ritardati, più o meno lenti

I materiali coinvolti possono essere:

- terreni granulari, argille (frane in terra)
- rocce lapidee, rocce tenere alterate (frane in roccia, di crollo).

Le numerose ed attente osservazioni effettuate negli ultimi 30 anni hanno permesso di evidenziare che il rapporto causa-effetto dipende dalla combinazione di molti fattori. È stato possibile, inoltre, identificare i principali fenomeni fisici che si

manifestano in condizioni dinamiche e i relativi parametri descrittivi. In condizioni dinamiche i cinematismi e le fenomenologie sono in generale diversi rispetto a quelli che si manifestano in condizioni statiche e in alcuni casi i movimenti sono ritardati rispetto all'evento sismico.

Il comportamento di un pendio durante l'evento sismico e per un periodo successivo all'evento stesso è strettamente legato alla natura del terreno e alle condizioni esistenti prima del terremoto e al regime idraulico del pendio. Per questo motivo, le analisi di stabilità di un pendio in zona sismica devono sempre essere effettuate con riferimento alle tre condizioni:

- a) PRIMA del terremoto: condizioni statiche;
- b) DURANTE il terremoto: condizioni dinamiche;
- c) DOPO il terremoto: condizioni statiche, con resistenza al taglio eventualmente modificata per effetto residuo del carico ciclico o altre modifiche delle condizioni al contorno.

Limitandosi alla fase cosismica, i principali fattori che influenzano la stabilità di un pendio DURANTE un terremoto sono:

Caratteristiche del pendio

- caratteristiche morfologiche, geologiche e strutturali
- posizione e orientazione rispetto alla zona di attivazione del "piano di faglia"
- proprietà fisiche e parametri meccanici dei terreni, in condizioni statiche, dinamiche e cicliche
- regime delle pressioni interstiziali

Condizioni contingenti

- entità e posizione di eventuali carichi esterni
- uso del suolo
- modifiche alla morfologia di origine antropica e/o naturale
- condizioni climatiche antecedenti e contemporanee

Caratteristiche del terremoto

- *forma, ampiezza, durata e contenuto in frequenza del moto sismico*
- *posizione dell'epicentro*

Quindi, gli studi, le indagini e i dati necessari per la verifica della stabilità dei pendii in condizioni sismiche includono:

- *acquisizione e analisi di dati esistenti*
- *rilievi topografici, indagini geomorfologiche, indagini geologiche*
- *prove geotecniche e geofisiche in sito e di laboratorio*
- *monitoraggio delle pressioni interstiziali*
- *individuazione e controllo di eventuali movimenti preesistenti*
- *definizione delle condizioni ambientali e di carico*
- *identificazione dell'azione sismica di progetto e delle strutture sismogenetiche.*

3 Carte, livelli di microzonazione sismica e zone di instabilità di versante

Le carte geologiche di base e la Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS), descrivendo le caratteristiche geologico tecniche dei litotipi e l'assetto geomorfologico dell'area d'interesse, hanno un ruolo fondamentale per l'individuazione della presenza, o meno, delle condizioni locali predisponenti l'instabilità di versante. Pertanto è necessario che vengano anche rappresentati eventuali elementi antropici di interesse (es. aree di cava attive e abbandonate, discariche di inerti, ecc.).

La CGT_MS in particolare rappresenta un vero e proprio studio propedeutico per l'individuazione delle zone di instabilità di versante. In particolare, un'area nella quale è stata già individuata una frana, sarà segnalata nella CGT_MS (e accompagnata da una descrizione specifica nelle note illustrative) come un'area sulla quale sono necessari approfondimenti per verificare l'effettiva presenza di condizioni predisponenti l'instabilità.

In termini generali i metodi di verifica della zone di instabilità di versante in condizioni sismiche sono (NTC, 2008; AGI, 2005)³:

- metodi pseudostatici (analisi semplificate)
- metodi dinamici degli spostamenti (analisi dinamiche semplificate)
- metodi dinamici sforzi-deformazioni (analisi dinamiche avanzate).

Questi metodi si differenziano per:

- modalità di schematizzazione dell'azione sismica (costante o funzione del tempo, descritta mediante uno o più parametri rappresentativi o mediante l'intera storia temporale)
- modello di comportamento dei terreni (es. rigido-plastico, elasto-plastico, ecc.)
- parametro di riferimento per la valutazione delle condizioni di stabilità (fattore di sicurezza, entità dello spostamento, livello tensionale)

³ Per una trattazione sintetica dei metodi di studio e di verifica della stabilità dei versanti in condizioni sismiche si rimanda anche a:

http://people.dicea.unifi.it/claw/14a%20Pendii%20AA-2012_13.pdf

http://people.dicea.unifi.it/claw/14b%20Pendii%20AA-2012_13.pdf

http://people.dicea.unifi.it/johannf/disp_18.pdf

- tipo di approccio analitico o numerico utilizzato (es. equilibrio limite, analisi limite, differenze finite, elementi finiti)
- condizione limite di riferimento (stato limite ultimo o di esercizio).

Insieme ai metodi sopra citati, nell'Appendice A6 di questo documento, si riportano anche altri tipi di analisi semplificate che permettono di fare delle valutazioni più o meno speditive dell'indice di operatività di un sistema di gestione dell'emergenza. Tali metodologie consentono di stimare, per livelli di approfondimento differente (tipo D1, D2), l'entità degli spostamenti a partire dalla valutazione dei parametri che consentono di definire i fattori predisponenti e/o scatenanti di una instabilità di versante sismoindotta.

La metodologia generale, adottata in queste linee guida, si basa su procedure di screening successivi che, partendo da tutte le instabilità di versante segnalate in documentazione pregressa e in database (PAI, IFFI, ecc.), consentono di individuare le frane attivabili con una forzante sismica e che interessano le aree urbanizzate e urbanizzabili (fig. 2).

Uno screening preliminare escluderà, solo sulla base della pericolosità sismica di base, le aree che, pur essendo in frana, non saranno soggette a forzante sismica tale da provocarne l'attivazione.

Uno secondo screening, applicando metodi pseudostatistici che considerano dati geologici e geotecnici, consentirà di escludere altre aree.

Il terzo e ultimo screening permetterà di definire solo le frane che potenzialmente possono interessare le aree urbanizzate e urbanizzabili, valutando e calcolando gli spostamenti.

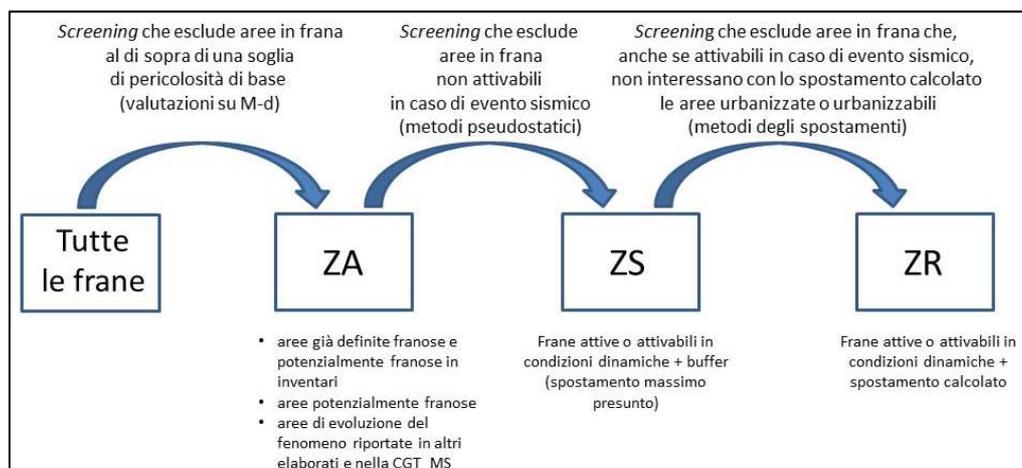


Figura 2 – Metodologia generale di individuazione delle ZA, ZS e ZR per le instabilità di versante (frane).

I livelli di approfondimento e le carte (tabella 1) per l'individuazione delle instabilità di versante, descritti nel presente documento, sono:

- livello 1 (Carta delle MOPS) per l'individuazione di Zone di Attenzione per le instabilità di versante (Z_{AFR}), nel quale vengono utilizzati elementi informativi minimi⁴ (es. segnalazioni di aree in frana o potenzialmente franose in inventari esistenti, confronto con CGT_MS ed eventuali dati pregressi raccolti durante lo studio di MS di livello 1)
- livello 3 (Carta di MS) nel quale vengono distinte due modalità di approfondimento delle analisi in funzione di due tipologie di zone previste:
 - Zone di Suscettibilità per instabilità di versante (Z_{SFR}), da identificare con elementi informativi specifici e analisi semplificate (AGI, 2005);
 - Zone di Rispetto per instabilità di versante (Z_{RFR}), da identificare con elementi informativi specifici e analisi dinamiche semplificate o avanzate (AGI, 2005).

Gli studi di MS con approfondimenti di livello 2, poiché richiedono particolari condizioni di assetto geologico del sottosuolo (strati del sottosuolo piano paralleli e morfologia piatta), non sono compatibili con le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei versanti instabili e quindi, come si dirà in dettaglio più avanti, non sono utilizzabili per questo tipo di instabilità permanente cosismica. Pertanto, nelle carte di MS con approfondimenti di livello 2 si riporteranno le Z_{AFR} definite nel livello 1.

Come si può notare, i diversi tipi di zona di instabilità di versante sono propri di livelli diversi di approfondimento. A ciascun tipo di zona corrispondono indicazioni per la pianificazione urbanistica e per gli interventi di trasformazione che saranno trattate nella PARTE SECONDA di questo documento.

Livello	Carta	Zone di	Elementi	Analisi e metodi
---------	-------	---------	----------	------------------

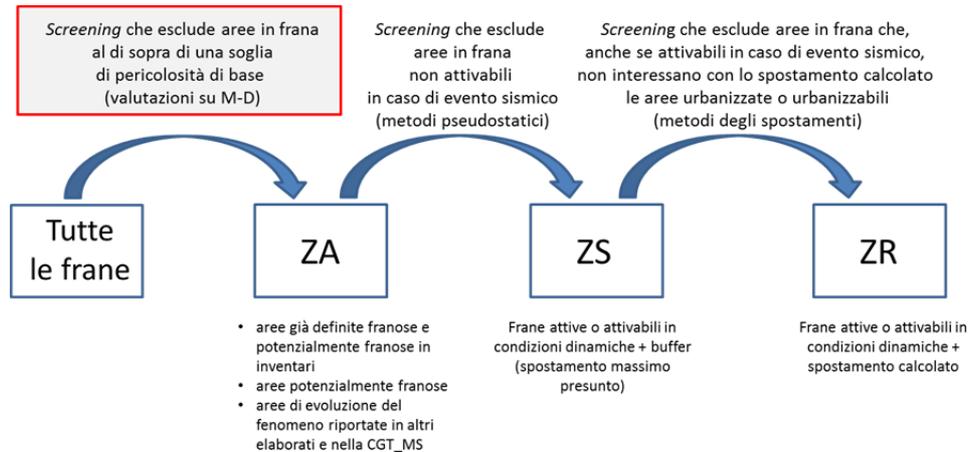
⁴ Tra gli elementi informativi minimi si intendono i dati pregressi, incrociati con soglie preliminari della pericolosità sismica a scala regionale

di MS		instabilità di versante	informativi	
1	MOPS	Zone di Attenzione (Z_{AFR})	Minimi Dati pregressi	-
2	MS	Zone di Attenzione (Z_{AFR})	-	Non si effettuano studi sulle instabilità di versante
3	MS	Zone di Suscettibilità (Z_{SFR})	Specifici	Semplificate (sensu AGI, 2005) Metodi pseudostatici per frane in terra Metodi semplificati per definire la suscettibilità e la runout distance per frane di crollo
3	MS	Zone di Rispetto (Z_{RFR})	Specifici	Dinamiche semplificate o avanzate (sensu AGI, 2005). Metodi degli spostamenti e calcolo runout distance

Tabella 1 – Livelli, carte e corrispondenti tipi di zone di instabilità di versante.

Gli studi di microzonazione sismica secondo ICMS (2008) sono svolti nelle aree urbanizzate e/o soggette a trasformazione. Il fenomeno delle instabilità di versante e la sua evoluzione coinvolgono un territorio più vasto di quello di interesse per la mappa di microzonazione sismica, quindi, per le instabilità di versante, bisognerà considerare un'area di studio estesa fino a comprendere il territorio che può essere influenzato dal fenomeno e che, nella sua evoluzione, potrebbero investire la parte urbanizzata e urbanizzabile (come da piani territoriali). Quindi la zonazione (Z_{AFR} , Z_{SFR} , Z_{RFR}) occuperà aree anche non necessariamente previste dagli ICMS (2008).

3.1 Screening preliminare: definizione di una soglia di pericolosità sismica di base (H_{FR})



Anche se la definizione della forzante sismica e le conseguenze della sua applicazione sul pendio si affronteranno nel livello successivo di approfondimento (livello 3), in questa fase preliminare agli studi di MS è richiesta la valutazione di un parametro di pericolosità sismica (coppia Magnitudo-Distanza; M-D) che permetta, definendo una soglia minima, di operare un primo screening e limitare le porzioni di territorio della Regione dove concentrare gli studi successivi.

Nell'ambito degli studi di microzonazione sismica di livello 1, al fine di individuare le zone di instabilità di versante in condizioni sismiche è possibile selezionare preliminarmente le aree ove sussistono le condizioni sismiche necessarie per l'attivazione del fenomeno franoso sulla base di specifici parametri sismici.

Il comportamento di un pendio in condizioni dinamiche, durante il terremoto, dipende infatti anche dalle caratteristiche intrinseche del moto sismico cioè da ampiezza, durata e contenuto in frequenza.

In Appendice A1 viene proposta una metodologia attraverso cui individuare le aree, definite in funzione dei limiti comunali, ove sia possibile escludere l'attivazione di frane sismoindotte sulla base di specifici parametri sismici (M-D). La metodologia proposta in appendice rappresenta solo un'indicazione e ovviamente le singole Regioni potranno utilizzare altri metodi che riterranno più congrui alle proprie esigenze.

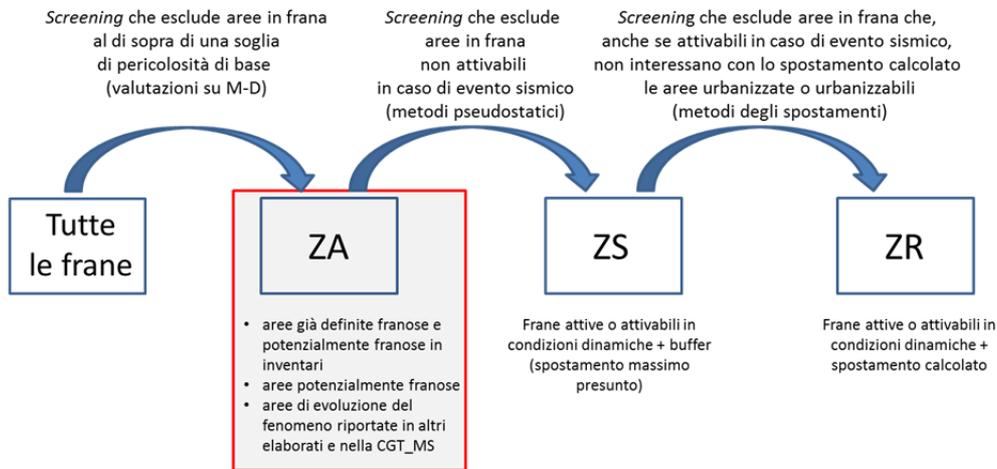
La metodologia proposta si basa su tre fasi di analisi:

- disaggregazione della pericolosità sismica (Barani et alii, 2009) in termini di Magnitudo e Distanza (M-D);

- confronto degli scenari M-D con i valori di soglia, o valori critici (M_c-D_c), derivati da Keefer (1984) per l'attivazione delle frane sismoindotte;
- calibrazione della procedura attraverso una validazione *ex-post*.

La coppia M-D di ogni comune esaminato sarà identificata con un parametro unico H_{FR} . In altri termini, il parametro H_{FR} corrisponderà alla coppia M-D associata al periodo spettrale e al periodo di ritorno tale da individuare sul territorio in esame tutte (o la maggior parte) le aree comunali interessate storicamente da frane sismoindotte.

3.2 Carta delle MOPS – livello 1 (Z_AFR - Zone di Attenzione per instabilità di versante)



Il risultato atteso del livello 1 di MS è la delimitazione della Zone di Attenzione per instabilità di versante (Z_AFR) costituite dalle seguenti aree:

- aree in frana (FR)
- aree potenzialmente franose (APF)
- aree di evoluzione del fenomeno franoso (AE).

L'obiettivo di questo livello di approfondimento viene perseguito utilizzando elementi informativi minimi. Alcuni di questi elementi, che attengono alle caratteristiche del sottosuolo, devono essere raccolti dando priorità alle aree già preventivamente segnalate nella CGT_MS.

Tra gli elementi informativi minimi si citano:

- segnalazioni di instabilità dei pendii in eventi sismici passati. Le informazioni sui fenomeni di instabilità di versante osservati in occasione di eventi sismici storici possono essere reperite in pubblicazioni scientifiche o nel catalogo CEDIT (2013): *Italian Catalogue Of Seismic Ground Failures* (<http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>);
- consultazione di inventari di fenomeni franosi (PAI, IFFI, studi regionali, studi di dettaglio per piani urbanistici, ecc.); nell'ambito di questa attività è necessario verificare la coerenza reciproca dei dati provenienti dalle varie fonti considerate, laddove sorgano incongruità (es. perimetrazioni o stati di

attività diversi per lo stesso corpo di frana tra le fonti conoscitive utilizzate) e occorrerà pervenire ad una sintesi. Ciò al fine di assicurare l'allineamento del tematismo "aree interessate da instabilità di versante - frane" della carta delle MOPS con le cartografie di riferimento che producono vincoli territoriali (carta di suscettività d'uso degli strumenti urbanistici o cartografia di pericolosità del PAI);

- valutazioni desunte dall'analisi della CGT_MS (soprattutto per derivare le APF).

Ulteriore obiettivo degli studi di livello 1 è la programmazione delle indagini da effettuare nel livello 3.

Si rimanda al livello di approfondimento superiore (Carta di MS - livello 3) la valutazione della possibilità di mobilitazione con forzante sismica.

Nella figura 3 è sintetizzata la procedura per la definizione delle $Z_{A_{FR}}$.

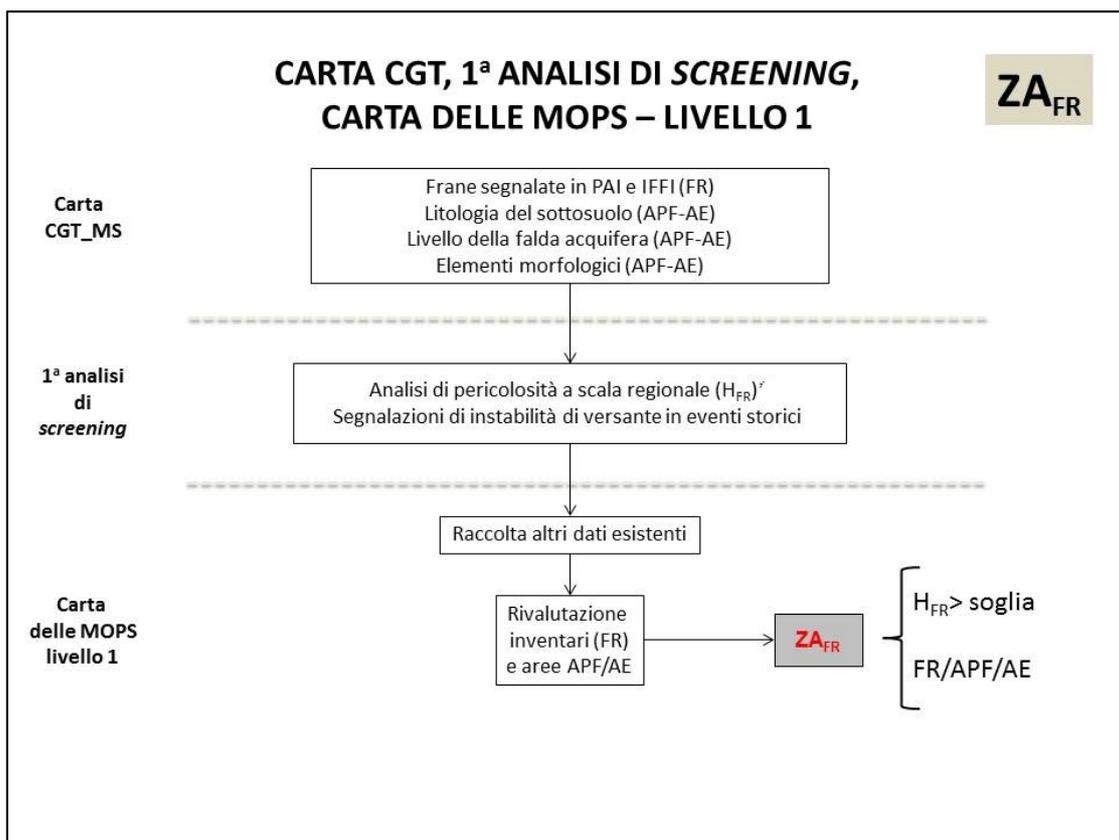


Figura 3 – Diagramma di flusso che illustra la metodologia per definire le $Z_{A_{FR}}$. Per i dettagli vedi testo.

Le Z_{AFR} sono rappresentate nella Carta delle MOPS (livello 1).

Nel capitolo 4 sono illustrati i criteri per la perimetrazione della Z_{AFR} .

3.2.1 Frane in terra

Per tutti i territori che sono al di sopra della soglia di H_{FR} definita, per le frane in terra le $Z_{A_{FR}}$ nella Carta delle MOPS saranno composte dall'unione di:

- aree già definite franose e potenzialmente franose in inventari (FR)
- aree potenzialmente franose (APF)
- le aree di evoluzione del fenomeno (AE) riportate in altri elaborati e nella CGT_MS.

Si fa notare che nel rapporto ISPRA (2015) è riportata la seguente indicazione: "...Le aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) includono quindi, oltre alle frane già verificatesi, anche le zone di possibile evoluzione dei fenomeni e le zone potenzialmente suscettibili a nuovi fenomeni franosi..." Questa indicazione si riferisce generalmente a situazioni statiche.

Le aree in frana che non superano la soglia H_{FR} non verranno riportate nella carta delle MOPS, ma rimarranno segnalate nella carta CGT_MS.

In Appendice A2 sono riportati documenti che definiscono i seguenti standard operativi:

A2.1 - omogeneizzazione dei dati desunti da inventari (PAI, IFFI) ed eventualmente disponibili

A2.2 - individuazione delle Aree Potenzialmente Franose e le Aree di Evoluzione del fenomeno (APF e AE)

A2.3 - definizione di indagini e parametri per la programmazione degli approfondimenti superiori.

Si raccomanda che nella descrizione in legenda di queste zone sia riportata la dicitura "zone con instabilità di versante da verificare con studi di livello superiore".

Nella Relazione illustrativa, oltre alle modalità di identificazione della $Z_{A_{FR}}$, saranno riportate informazioni specifiche su:

- assetto geologico, idrogeologico, geomorfologico e geotecnico dell'area, derivante dalle analisi dei dati pregressi;
- eventuali segnalazioni di instabilità di versante in occasione di eventi sismici passati;

- ubicazione e tipologia delle indagini da condurre nei livelli di approfondimento successivi;
- metodi di analisi da impiegare nei livelli di approfondimento successivi.

L'individuazione di queste zone rimanderà obbligatoriamente al livello superiore di approfondimento (Carta di MS – livello 3).

3.2.2 Frane di crollo

Le condizioni affinché possa avvenire il fenomeno della frana di crollo sono:

- esistenza in parete o lungo il pendio di blocchi separati da giunti aperti predisponenti il distacco
- presenza di una forza scatenante (es. sisma) che inneschi il dissesto.

Le frane di crollo si manifestano in 3 fasi principali:

- rottura con distacco del materiale
- transito del materiale lungo il pendio
- arresto al piede.

Per tutti i territori che sono al di sopra della soglia di H_{FR} , le Z_{AFR} nella Carta delle MOPS per frane che coinvolgono ammassi rocciosi fratturati si basa sulla stima e sulla conseguente delimitazione dell'area di accumulo di frana. La delimitazione areale (Z_{AFR}) deriva, anche in questo caso, dall'analisi degli elementi informativi minimi e da relazioni empiriche e da nuove osservazioni sul territorio, eseguite per gli studi di livello 1.

In sostanza, le analisi devono portare a una valutazione della:

- potenzialità di innesco, ovvero classificazione delle pareti e pendii in genere (es. crolli secondari) in termini di potenzialità a generare frane di crollo
- area di accumulo connessa alle massime distanze percorse dai blocchi di roccia provenienti dalle pareti soggette a crollo (*runout distance*).

La potenzialità di innesco potrà derivare da dati desunti da inventari e/o da osservazioni di carattere prevalentemente geologico e geomorfologico su forme e depositi legati a precedenti fenomeni di crollo (area sorgente, area occupata dai

depositi di precedenti frane in roccia, area di arresto di singoli blocchi), dall'analisi delle CGT_MS e da osservazioni dirette in caso di eventi sismici passati particolarmente documentati. In tal caso, come per le frane in terra, è necessario prevedere l'omogeneizzazione dei dati desunti da inventari (PAI, IFFI, ecc.).

La valutazione semiquantitativa delle traiettorie attese e delle massime distanze percorse dai blocchi soggetti a crollo è basata sulla stima dei massimi avanzamenti potenziali, in modo da ottenere una zonazione del territorio (Varnes, 1984), per mezzo di approcci empirici.

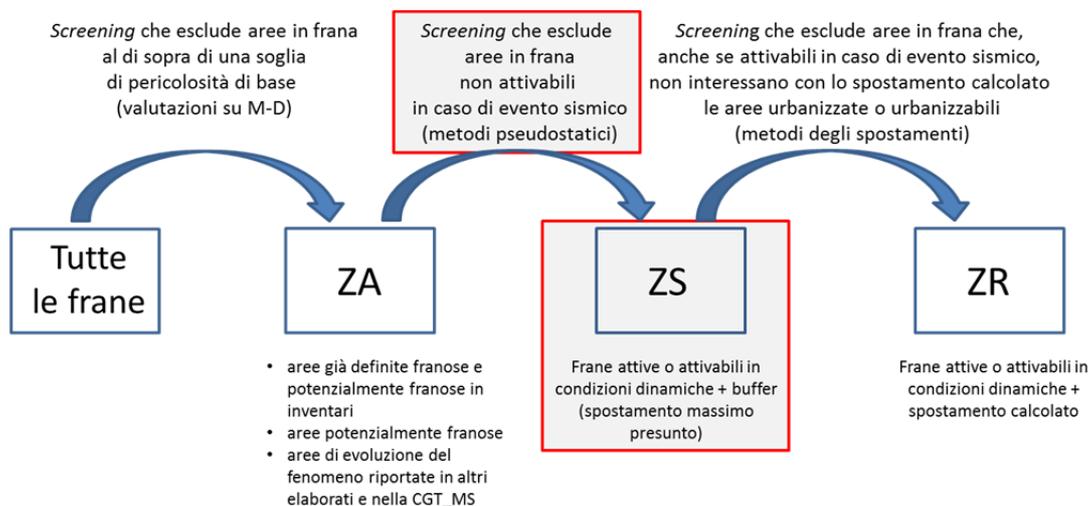
Tra gli approcci empirici per il calcolo della *runout distance* si ricordano:

- metodo del cono d'ombra (Evans e Hungr, 1993)
- metodo dell'angolo di inclinazione del versante (Onofri e Candian, 1979)
- *height function model* (Keylock e Domaas, 1999)
- α - β model (Heim, 1932 e Korner, 1980)
- *runout ratio model* (McClung e Lied, 1987)
- *simple dynamics rockfall model* (Kirkby e Statham, 1975).

Si sottolinea che esperimenti e simulazioni hanno mostrato che esiste una correlazione positiva tra *runout distance* e il volume di roccia interessato dalla frana.

Come per le frane in terra, le aree che non superano la soglia H_{FR} non verranno riportate nella carta delle MOPS, ma conservate nella carta CGT_MS.

3.3 Carta di MS - livello 3 (ZS_{FR} - Zone di Suscettibilità per l'instabilità di versante)



Il risultato atteso da questo livello di approfondimento è l'individuazione di Zone di Suscettibilità per l'instabilità di versante (ZS_{FR}). Le frane attive e le frane attivabili in caso di evento sismico costituiscono le ZS_{FR}. Per queste frane, in questa fase di valutazione, non è ancora calcolato lo spostamento in caso di attivazione: per ovviare a questa mancanza di informazione si definisce un buffer intorno all'area in frana che rappresenta una sorta di spostamento massimo ipotizzabile. Le ZS_{FR} saranno pertanto costituite dalle aree in frana attive o attivabili con la forzante sismica più un buffer.

L'intera procedura che porta alla definizione delle ZS_{FR} permette di operare una prima selezione (screening) tra le zone identificate come ZA_{FR} nel livello 1, riducendo il numero di quelle di interesse in caso di terremoto. In pratica solo alcune ZA_{FR} saranno ZS_{FR}. Lo scopo della procedura di screening, infatti, è quello di filtrare le aree che hanno bassissimo o nessun potenziale di sviluppo di frane sismoindotte.

Nella prima fase della procedura di screening, dovrà essere valutata l'attività della frana, distinguendo frane attive (FR_{att}), frane quiescenti (FR_{quie}) e frane stabilizzate (FR_{stabil}).

Per supportare chi deve fattivamente operare questa distinzione, si riporta una tabella di confronto tra la classificazione dello stato di attività delle frane e la classificazione di pericolosità attribuito dal PAI (tabella 2).

Tipo di attività	Attiva	Quiescente	Stabilizzata
------------------	--------	------------	--------------

Pericolosità PAI	Molto elevata	Elevata	Media-Moderata
Codice PAI	P4	P4/P3	P2-P1

Tabella 2 - Correlazione tra tipo di attività e pericolosità attribuita dal PAI

Una volta attribuito lo stato di attività, le FR_{att} sono direttamente identificate come ZS_{FR} , mentre per le FR_{quie} e FR_{stabil} si procederà con la seconda fase che definirà la possibile attivazione in caso di terremoto.

La seconda fase della metodologia è diversificata per le frane in terra (cap. 3.3.1) e per le frane di crollo (cap. 3.3.2). La scelta di adottare due procedure per i due tipi di frana è necessariamente conseguente alle conoscenze tecniche scientifiche e alle indicazioni normative inerenti i due fenomeni che, anche dal punto di vista fisico, sono molto diversi. La metodologia per le frane in terra si basa sul rapporto di due coefficienti legati a un'accelerazione critica (a_c) e all'accelerazione massima in superficie (a_{max}). La metodologia per le frane di crollo è invece basata su elementi geologici rilevati *in situ* (caratteristiche delle pareti in roccia), avendo definito a priori una soglia inferiore per l'accelerazione massima in superficie (a_{max}).

Nella figura 4 è sintetizzata la procedura per definire le ZS_{FR} .

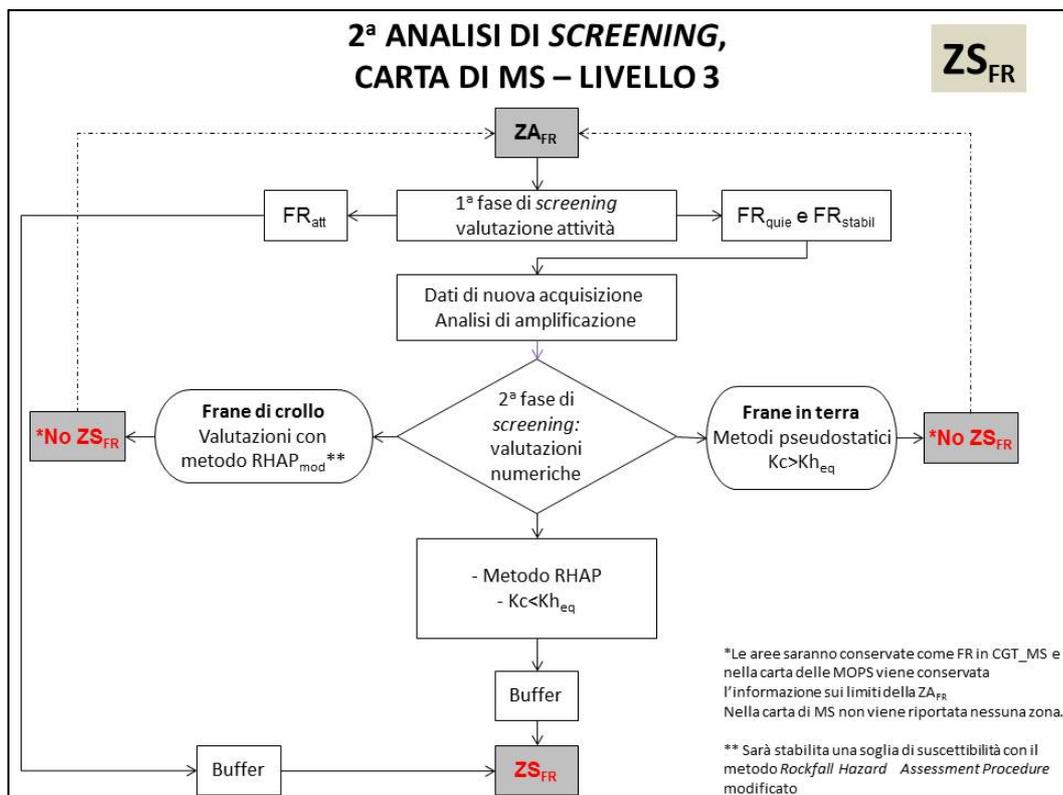


Figura 4 - Diagramma di flusso che illustra la metodologia per definire le ZS_{FR} . Per i dettagli vedi testo.

Le Z_{SFR} sono rappresentate nella Carta di MS (livello 3).

Nel capitolo 4 sono illustrati i criteri per la perimetrazione delle zone Z_{SFR} .

3.1.1 Frane in terra

Per definire le Z_{SFR} è necessario:

- sottoporre a nuova valutazione, con i nuovi dati acquisiti in questo livello di approfondimento, le Aree in Frana (FR), Aree Potenzialmente Franose (APF) e Aree di Evoluzione del fenomeno (AE);
- identificare eventuali Aree Potenzialmente Franose (APF) e Aree di Evoluzione del fenomeno (AE) non identificate nel livello 1 e/o non comprese nelle aree in frana definite nei documenti PAI.

Il metodo di identificazione delle Z_{SFR} prevede che nella prima fase della procedura di screening le Z_{AFR} relative a FR_{att} vengano direttamente identificate come Z_{SFR} , mentre per le aree Z_{AFR} relative a FR_{quie} e FR_{stabil} debbano essere calcolati con metodi numerici (analisi di amplificazioni litostratigrafiche e analisi pseudostatiche) K_{heq} e K_c . La seconda fase della procedura di screening prevede la valutazione e il confronto tra K_c e K_{heq} ; le Z_{SFR} saranno costituite dalle aree FR, APF, AE per le quali risulti $K_c < K_{heq}$.

La procedura prevede 3 passi:

calcolo del coefficiente sismico critico (K_c) in condizioni di collasso incipiente, ovvero quando $FS=1.2^5$ (analisi pseudostatica inversa);

calcolo dell'accelerazione massima equivalente ($a_{max_{eq}}$) e del coefficiente sismico orizzontale equivalente (K_{heq}) con un'analisi numerica (si sottolinea ancora una volta che non sono applicabili i risultati di abachi propri del livello 2, in quanto le aree in frana sono geologicamente complesse);

confronto tra K_c e K_{heq} e individuazione delle Z_{SFR} ($K_c < K_{heq}$).

⁵ Valore ritenuto ragionevole per le verifiche di stabilità dei pendii naturali in condizioni sismiche (cfr. cap. 8 delle Linee guida AGI, 2005)

Le zone Z_{AFR} per le quali $K_c > K_{h_{eq}}$, superano lo screening e non sono riportate nelle carte di MS, ma il loro perimetro sarà conservato nella carta delle MOPS.

Le zone Z_{AFR} per le quali $K_c < K_{h_{eq}}$, non superano lo screening e sono definite come Z_{SFR} .

Il calcolo dei parametri necessari per la procedura di screening richiede l'acquisizione dei risultati di specifiche prove geotecniche, *in situ* e di laboratorio, con i seguenti obiettivi:

- determinare le caratteristiche di resistenza dei materiali (c' e ϕ'),
- ricostruire il profilo dell'accelerazione alla base e all'interno del corpo franoso attraverso modellazioni numeriche
- stimare la massima accelerazione in superficie (a_{max} in superficie in condizioni di *free field* e nel corpo di frana)
- definire con dati più accurati la geometria della zona nella quale è possibile il verificarsi della instabilità di versante
- stimare le incertezze/variabilità dei risultati ottenuti dalle indagini *in situ* e in laboratorio e dei metodi di analisi.

Una particolare attenzione dovrà essere posta nelle analisi di terreni saturi per i quali può essere necessario considerare la riduzione della resistenza al taglio indotta da condizioni di carico ciclico a causa dell'incremento delle pressioni interstiziali e della degradazione dei parametri di resistenza. Anche in questo caso, per relazioni empiriche del calcolo di Δu e δ_{cu} ci si può riferire a AGI (2005).

Altra raccomandazione riguarda la scelta delle caratteristiche di resistenza dei materiali (c' e ϕ'), per le quali è bene distinguere tra terreni a comportamento duttile e terreni a comportamento fragile. Di seguito sono riassunte quelle riportate in AGI (2005).

- Terreni a comportamento duttile, caratteristiche di resistenza corrispondenti alle condizioni di volume costante ($c'=0$, $\phi'=\phi'_{cr}$)
- Terreni a comportamento fragile, caratteristiche di resistenza corrispondenti alle condizioni di volume costante di post-picco ($c'=0$, $\phi'=\phi'_{pp}$)
- Terreni coesivi in presenza di superfici di scivolamento relative, caratteristiche di resistenza corrispondenti alle condizioni residue ($c'=0$, $\phi'=\phi'_r$)

- Terreni coesivi consistenti e sovraconsolidati su pendii integri in presenza di superfici di discontinuità preesistenti (es. stratificazione), caratteristiche di resistenza corrispondenti alle condizioni post picco ($c'=0$, $\phi'=\phi'_{pp}$)
- Terreni coesivi consistenti e sovraconsolidati su pendii integri, caratteristiche di resistenza corrispondenti alle condizioni di picco ($c'\neq 0$, $\phi'=\phi'_p$).

In Appendice A3 si riportano alcuni riferimenti di letteratura tecnica e di normativa per il calcolo di K_c e $K_{h_{eq}}$. In particolare i metodi per la determinazione di $K_{h_{eq}}$ sono riportate nell'appendice "G" di AGI (2005).

3.3.1.1 Buffer per le frane in terra

Le Z_{SFR} saranno costituite dalle aree in frana attivabili con una forzante sismica (o già definite attive con valutazioni statiche) e un buffer che sostituisce la mancanza di informazioni rispetto allo spostamento ipotizzabile della frana in condizioni dinamiche. Il buffer dovrebbe rappresentare una sorta di valutazione per eccesso dello spostamento effettivo.

La definizione di questo buffer è un'operazione critica perché dipende da una serie di fattori tra i quali i più importanti sono: la dimensione dell'area in frana, l'acclività del versante, la litologia dei terreni coinvolti, la profondità della falda, il meccanismo di rottura e le caratteristiche energetiche e cinematiche della forzante sismica. Per una completa trattazione sulle problematiche di identificazione di buffer per aree in frana si consiglia di consultare Fell et alii (2008).

Si ritiene che, a giudizio esperto del realizzatore dello studio, per le frane in terra questo buffer possa essere fissato a 10 m, anche tenendo conto di regressioni riportate nella letteratura scientifica (fig. 8).

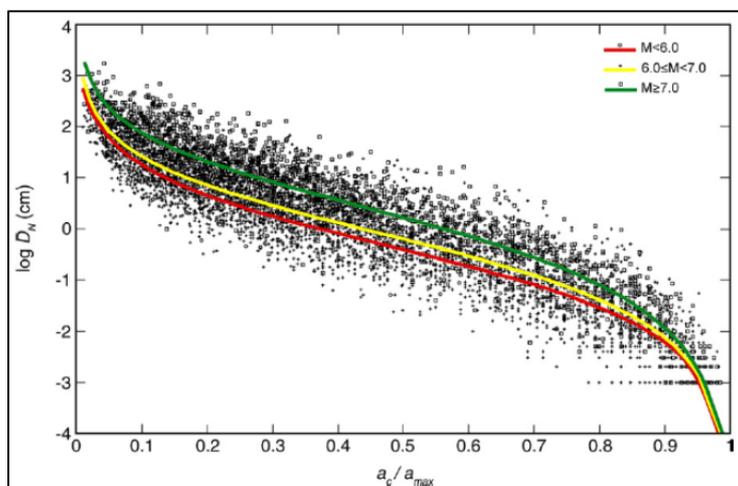


Figura 8 – Logaritmi degli spostamenti calcolati con il metodo di Newmark, in funzione dell'accelerazione critica per differenti magnitudo (da Jibson et alii, 2007).

3.3.2 Frane di crollo

Anche per le frane in roccia si procede definendo una procedura di screening: le zone $Z_{A_{FR}}$ che superano lo screening non dovranno essere ulteriormente analizzate con metodi più accurati, non saranno riportate nelle carte di MS, ma il loro perimetro sarà conservato nelle carte MOPS; le zone che falliscono lo screening sono le Zone di Suscettibilità per frane di crollo ($Z_{S_{FR}}$) (Figura 4).

Come per il livello 1, le analisi in questo livello devono portare a una valutazione della:

- potenzialità di innesco ovvero classificazione delle pareti in termini di potenzialità a generare frane di crollo
- area di accumulo connessa con le massime distanze percorse dai blocchi/diedri di roccia provenienti dalle pareti soggette a crollo (*runout distance*).

Il problema della valutazione semiquantitativa della suscettibilità a frana dei pendii in roccia (quindi non solo quelle sismoindotte) è molto complesso in quanto il comportamento reale dei blocchi dipende da una serie di fattori che possono combinarsi in maniera casuale. Negli ultimi anni sono state sviluppate varie metodologie tra le quali si segnala la Rockfall Hazard Assessment Procedure, già adottata dalla Regione Lombardia (Mazzoccola e Sciesa, 2000; Regione Lombardia-CNR, 2001).

Per valutazioni congrue agli studi di microzonazione sismica è stata messa a punto una modifica della stessa metodologia (RHAP-MS, a cura dell'Università Bicocca di Milano) per l'identificazione delle $Z_{S_{FR}}$ per le frane di crollo con forzante sismica.

La metodologia permette una zonazione delle aree di distacco sulla base di sei elementi di instabilità:

1. fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
2. blocchi ruotati;
3. zone intensamente fratturate;
4. superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;

5. emergenze di acqua alla base dei blocchi.
6. accelerazione di picco al suolo (PGA) con probabilità del 10% in 50 anni > 0.15 g (Appendice A5)

Per applicare la metodologia è necessario innanzitutto individuare e delimitare aree omogenee sulla base delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso ricavate da rilievi in sito e delle caratteristiche morfologiche del versante (es. altezza della parete e pendenza del versante sottostante). In seguito, si effettua la valutazione della probabilità di accadimento del fenomeno in ciascuna delle aree omogenee, definendone la propensione al distacco dei blocchi. A tale scopo la parete viene suddivisa in un reticolo di maglie quadrate con lato variabile da 5 m fino ad un massimo di 20 m, in funzione della complessità geomeccanica dell'area omogenea in esame o in base alle dimensioni della parete investigata. In sintesi, quindi, una parete soggetta a crolli è divisa in aree omogenee e le aree omogenee a loro volta sono divise in un reticolo di maglie quadrate. Per ciascuna maglia del reticolo si verifica la presenza dei 6 elementi di instabilità precedentemente elencati. Ad ogni maglia viene quindi associato un valore di instabilità, I_{maglia} , dato dalla somma del numero di elementi di instabilità presenti. Poi, per ogni area omogenea viene calcolata la percentuale di instabilità, $I\%$, come:

$$I\% = \frac{\sum_1^N I_{\text{maglia}}}{N * 6}$$

$I\%$ = percentuale di instabilità per area omogenea

I_{maglia} = somma del numero degli elementi di instabilità

N = numero di maglie per area omogenea

La soglia per lo screening viene posta cautelativamente ad un valore pari a $1/6 = 0.167$, assumendo che un'area omogenea che presenti in media solo un elemento di instabilità per ogni maglia non sia da considerarsi critica.

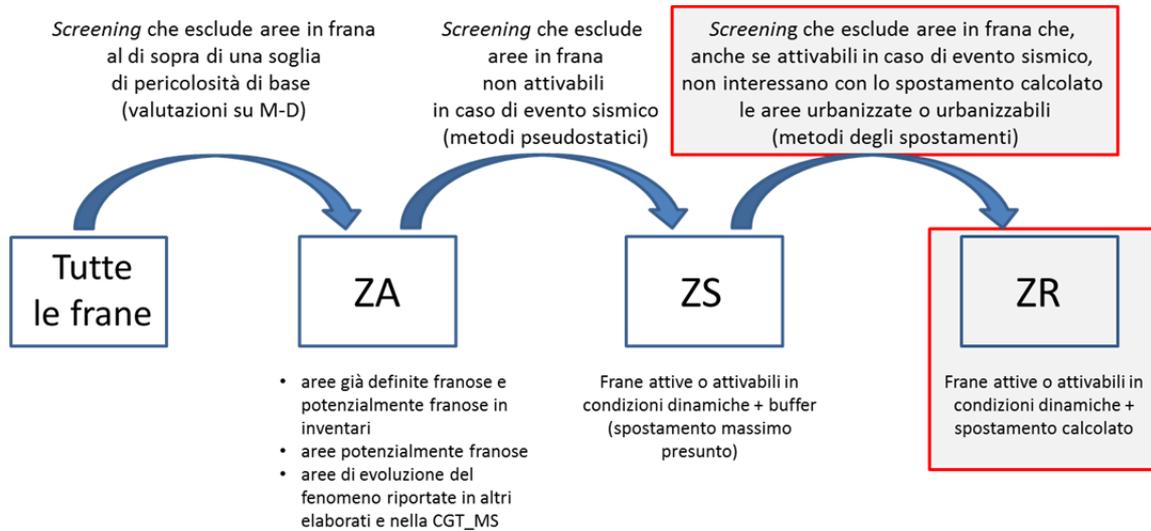
Per quel che concerne la valutazione della *runout distance*, segnalando ancora una volta l'opportunità dell'utilizzo dei codici numerici 2D e 3D, in questo livello si confermano i risultati ottenuti nel livello 1 con metodi empirici che comunque dovranno rappresentare semplicemente un orientamento per una valutazione più accurata.

In definitiva quindi, per le frane di crollo di questo livello, le ZS_{FR} saranno le aree che per la suscettibilità da crollo non superano lo screening, la cui *runout distance* è stata calcolata con metodi empirici nel livello 1.

3.3.2.1 Buffer per le frane di crollo

Per le frane di crollo il buffer delle ZS_{FR} si considera compreso nella runout distance calcolata empiricamente con il livello 1.

3.4 Carta di MS - livello 3 (Z_{RFR} - Zone di rispetto per l'instabilità di versante)



L'EC8 prescrive che, in generale, le analisi di stabilità siano condotte con metodi dinamici, riservando i metodi pseudostatici ai casi in cui la topografia e la stratigrafia non presentino forti irregolarità e i terreni non presentino, in condizioni cicliche, significativi incrementi delle pressioni interstiziali o degradazione della resistenza. Sulla base di queste indicazioni, sul fatto che si stanno analizzando frane con forzante sismica e sulla base delle analisi di screening operate in precedenza, è necessario affrontare un ulteriore livello di approfondimento. In questo capitolo si descrivono le analisi che permettono di definire le Zone di Rispetto (Z_{RFR}).

Nelle aree individuate come Zone di Suscettibilità (Z_{SFR}) che interessano aree urbanizzate e urbanizzabili, si procede ad acquisire nuovi dati e condurre analisi dinamiche semplificate (metodi degli spostamenti) o avanzate, allo scopo di:

- rivalutare la dimensione delle aree in frana con possibile attivazione in caso di evento sismico
- determinare l'entità dello spostamento cumulato del pendio per le frane in terra (FRT) e la runout distance per le frane di crollo (FRR).

Le Z_{SFR} per le quali l'area di buffer è stata sostituita con l'area dello spostamento calcolato (FRT e FRR) saranno le Zone di Rispetto (Z_{RFR}).

Per le Z_{SFR} che con la loro zona di buffer non interessano le aree urbanizzate e urbanizzabili non è necessario calcolare le aree di spostamento.

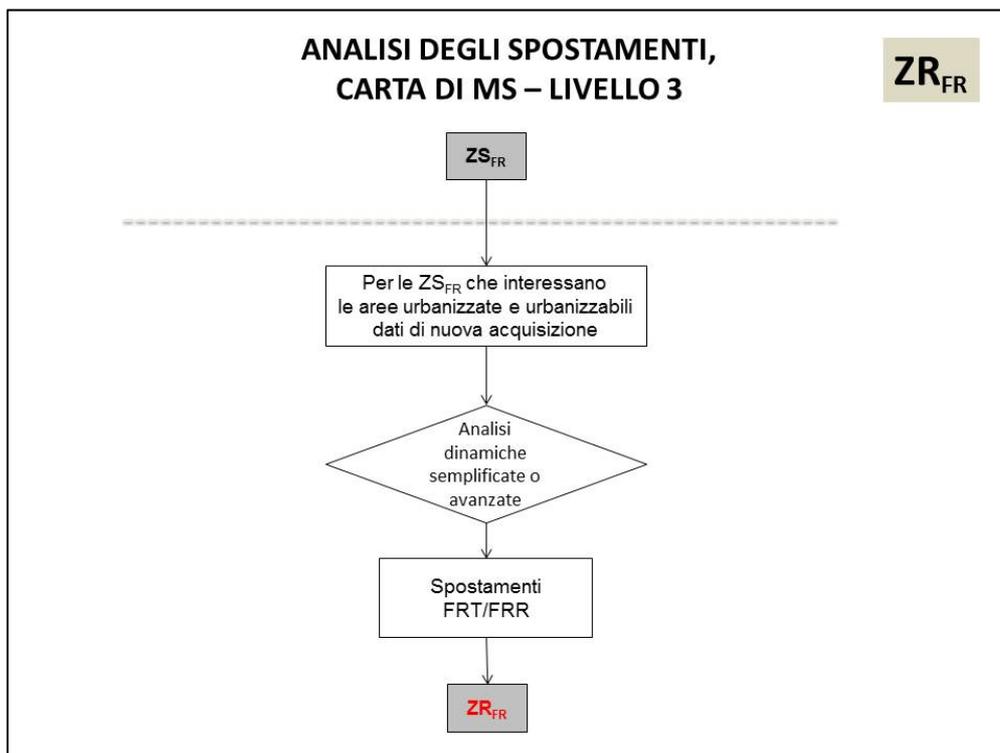


Figura 5 – Diagramma di flusso, valido per le frane in terra e di crollo, che illustra il percorso metodologico per la definizione delle ZR_{FR}.

Nel capitolo 4 sono illustrati i criteri per la perimetrazione delle ZR_{FR}.

3.4.1 Frane in terra

In conformità e continuità con il percorso metodologico delineato per l'identificazione delle ZS_{FR}, e sulla scorta dei nuovi dati raccolti, si operano, per le zone che non hanno superato lo screening, i seguenti passi:

- Rivalutazione, con i nuovi dati raccolti, di K_c e $K_{heq,i}$
- Conferma o meno della disequazione $K_c < K_{heq,i}$
- Analisi pseudodinamiche 1D (metodo di Newmark, 1965 o, in alternativa, Makdisi e Seed, 1978) in tutte le aree individuate come ZS_{FR}.

Nelle analisi previste dai metodi dinamici semplificati (metodi degli spostamenti):

- l'azione sismica è definita da una funzione temporale (accelerogramma);
- gli effetti dell'azione sismica vengono valutati in termini di spostamenti cumulati;

- la pericolosità è stimata confrontando lo spostamento cumulato con quello ammissibile.

Questo approccio supera il limite intrinseco dei metodi pseudostatici che utilizzano sollecitazioni statiche e costanti nel tempo e tiene conto del fatto che la risposta del pendio dipende anche dalle caratteristiche dell'accelerogramma.

Le fasi che permettono la valutazione dello spostamento cumulato (FRT) sono le seguenti:

- valutazione, con metodi numerici di simulazione, della *time history* rappresentativa dell'input agente nella zona Z_{SFR} analizzata;
- rivalutazione con altri dati, se necessario, del K_c ;
- calcolo dell'accelerazione critica ($a_c = K_c * g$) ovvero dell'accelerazione relativa ad una condizione di equilibrio limite ($FS = 1.2$, vedi nota 3);
- calcolo dello spostamento cumulato (FRT), tramite doppia integrazione dell'accelerazione eccedente (parte dell'accelerogramma che supera a_c).

Valutato FRT lo si sostituisce all'area del buffer della Z_{SFR} e si definisce la Z_{RFR} .

Le Z_{RFR} sono rappresentate nella Carta di MS (livello 3).

A prescindere dalla scelta delle indagini *in situ*, delle prove di laboratorio e delle metodologie di analisi del potenziale di instabilità di versante, si raccomanda una particolare attenzione alla coerenza interna dei metodi utilizzati sia per quanto riguarda la scelta dei parametri, che per il loro utilizzo nelle analisi.

3.4.1.1 *Analisi avanzate sforzi-deformazioni per le frane in terra*

Le analisi sforzi-deformazioni sono da intendersi come analisi avanzate delle condizioni di stabilità di un pendio, ma non possono, allo stato attuale delle conoscenze, considerarsi sostitutive dei metodi pseudostatici e dei metodi degli spostamenti (AGI, 2005 e circolare esplicativa NTC, 2008).

Le analisi sforzi-deformazioni sono comunemente eseguite con tecniche di integrazione numerica, agli elementi o alle differenze finite, implementate in codici di calcolo, alcuni dei quali anche disponibili in commercio.

Questa tipologia di analisi è in grado di identificare la modalità più probabile dello scivolamento, di predire la deformazione e di localizzare il punto di origine della frana. Tali vantaggi però presentano un costo notevole. Infatti si deve tener conto della natura polifase dei terreni e del loro comportamento meccanico in condizioni cicliche. Questi metodi hanno bisogno di grande affidabilità del modello geotecnico del pendio e dello scenario sismico di riferimento.

Al fine di ottenere un'affidabile modellazione numerica, occorre una stima accurata della litostratigrafia del sottosuolo, dello stato di tensione efficace iniziale e della storia del carico, del regime delle pressioni interstiziali e delle caratteristiche di resistenza e rigidità dei terreni.

3.4.2 Frane di crollo

In questo livello di studio è indispensabile la conoscenza di metodi e l'utilizzo di strumenti avanzati, sia per la valutazione della suscettibilità all'innesco, sia per le valutazioni di propagazione dei fenomeni di crollo.

Le *runout distance* sono gli spostamenti FRR da calcolare per definire le ZR_{FR} . È importante sottolineare che le elaborazioni avanzate per le frane di crollo richiedono l'ausilio di codici di calcolo dedicati⁶, alcuni dei quali disponibili in commercio. Pertanto si è ritenuto opportuno non descrivere una procedura in particolare, invitando l'operatore ad approfondire e utilizzare tali codici di calcolo.

Per una disamina delle problematiche connesse a tali valutazioni e sui metodi disponibili si rimanda al documento "Linee Guida per la Redazione di Carte di Suscettibilità e di Pericolosità" (Progetto MASSMOVE, 2013 e Valagussa et alii, 2014; Appendice A4), utilizzato nella Regione Friuli Venezia Giulia.

Le ZR_{FR} per le frane di crollo sono in definitiva costituite dall'area della parete sorgente dei massi in caduta e dall'area definita dalla *runout distance* (FRR), calcolata con metodi avanzati. Questo risultato (FRR) è dato dalla definizione

⁶ Un gruppo di lavoro (marzo 2017) sta sviluppando un codice semplificato per valutazioni preliminari ma comunque affidabili, che sarà reso disponibile dopo una fase di sperimentazione.

specifica di diverse modellazioni dell'innesco e di diverse modellazioni della propagazione.

3.5 Riepilogo dei metodi e delle zone per la Carta delle MOPS e per la Carta di MS

In tabella 4 è riportato uno schema riassuntivo per l'individuazione delle zone per frane in terra.

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Non si effettuano studi sulle instabilità		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MS	2
Valut. attività Pseudostatici Buffer	FR _{att} Kc<K _{req} area	Z _{SFR} (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Spostamenti	FRT	Z _{RFR} (Zona di Rispetto)	MS	3

Tabella 4 – Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane in terra.

In tabella 5 è riportato uno schema riassuntivo per l'individuazione delle zone per frane di crollo.

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari Metodi empirici	Runout distance	Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MOPS	1
Non si effettuano studi sulle instabilità		Z _{AFR} (Zona di Attenzione)	MS	2
Valutaz. attività RHAP-MS Metodi empirici	FR _{att} Soglia Runout distance	Z _{SFR} (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Spostamenti	Runout distance FRR	Z _{RFR} (Zona di Rispetto)	MS	3

Tabella 5 – Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane di crollo.

4 Modalità di rappresentazione e perimetrazione delle zone

4.1 Modalità di rappresentazione delle zone

Le zone di instabilità per frana devono essere cartografate a una scala adeguata, preferibilmente non inferiore a 1:5.000.

Le Z_{AFR} sono zone rappresentate nella Carta delle MOPS e, nel caso si eseguano studi di livello 2 limitatamente alle amplificazioni litostratigrafiche (utilizzo di abachi), anche nelle Carte di MS. Le Carte di MS con zone di approfondimento di livello 2, infatti, nel caso non si proceda oltre questo livello di approfondimento, vengono spesso assunte come cartografia di riferimento per la pianificazione urbanistica ed è quindi importante conservare l'informazione sulle Z_{AFR} individuate.

Le aree per le quali la pericolosità non supera la soglia H_{FR} , nel livello 1 di MS, ma che risultano descritte come FR, APF AE, saranno riportate solo nella CGT_MS.

Le Z_{SFR} e le Z_{RFR} sono zone rappresentate nelle Carte di MS (livello 3).

4.2 Modalità di perimetrazione delle zone

In termini generali, le informazioni che guidano la perimetrazione delle zone, in ordine decrescente di significatività (affidabilità), sono ricavate da:

- a) descrizioni del fenomeno fisico rilevato sul campo, se si è in fase di immediato post evento;
- b) segnalazioni di fenomeni di instabilità di versante in eventi storici (fonti storiche);
- c) valutazioni sull'attività del fenomeno (FR_{att} , FR_{quie} , FR_{stabil});
- d) valutazioni effettuate con analisi semplificate (K_c e K_{heq} e RHAP e runout distance con metodi empirici);
- e) valutazioni effettuate con analisi avanzate (spostamenti e runout distance con metodi avanzati).

Sulla base di tali informazioni, vengono definite le seguenti procedure di perimetrazione delle zone.

1) Z_{AFR} (Carta delle MOPS)

La Zona di Attenzione (Z_{AFR}) si identifica sulla base di elementi informativi minimi e pertanto la perimetrazione dovrà tener conto di tale grado di incertezza.

La perimetrazione della Z_{AFR} si realizzerà sulla base di:

- perimetrazione delle frane selezionate in inventari, secondo lo standard IFFI (= corpo + corona), suscettibili di generare fenomeni cosismici in relazione ai risultati dell'analisi di pericolosità su base territoriale (H_{FR})
- valutazioni sulla CGT_{MS} (scala non inferiore a 1:10.000) ed eventuali dati pregressi raccolti durante lo studio di MS di livello 1

La procedura di perimetrazione prevede che la Z_{AFR} debba essere caratterizzata dalla successione litostratigrafica del sottosuolo.

Per le modalità di rappresentazione delle Z_{AFR} si vedano gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" versione 4.0.

Le Z_{AFR} riportate nelle Carte di MS nelle quali gli studi di approfondimento non superano il livello 2, saranno sempre caratterizzate dalla successione litostratigrafica.

2) Z_{SFR} (Carta di MS)

La Zona di Suscettibilità (Z_{SFR}) non necessariamente coincide con la Zona di Attenzione (Z_{AFR}).

La perimetrazione della Z_{SFR} si realizzerà sulla base di:

- CGT_{MS} rielaborata sulla base delle nuove indagini ad una scala di grande dettaglio (1:5000-1:1000);
- valutazioni sull'attività del fenomeno (FR_{att} si trasformano direttamente in Z_{SFR});
- risultati delle analisi semplificate (metodi pseudostatici, RHAP-MS e runout distance) attraverso prove e indagini differenti, con vari livelli di incertezza per le frane in terra;
- definizione del buffer (10 m).

La procedura di perimetrazione delle Z_{SFR} , partendo dalla Z_{AFR} definita nel livello 1, prevede:

- rivalutazione delle informazioni contenute nella CGT_MS;
- valutazione dei nuovi dati acquisiti;
- tipo di attività del fenomeno;
- calcolo di K_c e $K_{h_{eq}}$;
- RHAP-MS per valutazione suscettibilità delle pareti al crollo e valutazione della runout distance con metodi semplificati.

Le Z_{SFR} delle frane in terra saranno caratterizzate anche da un fattore di amplificazione.

Per le modalità di rappresentazione delle Z_{SFR} si vedano gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" versione 4.0.

3) Z_{RFR} (Carta di MS)

La Zona di Rispetto (Z_{RFR}) non necessariamente coincide con la Zona di Suscettibilità (Z_{SFR}), poiché tiene conto dello spostamento calcolato che modifica, quindi, il buffer attribuito alla zona.

La perimetrazione della Z_{RFR} si realizzerà sulla base di:

- calcolo del moto sismico del sito (time history e fattori di amplificazione);
- calcolo del FRT medio sulla base delle sezioni studiate con il metodo degli spostamenti per le frane in terra;
- calcolo del FRR con metodi avanzati per le frane di crollo.

Le Z_{RFR} delle frane in terra saranno caratterizzate anche da un fattore di amplificazione.

Per le modalità di rappresentazione delle Z_{RFR} si vedano gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" versione 4.0.

PARTE SECONDA

Disciplina d'uso del suolo in zone interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)

5 Individuazione delle categorie di aree urbanistiche interessate da instabilità di versante sismoindotte

La pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate da instabilità di versante sismoindotte è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi.

È bene evidenziare che, in questo contesto, viene introdotta una condizione di pericolosità aggiuntiva (forzante sismica), per cui la disciplina d'uso, pur tenendo conto di quella già esistente per le instabilità di versante in condizioni statiche, dovrà tenerne conto in modo commisurato sia alle condizioni di pericolosità complessive che ai livelli di approfondimento conoscitivo.

Nell'ambito degli strumenti di pianificazione urbanistica, gli studi di MS, ai vari livelli, come definiti negli ICMS (2008), sono integrati con quanto specificato dalle presenti linee guida.

Al fine di definire tale disciplina, si farà riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- Aree edificate (recenti o consolidate);*
- Aree non edificate (con previsione di trasformazione);*
- Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata.*

Ciascuna delle tre categorie di aree è definita da specifici caratteri insediativi, infrastrutturali e di destinazione d'uso la cui relazione con la presenza di Z_{AFR} , Z_{SFR} e Z_{RFR} va sottoposta a specifiche normative.

In particolare le tre categorie di aree urbanistiche possono essere definite nel modo seguente:

- Aree edificate (recenti o consolidate)*
Aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti

consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.

- **Aree non edificate (con previsione di trasformazione)**

Aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti - residenziali, produttivi, a servizio o misti - di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.

- **Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata**

Aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, sia per destinazione d'uso (aree agricole), che per la presenza di vincoli e forme di tutela.

Queste tre categorie vanno riferite alle previsioni dello strumento di piano vigente e alle sue effettive condizioni di attuazione.

Per quanto riguarda le specifiche articolazioni della normativa urbanistica nelle suddette aree, ogni Regione potrà predisporre opportune corrispondenze tra le tre categorie urbanistiche e le zone omogenee individuate dai rispettivi strumenti di governo del territorio.

6 Disciplina d'uso

I criteri definiti per indirizzare la disciplina d'uso del suolo in zone interessate da instabilità di versante sismoindotte devono tener conto di alcuni fattori:

- per le instabilità di versante sismoindotte l'area di studio da considerare non è solo quella che riguarda la parte urbanizzata e urbanizzabile, ma include anche quella a monte e a valle del centro abitato, interessata dal fenomeno;
- a differenza di altre forme di instabilità (FAC) è possibile mettere in atto opere di riduzione della pericolosità, attraverso interventi di stabilizzazione del suolo (cfr. NTC 2008 par.6.3.5);
- a differenza delle altre forme di instabilità (FAC e liquefazioni), la disciplina urbanistica per le aree sottoposte a instabilità di versante (non sismoindotta) può essere già stata individuata in alcuni strumenti di

pianificazione territoriale di settore (Piani di Assetto Idrogeologico - PAI) o dalla normativa regionale. Nell'Appendice B1 è riportata una sintesi di alcune normative PAI;

- Si fa riferimento quindi alle normative già esistenti e agli orientamenti generali della disciplina.

Tenuto conto di questo, la disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone di instabilità di versante sismoindotte viene articolata in una serie di **indicazioni urbanistiche**, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso e modalità attuative.

Con riferimento alle tre categorie di aree urbanistiche sopra definite e alle zone interessate da instabilità di versante sismoindotte in cui esse ricadono, viene proposto un abaco di diverse tipologie di indirizzi (Tabella B2). Nella tabella viene riportata anche una colonna relativa alle infrastrutture, come ambito distinto e in questa sede non approfondito.

Nell'Appendice B2 vengono riportati gli schemi sintetici di classificazione.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone instabilità di versante	Z _{AFR}	Obbligo di approfondimento (6.1.1)	Obbligo di approfondimento (6.2.1)		Programma Infrastrutture (6.3)
	Z _{SFR}	Programma Zone Instabili (6.1.2)	Intervento limitato (6.2.2)		
	Z _{RFR}				

Tabella B1 - Indicazioni urbanistiche (fra parentesi i riferimenti ai paragrafi)

6.1 Aree edificate

6.1.1 Obbligo di approfondimento (Aree edificate)

Nel caso di Z_{AFR}, nelle **Aree edificate (recenti o consolidate)**, per interventi di nuova edificazione (nei lotti vuoti) e per interventi sull'edificato esistente, devono essere espletati i necessari approfondimenti geologici e geotecnici, propri del Livello 3 di

MS al fine di individuare le Z_{SFR} e le Z_{RFR}, oppure, per interventi puntuali, gli approfondimenti previsti dalla normativa tecnica vigente. È prerogativa delle Regioni definire eventuali limiti temporali, in ragione delle risorse disponibili, per l'espletamento dei suddetti approfondimenti.

L'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

<i>Edilizia</i>	<i>Tipo Intervento</i>	<i>Descrizione</i>
<i>Esistente</i>	<i>Limitato</i>	<p>Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente).</p> <p>Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.</p>
<i>Nuova costruzione</i>	<i>Inibito</i>	<i>Non è consentita la nuova edificazione</i>

6.1.2 Programma Zone Instabili

Per le Z_{SFR} e Z_{RFR}, nelle *Aree edificate (recenti o consolidate)*, le amministrazioni locali nell'ambito dei propri strumenti di pianificazione urbanistica e secondo le prescrizioni e gli indirizzi dei soggetti sovraordinati, individuano e perseguono uno o più obiettivi per il *Programma Zone Instabili (PZI)*, assumendone i contenuti nelle forme opportune, al fine di mitigare le condizioni di rischio. Il PZI rappresenta un programma d'intervento complesso in cui vengono definiti obiettivi e ambiti di intervento, fattibilità e modalità attuative. Il PZI riguarda più in generale tutte le aree suscettibili di instabilità, fra cui anche quelle interessate da faglie attive e capaci (FAC)⁷ e liquefazione⁸. Nell'Appendice B3 viene riportato uno schema di Programma utilizzabile anche come lista di verifica dei temi trattati.

L'assenza di un PZI determina la stessa disciplina d'uso prevista per le Z_{AFR} (6.1.1).

6.1.2.1 Scelta obiettivo del PZI

La definizione di uno specifico PZI implica la scelta di uno dei seguenti obiettivi, eventualmente differenziati in funzione di Z_{SFR} e Z_{RFR}:

- Intervento limitato (Obiettivo 1);
- Intervento obbligatorio o inibito (Obiettivo 2);
- Intervento inibito (Obiettivo 3).

Per ciascuno di questi obiettivi di seguito vengono elencate le rispettive discipline d'uso:

6.1.2.1.1 1a ipotesi: Intervento limitato (Obiettivo 1)

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
Nuova costruzione	Limitato	È consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità in

		conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
--	--	--

6.1.2.1.2 2a ipotesi: Intervento obbligatorio o inibito (Obiettivo 2)

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

<i>Edilizia</i>	<i>Tipo Intervento</i>	<i>Descrizione</i>
<i>Esistente</i>	<i>Obbligatorio</i>	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da qualunque tipo di richiesta di intervento.
<i>Nuova costruzione</i>	<i>Inibito</i>	Non è consentita la nuova edificazione.

6.1.2.1.3 3a ipotesi: Intervento inibito (Obiettivo 3).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

<i>Edilizia</i>	<i>Tipo Intervento</i>	<i>Descrizione</i>
<i>Esistente</i>	<i>Delocalizzazione</i>	Non è consentito alcun intervento sull'edilizia esistente, perché oggetto di delocalizzazione obbligatoria.
<i>Nuova costruzione</i>	<i>Inibito</i>	Non è consentita la nuova edificazione.

Per i centri storici, oltre alle indicazioni sopra riportate riguardanti la categoria delle Aree edificate (recenti o consolidate), dovrà essere valutata l'opportunità, in sede di predisposizione del PZI, di introdurre un piano attuativo che contempli interventi finalizzati alla conservazione e al riuso, compatibili con le nuove condizioni di rischio intervenute.

6.2 Aree non edificate o non urbanizzate

6.2.1 Obbligo di approfondimento (Aree non edificate o non urbanizzate)

Le Aree non edificate (con previsione di trasformazione) e le Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata, ricadenti in Z_{AFR}, sono soggette ad un regime di limitazione di edificabilità che non autorizza alcun intervento di trasformazione, fintantoché non vengano effettuati i necessari approfondimenti al fine di individuare le Z_{SFR} e le Z_{RFR}.

È ammessa in tali aree la sistemazione di spazi aperti, senza realizzazione di volumetrie, a servizio delle funzioni e delle attività presenti nelle aree limitrofe, insediate e urbanizzate, o per incrementare la dotazione urbana di aree verdi, spazi pubblici e verde privato attrezzato.

Pertanto, l'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

6.2.2 Intervento limitato

Nelle Aree non edificate (con previsione di trasformazione) e nelle Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata, ricadenti in Z_{SFR} e in Z_{RFR}, è prevista la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
----------	-----------------	-------------

Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
Nuova costruzione	Limitato	È consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.

6.3 Programma Infrastrutture

Per le infrastrutture, le opere connesse a sistemi infrastrutturali e, più in generale le lifelines in programma di realizzazione, deve essere favorita la delocalizzazione, ove possibile. Se preesistenti, o non delocalizzabili, deve essere predisposto uno specifico programma, eventualmente nell'ambito del Programma Zone Instabili, per essere sottoposte a verifica, prevedendo specifici approfondimenti conoscitivi e interventi finalizzati alla minimizzazione dei rischi.

7.1 Aree edificate

7.1.1 Obbligo di approfondimento (Aree edificate)

Nel caso di Z_{AFR}, nelle Aree edificate (recenti o consolidate), per interventi di ricostruzione o riparazione l'assenza di approfondimento determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata	Limitato	Qualsiasi tipo di intervento deve prevedere (nei

(danno leggero, medio-grave, gravissimo)		tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
--	--	--

7.1.2 Programma Zone Instabili

A quanto già previsto per le Z_{SFR} e Z_{RFR}, nelle Aree edificate (recenti o consolidate), dovranno essere aggiunte le seguenti indicazioni.

L'assenza di un PZI determina la seguente disciplina d'uso:

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Limitato	Qualsiasi tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.

7.1.2.1 Scelta obiettivo del PZI

Nel PZI dovrà essere valutata progressivamente la possibilità di adozione di uno dei seguenti obiettivi riferibili all'edilizia danneggiata:

- Intervento limitato (Obiettivo 1)
- Intervento obbligatorio (Obiettivo 2)

Per ciascuno di questi obiettivi di seguito vengono elencate le rispettive discipline d'uso:

7.1.2.1.1 1a ipotesi: Intervento limitato (Obiettivo 1).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

In ZR_{FR} e ZS_{FR}

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Limitato	Qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/ rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.

7.1.2.1.2 2a ipotesi: Intervento obbligatorio (Obiettivo 2).

La scelta di questo obiettivo determina la seguente disciplina d'uso:

In ZS_{FR} e ZR_{FR}

Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
Danneggiata (danno leggero, medio-grave, gravissimo)	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta. Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.

8 Ruoli delle Istituzioni pubbliche

I ruoli delle Istituzioni pubbliche sono sintetizzate di seguito:

- *Stato:*
 - *formula definizioni, indirizzi, criteri generali per le Regioni ed Enti Locali;*
 - *definisce programmi di risorse finanziarie;*
 - *stabilisce i criteri tecnici generali per definire le Z_{A_{FR}}, Z_{S_{FR}} e Z_{R_{FR}};*
 - *definisce i criteri generali di utilizzo del suolo nelle Z_{A_{FR}}, Z_{S_{FR}} e Z_{R_{FR}};*
 - *propone e attua l'aggiornamento degli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008);*
 - *definisce modalità e strumenti operativi per la valutazione delle aree interessate da instabilità di versante sismoindotta individuate negli studi di MS1.*

- *Regioni e Province autonome:*
 - *adottano i criteri generali formulati dallo Stato e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;*
 - *formulano ulteriori criteri specifici con riferimento alle peculiarità regionali;*
 - *esaminano, propongono integrazioni e osservazioni e/o approvano gli studi delle aree in liquefazione già definite nel territorio regionale, in coordinamento con lo Stato (Livello 1 di MS);*
 - *promuovono e coordinano gli studi per definire nuove aree interessate da instabilità di versante sismoindotta sul territorio regionale e li trasmettono allo Stato (livello MS3);*
 - *definiscono le mappe delle Z_{A_{FR}}, Z_{S_{FR}} e Z_{R_{FR}} (livelli MS1 e MS3);*
 - *richiedono agli Enti Locali di informare e notificare ai cittadini l'individuazione delle Z_{A_{FR}}, Z_{S_{FR}} e Z_{R_{FR}} e i criteri specifici di utilizzo del suolo all'interno delle zone.*

- *Enti Locali:*

- adottano i criteri specifici formulati dalle Regioni e dalle Province autonome;
- regolano l'utilizzo del suolo nelle $Z_{A_{FR}}$, $Z_{S_{FR}}$ e $Z_{R_{FR}}$;
- predispongono i Programmi per le aree interessate da instabilità di versante sismoindotta;
- informano, in coordinamento con le Regioni e le Province autonome, i cittadini in merito all'individuazione delle $Z_{A_{FR}}$, $Z_{S_{FR}}$ e $Z_{R_{FR}}$ e ai criteri specifici di utilizzo del suolo all'interno delle zone.

9 BIBLIOGRAFIA

- AGI, 2005 - Associazione Geotecnica Italiana - Linea guida. Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Patron Editore, Bologna.
- Barani S., Spallarossa D. e Bazzurro P., 2009 - Disaggregation of probabilistic ground motion hazard in Italy. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 99, 2638-2661.
- Barani S., P. Bazzurro e F. Pelli, 2010 - A probabilistic method for the prediction of earthquake-induced slope displacements', *Proceedings of the Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, May 24-29, San Diego, California, Paper No 4.31b, ISBN: 1-887009-15-9.
- Bray J. D., 2007 - Simplified seismic slope displacement procedure. *Earthquake Geotechnical Engineering*, 327-353. D. Pitilakis Ed.
- Bray J.D. e Travasarou, T., 2007 - Simplified procedure for estimating earthquake-induced deviatoric slope displacements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 133, 381-392.
- CEDIT, 2013 - Italian Catalogue of Seismic Ground Failures (<http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>). Ultimo accesso giugno 2016.
- Evans S.G. e Hungr O., 1993 - The assessment of rock fall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 620-636
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. (2008) - On behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes, « Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning », *Engineering Geology*, vol. 102, n° 3-4, 2008, p. 85-98.
- Heim A., 1932 - *Bergsturz und Menschenleben*. Zurich, Fretz and Wasmuth Verlag, 218 pp.
- ICMS, 2008 - *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome; 3 vol. e 1 DVD.
- ISPRA, 2015 - *Rapporto 2015 sulle instabilità di versante*.
- Jibson, R.W., 2007 - Regression models for estimating coseismic landslide displacement. *Engineering Geology* 91, 209-218.

- Keefer D.K., 1984 - Landslides caused by earthquakes. *Bulletin of Geological Society of America*, 95, pp. 406-421.
- Keylock C. e Domaas U., 1999 - Evaluation of topographic models of rockfall travel distance for use in hazard applications. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 31(3), 312-320
- Kirkby M.J. e Statham I., 1975 - Surface stone movement and scree formation. *Journal of Geology* 83, 349-62. Korner, 1980
- Makdisi F.I. e Seed H.B., 1978 - Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division* 104, 849-867.
- Mazzoccola D. e Sciesa E., 2000 - Implementation and comparison of different methods for rockfall hazard assessment in the Italian Alps. *Proc. 8th Int. Symp. on Landslides*, Cardiff, Balkema, Rotterdam, 2, 1035-1040
- McClung D.M. e Lied K., 1987 - Statistical and geometrical definition of snow avalanche runout. *Cold Regions Science and Technology* 13, 107-19
- NTC, 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008, *Gazzetta Ufficiale*, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Newmark N.M., 1965 - Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique* 15, 139-159.
- Onofri R. e Candian C., 1979 - Indagine sui limiti di massima invasione dei blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia: CLUET, 42 pp.
- Progetto MASSMOVE, 2013 - Programma INTERREG IV A; Standard minimi per la stesura di carte di pericolosità per frane di scivolamento e di crollo quale strumento per la prevenzione dei dissesti franosi.
- Regione Lombardia-CNR, 2001 - Analisi di stabilità in condizioni statiche e pseudostatiche di alcune tipologie di frane di crollo finalizzata alla stesura di modelli di indagine e di intervento. 223 pp e mappe. Milano
- Valagussa A., Frattini P. e Crosta G.B., 2014 - Earthquake-induced rockfall hazard zoning. *Engineering Geology* 182, 213-225

Varnes D.J., 1984 - Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice.
Commission of Landslide of IAEG, UNESCO, Natural Hazard, No.3, 61 p.

APPENDICE A1 - Metodologia per l'identificazione della coppia M-D di soglia

1. Disaggregazione della pericolosità sismica ovvero definizione delle coppie M-D media e modale (H_{FR}) per ciascun baricentro comunale

In questa proposta sono stati presi in considerazione 3 periodi medi di ritorno, corrispondenti a 475, 975 e 2475 anni e 6 periodi spettrali (PGA, 0.2s, 0.5s, 1.0s, 1.5s e 2.0s), per un totale di 18 combinazioni possibili. In questa fase di lavoro, la scelta di prendere in considerazione diversi periodi spettrali nasce dalla necessità di sviluppare una procedura in grado anche di valutare la risposta sismica dei corpi di frana a diverse frequenze di oscillazione; in funzione della profondità del piano di scivolamento e/o della frequenza di risonanza del corpo franoso, il comportamento del versante instabile in condizioni sismiche può infatti variare (Bray, 2007; Barani et alii, 2010).

2. Confronto degli scenari M-D con i valori di soglia M_c-D_c

Confronto dei valori M-D (medi e modal) associati a ciascun baricentro comunale con i valori critici (M_c-D_c) derivati da Keefer (1984). Il confronto viene effettuato per tutti i periodi di ritorno e i periodi spettrali considerati. Sono possibili 2 casistiche (fig. 3):

- a) se il punto di coordinate M-D si trova al di sotto della curva "upper bound" (curva limite definita per "disrupted slides or falls") determinata da Keefer (1984), il territorio comunale può essere interessato da frane sismoindotte;
- b) se il punto di coordinate M-D si trova al di sopra della curva di Keefer (1984), il territorio comunale è potenzialmente esente da fenomeni di instabilità di versante sismoindotti.

3. Calibrazione/validazione del metodo

In questa fase di lavoro è necessario dapprima raccogliere tutte le informazioni disponibili riguardanti la distribuzione sul territorio delle frane sismoindotte osservate storicamente. A tal proposito è possibile riferirsi a banche dati per il territorio nazionale, quale ad esempio il Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT, 2013) (Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo de Rischi Geologici, Università La Sapienza, Roma,

<http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>) e/o a specifici archivi compilati a scala regionale.

Si procede verificando la corrispondenza tra le aree comunali ove sussistono le condizioni sismiche necessarie all'attivazione di frane sismoindotte, definite al punto precedente, e la franosità sismoindotta avvenuta storicamente. Da tale confronto è possibile selezionare la combinazione media/moda - periodo di ritorno - periodo spettrale in grado di giustificare al meglio le osservazioni storiche, definendo quindi la combinazione più conservativa per il territorio in esame (fig. 4). L'identificazione di H_{FR} condurrà alla lista dei Comuni ove sussistono le condizioni sismiche necessarie all'attivazione di movimenti franosi sismoindotti ($H_{FR} > soglia$).

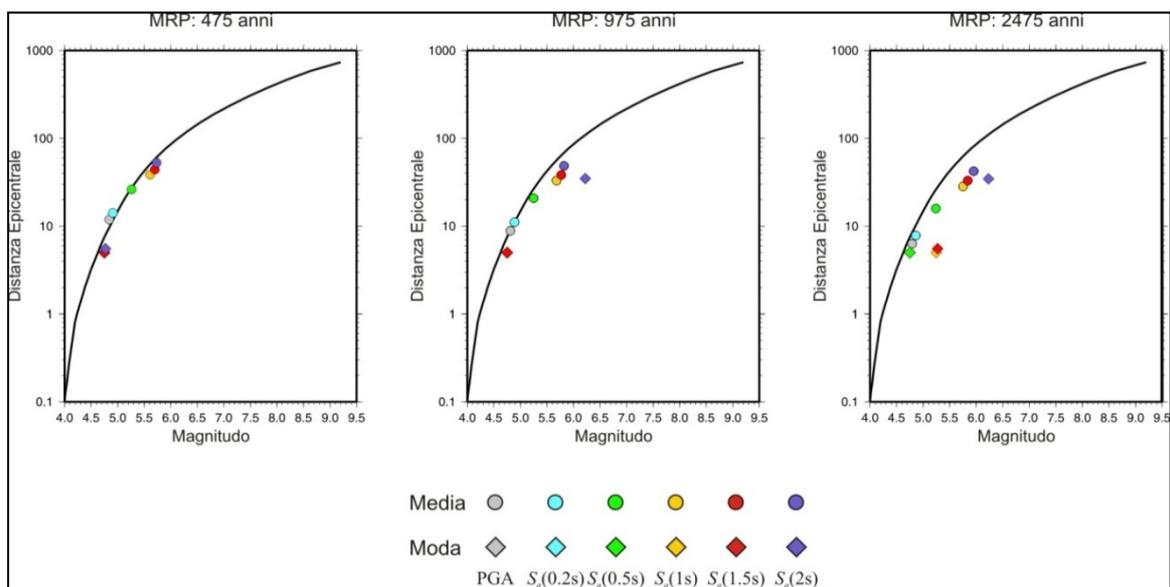


Figura 3 - Confronto tra le coppie M-D medie (cerchi) e modali (rombi) ottenute dalla disaggregazione della pericolosità sismica (a 6 diversi periodi spettrali) per 3 differenti periodi medi di ritorno (MRP) e la curva limite derivata da Keefer (1984) per il Comune di Capraia e Limite (FI), cerchiato in Figura 2.

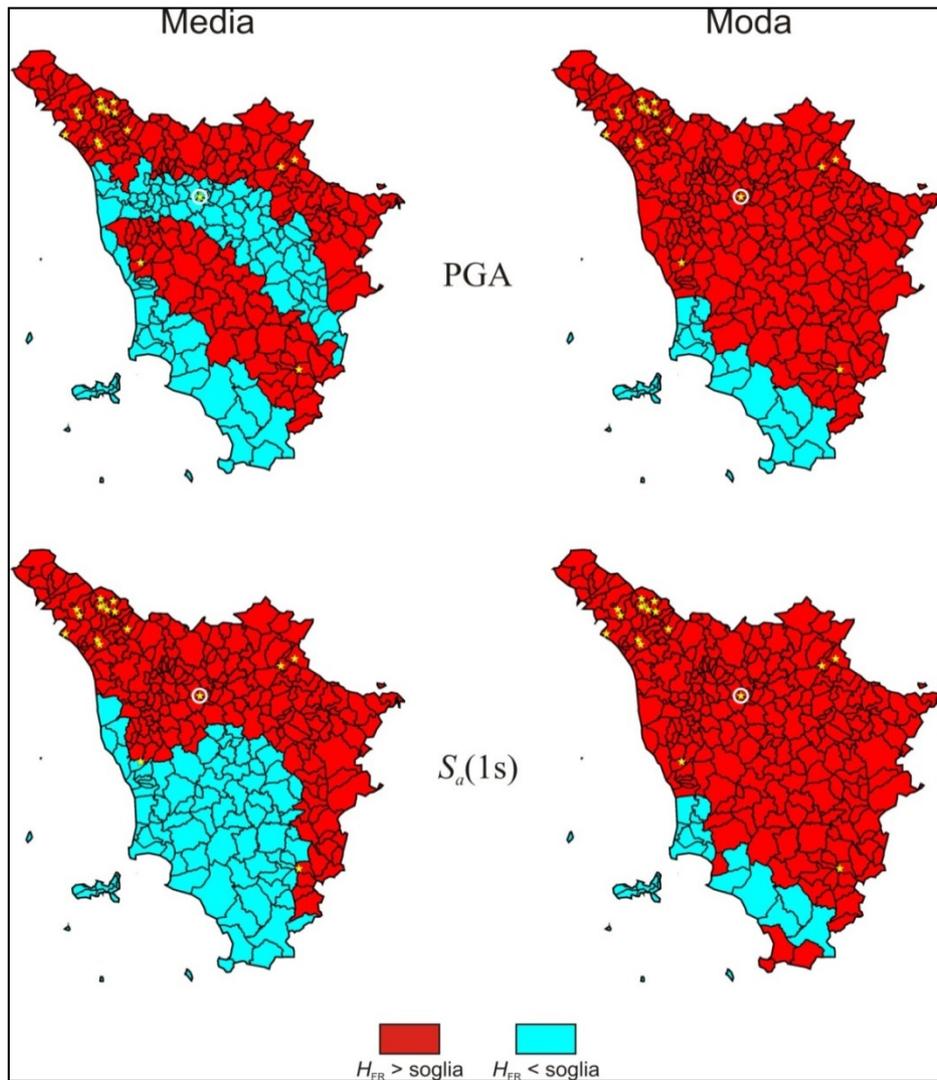


Figura 4 - Mappe dei comuni toscani passibili di fenomeni franosi sismoindotti (comuni in rosso) così come derivate dal confronto delle coppie M-D medie e modali ottenute dalla disaggregazione della pericolosità sismica (in termini di PGA e accelerazione spettrale a 1s) per un periodo di ritorno di 475 anni con la curva limite di Keefer (1984). Le stelle in giallo indicano le frane sismoindotte occorse storicamente così come riportate nel CEDIT (2013). La frana di Capraia e Limite, associata al terremoto della Garfagnana del 1920, è cerchiata in bianco (corrisponde all'esempio in figura 3). Si noti come questo Comune risulti passibile di fenomeni franosi in tutti i casi tranne che in quello ottenuto considerando i valori medi M-D determinati dalla disaggregazione della pericolosità sismica in termini di PGA (pannello in alto a sinistra).

Ulteriori note applicative

- È bene ricordare che, in ottemperanza ai criteri adottati per gli studi di microzonazione sismica, potrebbero essere trascurati i risultati della

disaggregazione per periodi medi di ritorno diversi da 475 anni (gli studi di microzonazione sono soliti riferirsi a un periodo medio di ritorno di 475 anni).

- Nella metodologia proposta non sono state considerate le caratteristiche delle frane censite sul territorio quali, per esempio, la tipologia di materiale (frane in roccia o frane in terra), il tipo di movimento (crollo, ribaltamento, colamento, scorrimento traslazionale e/o rotazionale, espansione laterale, movimenti complessi) e le dimensioni del corpo di frana (profondità del piano di scivolamento, estensione areale). La conoscenza dettagliata del territorio, ovvero della tipologia prevalente di frana, potrebbe essere utilizzata per la definizione a priori del periodo spettrale più opportuno per l'areale, indipendentemente dal confronto con la franosità storica. In questo caso la definizione di H_{FR} dipenderà solo dal periodo di ritorno (a meno che non sia prefissato a 475 anni) e dai valori medi o modali di M e D che, come specificato al punto 3, dovranno permettere l'individuazione di tutte (o la maggior parte) le aree comunali interessate storicamente da frane sismo-indotte.
- Riguardo alla scelta tra valori medi o modali di M e D , non esiste una linea di pensiero dominante (fig. 5). Si precisa che la moda della distribuzione corrisponde alla coppia $M-D$ che fornisce il maggior contributo alla pericolosità sismica e pertanto corrisponde a uno scenario "reale". Il principale svantaggio nell'uso dei valori modali è legato al fatto che questi risultano sensibili all'ampiezza degli intervalli di magnitudo e distanza adottati in fase di calcolo. La media, al contrario, è indipendente dall'ampiezza degli intervalli, ma non sempre corrisponde a uno scenario "reale" dal momento che i contributi della sismicità locale e regionale concorrono alla sua definizione. In altre parole, la media potrebbe rappresentare uno scenario improbabile.

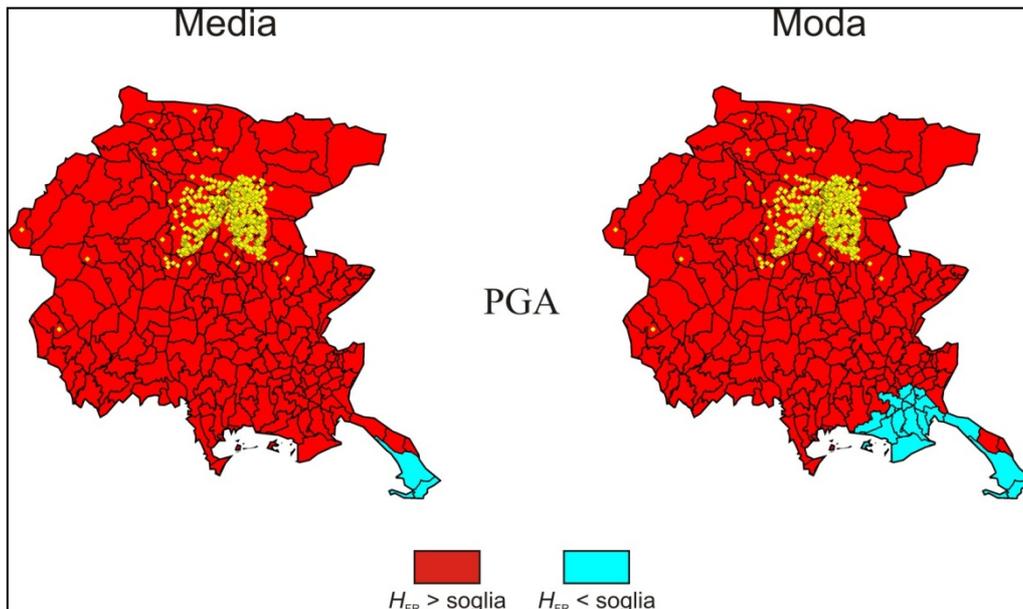


Figura 5 - Come figura 4, ma per la Regione Friuli Venezia Giulia. Le frane sismoindotte in giallo sono state ricavate sia dal CEDIT (2013) che da un archivio compilato dal gruppo di lavoro dell'Università Bicocca Milano. Poiché la maggior parte dei fenomeni franosi indotti da eventi sismici nella regione in esame è associata a crolli in roccia, il parametro di scuotimento corrispondente alla PGA appare quello maggiormente idoneo a circoscrivere le aree comunali passibili di frane sismo-indotte.

- Se non è possibile sviluppare il punto 3 della metodologia: calibrazione/validazione del metodo, per mancanza di informazioni riguardo a frane sismoindotte per eventi del passato, si consiglia di sviluppare la disaggregazione per un periodo spettrale $T=0.5$ s (circa media tra 0.2 e 0.7 s) che Bray e Travararou (2007) indicano come più frequente range di eccitazione per frane sismoindotte.

APPENDICE A2 – Indicazioni operative per la Carta delle MOPS e programmazione nuove indagini

A2.1 - Omogeneizzazione dei dati da inventari (PAI, IFFI, ecc.) ai fini della redazione della Carta delle MOPS – livello 1 (a cura della Regione Liguria)

L'obiettivo fondamentale del livello 1 di MS è l'identificazione delle aree in frana e delle eventuali aree potenzialmente franose¹, rimandando al livello di approfondimento superiore (Carta MS - livello 3) la valutazione della possibilità di mobilitazione dinamica con forzante sismica.

Questo obiettivo viene perseguito utilizzando elementi informativi minimi, intendendo, tra questi, le informazioni relative alle caratteristiche del sottosuolo già utilizzate per la redazione della carta CGT_MS ed il quadro dei dissesti desumibile dalle carte inventario dei fenomeni franosi.

Con riferimento ai dati derivanti da inventari frane, si osserva che, per un determinato territorio, gli studi che determinano il riconoscimento dei fenomeni di instabilità di versante sono molteplici: PAI, IFFI, Studi regionali, Studi di dettaglio per Piani Urbanistici, Studi a supporto della cartografia Geologica, ecc. (tabella A2_1). Questi studi sono spesso realizzati con tempistiche e finalità diverse, che vanno dalla conoscenza geologica s.l. alla costruzione del quadro di indirizzo dei piani direttori, e presentano così, anche rispetto alla disciplina d'uso del suolo ad essi connessa, un grado di coerenza differente.

Risulta pertanto opportuno/necessario assicurare l'allineamento del tematismo 'aree interessate da instabilità di versante - frane' rappresentate nella carta delle MOPS rispetto alle cartografie che producono vincoli territoriali, nello specifico la Carta di Suscettività d'uso dello strumento urbanistico o la cartografia di pericolosità del PAI; ciò per non ingenerare confusione nel quadro di pericolosità o contraddittorietà nell'applicazione dei vincoli normativi.

Al momento della definizione del quadro dei dissesti di versante della carta delle MOPS si dovrà pertanto verificare la coerenza reciproca dei dati provenienti dalle varie fonti considerate e laddove sorgano incongruità (es. perimetrazioni o stati di attività diversi per lo stesso corpo di frana tra le fonti conoscitive utilizzate) occorrerà pervenire ad una sintesi e, qualora necessario, provvedere, anche, all'aggiornamento dei piani direttori.

¹ La definizione ed il riconoscimento delle aree potenzialmente franose sono trattati in un'altra appendice tecnica della presente Linea Guida.

A tal riguardo occorre rimarcare come l'obiettivo del lavoro non sia quello di una revisione o di una valutazione di qualità delle fonti, quindi prioritariamente bisogna ricondursi ad una delle geometrie già presenti, piuttosto che introdurne di nuove, seguendo un ordine gerarchico tra le fonti in ragione dei vincoli d'uso del territorio che queste producono, sulla base di un criterio di seguito espresso:

TIPO FONTE	DATI DI RIFERIMENTO	NOTA
Piano di Bacino	perimetro e stato di attività	-
Strumento Urbanistico Comunale	perimetro e stato di attività	subordinati a quanto indicato dal PdB vigente
Progetto CARG CGR (Cartografia Geologica)	perimetrazione	definizione dello stato di attività non coerente con gli
Censimento IFFI	perimetrazione	stato di attività a conferma delle fonti gerarchiche superiori; nel caso di incongruenze il dato IFFI sempre in subordine

Tabella A2_1 – Tipi di fonte e altre informazioni in inventari e altri documenti.

Il processo analitico attraverso cui pervenire ad una omogeneizzazione dei dati da inventario si concretizza nell'identificazione, su base geomorfologica, del corpo di frana ovvero del perimetro di frana che presenta il maggior grado di coerenza rispetto ai caratteri morfologici distintivi di un fenomeno franoso (indicatori cinematico-morfologici), poiché un fenomeno franoso si manifesta sul territorio tramite Indicatori Geomorfologici, quali la presenza di scarpate, sconvolgimento del sistema di drenaggio, assenza di sviluppo di suolo, ecc., la presenza, o assenza, di tali evidenze rappresenta un punto fondamentale qualora si voglia intraprendere una procedura perimetrazione ex novo o di revisione/verifica della stessa.

Omogeneizzazione dei dati, fasi di lavoro

Le attività da svolgersi per giungere all'omogeneizzazione dei dati da inventari diversi sono di seguito elencate:

- prima fase, raccolta dati bibliografici inerenti la distribuzione dei fenomeni franosi nel territorio di indagine, avendo come riferimento fonti conoscitive che rivestono carattere ufficiale nel panorama nazionale e/o regionale;
- seconda fase, allineamento cartografico dei dati, producendo la cosiddetta "carta di insieme" che riporta, appunto, le perimetrazioni, derivanti dalle

diverse fonti, su un layer informativo unico¹ e permette di evidenziare le eventuali situazioni di incongruità;

- terza fase, identificazione del perimetro di frana, tra quelli presenti, che i) si presenta come un corpo geomorfologico unitario ed omogeneo e che ii) a suo interno presenta la maggior ricorrenza di indicatori cinematico-morfologici. In questa fase si provvederà a svolgere l'analisi fotointerpretativa (multitemporale) e le verifiche di campagna.

Nel caso in cui la carta di insieme riporti un'unica perimetrazione si provvede ad una conferma 'di default' della perimetrazione, e dello stato di attività, delle fonti gerarchicamente superiori (PdB e PRG) e ad una verifica di massima delle altre tenendo presente il principio di coerenza ed allineamento relativo delle diverse fonti a seguito del trasferimento della perimetrazione nella carta di sintesi dello studio di MS.

Riconoscimento Indicatori Cinematici

L'analisi geomorfologica si basa sul riconoscimento, per il corpo di frana in esame, della presenza di indicatori geomorfologici (Ic), cioè quegli elementi che per la loro natura danno indicazioni di un movimento presente e/o passato. Nell'ambito di questo studio gli indicatori considerati, in parte ripresi da Crozier (1986), sono i seguenti:

- 11: Evidenza di scarpate con bordi netti, rotture di pendio, fessurazioni fratture;
- 12: Nette variazioni di pendenza lungo il profilo longitudinale del versante e/o anomalie topografiche (depressioni, contropendenze);
- 13: Sconvolgimento e/o disordine del sistema di idrografico, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale;

¹ dal confronto cartografico delle fonti conoscitive possono evidenziarsi diverse situazioni di incoerenza, che spesso non riguardano tanto il riconoscimento dei corpi di franosi, quanto piuttosto una diversa sensibilità con la quale tali corpi sono stati mappati dalle fonti, ad esempio: a) situazioni di sovrapposizione di più perimetri tra loro simili ma comunque diversi, b) situazioni in cui vi è un'unica fonte che indica la presenza di un fenomeno franoso.

- 14: Assenza di sviluppo di suolo e/o di affioramenti di substrato; nel caso di affioramenti di litotipi riconducibili al substrato geologico possono essere elementi indicativi di deformazione gravitativa la presenza di intensa fratturazione e deformazione e un assetto (giacitura degli strati) estremamente variabile e non coerente con quello degli affioramenti circostanti. Corpo di accumulo caratterizzato da coperture detritiche grossolane non classate con presenza di trovanti e massi anche di grandi dimensioni e con clasti non arrotondati;
- 15: Differenze nette di vegetazione all'interno del perimetro della frana;
- 16: Alberi inclinati;
- 17: Lesioni negli edifici od in altre opere antropiche.

L'indicatore 17, ovvero le lesioni sugli edifici ed altri manufatti, è un parametro che generalmente non costituisce parte integrante del rilievo geomorfologico *s.s.*, ma in genere, una volta escluse altre cause ad es. geotecniche o strutturali, si manifesta in maniera evidente in concomitanza di fenomeni franosi.

L'individuazione degli indicatori geomorfologici avviene mediante l'utilizzo di due metodi: *fotointerpretazione e rilievo di campagna*. Alcuni indicatori geomorfologici sono meglio osservabili e riconoscibili da foto aerea mentre altri elementi richiedono per una migliore identificazione una ulteriore indagine di campagna. A tal proposito nelle tabelle che seguono vengono fornite indicazioni per l'individuazione degli indicatori mediante fotointerpretazione e rilievo di campagna (tabella A2_2); e, anche, circa l'età e la scala delle foto aeree e delle CTR da utilizzare nell'analisi fotointerpretativa (tabella A2_3):

	Rilievo di campagna	Fotointerpretazione
I ₁ :Evidenza di scarpate, terrazzi e crepacci con bordi netti	XXX	XXX
I ₂ : Nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante	X	XXX
I ₃ :Sconvolgimento del sistema di drenaggio, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale	XX	XXX
I ₄ : Assenza di sviluppo di suolo, affioramenti di substrato denudato	XXX	XX
I ₅ :Differenza netta di vegetazione all'interno della frana	XX	XXX
I ₆ :Alberi inclinati	XXX	X
I ₇ :Lesioni negli edifici	XXX	-

Tabella A2_2 – Suggerimenti per scelta del metodo di analisi nel rilievo geomorfologico (xxx: ottima; xx: buona; x: scarsa)

Indicatori	Fotointerpretazione
I ₁ : Evidenza di scarpate, terrazzi e crepacchi con bordi netti	Foto aerea e CTR: Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₂ : Nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante	Foto aerea e CTR: Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₃ : Sconvolgimento del sistema di drenaggio, ristagni d'acqua, depressioni a drenaggio interno, deviazioni dell'alveo fluviale	Foto aerea e CTR: Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₄ : Assenza di sviluppo di suolo, affioramenti di substrato denudato	Foto aerea: Scala ≥1:5.000 Tempo ≤ 2 a
I ₅ : Differenza netta di vegetazione all'interno della frana	Foto aerea : Scala >1:10.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a
I ₆ : Alberi inclinati	Foto aerea: Scala ≥1:5.000 Tempo: la più recente e comunque non più vecchia di 10 a

Tabella A2_3 – Suggerimenti per la scala e l'età da utilizzare nell'analisi

Stato di Attività

Al fine di una valutazione sommaria dello stato di attività delle forme in campo, su base esclusivamente geomorfologica, ed in assenza di strumentazione di controllo e monitoraggio, si richiama la direttiva tecnica prodotta nell'ambito del Progetto IFFI "Determinazione dello stato di attività dei fenomeni gravitativi nella scheda di 1° livello", a cura di A. Giglia, L. Paro e M. Ramasco (Regione Piemonte).

Questo documento propone di valutare lo stato di attività in relazione ad un determinato grado di rimodellamento che esprime di "quanto" (in termini qualitativi) forme e corpi, le cui origini sono legate ad un particolare processo, risultino modificati dall'azione di processi di altro o dello stesso tipo. In relazione alle forme legate alla dinamica gravitativa, il grado di rimodellamento è considerato:

- *da nullo a basso*: quando l'elemento conserva praticamente l'aspetto originale (superfici di taglio nette, accumuli ben individuabili, indicatori cinematici evidenti);
- *da basso a medio*: quando l'elemento presenta ancora l'aspetto originale ma è stato interessato, del tutto o in parte, da una blanda azione di rimodellamento operata sia dalle acque ruscellanti, sia dalle attività antropiche o da altri tipi di processo ad azione prevalentemente superficiale;
- *da medio ad alto*: quando l'elemento risulta in gran parte o del tutto modificato rispetto alle condizioni originarie ma, nonostante ciò, è ancora

possibile definirne l'origine gravitativa. Il grado di rimodellamento da medio ad alto è caratterizzato anche dalla presenza di un reticolo idrografico in parte gerarchizzato che incide il corpo di accumulo e talvolta anche la zona di distacco.

Per la determinazione dello stato di attività, sulla base del grado di rimodellamento delle forme, si propone la seguente correlazione (tabella A2_4):

GRADO DI RIMODELLAMENTO	STATO DI ATTIVITA'
Da nullo a basso	Attivo
Da basso a medio	Quiescente
Da medio a alto	Stabilizzato o relitto (inattivo)

Tabella A2_4 – Correlazione grado di rimodellamento–stato di attività.

A2.2 - Individuazione delle aree potenzialmente franose (APF) e delle aree di evoluzione della frana (AE) (a cura della Regione Toscana)

Premessa

Con il presente documento si intende predisporre uno standard finalizzato alla individuazione delle “Aree Potenzialmente Franose” (APF) e delle “Aree di evoluzione della Frana” (AE).

È opportuno preliminarmente chiarire alcuni aspetti salienti:

- il presente standard ha l'obiettivo di fornire esclusivamente una definizione delle “Aree Potenzialmente franose” (APF) e delle “Aree di evoluzione della Frana” (AE), indicando i criteri e gli elementi utili per la sua individuazione. Si sottolinea infatti come invece la perimetrazione di tale area sia, in alcuni casi, già prevista all'interno delle cartografie ufficiali (IFFI, Cartografia della franosità delle Autorità di Bacino, Cartografie geomorfologiche regionali e/o relative agli strumenti urbanistici comunali) ed a queste è quindi opportuno riferirsi al fine di evitare ambiguità (Vedi Fig. A2_1). Nel caso in cui tali aree (APF e/o AE) non siano già state perimetrate nell'ambito dei suddetti documenti, potrà essere necessario provvedere alla loro delimitazione secondo le indicazioni riportate di seguito;
- le valutazioni che si effettueranno di seguito sono finalizzate ad evidenziare principalmente quelle problematiche che si ritengono particolarmente critiche dal punto di vista sismico. In altre parole, ciò che interessa in questa fase è affrontare la problematica legata ai meccanismi gravitativi di versante dal punto di vista dell'azione sismica che può indurre una sollecitazione dinamica in grado di riattivare movimenti gravitativi preesistenti o produrre rotture di neoformazione.
- proprio in quest'ottica, perciò, si è ritenuto necessario individuare e definire oltre al movimento gravitativo esistente, anche quelle porzioni di versante, apparentemente stabili, che invece potrebbero essere coinvolte in scivolamenti, crolli, ecc.

Area Potenzialmente Franosa (APF)

Si intende per “Area Potenzialmente Franosa” (APF) quella porzione di versante, sia in roccia che in terra, ubicata in aree esterna rispetto al corpo di frana, per la

quale, pur non presentando evidenze di instabilità pregressa, sono verificate le condizioni di potenziale instabilità in relazione all'azione sismica.

Le condizioni di potenziale instabilità (Nardi et al., 1987; Fell et al., 2008) possono essere collegate sia a fattori connessi con le caratteristiche stesse dei materiali coinvolti (litologia, fratturazione, assetto strutturale, caratteristiche geomeccaniche, giacitura, regime idrico sotterraneo e superficiale, uso del suolo), sia alle caratteristiche morfologiche dell'area in esame (forte acclività).

Più in dettaglio si riepilogano di seguito le principali condizioni di potenziale instabilità date dalla combinazione di elementi topografici e caratteristiche geologico-tecniche e sismiche.:

Condizioni topografiche

- - versanti naturali con pendenze superiori a 15° ;
- - tagli sub-verticali di origine antropica;
- - versanti acclivi soggetti a processi di degradazione derivante da disboscamento, incendi e/o attività antropiche;

Condizioni geologico-tecniche

- - rocce lapidee alterate sovrastanti rocce a più elevata resistenza, con giacitura a franapoggio;
- - rocce deboli o intensamente fratturate e/o costituite da alternanze di litologie a differente competenza, con giacitura a franapoggio;
- - argini, orli di terrazzo in erosione attiva;
- - versanti caratterizzati da materiali argillosi, limosi o granulari poco o per niente consolidati;
- - accumulo di materiali detritici (conoidi di versante, falde detritiche, ecc.);
- - versanti con fenomeni di scalzamento al piede del pendio.

Condizioni legate all'amplificazione sismica

Una condizione legata alla forzante sismica può essere introdotta, valutando in maniera estremamente semplificata, anche in relazione a quanto riportato nella CGT ed alle informazioni acquisite nell'ambito della redazione della Cartografia MOPS, se la successione litostratigrafica e topografica dell'area è particolarmente gravosa dal punto di vista sismico.

Tenendo presente che l'obiettivo è una valutazione di massima della forzante sismica, si consiglia di utilizzare le categorie di sottosuolo e la pendenza media del

versante, per calcolare il coefficiente di amplificazione S ($S_s * S_A$) e il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito β_s (NTC, 2008).

Questi 2 coefficienti permetteranno infatti di calcolare $K_h = \beta_s * S * a_g/g$.

Per K_h minori 0.1 g si considera il pendio stabile.

Ai fini della individuazione e successiva perimetrazione delle APF deve essere verificata la condizione legata all'amplificazione sismica e almeno una tra le condizioni topografiche e geologico-tecniche.

Tali aree potenzialmente instabili, possono originarsi prevalentemente in aree esterne, quindi separate geometricamente, rispetto ai corpi di frana esistenti. Si ipotizza infatti che il meccanismo di rottura non sia influenzato dalla presenza di fenomeni gravitativi esistenti.

Area di evoluzione della frana (AE)

La previsione dell'evoluzione consente di individuare l'area che può essere interessata, direttamente o indirettamente, da una frana. Tali "Aree di evoluzione (AE)" sono ubicate prevalentemente in aree limitrofe/adiacenti al corpo di frana esistente (per opera di meccanismi di regressione a partire dalla zona di innescò e/o propagazione areale) e quindi presentano meccanismi di rottura/evoluzione direttamente influenzati dalla presenza di fenomeni gravitativi esistenti. Nel caso di frane di scivolamento l'area di evoluzione può essere generalmente limitata; nel caso di colate di detrito, che interessano spesso impluvi o aste fluviali montane, tale area può invece essere molto più estesa. In linea di massima le aree di evoluzione della frana possono essere definite secondo criteri geomorfologici e non puramente geometrici, quindi variano da frana a frana, in relazione alla tipologia e stile di attività. Nel caso di frane a cinematica lenta, per le quali è riconoscibile la corona di distacco, il perimetro del deposito può essere esteso verso monte fino a comprendere la corona stessa ed oltre per identificare l'area di retrogressione, mentre verso valle le aree di possibile evoluzione sono limitate alle immediate vicinanze (per es. 20 m). Nel caso invece di movimenti rapidi, come colate detritiche, le aree di evoluzione possono essere molto più ampie.

La previsione dell'evoluzione di una frana prevede i seguenti tre punti:

- a) previsione della distanza di propagazione;
- b) previsione dei limiti di retrogressione;
- c) previsione dell'espansione areale.

La previsione della distanza di propagazione (*run-out*) è particolarmente importante nel caso di frane di crollo, di colate per flusso di terre granulari (*flowslides*), di detrito umido (*debris flows*) o di detrito secco (*sturzstroms*), che sono spesso caratterizzate da un'elevata mobilità. In generale per la previsione della distanza di propagazione possono essere impiegati criteri geomorfologici connessi con la geometria del pendio. La distanza di propagazione può essere valutata mediante la stima dell'angolo di attrito apparente, che può essere ricavata da quella dell'angolo di attrito dinamico effettivo e delle pressioni dei fluidi interstiziali durante il moto. Tali parametri sono molto difficili da misurare sia perché sono necessarie apparecchiature speciali, sia perché sono estremamente variabili anche nel corso del movimento. Per tali motivazioni, la stima dell'angolo di attrito apparente si basa spesso su analisi di tipo empirico.

Nel caso dei crolli, l'angolo di attrito apparente può essere stimato in base all'osservazione della posizione dei blocchi già distaccati o determinato con metodi sperimentali. In genere l'angolo d'attrito apparente risulta compreso fra 28° e 45° . Sempre per quanto riguarda i crolli, nei casi in cui si disponga di dati sufficientemente dettagliati, si può optare per analisi cinematiche o dinamiche delle traiettorie di caduta dei massi, in funzione della forma e della dimensione dei blocchi e delle

caratteristiche morfologiche del pendio. La traiettoria dei blocchi è analizzata considerando le leggi fisiche che regolano la successione dei diversi tipi di movimento dei blocchi, ovvero: scorrimento o ribaltamento, caduta libera, rimbaltzo e rotolamento.

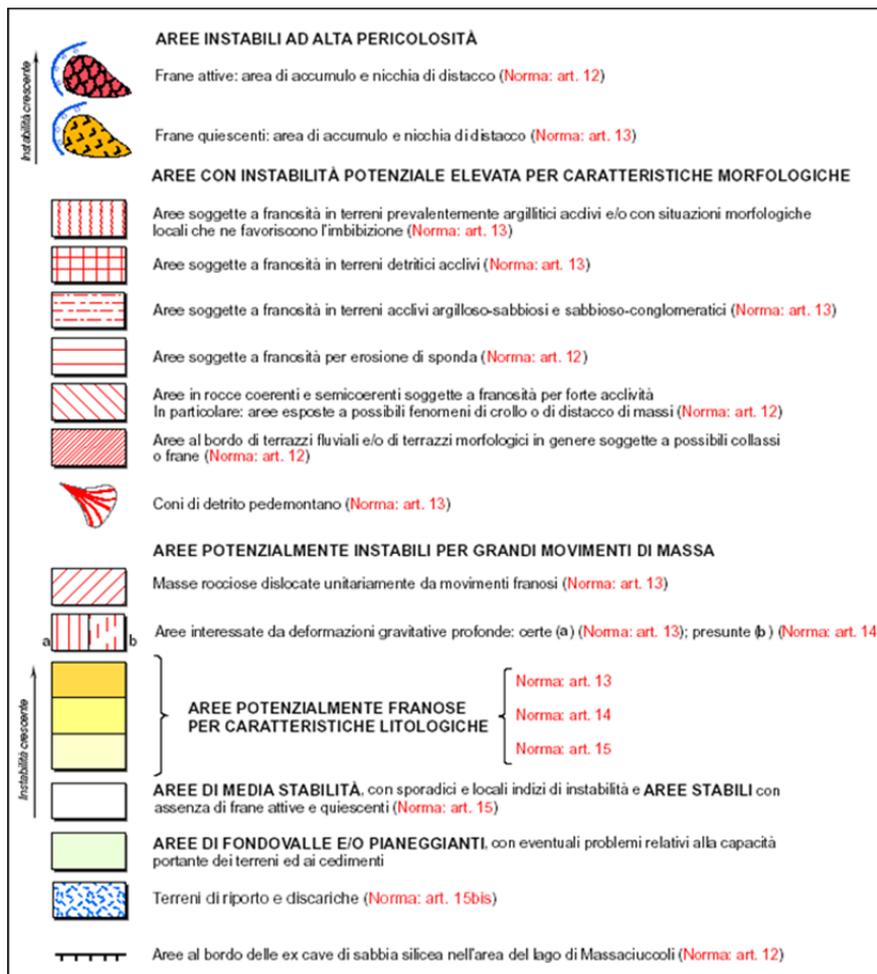


Fig. A2_1 – Legenda Carta della Franosità dell'AdB_Serchio.

La perimetrazione delle aree di regressione di una frana si effettua essenzialmente sulla base dei caratteri geomorfologici osservabili sul terreno, riferibili alla distribuzione degli elementi/indicatori che suggeriscono tale evoluzione (fratture di tensione, contropendenze, ecc.). Alcune tipologie di frana sono in genere caratterizzate da un'evoluzione retrogressiva come, ad esempio, i ribaltamenti in ammassi rocciosi fratturati, gli scivolamenti traslativi in roccia, gli scivolamenti rotazionali, specialmente nel caso in cui questi ultimi interessino materiali sensitivi (es. *quick clays*) oppure rocce fratturate sovrapposte ad argille ed argilliti (Fig. A3_1).

Per quanto riguarda la delimitazione dell'espansione areale, tale aspetto è particolarmente critico nel caso di colate di terra o di fenomeni di liquefazione nei quali la massa spostata è molto fluida e può espandersi. La previsione, molto complessa, dipende essenzialmente dalla morfologia del versante, da granulometria e contenuto d'acqua dei terreni, dai parametri di resistenza al taglio, dalle pressioni interstiziali e dal coefficiente di spinta laterale.

In sintesi, per la delimitazione delle AE, fermo restando le suddette indicazioni ed ulteriori e necessarie valutazioni tecniche desunte dalle conoscenze puntuali dei fenomeni franosi da cartografare, nella tabella A2_5 sono riportati alcuni valori indicativi di riferimento per la delimitazione delle AE, scaturiti da applicazioni in ambito regionale e definite su base esperta.

Tabella A2_5 – Valori di riferimento puramente indicativi per la delimitazione dell'AE

Tipologia meccanismo di movimento	Distanza H (in m) dal limite dell'area in frana (FR)		
	retrogressione	espansione laterale	propagazione/accumulo
Crollo e/o ribaltamento	10 (in caso di scarpate piccole ²) 20 (per scarpate alte ²) ≥h/2 (per scarpate molto alte ²)		10 (in caso di scarpate piccole ²) 20 (per scarpate alte ²) ≥h/2 (per scarpate molto alte ²)
Scorrimenti/scivolamenti lenti e colamenti lenti	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)	10 (in caso di frane piccole ¹) 20 (in caso di frane grandi ¹)
Colate e Scorrimenti/scivolamenti rapidi		20	fino al punto di rottura del versante e/o all'impluvio
¹ La distinzione tra frane grandi e piccole è basata sulla estensione (soglia indicativamente pari a 1000mq)			
² Per scarpate "piccole" si intendono quelle con dislivello di quota "h" inferiore a 10m, scarpate "alte" con dislivello inferiore a 40m, le restanti sono classificate "molto alte"			

A2.3 - Definizione di indagini e parametri per la programmazione degli approfondimenti superiori (a cura della Regione Emilia Romagna)

Indagini in sito per la caratterizzazione della $Z_{A_{FR}}$ in caso di frana in terra (Carta delle MOPS).

Per una corretta caratterizzazione di una $Z_{A_{FR}}$ occorre definire:

- *la perimetrazione dettagliata di FR AE e APF (v. cap. 8 e Appendici A2.1 e A2.2);*
- *la profondità del substrato geologico non alterato, presumibilmente assimilabile al substrato rigido (bedrock sismico), con identificazione dell'eventuale spessore di alterazione del substrato, per valutare lo spessore della coltre detritica in tutta l'area di estensione di AF+APF, in modo da suddividere quest'ultima in MOPS, cioè microzone con spessore e caratteristiche litostratigrafiche della coltre circa omogenee.*

Come indicato nel cap. 8 e nelle Appendici A2.1 e A2.2, per il riconoscimento e la perimetrazione delle AF+APF la base di partenza è la cartografia geologica e geotematica disponibile.

In assenza di cartografia geologica/geotematica dovrà essere effettuato uno specifico rilevamento geologico finalizzato ad acquisire le informazioni relative agli elementi geomorfologici indicati nel cap. 8 e nelle Appendici A2.1 e A2.2, tramite l'analisi di foto aeree e rilievi di terreno ad una scala di dettaglio, non inferiore a 1:10.000, meglio 1:5000-1:2000.

Nel caso invece sia disponibile una cartografia geologica/geotematica, questa andrà verificata analizzando foto aeree, in particolare, se disponibili, successive all'epoca del rilevamento, e con mirati controlli sul terreno.

Per la caratterizzazione della coltre di copertura si farà ricorso a dati pregressi; qualora però i dati pregressi non siano in numero sufficiente dovranno essere realizzate nuove indagini.

Prove in sito per la caratterizzazione dello spessore della coltre

Per la definizione dello spessore della coltre detritica dovrà essere privilegiata l'analisi di logs litostratigrafici da indagini dirette, segnatamente sondaggi geognostici, preferibilmente a carotaggio continuo, ed indirette, quali prove geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e SH, ovvero prove di sismica a riflessione qualora si vogliano anche ricercare motivi strutturali profondi.

In tale contesto si richiama che migliori risultati si ottengono integrando tra loro le diverse tecniche di indagine geofisica: ad esempio accoppiare la sismica a rifrazione in onde P con le indagini MASW consente di associare la ricostruzione lito-stratigrafica del sottosuolo alla distribuzione delle onde di taglio Vs (indagini MASW) che, confrontate con le onde di compressione, permette di definire i moduli di deformabilità del terreno attraversato. Analogamente dal confronto tra le sezioni sismostratigrafiche derivate da indagini di tomografia sismica a rifrazione in onde P e SH (ovvero MASW 2D) si può evidenziare la presenza di una falda entro i terreni indagati considerato che le onde di taglio (Vs) non risentono dell'influenza del "saturo", come accade invece per le onde di compressione (Vp).

Tra le indagini geofisiche funzionali alla caratterizzazione della geometria sepolta occorre segnalare anche l'indagine geoelettrica che oltre a presentare un'estrema versatilità nella messa in opera della configurazione di misura e fornisce utili indicazioni sul passaggio coltre/substrato roccioso (in funzione delle variazioni dei valori del profilo di resistività) come pure sul limite saturo/insaturo entro coltri detritiche.

In linea generale, poiché i profili sismici offrono il vantaggio di disporre di dati lineari che permettono un'analisi bidimensionale dell'area di indagine, e quindi la possibilità di correlare dati puntuali, è importante che nella progettazione di una campagna di indagine si preveda lo svolgimento di indagini sia dirette che indirette e che i profili sismici intercettino le verticali dei sondaggi, ciò sia ai fini della taratura dei dati geofisici per la ricostruzione del modello geologico, sia per la correlazione dei dati tra sondaggi.

Per quanto concerne altre tipologie di prove dirette, si richiamano le prove penetrometriche, dinamiche e statiche, che trovano un utilizzo ottimale nei casi di coperture di versante presumibilmente derivanti da substrato a granulometria fine (es. frane e coperture detritiche di versanti costituite da Argille Azzurre plioceniche, Sabbie Gialle pleistoceniche, ...). Questo poiché, nel caso di coltri a granulometria eterogenea l'eventuale rifiuto di avanzamento della punta potrebbe essere dovuto alla presenza di trovanti e/o clasti grossolani e quindi non essere significativo per l'individuazione del substrato geologico e la valutazione dello spessore della coltre.

Con riferimento terreni granulari, quindi, la prova penetrometrica dinamica è quella che viene principalmente impiegata, ma è opportuno raccomandare l'utilizzo di strumentazione di tipo "superpesante" (DPSH), secondo la classificazione ISSMFE,

che presenta configurazioni di prova molto simili all'SPT tradizionale¹ e che in ragione della "energizzazione" dello strumento pone al riparto dagli errori interpretativi connessi alla natura eterogena e grossolana degli accumuli di frana. A tal riguardo ai fini delle indagini di dettaglio sui corpi franosi deve escludersi, di norma, l'utilizzo di prove penetrometriche dinamiche leggere e medie (tipo DL-030) che invece risultano fortemente condizionate dalla pezzatura grossolana propria degli accumuli di frana.

Per la stima della profondità del substrato rigido, e quindi dello spessore della coltre, e per la correlazione/interpolazione dei dati possono risultare di estrema utilità le registrazioni di rumore ambientale (indagini di sismica passiva) a stazione singola. Tali misure possono non essere sempre applicabili in questi contesti, a causa della presenza di significative variazioni stratigrafiche laterali del sottosuolo, che potrebbero inficiare le registrazioni.

Data la facilità e rapidità di esecuzione di questo tipo di prove e fermo restando i suddetti limiti metodologici, considerando anche la più agevole accessibilità ad aree difficilmente o per nulla raggiungibili con strumentazione pesante, le registrazioni di rumore ambientale a stazione singola permettono l'acquisizione di dati in diversi siti, consentendo la correlazione e interpolazione delle informazioni puntuali disponibili da prove geotecniche in sito, generalmente di numero limitato.

Questo tipo di indagine fornisce il valore della frequenza fondamentale f_0 della successione stratigrafica al di sopra della superficie di contrasto di impedenza, assimilabile al tetto del substrato rigido, nei primi 100÷150 m da piano campagna; f_0 è legato alla profondità H della superficie di contrasto di impedenza dalla nota relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

dove V_s è la velocità media di propagazione delle onde di taglio S nella successione al di sopra della superficie di contrasto di impedenza.

Per avere informazioni sulla profondità H i risultati di questo tipo di indagine devono essere associati ai risultati di indagini che forniscano informazioni sul valore medio di V_s della coltre. Nelle analisi di primo livello in genere non sono ancora disponibili valori di V_s della copertura detritica e quindi una stima della

¹ In Italia è alquanto diffuso il penetrometro dinamico super-pesante tipo "EMILIA" che presenta un maglio di 63.5 kg ed un'altezza di caduta di 75 cm.

profondità del tetto del substrato è possibile solo associando i risultati della registrazione a dati litostratigrafici derivanti da prove geotecniche in sito attendibili (v. sopra), considerando le relazioni f_0 -H indicativamente riportate nella seguente tabella:

$f_0 < 0,9 \text{ Hz}$	$H > 100 \text{ m}$
$0,9 \text{ Hz} < f_0 < 1,1 \text{ Hz}$	$80 \text{ m} < H < 100 \text{ m}$
$1,1 \text{ Hz} < f_0 < 2 \text{ Hz}$	$50 \text{ m} < H < 80 \text{ m}$
$2 \text{ Hz} < f_0 < 3 \text{ Hz}$	$25 \text{ m} < H < 50 \text{ m}$
$3 \text{ Hz} < f_0 < 5 \text{ Hz}$	$10 \text{ m} < H < 25 \text{ m}$
$5 \text{ Hz} < f_0 < 10 \text{ Hz}$	$5 \text{ m} < H < 10 \text{ m}$
$f_0 > 10 \text{ Hz}$	$H < 5 \text{ m}$

I risultati delle registrazioni di rumore ambientale sono utili anche per le elaborazioni successive (approfondimento di livello 3 per la Carta di MS, v. paragrafo successivo).

Indagini in sito per la caratterizzazione delle FR AE e APF per le elaborazioni successive (terzo livello di approfondimento).

Per le elaborazioni richieste per il livello 3 di approfondimento (Carta di MS) occorre definire:

- la profondità della falda acquifera, se presente, e relative variazioni stagionali;
- le proprietà meccaniche della coltre detritica, del substrato non alterato e, dell'eventuale fascia di alterazione del substrato;
- la profondità e le caratteristiche del substrato rigido (bedrock sismico), se raggiungibile;
- la frequenza fondamentale f_0 della coltre.

Per caratterizzare la coltre detritica di copertura ed il substrato andranno privilegiati i sondaggi a carotaggio continuo, con l'esecuzione di prove SPT, il prelievo di campioni indisturbati, l'installazione di piezometri per il monitoraggio della falda o la predisposizione dei fori per analisi geofisiche in foro, tipo down-hole e cross-hole che permettono di misurare V_p e V_s e ricavare i valori del

coefficiente di Poisson, del modulo di taglio, del modulo di Young e del modulo di compressibilità.

Poiché, come già evidenziato, le coperture di genesi gravitativa sono generalmente costituite da una granulometria eterogenea, spesso grossolana, il prelievo di campioni indisturbati per analisi di laboratorio può anche risultare molto difficoltoso, in questi casi le prove in sito divengono le indagini che meglio permettono di caratterizzare l'ammasso dal punto di vista meccanico. Con le cautele indicate nel paragrafo precedente, le prove penetrometriche, sia statiche che dinamiche, consentono allora di realizzare delle diagrafie "profondità vs resistenza all'avanzamento/nr. di colpi" continue lungo la verticale di indagine da cui derivare i parametri meccanici attraverso formule di correlazione empiriche¹.

La perforazione di sondaggi permette anche l'esecuzione di prove di permeabilità, mentre per la valutazione della profondità della falda e delle sue variazioni stagionali è indispensabile disporre di piezometri.

Per la determinazione delle variazioni di falda stagionali e del regime di flusso occorre predisporre una rete di più piezometri e i dati dei piezometri possono essere eventualmente integrati con rilievi del livello della falda in pozzi per acqua, se disponibili.

Tra le tecniche di indagine indiretta finalizzata al riconoscimento dei livelli di saturazione nei terreni un ruolo predominante è rappresentato dalle prospezioni geoelettriche ERT che attraverso la misura dei valori di resistività elettrica del sottosuolo consentono di rappresentare il livello del "saturo" in una sezione bidimensionale elettro-tomografica.

Per quanto sopra appare è evidente come i sondaggi geognostici, in particolare quelli a carotaggio continuo, grazie anche alle varie prove che questi consentono (SPT, misure geofisiche in foro, prove di permeabilità, prelievo di campioni, installazione di piezometri, ...) sono le indagini geotecniche in sito più utili per la caratterizzazione della coltre e del substrato di versanti instabili e potenzialmente

¹ Nella pratica corrente è sempre più diffusa l'applicazione di sistemi automatici di acquisizione dei principali parametri di perforazione alle sonde idrauliche a rotazione per indagini geognostiche, nelle perforazioni a distruzione di nucleo o, più raramente, nel carotaggio continuo. Tali sistemi, che consentono la registrazione in continuo dei parametri caratteristici che definiscono l'energia spesa per la perforazione, sono stati inizialmente impiegati come modalità di controllo di qualità nelle perforazioni a scopo di consolidamento (micropali, jet-grouting, tiranti, ecc.) e trovano attualmente un'utilizzato in numerose applicazioni geologiche/idrogeologiche, e geotecniche.

instabili. In ogni caso deve essere sempre rispettata la regola di buona pratica di integrare i dati puntuali derivati da queste prove dirette con i dati da profili sismici a rifrazione e da misure di rumore ambientale da antenna sismica.

Per quanto concerne i parametri sismici di sottosuolo, risulta come i dati di V_s possono essere ottenuti anche con prove MASW, Re.Mi., profili sismici a rifrazione e registrazioni di rumore ambientale in configurazione di antenna sismica (ESAC/SPAC); queste ultime sono particolarmente importanti anche per la determinazione della frequenza fondamentale f_0 della coltre e della profondità del substrato rigido, soprattutto se questo è a profondità elevata, difficilmente raggiungibile con prove geotecniche in sito di tipo standard (sondaggi e prove penetrometriche).

L'insieme degli elementi caratterizzanti la modellazione geologica del sito, integrati coi dati geotecnici di sottosuolo concorrono alla definizione del modello geotecnico (e geologico) dell'area in esame che è essenziale sia per condurre le analisi funzionali alle zonazioni di pericolosità per instabilità sismoindotta che per condurre l'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico ai sensi delle norme tecniche di settore (NTC, Cap. 6.2.2).

Volendo sintetizzare quanto sopra esposto ed al fine di garantire il rispetto dei principi di qualità si richiamano le istruzioni tecniche riferite alle le prove ed indagini geognostiche degli ICMS2008, Parte III – Cap.3.4 ponendo particolare risalto verso alcuni requisiti minimi di una campagna geognostica, di seguito indicati:

- sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, ai fini dell'accertamento della successione stratigrafica nel suo complesso e degli spessori delle coperture detritiche. Vanno eseguiti in quantità opportune, proporzionate all'area da indagare – comunque mai meno di tre per garantire la ricostruzione tridimensionale della successione stratigrafica – e su allineamenti disposti lungo le linee di massima pendenza. La profondità dei sondaggi dovrà essere programmata per un valore pari a 1,5 volte lo spessore del presunto corpo di frana, spingendo poi il sondaggio per 5-10 m all'interno della formazione stabile;
- prelievo di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove di laboratorio, sulla base di un predefinito programma di campionamento e tali da caratterizzare geotecnicamente tutti i differenti strati;

- prove di laboratorio ed in situ e misure dirette finalizzate alla definizione di un modello del sottosuolo (geologico e geotecnico) da utilizzare per le analisi funzionali alle zonazioni di pericolosità per instabilità sismoindotta. Il modello dovrà comprendere anche il regime delle acque sotterranee e i sistemi di discontinuità. Andranno determinate le principali proprietà fisiche e meccaniche dei terreni ed i moduli elastici e di deformazione del terreno necessari per svolgere analisi dinamiche di livello superiore;
- indagini geofisiche, che consentono di integrare i sondaggi geognostici, estendere “lateralmente” la rappresentazione stratigrafica del sottosuolo e forniscono i parametri sismici del sottosuolo;
- prove penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche del tipo superpesante standardizzate (DPSH), nonché pozzetti geognostici, per integrare ulteriormente le indagini e per la caratterizzazione del livello “superficiale” del terreno.

APPENDICE A3 - Calcolo dei coefficienti K_{heq} e K_h (a cura del DPC)

Nelle analisi condotte con i metodi pseudostatici, il campo di accelerazione all'interno del pendio è assunto uniforme e le componenti orizzontale e verticale delle forze di inerzia sono applicate nel baricentro della massa potenzialmente in frana (metodi globali), o nei baricentri delle singole strisce (metodi delle strisce).

Per tener conto dei fenomeni di amplificazione del moto sismico all'interno del pendio, il valore dell'accelerazione orizzontale di picco su affioramento rigido, a_g , può essere moltiplicato per opportuni coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica. Tuttavia l'utilizzo dell'accelerazione massima, a_{max} , così risultante, comporta una sostanziale sovrastima degli effetti del sisma in termini di forze di inerzia. In alternativa, la variabilità spaziale dell'azione sismica può essere introdotta valutando un coefficiente sismico orizzontale equivalente, K_{heq} (AGI, 2005), mediante analisi numerica. In questo caso devono essere definiti l'accelerogramma di riferimento e la profondità della formazione rigida di base. Note dall'analisi numerica le storie temporali dell'accelerazione all'interno del corpo frana, il valore di K_{heq} può essere posto pari al valore medio del profilo delle accelerazioni massime; oppure, suddividendo la massa in frana in aree, A_i , a cui si fa corrispondere un singolo accelerogramma di riferimento, il valore di K_{heq} può essere calcolato come la media pesata dei valori di picco. I risultati ottenuti da entrambe le procedure descritte possono fornire valori eccessivamente cautelativi di K_{heq} poiché non si tiene in conto del carattere asincrono del moto sismico.

Le norme europee EC8 (prEN 1998 - 2003) indicano per un più generico coefficiente sismico orizzontale K_h un valore pari a:

$$k_h = 0,5 \cdot a_g \cdot \gamma_I \cdot S/g$$

dove γ_I è il coefficiente di importanza della struttura (pari a 1 per pendii naturali), S , è il prodotto tra il coefficiente di amplificazione stratigrafico, S_s , e quello topografico, S_T .

Il coefficiente per l'azione verticale è dato:

$$K_v = \pm 0.5 K_h$$

$$K_v = \pm 0.33 K_h$$

rispettivamente se il rapporto tra la componente verticale e orizzontale di accelerazione del terremoto di riferimento è maggiore o minore di 0.6.

Per quanto riguarda la normativa italiana le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008) definiscono l'azione pseudostatica introducendo un coefficiente di riduzione, β_s , che tiene conto della duttilità:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

in cui a_{max} è l'accelerazione massima attesa in superficie.

β_s assume i valori riportati nella tabella seguente:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tabella A4.1 – Valori di β_s , in NTC (2008).

Il valore di $K_v = \pm 0.5 K_h$

APPENDICE A4 - Progetto “INTERREG MASSMOVE” (a cura dell’Università Bicocca, Milano, Regione Friuli Venezia Giulia e Regione Veneto)

Sommario

Premessa

La presente appendice corrisponde, con qualche modifica o integrazione, alle linee guida per gli standard minimi per la stesura di carte di suscettibilità e pericolosità per le frane di crollo realizzato dal progetto "Interreg MASSMOVE". Tale progetto si è sviluppato nel contesto del programma di cooperazione territoriale europea "Interreg IV Italia- Austria", cofinanziato dai fondi FESR, in cui la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, la Regione Veneto e il Land Carinzia hanno portato avanti il progetto per gli "Standard minimi per la stesura di carte di pericolosità per frane di scivolamento e di crollo quale strumento per la prevenzione dei dissesti franosi".

La presente versione italiana delle linee guida, focalizzata solo sulla problematica di caduta massi, in parte adattata come appendice alle linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR), deriva da una versione inglese più ampia che è stata sintetizzata nelle sue componenti salienti e alla quale si rimanda per eventuali approfondimenti degli argomenti trattati. La versione integrale, unitamente a tutte le relazioni intermedie e gli studi sulle aree pilota che hanno condotto alle linee guida, sono reperibili su www.regione.fvg.it e www.regione.veneto.it.

Introduzione

Le linee guida sono uno strumento operativo per la stesura di carte di suscettibilità e di pericolosità da frane di crollo, le stesse definiscono i parametri da utilizzare, le strategie da condurre per la zonazione e i risultati minimi da raggiungere. L'approccio è indipendente dal fatto che l'analisi venga svolta in condizioni dinamiche o statiche.

Nelle linee guida vengono definiti i requisiti minimi in termini di accuratezza dei dati, le metodologie più efficienti in termini di costo e tempo per garantire il livello di accuratezza richiesto e vengono individuati gli strumenti operativi standard per ottimizzare l'attività dei soggetti che abbiano la necessità di approcciarsi alla problematica, siano essi liberi professionisti o tecnici delle autorità e degli enti competenti. Attraverso lo strumento operativo, definibile come manuale, vengono fornite sinteticamente metodologie scientificamente significative e una guida per la loro corretta applicazione.

L'approccio definito nelle linee guida è un approccio multiscalare definito in tre ambiti di scala (regionale, locale e sito specifico) in funzione della problematica da affrontare e soprattutto del risultato atteso dall'analisi della problematica stessa.

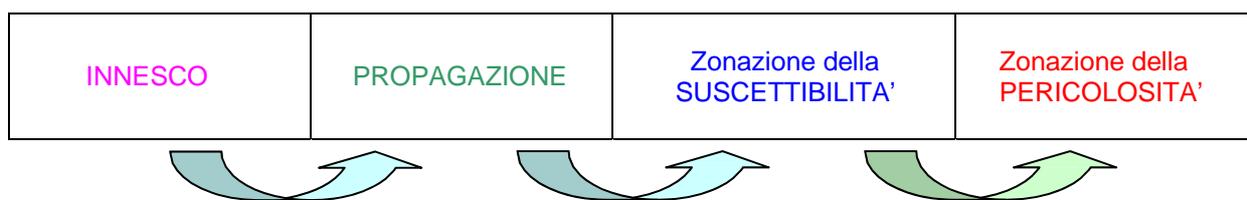
Il presente manuale è suddiviso in capitoli che individuano in primo luogo gli strumenti operativi per la zonazione della suscettibilità e pericolosità delle frane di crollo, a cui segue una mera elencazione di dati di base, parametri di ingresso e risultati ottenibili per poi definire, attraverso spiegazioni delle procedure di base, i metodi per la zonazione e la loro applicabilità. Nel testo si fa ricorso a tabelle di sintesi per consentire una visione d'insieme delle tematiche affrontate.

A4.1 - Strumenti operativi per la zonazione della suscettibilità e pericolosità per le frane di crollo

Se le linee guida di questo manuale sono standardizzate relativamente ai dati di input, alle procedure generali, ai dati di output, alla qualità del dato, i modelli sono ritenuti liberi ovvero ogni modello, sia esso empirico, euristico, statistico o fisicamente basato, è accettabile se fornisce output adeguati ai requisiti previsti.

L'utente sarà guidato attraverso alcune tabelle, atte a definire la metodologia minima da utilizzare. Ogni metodologia è una combinazione specifica di:

- Un metodo di modellazione dell'innesco (onset);
- Un metodo per la modellazione della propagazione (runout);
- Un metodo per combinare le due componenti per la zonazione della suscettibilità.
- Un metodo per introdurre la probabilità temporale per la zonazione della pericolosità.



L'utilizzo della metodologia proposta richiede la seguente procedura:

- 1) scelta di una scala e un campo di applicazione per l'analisi in base alla tabella 1;
- 2) per ciascuna scala, scelta del livello di analisi (minimo o avanzato) secondo le esigenze dettate dal punto di arrivo previsto;
- 3) scelta della metodologia operativa, infatti per ogni scala e livello di indagine, le tabelle offrono una combinazione di: metodo di valutazione della suscettibilità all'innesco (e relativa zonazione); metodo di modellazione della propagazione, metodo per la zonazione della suscettibilità, metodo per la zonazione della pericolosità.

Ogni metodo è riferito ad un acronimo composto da una prima parte che è funzione della scala di riferimento:

R: regionale

L: locale

S: sito specifico

e da una seconda parte riferita all'ambito di riferimento: O: Onset/innescò

R: Runout/propagazione

S: Suscettibilità

H: Hazard/pericolosità

con definizione di un livello minimo (1) e uno avanzato (2)

Per ogni acronimo è presentata una breve spiegazione dei principi fondamentali. Le procedure connesse e gli strumenti necessari, i dati richiesti e l'idoneità per le diverse applicazioni son forniti nei diversi capitoli relativi alle metodologie. Nello specifico nel presente capitolo sono riportate solo le informazioni essenziali, mentre le applicazioni specifiche (ad esempio pianificazione territoriale, infrastrutture lineari, progettazione di interventi, zonazione pericolosità, ecc.) e i dettagli pratici delle procedure da adottare, con riferimento anche alla letteratura citata, sono riportati nel capitolo 2.

I requisiti minimi necessari per i diversi dati di input sono definiti nella tabella 9.

Tabella 1 - Definizione della scala e delle finalità dello studio

Scala	Finalità	Tipo di mappa	Scala cartografica <i>indicativa</i>	Risoluzione DEM
R: regionale	Riconoscimento di aree potenzialmente pericolose	Carta inventario/ carta della suscettibilità	1:50.000- 1:10.000	≤ 30* m
L: locale (comunale)	Pianificazione del territorio	Carta della suscettibilità, carta delle pericolosità, zonazione della pericolosità	1:10.000 - 1:5.000	≤ 5 m
S: area specifica o singolo versante	Analisi di pericolosità e rischio, <i>progettazione opere</i>	Carta della pericolosità, zonazione della pericolosità	1:5.000 - 1:500	≤ 2m

*La dimensione minima è dettata dalla disponibilità gratuita di un DEM a scala regionale sul sito: [ASTER \(cell-size 30m\)](http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/index.html)
<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/index.html>

Nella tabella 2 sono sintetizzati i vantaggi e gli svantaggi di utilizzazione dei diversi metodi e la loro applicabilità in riferimento alla scala di riferimento.

Tabella 2 - Scale e possibilità di utilizzo dei metodi

Metodo	Vantaggi	Svantaggi	Innesco			Propagazione		
			R	L	S	R	L	S
Analisi geomorfologica di dettaglio	Analisi dettagliata	Soggettivo e costoso		X	X		X	(X)
Metodo euristico ad approccio	Semplice	Soggettivo	X	X	(X)			
Approcci statistici	Semplice					X	X	
Analisi statistica	Oggettivo, automatizzabile	Richiede una popolazione di dati	X	X		X		
Modellazioni e fisicamente	Oggettivo, deterministico	Richiede conoscenze dettagliate	(X)	X	X		X	X

A4.1.1 - Analisi a scala regionale (R)

Tabella 3 - Metodi per l'analisi a scala regionale delle frane di crollo

LIVELLO DI ANALISI	INNESCO	PROPAGAZIONE	Zonazione della SUSCETTIBILITÀ	Zonazione della PERICOLOSITA'
Minimo: suscettibilità con identificazione delle aree sorgenti + limite di propagazione più conservativo	R_01	R_R1	R_S1	-
Avanzato: suscettibilità con zonazione della suscettibilità all'innescò + frequenza di transito dei	R_02	R_R2	R_S2	

Innesco:

R_01 - sorgenti di crollo: identificazione basata su mappatura geomorfologica, posizione delle pareti e altezza.

R_02 - classificazione della suscettibilità all'innescò: classificazione delle pareti in termini di potenzialità a generare frane di crollo (processi potenziali, inventario dei crolli)

Propagazione:

R_R1 - limite di propagazione conservativo: mappa della massima propagazione generata usando metodi geometrici come l'approccio della linea di energia

R_R2 - zonazione della propagazione con frequenza di transito: sovrapposizione della mappa di massimo runout con la mappa di frequenza di transito dei blocchi (modellazione 3D a scala regionale)

Zonazione della suscettibilità:

R_S1 - mappa del limite massimo di propagazione e evidenziazione di potenziali situazioni critiche per impatto su strutture e infrastrutture

R_S2 - mappa di propagazione riclassificata in funzione della frequenza al transito. La frequenza è riclassificata per tenere conto della suscettibilità all'innesco.

Zonazione della pericolosità:

La zonazione della pericolosità a scala regionale non è prevista

Tabella 4 - Metodi per l'analisi a scala locale delle frane di crollo

LIVELLO DI ANALISI	INNESCO	PROPAGAZIONE	Zonazione della SUSCETTIBILITÀ	Zonazione della PERICOLOSITÀ
Minimo: pericolosità con probabilità di innesco e transito per uno scenario di	L_01	L_R	L_S	L_H1
Avanzato: pericolosità con probabilità di innesco e transito per uno scenario di riferimento basato su calcoli di stabilità	L_02			L_H2

Innesco:

L_01 - classificazione della suscettibilità all'innesco: classificazione delle pareti in termini di potenzialità a generare frane di crollo (processi potenziali, inventario dei crolli)

L_02 - classificazione della suscettibilità all'innesco basata su analisi di stabilità: valutazione dei possibili meccanismi di rottura (scivolamento, ribaltamento) e analisi di stabilità con approccio cinematico o all'equilibrio limite

Propagazione:

L_R: zonazione della propagazione con frequenza di transito ed energia cinetica: zonazione della frequenza di transito e dell'energia cinetica dei blocchi tramite modellazione della propagazione 3D (per ogni situazione) o 2D (per areali ridotti di pochi km² e morfologie di versante semplici)

Zonazione della suscettibilità:

L_S: mappa di propagazione riclassificata in funzione della frequenza al transito e dell'energia cinetica. La frequenza è riclassificata per tenere conto della suscettibilità all'innesco.

Zonazione della pericolosità:

L_H1-2 - mappa di propagazione riclassificata in funzione della frequenza attesa, ottenuta riscalandolo la probabilità di accadimento di uno scenario di riferimento con la frequenza di transito.

A4.1.3 - Analisi sito-specifica (S)

Tabella 5 - Metodi per l'analisi a scala di sito specifico per le frane di crollo

LIVELLO DI ANALISI	INNESCO	PROPAGAZIONE	Zonazione della SUSCETTIBILITÀ	Zonazione della PERICOLOSITÀ
Minimo: pericolosità con probabilità di innesco e transito per uno scenario di riferimento basato su calcoli	S_01	S_R	-	S_H1
Avanzato: pericolosità con probabilità di innesco e transito con approccio probabilistico basato su calcoli di stabilità	S_02		-	S_H2

Innesco:

S_01 - classificazione della suscettibilità all'innesco: classificazione delle pareti in termini di potenzialità a generare frane di crollo (processi potenziali, inventario dei crolli)

S_02 - classificazione della suscettibilità all'innesco basata su analisi di stabilità: valutazione dei possibili meccanismi di rottura (scivolamento, ribaltamento) e analisi di stabilità con approccio cinematico o all'equilibrio limite

Propagazione:

S_R: zonazione della propagazione con frequenza di transito ed energia cinetica: zonazione della frequenza di transito e dell'energia cinetica dei blocchi tramite modellazione della propagazione 3D (per ogni situazione) o 2D (per areali ridotti di pochi km² e morfologie di versante semplici)

Zonazione della suscettibilità:

La zonazione della suscettibilità a scala di sito specifica non è prevista

Zonazione della pericolosità:

S_H1 - mappa di propagazione riclassificata in funzione della frequenza attesa, ottenuta riscalandolo la probabilità di accadimento di uno scenario di riferimento con la frequenza di transito.

S_H2 - mappa di energia cinetica associata a diverse frequenze, ottenuta integrando diversi scenari

A4.1.4 - Dati di base e parametri

La stabilità dei versanti in roccia è fortemente dipendente dalle caratteristiche geologiche, dalle condizioni della massa rocciosa, dalle caratteristiche geomorfologiche e topografiche e per definire la suscettibilità da crolli è necessario entrare nel dettaglio di tutte le caratteristiche che vincolano il sistema.

Al fine di individuare i parametri e i requisiti minimi in funzione della scala a cui si affronta la problematica della caduta massi vengono riportate di seguito delle tabelle di sintesi che hanno il compito di guidare l'utilizzatore delle linee guida.

Le tabelle 6-7-8 individuano i dati di base, quali sono le informazioni dirette che si possono ottenere, quali sono i dati da raccogliere e analizzare, l'accuratezza dei parametri e le sintesi di uscita che possono essere prodotte per ciascun gruppo di dati di partenza, in funzione della scala di analisi.

La tabella 9 individua i requisiti minimi per le frane di crollo indicando i parametri necessari ed obbligatori, quelli raccomandati, quelli ausiliari e quelle ininfluenti in funzione della scala del processo e della fase di analisi.

Tabella 6 - Raccolta dati scala regionale (*DTM = digital terrain model; *DSM = digital surface model; AL = air laser)

SCALA REGIONALE		SCALA DI ANALISI 1:10.000-1:50.000			GRID < 30 m
ID	DATI	INFORMAZIONI DIRETTE	RACCOLTA DATI ED ANALISI	ACCURATEZZA	DATI DI USCITA
1	DTM-AL*	TOPOGRAFIA	<ul style="list-style-type: none"> • INCLINAZIONE VERSANTE • ESPOSIZIONE VERSANTE • PROFILI TOPOGRAFICI 	GRID ≤10m	<ul style="list-style-type: none"> • CARTE DELLA PENDENZA/ACCLIVITA' • CARTE DELLA DIREZIONE DELLE PENDENZE
2	DSM-AL**	VEGETAZIONE USO DEL SUOLO TIPI DI SUOLO	<ul style="list-style-type: none"> • USO DEL SUOLO (ALTEZZA ALBERI) • VOLUME DEI BLOCCHI SULLA SCARPATA 		<ul style="list-style-type: none"> • CARTE DELL'USO DEL SUOLO • CARTE DELLA TESSITURA DEL TERRENO
3	CARTA GEOLOGICA		<ul style="list-style-type: none"> • LITOLOGIA 		<ul style="list-style-type: none"> • CARTA GEOLOGICA • CARTA LITOLOGICA
4	CARTA TETTONICA		<ul style="list-style-type: none"> • ELEMENTI STRUTTURALI 		<ul style="list-style-type: none"> • CARTA DELLA TETTONICA
5	CARTA GEOMORFOLOGICA		<ul style="list-style-type: none"> • PROCESSI ATTIVI E FORME - CARATTERISTICHE DELLA SCARPATA 		<ul style="list-style-type: none"> • CARTA GEOMORFOLOGICA
6	ARCHIVI CROLLI		<ul style="list-style-type: none"> • PRINCIPALI EVENTI STORICI DI CROLLO 		<ul style="list-style-type: none"> • SCHEDE TECNICHE O CARTA DEGLI EVENTI STORICI DI CROLLO
7	ORTOFOTO		<ul style="list-style-type: none"> • USO DEL SUOLO - TIPI DI SUOLO - VEGETAZIONE - SCARPATE ATTIVE 		<ul style="list-style-type: none"> • CARTE DELL'USO DEL SUOLO • CARTE DELLA TESSITURA DEI SUOLI • CARTA VEGETAZIONALE
8	AFFIORAMENTI - TIPI DI SUOLO USO DEL SUOLO		<ul style="list-style-type: none"> • TIPI DI SUOLO • USO DEL SUOLO • COEFFICIENTI DI RIMBALZO, ROTOLAMENTO E SCIVOLAMENTO 		<ul style="list-style-type: none"> • CARTA DEGLI AFFIORAMENTI E DELL'USO DEL SUOLO

Tabella 7 - Raccolta dati a scala locale

SCALA LOCALE			SCALA DI ANALISI 1:5.000-1:10.000		GRID ≤ 5 m	
ID	DATI	INFORMAZIONI DIRETTE	RACCOLTA DATI ED ANALISI	ACCURATEZZA	DATI DI USCITA	
1	DTM-AL	TOPOGRAFIA	<ul style="list-style-type: none"> INCLINAZIONE VERSANTE ESPOSIZIONE VERSANTE PROFILI TOPOGRAFICI 	GRID ≤ 5 m	<ul style="list-style-type: none"> CARTE DELLA PENDENZA/ACCLIVITA' (>50°, >60°, >70°) CARTE DELLA DIREZIONE DELLE PENDENZE 	
2	DSM-AL	VEGETAZIONE USO DEL SUOLO TIPI DI SUOLO	<ul style="list-style-type: none"> USO DEL SUOLO (ALTEZZA ALBERI) VOLUME DEI BLOCCHI SULLA SCARPATA 	GRID ≤ 5 m	<ul style="list-style-type: none"> CARTE DELL'USO DEL SUOLO CARTE DELLA TESSITURA DEL TERRENO 	
3	CARTA GEOLOGICA		LITOLOGIA	SCALA DI INDAGINE = SCALA DI ANALISI	<ul style="list-style-type: none"> CARTA GEOLOGICA CARTA LITOLOGICA (DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICO-LITOLOGICHE) 	
4	CARTA TETTONICA		ELEMENTI STRUTTURALI		<ul style="list-style-type: none"> CARTA TETTONICA (NELLA CARTA GEOLOGICA) 	
5	CARTA GEOMORFOLOGICA		PROCESSI ATTIVI E FORME - CARATTERISTICHE DELLA SCARPATA		<ul style="list-style-type: none"> CARTA GEOMORFOLOGICA CARATTERISTICHE DELLA SCARPATA/DETRITO DI FALDA (NELLA CARTA GEOMORFOLOGICA) 	
6	ARCHIVI CROLLI		EVENTI STORICI DI CROLLO	DISPONIBILITA' DEL DATO	<ul style="list-style-type: none"> SCHEDE TECNICHE O CARTA DEGLI EVENTI STORICI DI CROLLO IN GIS 	
7	ORTOFOTO	USO DEL SUOLO TIPO DI SUOLO/VEGETAZIONE SCARPATE ATTIVE	USO DEL SUOLO - TIPI DI SUOLO - VEGETAZIONE - SCARPATE ATTIVE	DA LASERSCAN O ACCURATEZZA DIGITALE	<ul style="list-style-type: none"> CARTE DELL'USO DEL SUOLO CARTE DELLA TESSITURA DEI SUOLI CARTA VEGETAZIONALE COMPARAZIONE DI SCARPATA/DETRITO DI FALDA SU ANNI DIVERSI 	
8	PUNTI DI OSSERVAZIONE		<ul style="list-style-type: none"> SORGENTE CADUTA MASSI (SCARPATA) POTENZIALI VOLUMI CRITICI STIMA DI Jv, Vb DA INDICI GSI E COMPARAZIONE CON I PUNTI ID 9 E 10 	IL MAGGIOR NUMERO POSSIBILE	<ul style="list-style-type: none"> SCHEDE DELLE AREE SORGENTI DI CADUTA MASSI (SCARPATA) SCHEDE DEI POTENZIALI VOLUMI CRITICI CARTA DI Jv / Vb E GSI IN ACCORDO CON I PUNTI ID 9 E 10 	
9	RILIEVO GEOMECCANICO		<ul style="list-style-type: none"> CARATTERIZZAZIONE DELLE DISCONTINUITA' - IDENTIFICAZIONE DELLE FAMIGLIE DI GIUNTI E FORMA DEI BLOCCHI BRMR; Q GSI, Jv, Vb E COMPARAZIONE CON I PUNTI ID 8 E 10 	≥ 3 PER OGNI AREA OMOGENEA	<ul style="list-style-type: none"> SCHEDE PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO: STAZIONI DI RILEVAMENTO CLASSIFICAZIONE DELLA MASSA ROCCIOSA: MISURA DELLA DIMENSIONE DEI BLOCCHI - COMPARAZIONE CON LA SORGENTE DI CROLLO - CARTA DI Jv / Vb IN ACCORDO CON I PUNTI ID 8 E 10 QUANTIFICAZIONE DI GSI - CARTA DI GSI IN ACCORDO CON I PUNTI ID 8 E 10 	

SCALA LOCALE			SCALA DI ANALISI 1:5.000-1:10.000		GRID ≤ 5 m	
ID	DATI	INFORMAZIONI DIRETTE	RACCOLTA DATI ED ANALISI	ACCURATEZZA	DATI DI USCITA	
10	ALS NADIRALE ALS OBLIQUO		<ul style="list-style-type: none"> STIMA DI Jv, Vb DA GSI E COMPARAZIONE CON I PUNTI ID 8 E 9 DETERMINAZIONE DEL VOLUME CRITICO 	0,1 ÷ 0,2 m	<ul style="list-style-type: none"> CARTA DI Jv / Vb E GSI IN ACCORDO CON I PUNTI ID 8 E 9 MODELLI 3D E/O SEZIONI OGNI 2 ÷ 5 METRI DEI VOLUMI POTENZIALMENTE CRITICI 	
11	FAMIGLIE DI GIUNTI (INCLINAZIONE DIREZIONE / DIREZIONE DELL'IMMERSIONE)		FAMIGLIE DI GIUNTI (INCLINAZIONE DIREZIONE / DIREZIONE DELL'IMMERSIONE) ATTRAVERSO L'ANALISI LIDAR DIRETTAMENTE DAL DEM	GRID ≤ 5 m	<ul style="list-style-type: none"> A COMPLETAMENTO DELLE FAMIGLIE DI GIUNTI DEL PUNTO ID 9 	
12	POTENZIALI ZONE DI SCIVOLAMENTO		POTENZIALI ZONE DI MOVIMENTO PER OGNI FAMIGLIA DI GIUNTO (PLANARE E INTERSEZIONE)	GRID ≤ 5 m	<ul style="list-style-type: none"> MAPPA DELLE POTENZIALI ZONE DI SCIVOLAMENTO E COMPARAZIONE CON LA CARTA DELLE PENDENZA/ACCLIVITA' (>50°, >60°, >70°) E L'AREA SORGENTE DI CROLLO 	
13	AFFIORAMENTI - TIPI DI SUOLO USO DEL SUOLO		<ul style="list-style-type: none"> TIPI DI SUOLO USO DEL SUOLO COEFFICIENTI DI RIMBALZO, ROTOLAMENTO E SCIVOLAMENTO 	GRID ≤ 5 m	<ul style="list-style-type: none"> CARTA DEGLI AFFIORAMENTI E DELL'USO DEL SUOLO 	
14	OPERE DI DIFESA PER CROLLI ESISTENTI	DSM - DEM - RILEVAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> RETI IN ADERENZA (EFFICACIA) RETI PARAMASSI (EFFICACIA) MURI (EFFICACIA) VALLI/RILEVATI (EFFICACIA) GALLERIE PARAMASSI (EFFICACIA) 	IN SPECIFICA CHECK LIST SUL TERRENO	<ul style="list-style-type: none"> CARTA DELL'EFFICIENZA DELLE OPERE DI DIFESA PER CROLLI - SCHEDA DELLE OPERE DI DIFESA 	

Tabella 8 - Raccolta dati a scala di sito specifico

SCALA SITO SPECIFICO			SCALA DI ANALISI 1:500-1:5.000		GRID ≤ 2 m
ID	DATI	INFORMAZIONI DIRETTE	RACCOLTA DATI ED ANALISI	ACCURATEZZA	DATI DI USCITA
1	DTM-AL	TOPOGRAFIA	<ul style="list-style-type: none"> INCLINAZIONE VERSANTE ESPOSIZIONE VERSANTE PROFILI TOPOGRAFICI 	GRID ≤ 2m	<ul style="list-style-type: none"> SLOPE ANGLE MAP (>50°, >60°, >70°) SLOPE ASPECT MAP
2	DSM-AL	VEGETAZIONE USO DEL SUOLO TIPI DI SUOLO	<ul style="list-style-type: none"> USO DEL SUOLO (ALTEZZA ALBERI) VOLUME DEI BLOCCHI SULLA SCARPATA 	GRID ≤ 2m	<ul style="list-style-type: none"> CARTE DELL'USO DEL SUOLO CARTE DELLA TESSITURA DEL TERRENO
3	CARTA GEOLOGICA		<ul style="list-style-type: none"> LITOLOGIA 	SCALA DI INDAGINE = SCALA DI ANALISI	<ul style="list-style-type: none"> CARTA GEOLOGICA CARTA LITOLOGICA (DEFINIZIONE DELLE UNITA' GEOTECNICO-LITOLOGICHE)
4	CARTA TETTONICA		<ul style="list-style-type: none"> ELEMENTI STRUTTURALI 		<ul style="list-style-type: none"> CARTA TETTONICA (NELLA CARTA GEOLOGICA)
5	CARTA GEOMORFOLOGICA		<ul style="list-style-type: none"> PROCESSI ATTIVI E FORME CARATTERISTICHE DELLA SCARPATA 		<ul style="list-style-type: none"> CARTA GEOMORFOLOGICA CARATTERISTICHE DELLA SCARPATA/DETRITO DI FALDA (NELLA CARTA GEOMORFOLOGICA)
6	ARCHIVI CROLLI		<ul style="list-style-type: none"> EVENTI STORICI DI CROLLO 	DISPONIBILITA' DEL DATO	<ul style="list-style-type: none"> SCHEDA TECNICHE O CARTA DEGLI EVENTI STORICI DI CROLLO IN GIS
7	ORTOFOTO	USO DEL SUOLO TIPO DI SUOLO/VEGETAZIONE SCARPATE ATTIVE	<ul style="list-style-type: none"> USO DEL SUOLO - TIPI DI SUOLO - VEGETAZIONE - SCARPATE ATTIVE 	DA LASERSCAN	<ul style="list-style-type: none"> CARTE DELL'USO DEL SUOLO CARTE DELLA TESSITURA DEI SUOLI CARTA VEGETAZIONALE COMPARAZIONE DI SCARPATA/DETRITO DI FALDA SU ANNI DIVERSI
8	PUNTI DI OSSERVAZIONE		<ul style="list-style-type: none"> SORGENTE CADUTA MASSI (SCARPATA) POTENZIALI VOLUMI CRITICI STIMA DI Jv, Vb DA INDICI GSI E COMPARAZIONE CON I PUNTI ID 9 E 10 	IL MAGGIOR NUMERO POSSIBILE	<ul style="list-style-type: none"> SCHEDA DELLE AREE SORGENTI DI CADUTA MASSI (SCARPATA) SCHEDA DEI POTENZIALI VOLUMI CRITICI CARTA DI Jv / Vb E GSI IN ACCORDO CON I PUNTI ID 9 E 10
9	RILIEVO GEOMECCANICO		<ul style="list-style-type: none"> CARATTERIZZAZIONE DELLE DISCONTINUITA' - IDENTIFICAZIONE DELLE FAMIGLIE DI GIUNTI E FORMA DEI BLOCCHI BRMR; Q GSI, Jv, Vb E COMPARAZIONE CON I PUNTI ID 8 E 10 	≥ 3 PER OGNI AREA OMOGENEA	<ul style="list-style-type: none"> SCHEDA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASO ROCCIOSO: STAZIONI DI RILEVAMENTO CLASSIFICAZIONE DELLA MASSA ROCCIOSA: MISURA DELLA DIMENSIONE DEI BLOCCHI - COMPARAZIONE CON LA SORGENTE DI CROLLO - CARTA DI Jv / Vb IN ACCORDO CON I PUNTI ID 8 E 10 QUANTIFICAZIONE DI GSI - CARTA DI GSI IN ACCORDO CON I PUNTI ID 8 E 10

SCALA SITO SPECIFICO			SCALA DI ANALISI 1:500-1:5.000		GRID ≤ 2 m
ID	DATI	INFORMAZIONI DIRETTE	RACCOLTA DATI ED ANALISI	ACCURATEZZA	DATI DI USCITA
10	ALS NADIRALE E OBLIQUO LASER SCAN TERRESTRE TLS		<ul style="list-style-type: none"> STIMA DI Jv, Vb DA GSI E COMPARAZIONE CON I PUNTI ID 8 E 9 DETERMINAZIONE DEL VOLUME CRITICO 	0,10 + 0,20 m (ALS) 0,02 + 0,10 m (TLS)	<ul style="list-style-type: none"> CARTA DI Jv / Vb E GSI IN ACCORDO CON I PUNTI ID 8 E 9 MODELLI 3D E/O SEZIONI OGNI 2 + 5 METRI DEI VOLUMI POTENZIALMENTE CRITICI
11	FAMIGLIE DI GIUNTI (INCLINAZIONE DIREZIONE / DIREZIONE DELL'IMMERSIONE)		<ul style="list-style-type: none"> FAMIGLIE DI GIUNTI (INCLINAZIONE DIREZIONE / DIREZIONE DELL'IMMERSIONE) ATTRAVERSO L'ANALISI LIDAR DIRETTAMENTE DAL DEM - TLS 	GRID ≤ 2 m	<ul style="list-style-type: none"> A COMPLETAMENTO DELLE FAMIGLIE DI GIUNTI DL PUNTO ID 9
12	POTENZIALI ZONE DI SCIVOLAMENTO		<ul style="list-style-type: none"> POTENZIALI ZONE DI MOVIMENTO PER OGNI FAMIGLIA DI GIUNTO (PLANARE E INTERSEZIONE) 	GRID ≤ 2 m	<ul style="list-style-type: none"> MAPPA DELLE POTENZIALI ZONE DI SCIVOLAMENTO E COMPARAZIONE CON LA CARTA DELLE PENDENZA/ACCLIVITA' (>50°, >60°, >70°) E L'AREA SORGENTE DI CROLLO
13	DOMINI DELLE FAMIGLIE DI GIUNTI DIP DIR/DIP COMBINAZIONE ALTEZZA PENDIO CUNEO DI CALCOLO PRESSIONI INTERSTIZIALI ACCELERAZIONE SISMICA		<ul style="list-style-type: none"> ALTEZZA DEL VERSANTE O ALTEZZA DEL VERSANTE DA ANALISI SOGGETTIVE PENDENZA>50°+COMBINAZIONE DELLA CARTA DELLA PENDENZA E ORIENTAZIONE DELLA PENDENZA (DIP DIR/DIP COMBINAZIONE) AREE OMOGENEE (DOMINI DEI GIUNTI + ALTEZZA PENDIO + A SCALA DEL CUNEO + PRESSIONI INTERSTIZIALI + ACCELERAZIONE SISMICA) ANALISI DEL CUNEO - Ed/Rd PER AREE OMOGENEE IN COMBINAZIONE CON DIP DIR/DIP DEL VERSANTE ANALISI AL RIBALTAMENTO PER AREE OMOGENEE IN COMBINAZIONE CON DIP DIR/DIP DEL VERSANTE 		<ul style="list-style-type: none"> SLOPE>50°+SLOPE ASPECT COMBINATION MAP (DIP DIR/DIP COMBINATION) ANALISI CUNEO - Ed/Rd CARTA MAPPATURA VOLUME DEL CUNEO vs Ed/Rd - DETERMINAZIONE PER ZONE OMOGENEE E COMBINAZIONE DIP DIR/DIP DEL VERSANTE ANALISI AL RIBALTAMENTO - Ed/Rd CARTA PER TUTTE LE SIMULAZIONI - DISTRIBUZIONE DELLA Ed/Rd FOR DIP DIR / DIP COMBINAZIONE DEL VERSANTE E VOLUME CUNEO/BLOCCO - PER Ed/Rd < 1 CARTA DELLA PROBABILITA' AL COLLASSO CARTA DELLA PROBABILITA' DEL COLLASSO CARTA DEI VOLUMI DEI BLOCCHI MOBILIZZABILI (COMBINAZIONE Vb DA ANALISI DEL CUNEO E RILEVAMENTO)
14	AFFIORAMENTI - TIPI DI SUOLO USO DEL SUOLO		<ul style="list-style-type: none"> TIPI DI SUOLO USO DEL SUOLO COEFFICIENTI DI RIMBALZO, ROTOLAMENTO E SCIVOLAMENTO 	GRID ≤ 2 m	<ul style="list-style-type: none"> CARTA DEGLI AFFIORAMENTI E DELL'USO DEL SUOLO
15	OPERE DI DIFESA PER CROLLI ESISTENTI	DSM - DEM - RILEVAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> RETI IN ADERENZA (EFFICACIA) RETI PARAMASSI (EFFICACIA) MURI (EFFICACIA) VALLI/RILEVATI (EFFICACIA) GALLERIE PARAMASSI (EFFICACIA) 	IN SPECIFICO CHECK LIST SUL TERRENO	<ul style="list-style-type: none"> CARTA DELL'EFFICIENZA DELLE OPERE DI DIFESA PER CROLLI - SCHEDA DELLE OPERE DI DIFESA

Tabella 9 - Parametri minimi per lo studio delle frane di crollo, in funzione della scala, con riferimento alla qualità dei dati delle tabelle 6, 7, 8

Requisiti minimi per le frane di crollo			Mappe								
			R Regionale			L Locale			S Sito-specifica		
			Innesco	Propagazione	Suscettibilità	Innesco	Propagazione	Suscettibilità	Innesco	Propagazione	Pericolosità
Dati di base	Geologia	Litologia (GTL)	Red	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red
		Orientazione delle discontinuità, struttura dell'ammasso				Red	Red	Red	Red	Red	Red
		Strutture tettoniche /lineamenti	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Inventario dei crolli	Archivio di eventi		Green		Red	Red	Red	Red	Red	Red
		Dati da rilevamento di terreno		Green		Red	Red	Red	Red	Red	Red
	Topografia	Foto aeree, mappe topografiche				Green	Green	Green	Green	Green	Green
		LIDAR - da aereo o elicottero	Immagini inclinate	Green		Green	Green	Green	Green	Green	Green
			Immagini verticali*				Yellow		Yellow		Yellow
		LIDAR - terrestre*									
	Digital Elevation Model (DEM)	Cell size ≤ 30m	Red	Red							
		Cell size ≤ 5m	Yellow	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red
		Cell size ≤ 2m	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	Uso del suolo	Scala ≥1:50.000	Red	Red	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
		Scala 1:25.000 – 1:5.000	Yellow	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red
		Scala ≥1:5.000	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Precisione di analisi	Aree sorgenti	Bassa	Red		Red		Red		Red		
		Media	Yellow		Yellow		Yellow		Yellow		
		Alta- eccellente				Yellow		Yellow		Yellow	
	Propagazione	Bassa		Red	Red		Red	Red		Red	
Media			Yellow	Yellow		Yellow	Yellow		Yellow		
Alta- eccellente											
Scopi	Informazione, screening	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
	Pianificazione del territorio				Red	Red	Red	Red	Red	Red	
	Progettazione contromisure							Red	Red	Red	

* in funzione delle dimensioni del sito può essere sostituito da rilievi topografici di dettaglio.

Red	Necessario (rosso)
Yellow	Raccomandato (giallo)
Green	Informazioni ausiliarie per livello avanzato (verde)
White	Non rilevante (bianco)

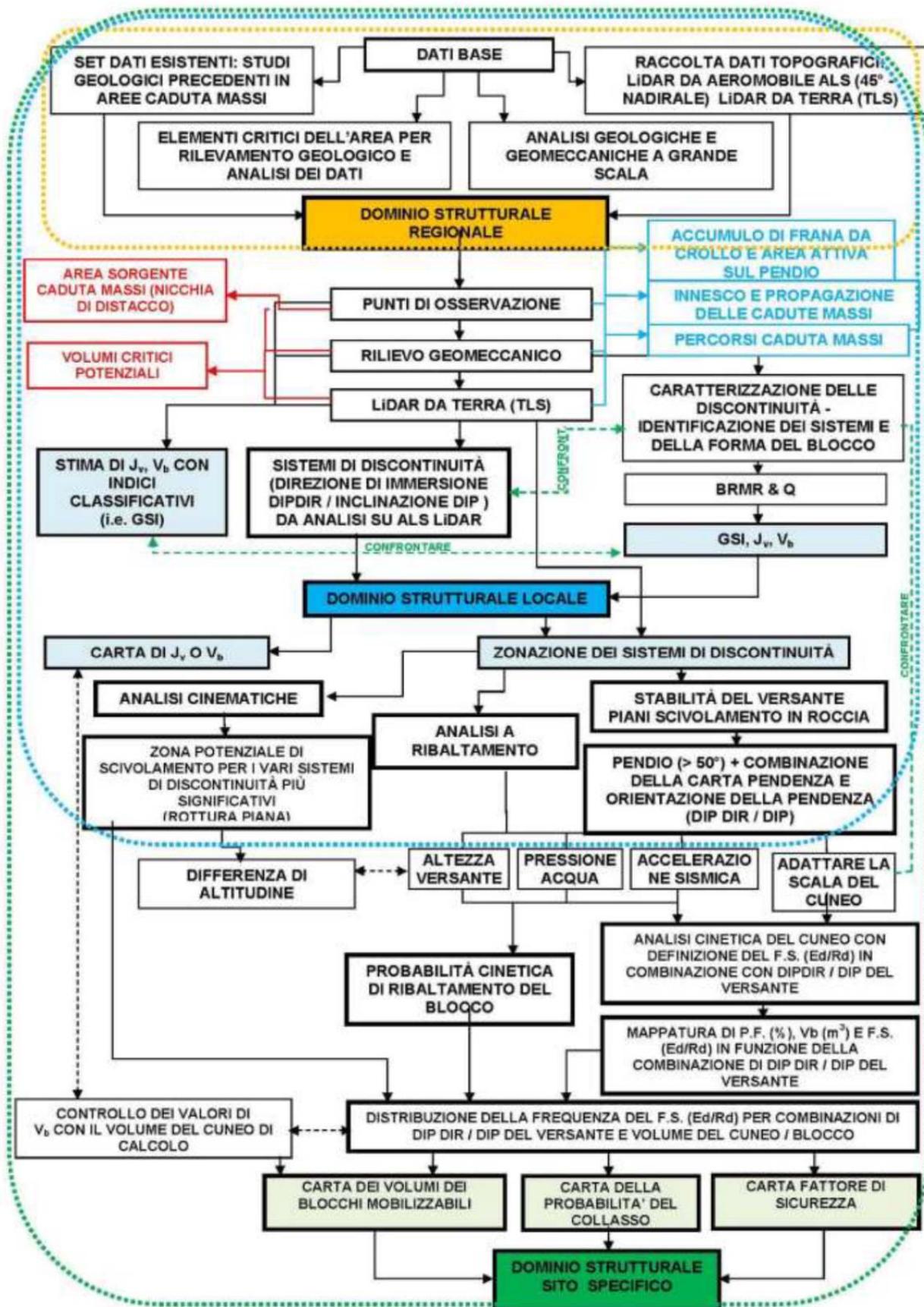
A4.1.5 - Diagramma di flusso procedurale

Lo schema di flusso da seguire per definire parametri e dati di base secondo un approccio a scala regionale, locale o di sito specifico è riportato nel diagramma 1.

La scala regionale, locale o di sito specifico definisce un dominio strutturale con grado di accuratezza crescente:

- A scala regionale si analizzano a grande scala dati già esistenti (geologia, tettonica, geomorfologia, geomeccanica) arrivando a definire il dominio strutturale regionale.*
- A scala locale si procede con analisi di maggior dettaglio per valutare le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso procedendo con analisi statistico-strutturali delle discontinuità più significative in termini di continuità e/o di frequenza, secondo i suggerimenti metodologici della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce (ISRM, 1979) e dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI, 1992) per definire il dominio strutturale locale.*
- A scala di sito specifico le indagini di maggior dettaglio prevedono di determinare il tipo di cinematismo potenzialmente instabile che può portare a fenomeni di scivolamento e ribaltamento in roccia. Un'analisi di stabilità condotta con il metodo dell'equilibrio limite viene poi svolta per ogni possibile cinematismo di scivolamento o ribaltamento così determinato, ottenendo i rispettivi fattori di sicurezza. La combinazione di tre carte di sintesi, quali la carta dei volumi dei blocchi mobilizzabili, la carta della probabilità del collasso e la carta del fattore di sicurezza, portano a definire il dominio strutturale a scala di sito specifico.*

Diagramma 1 – Diagramma di flusso procedurale



A4.2 - Metodi per la zonazione della suscettibilità e pericolosità per le frane di crollo

Nei vari metodi descritti viene indicata la sigla che riconduce agli strumenti operativi del capitolo 1.

A4.2.1 - Suscettibilità all'innescò

In questa sezione si assume che le zone di distacco dei massi (sorgenti) siano già state identificate tramite opportuni approcci (ad esempio morfometrici, geomorfologici, geomeccanici). Una volta che le fonti sono state identificate possono essere classificate in base alla loro suscettibilità all'innescò, cioè alla propensione a generare frane di crollo. La classificazione della suscettibilità all'innescò può essere eseguita con metodi euristici, statistici, o analisi di stabilità.

A4.2.1.1 - Classificazione euristica della suscettibilità all'innescò (R_O2, L_O1, S_O1)

La classificazione euristica può essere effettuata usando diversi approcci:

- metodi diretti
- metodi euristici indiretti
- metodi statistici

A4.2.1.1.1 - Metodi diretti

I metodi diretti consistono nella valutazione soggettiva della suscettibilità all'innescò sulla base dell'esperienza. Questo approccio richiede un'esperienza diretta dell'area di studio e, di solito, è adatto per un'analisi a scala locale e sito-specifica (L_O1, S_O1).

Un esempio di tale metodologia è stata proposta da Harp e Noble (1993) in relazione ad aree interessate da fenomeni di crollo/ribaltamento indotti da un terremoto $M = 6.0$. Sulla base del valore di qualità dell'ammasso roccioso (Q), determinato in sito secondo la classificazione di Barton modificata (1998) è possibile determinare indicativamente il numero di crolli/ribaltamenti attesi. Sulla base di tale metodologia è possibile effettuare una discretizzazione in classi con suscettibilità crescente in funzione del valore di Q dell'affioramento di ammasso roccioso considerato (categoria A, con $Q = 0.1 - 1.41$ molto suscettibile, categoria B, con $Q = 1.42 - 2.83$ suscettibile, categoria C, con $Q = 2.84 - 3.87$ moderatamente stabile e categoria D, con $Q > 3.87$).

A4.2.1.1.2 - Metodi euristici indiretti

I metodi euristici indiretti si basano sulla definizione dei rapporti funzionali tra i parametri di controllo geo-ambientali e la suscettibilità all'innesco. L'approccio più semplice (L_O1) si basa sull'uso di informazioni topografiche, geologiche, mappe dell'uso del territorio e delle infrastrutture (Baillifard et al., 2003). Essendo queste mappe normalmente disponibili anche a scala regionale, questo approccio è adatto per l'analisi su scala regionale.

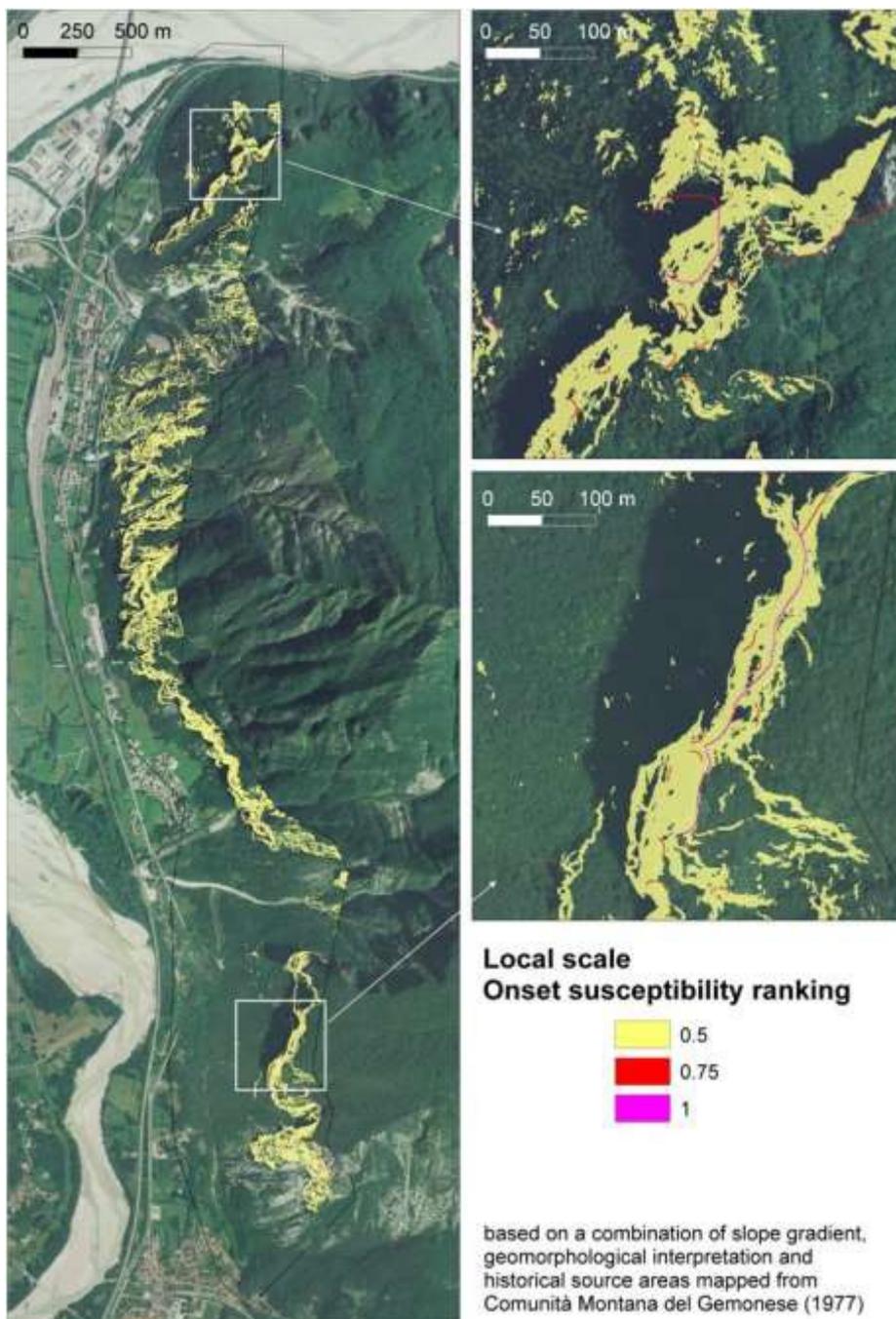


Figura 1 - Esempio della classificazione della suscettibilità all'innesco (ref: L_O1) con un semplice approccio euristico per l'area di studio di Venzone-Carnia (Friuli Venezia Giulia). L'approccio si basa sulla somma di fonti di informazioni (rilievo

geomorfologico, mappa delle aree sorgenti storiche, pendenza elevata) da cui sono mappate le aree sorgenti: 0.5 = una fonte; 0.75 = due fonti; 1 = tre fonti.

Metodi euristici più avanzati (ad esempio per S_01) fanno uso di dati geomeccanici per la definizione della suscettibilità all'innesco. Un possibile approccio è il metodo RHAP (Rockfall Hazard Assessment Procedure - Mazzoccola e Sciesa, 2000) presentato nell'ambito del Progetto Interreg Falaise (figura 2).

La metodologia denominata RHAP, sviluppata nell'ambito del progetto Interreg II C - Falaises, si riferisce alla valutazione della pericolosità da crollo di singoli blocchi o per crolli di massi fino a una volumetria massima complessiva di 1000 m³. Nonostante sia stata sviluppata per la risoluzione di problematiche inerenti al territorio lombardo, essa risulta applicabile a qualunque parete rocciosa soggetta a crolli in quanto non legata a particolari condizioni litologiche, strutturali o morfologiche.

La zonazione della pericolosità da crollo risultante dall'applicazione della metodologia, valida per una scala di dettaglio, è sito specifica e non è confrontabile con altri siti studiati separatamente. Questo è dovuto al fatto che ciascun sito analizzato risulterà sempre suddiviso in aree a pericolosità da bassa a elevata, indipendentemente dal valore assoluto della pericolosità. Nei casi in cui la probabilità di accadimento sia estremamente bassa, la metodologia prevede un valore soglia al di sotto del quale la zonazione della pericolosità non è più significativa.

Da un punto di vista applicativo la metodologia consta di due fasi principali:

- 1) La valutazione delle traiettorie e delle aree di possibile espansione delle frane. In questa fase viene realizzata una zonazione della pericolosità preliminare. La metodologia prevede un approccio semi-quantitativo dovuto alla difficoltà di reperire dati in tempi ristretti e quindi all'impossibilità di una completa valutazione dell'intensità del fenomeno che funzione anche del suo volume e della sua velocità.
- 2) La valutazione della pericolosità di accadimento dei fenomeni, risultante in una zonazione della pericolosità delle aree di distacco. In termini rigorosamente probabilistici, la probabilità d'accadimento andrebbe valutata in base a serie storiche da cui ricavare periodi di ritorno. Anche in questo

caso, data la difficoltà di reperire dati storici completi, si ricorrere ad una valutazione dei sintomi d'attività.

Le due zonazioni così ottenute sono poi integrate per ottenere la pericolosità totale.

Per applicare la metodologia è necessario individuare i settori della parete rocciosa soggetti a crolli. In seguito si procede con la delimitazione delle aree omogenee sulla base delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso ricavate da rilievi in sito e delle caratteristiche morfologiche del versante lungo le traiettorie di discesa (zone di transito e d'arresto) dei blocchi (e.g. altezza della parete e pendenza del versante sottostante); questi parametri vengono poi utilizzati nella modellazione numerica. In ciascuna delle aree omogenee così definite, vengono selezionate una o più traiettorie di discesa dei blocchi su cui effettuare analisi di rotolamento tramite simulazioni di caduta con modelli numerici di tipo stocastico supportate da rilievi geomeccanici e da osservazione degli accumuli di detrito.

Le simulazioni di caduta massi con modelli numerici devono considerare i seguenti parametri:

- 1) Zona sorgente dei blocchi, in genere la sommità della parete;
- 2) Volumetria dei massi: le dimensioni modali, valutate tramite analisi statistica (istogramma di frequenza) del detrito alla base della parete in esame e/o in base alla fratturazione in parete, ricavata da rilievi geomeccanici. Possono essere considerati più valori modali nel caso in cui la distribuzione sia bi- o polimodale. Oltre ai volumi modali si prenda in considerazione anche il volume maggiore o quello del blocco che ha raggiunto la distanza massima ed eventualmente il blocco potenzialmente instabile di maggiori dimensioni riscontrato in parete.
- 3) Forma: dovrà essere utilizzata nella simulazione la forma più simile alla quella modale osservata nel detrito o in parete.
- 4) Coefficienti di restituzione e rugosità: vanno valutati attraverso un rilievo puntuale delle traiettorie di caduta, sia preesistenti che ipotizzate, prestando particolare attenzione al tipo di superficie, tipo di vegetazione presente, profondità e distanza tra solchi di impatti precedenti, eventuali danni a strutture e piante, ecc.

- 5) Numero di simulazioni: essendo un'analisi di tipo probabilistico, è necessario effettuare numerose simulazioni di caduta (si consigliano 400 cadute per ogni traiettoria).

Sulla base dei risultati ottenuti si esegue una zonazione preliminare, longitudinale, delle traiettorie di caduta suddividendole in 3 zone:

- a) di transito e di arresto del 70% dei blocchi;
- b) di arresto del 95% dei blocchi;
- c) di arresto del 100% dei blocchi.

Queste percentuali sono valutate sulla totalità delle simulazioni effettuate, per ogni traiettoria, sui blocchi modali di qualsiasi forma considerata. A queste zone vengono assegnate le classi di pericolosità relativa: 4 (a), 3 (b), 2 (c). In aggiunta si delimita un'area di pericolosità residua (zona l) utilizzando la distanza massima raggiunta dal blocco di maggiori dimensioni oppure la distanza massima raggiunta da massi di crolli precedenti.

In seguito si effettua la valutazione della probabilità di accadimento del fenomeno in ciascuna delle aree omogenee, definendo la propensione al distacco dei blocchi. A tale scopo la parete viene suddivisa in maglie con lato variabile da 5 m fino ad un massimo di 20 m, in funzione della complessità geomeccanica dell'area omogenea in esame o in base alle dimensioni della parete investigata. Per ciascuna maglia si verifica la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- 1) fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
- 2) blocchi ruotati;
- 3) zone intensamente fratturate;
- 4) superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
- 5) emergenze di acqua alla base dei blocchi.

Ad ogni maglia viene quindi associato un valore dato dalla somma del numero di elementi di instabilità presenti. Poi, per ogni area omogenea viene calcolata la somma di tutti gli elementi di instabilità presenti ricavando la percentuale di instabilità in relazione al numero massimo ottenibile nell'area omogenea, dando a ciascuna maglia il valore massimo 5.

In base alle percentuali ricavate, le aree omogenee vengono raggruppate in 3 gruppi a differente attività relativa per il sito indagato: alta, media, bassa. Non vengono

indicati valori di percentuali assolute per evitare che gran parte delle aree omogenee risultino avere lo stesso valore di pericolosità, impedendo una zonazione. Tuttavia, nel caso in cui tutte le aree omogenee presentino percentuali inferiori al 10% non si ritiene necessario effettuare la zonazione della pericolosità.

La zonazione finale della pericolosità viene definita utilizzando i valori delle classi di pericolosità relativa della zona di transito e accumulo dei blocchi, opportunamente aumentati di 1, mantenuti costanti, o diminuiti di 1 a seconda che le pareti sovrastanti appartengano ai gruppi di attività alta, media o bassa rispettivamente. Si ottengono in questo modo le 5 classi di pericolosità previste dalla metodologia, da H1 a H5.

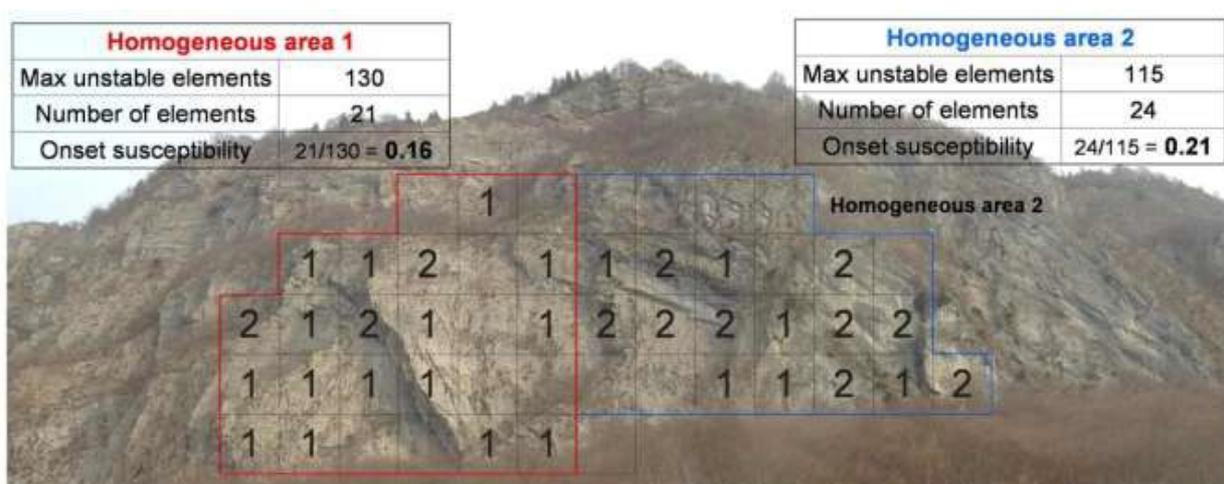


Figura 2 - Esempio di zonazione della suscettibilità sito-specifica (S_01) con il metodo RHAP per una sub-area della zona di studio di Timau (Friuli Venezia Giulia).

A4.2.1.1.3 - Metodi statistici

La relazione funzionale tra i parametri di controllo geo-ambientali e la suscettibilità all'innescò può essere analizzata utilizzando approcci statistici bivariati o multivariati. Un esempio è stato presentato da Frattini et al. (2008) per un'analisi su scala regionale. L'approccio è basato sull'uso di analisi discriminante per classificare l'attività di pareti rocciose in base a diversi parametri geo-ambientali (litologia, densità di lineamenti, pendenza, esposizione, curvatura, ecc.).

A4.2.1.2 - Analisi di stabilità (L_O2, S_O2)

L'analisi di stabilità dell'ammasso roccioso consente sia di valutare la fattibilità cinematica di modalità specifiche di rottura (Hoek e Bray, 1981), sia di calcolare il fattore di sicurezza di blocchi sottoposti a specifici set di sforzi resistenti e destabilizzanti. Ai fini della valutazione della suscettibilità da crollo, l'analisi di

stabilità permette di discriminare i settori di una parete rocciosa che sono cinematicamente più adatti a crollare, o più vicini a condizioni critiche (limite di equilibrio), e classificare di conseguenza la loro suscettibilità. Possono essere individuate e considerate idonee due principali sistemi di analisi di stabilità:

- analisi cinematica;
- analisi all'equilibrio limite.

A4.2.1.2.1 - Analisi cinematica

L'analisi cinematica distribuita (Guenther, 2003; Guenther et al, 2004) include diversi metodi per verificare la fattibilità cinematica per rottura planare, a cuneo, o ribaltamento in funzione dell'orientamento dei giunti e dell'esposizione del versante. Esistono metodi che combinano tutti gli orientamenti delle discontinuità misurate (Matheson, 1983) o solo i valori di orientamento modali per diversi set di discontinuità. I metodi di analisi cinematica presuppongono in generale discontinuità planari e persistenti, resistenza al taglio puramente attritiva, ed in generale forniscono risultati conservativi. Dato un certo numero di possibili meccanismi di rottura, una suscettibilità di innesco può essere valutata in base al numero totale di possibili modalità di rottura per ciascuna unità di versante, oppure in base al rapporto tra il numero di possibili modalità di rottura e tutte le modalità di rottura teoriche.

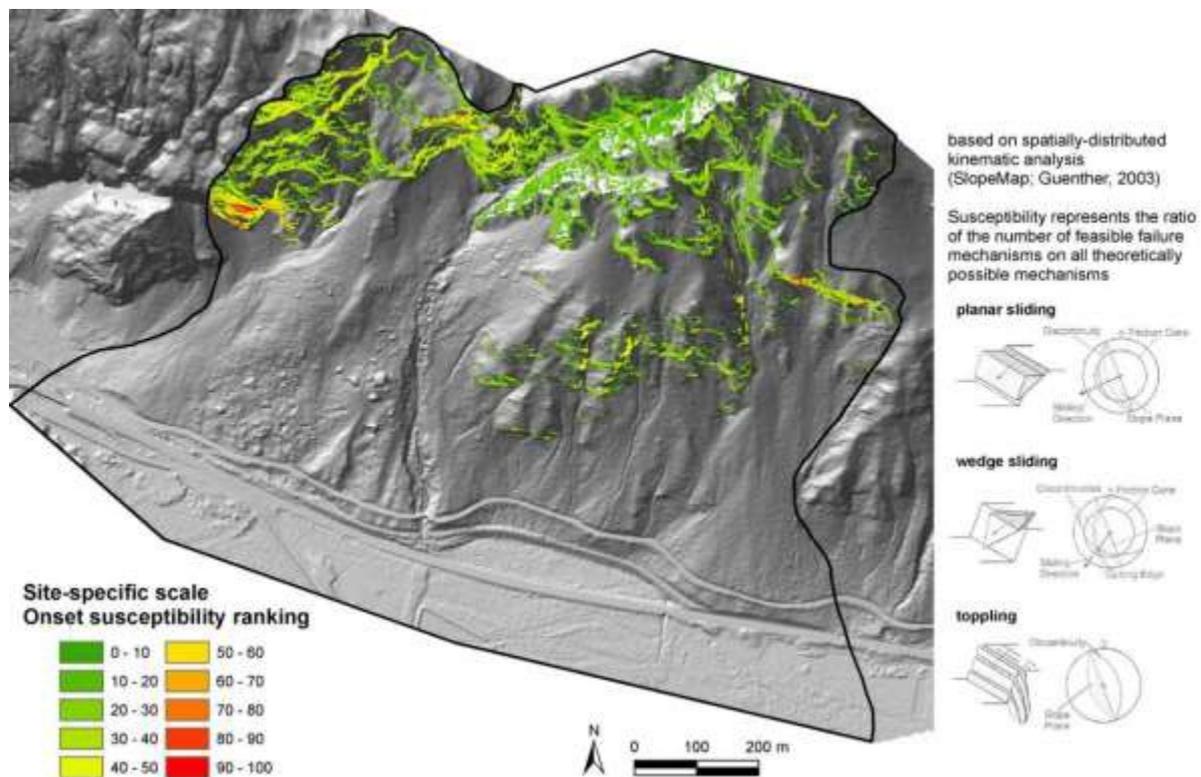


Figura 3 - Esempio di classificazione della suscettibilità all'innescio sito-specifica (S_O2) con analisi cinematica spazialmente distribuita per rotture planari, a cuneo e ribaltamenti. Sub-area della zona di studio di Villa Santina (Friuli Venezia Giulia).

Dati di input (per la modellizzazione in GIS):

- geometria del versante: pendenza ed esposizione da DEM (la risoluzione è importante)
- parametri: orientazione delle discontinuità e stima dell'angolo d'attrito sulle pareti dei giunti.

Dati di output:

- mappa della fattibilità cinematica per diverse modalità di rottura

Vantaggi:

- facile implementazione in ambiente GIS
- facile zonazione della suscettibilità

Svantaggi:

- conservativo
- non considera le forze e non effettua una valutazione del fattore di sicurezza

A4.2.1.2.2 - Analisi all'equilibrio limite

L'analisi all'equilibrio limite (LEA) può essere eseguita per determinati tipi di condizioni di instabilità, geometrie e condizioni al contorno. La LEA può essere effettuata con un approccio deterministico o probabilistico per includere incertezze e variabilità dei parametri, nello specifico con un approccio probabilistico si ottiene una probabilità di rottura.

Una predizione temporale può essere associata ad uno scenario determinato se è possibile incorporare nell'analisi il tempo di ricorrenza di un specifico evento scatenante (ad es. magnitudo dei terremoti, precipitazioni, ecc.).

A4.2.2 - Modellazione della propagazione

Attualmente esiste una grande varietà di modelli di calcolo per la modellazione della propagazione dei blocchi. I modelli esistenti possono essere classificati in due gruppi principali: modelli empirici e modelli fisicamente basati (Dorren, 2003). I modelli empirici sono basati su ipotesi semplificate e generalmente si basano sui dati acquisiti in una zona studio, analizzati con metodi statistici. I modelli fisicamente basati permettono di descrivere o simulare i processi fisici di moto di caduta massi sulla superficie topografica.

A4.2.2.1 -Metodi empirici (R_01)

Per la determinazione dell'area interessata da caduta massi su scala regionale sono stati proposti diversi approcci empirici (Domaas, 1994, Keylock e Domaas, 1999). Il metodo più largamente adottato per analizzare la distanza di propagazione di frane di crollo si basa su approcci geometrici: 1) l'angolo della linea più breve tra la parte superiore della scarpata da cui si sono distaccati i blocchi e il punto di arresto ("Fahrböschung" Heim, 1932, Toppe, 1987; reach angle, Corominas, 1996; geometrical slope angle, Meißl, 1998) e 2) l'angolo della linea più breve tra l'apice del cono di detriti e il punto di arresto dei blocchi (Lied, 1977; minimum shadow angle, Evans e Hungr, 1993) (Fig. 5)

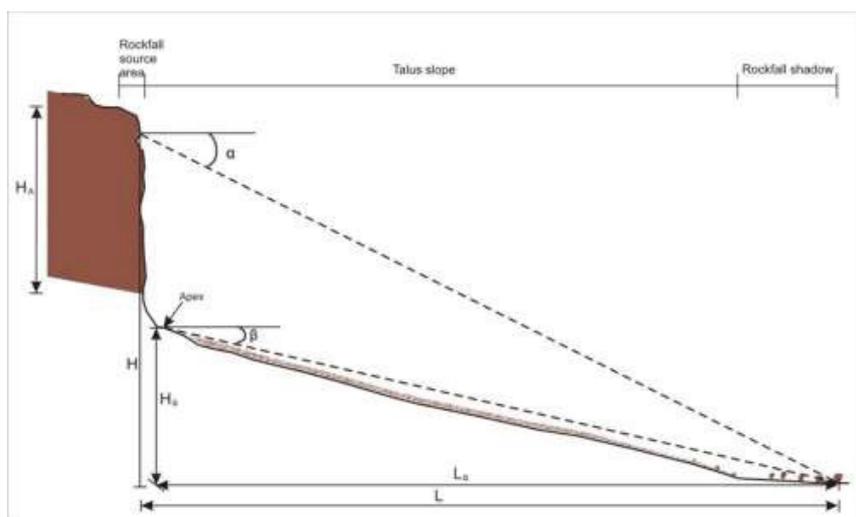


Figura 5 - Schema di un tipico profilo di caduta massi con indicazione dell'angolo α e dell'angolo β (da Meißl 1998)

I metodi empirici possono essere applicati nella pratica utilizzando diversi approcci:

- analisi lungo profili selezionati per cui viene calcolata la distanza massima usando l'angolo α o β , e quindi interpolazione manuale dei risultati lungo profili per definire una zona di caduta massi;

- applicazione di un modello bidimensionale in ambiente GIS per definire la zona d'ombra tra il punto di origine e la zona definita distalmente dall'angolo α ($\sigma\beta$) (per es. CONEFALL, Jaboyedoff e Labiouse, 2003).

A4.2.2.1.1 - Angolo α (reach angle, geometrical slope angle)

L'angolo della linea più breve tra la parte superiore della parete sorgente da cui si sono distaccati i blocchi e il punto di arresto è basato sulla teoria della "linea di energia" (Heim, 1932).

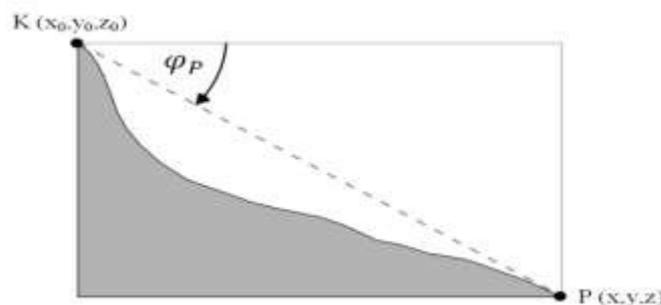


Figura 6 - Geometrical sketch for energy-line approach (Heim, 1932).

Dal rapporto geometrico tra un punto K della parete con coordinate (x_0, y_0, z_0) e un punto sottostante casuale ($z < z_0$) P con coordinate (x, y, z) (Fig. 6), vale la seguente relazione matematica (Jaboyedoff, 2003):

$$0 > (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - \tan\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_P\right)^2 \cdot (z - z_0)^2$$

In letteratura sono stati riportati diversi valori dell'angolo α : 28,5 ° (Onofri e Candian, 1979), 32 ° (Toppe, 1987), 37 ° (Meißl, 1998), 33 ° (Heinimann et al 1998), 36,9 ° (Copons et al, 2009); 34-40 ° (Melzner, 2009).

Questi valori possono essere molto diversi in funzione di: altezza della parete, uso del percorso effettivo rispetto alla linea diretta, percentuale di blocchi involuppati da un certo angolo, ecc. Di conseguenza, l'applicabilità dell'angolo α è limitato da questi problemi e i valori devono essere calibrati per ogni singolo caso di studio.

Dati di input:

- geometria del versante: DEM (la risoluzione non è molto importante);
- aree sorgenti: punti, linee o poligoni;

- parametri: angolo α , (opzionale) apertura del cono rispetto alla direzione della pendenza (per approccio 2D).

Dati di output:

- distanza di massima propagazione o zona interessata dalla massima propagazione;
- (opzionale) numero di celle che potenzialmente contribuiscono alla caduta in ogni cella, velocità calcolata con l'approccio della linea di energia.

Vantaggi:

- bassa sensibilità alla risoluzione del DEM;
- facile implementazione su aree di grandi dimensioni;
- facile zonazione della "susceptibilità".

Svantaggi

- necessità di calibrazione sito per sito dell'angolo α , soprattutto in relazione all'altezza della parete;
- impossibilità di assegnare una susceptibilità di innesco.

A4.2.2.1.2 - Angolo β (minimum shadow angle)

L'angolo β si basa sull'idea che la distanza è controllata dalla propagazione lungo la scarpata, poiché l'energia cinetica acquisita durante la caduta dalla roccia è in gran parte persa al primo impatto con la scarpata (Evans S.G. e Hungr O., 1993). Il vantaggio dell'angolo β è che è meno sensibile alla altezza della parete rocciosa. Tuttavia, i valori riportati in letteratura sono significativamente diversi anche per questo angolo: 28-30 ° (Lied, 1977), 17 ° (Domaas, 1994), 31,5 ° (Meißl, 1998), 22 ° (Wieczorek et al, 1998.), 24 ° -27,5 (Evans S.G. e Hungr O., 1993), 25,5 ° (Copons e Villaplana, 2008), 21 ° (Holm e Jakob, 2009).

Dati di input:

- geometria del versante: DEM (la risoluzione non è molto importante);
- apice della scarpata: punti, linee o poligoni;
- parametri: angolo β , (opzionale) apertura del cono rispetto alla direzione della pendenza (per approccio 2D).

Dati di output:

- distanza di massima propagazione o zona interessata dalla massima propagazione;
- (opzionale) numero di celle che potenzialmente contribuiscono alla caduta.

Vantaggi:

- bassa sensibilità alla risoluzione del DEM;
- facile implementazione su aree di grandi dimensioni;
- facile zonazione della "susceptibilità";
- limitata sensibilità all'altezza della parete.

Svantaggi:

- impossibilità di assegnare una suscettibilità di innesco.

A4.2.2.2 - Modellazione 2D

I modelli 2D simulano il movimento (caduta, rimbalzo e rotolamento) dei blocchi lungo un profilo (Bozzolo e Pamini, 1986; Pfeiffer e Bowen, 1989; Stevens, 1998; Jones et al, 2000). Analizzando grandi superfici è necessario individuare una serie di profili "rappresentativi" ed eseguire una simulazione per ciascun profilo (Fig. 7). I risultati possono essere spazialmente distribuiti tramite interpretazione geomorfologica o mediante interpolazione dei dati in uscita sull'energia o sulla frequenza del blocco arrestato lungo il pendio 2D.

Dati di input:

- geometria del versante: sezioni trasversali lungo i percorsi più probabili;
- materiali del versante: coefficienti di restituzione per l'impatto e di attrito per il rotolamento. Possibilità di introdurre una variazione stocastica ai parametri.

Dati di output:

- traiettorie 2D, profili di velocità, distribuzione dei punti di arresto.

Vantaggi:

- facile implementazione con profili di pendenza;
- facile visualizzazione di impatti e rimbalzi lungo il profilo.

Svantaggi:

- non possono essere considerati gli effetti 3D;
- difficoltà di interpolare tra i diversi profili;
- soggettività nella scelta della posizione del profilo.

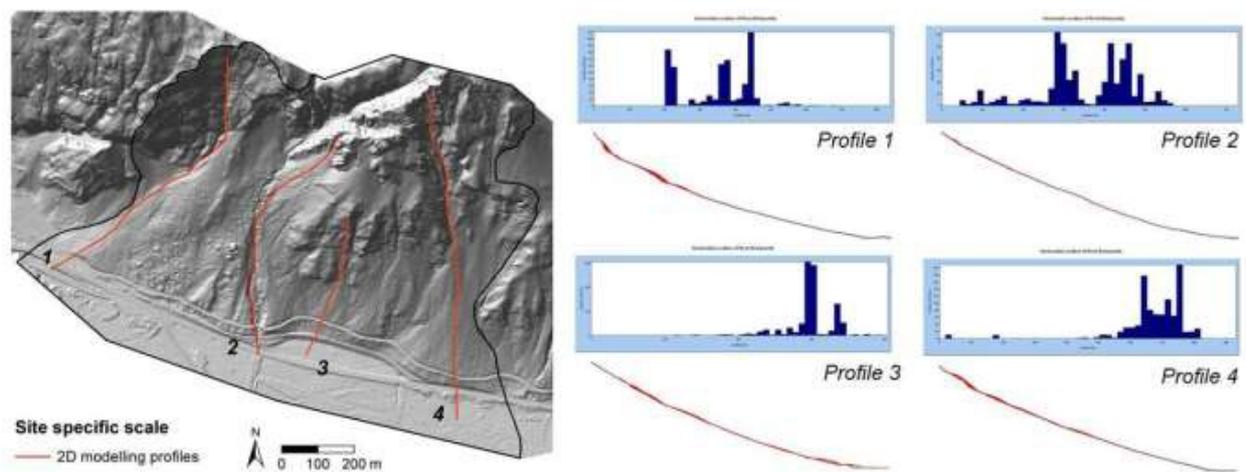


Figura 7 - Esempio di modellazione 2D sito specifica (S_R) per una sub-area della zona di studio di Villa Santina (Friuli Venezia Giulia).

A4.2.2.3 - Modellazione 3D

I modelli 3D sono in grado di simulare il movimento di un blocco lungo un pendio includendo la dispersione laterale delle traiettorie a causa della complessità morfologica (Descoeurdes e Zimmermann, 1987; Guzzetti et al, 2002; Agliardi e Crosta, 2003; Crosta et al, 2004; Dorren et. al, 2006; Lan et al, 2007). I risultati sono distribuiti su tutta l'area di studio, senza necessità di interpolazione dei dati (Fig. 8). La modellazione 3D richiede una copertura completa spaziale dei dati, che in generale sono più complessi e difficili da maneggiare. L'affidabilità di questi modelli dipende dalla qualità degli algoritmi utilizzati per la simulazione di processi fisici, dalle ipotesi introdotte, dalla disponibilità e qualità dei dati, ecc.

Dati di input:

- geometria del versante: DEM (la risoluzione è molto importante);
- aree sorgenti: layer raster con localizzazione delle celle di origine;
- parametri: coefficienti di restituzione, coefficiente di attrito volvente, massa, volume e forma del blocco, altri parametri per fenomeni complessi.

Dati di output:

- traiettorie 3D;
- statistiche per ogni cella (ad esempio per numero di transiti, velocità, altezza, energia).

Vantaggi:

- simulazione di effetti 3D;
- possibilità di effettuare una valutazione quantitativa dei pericoli;
- facile zonazione della pericolosità;
- possibilità di simulare fenomeni complessi;

Svantaggi:

- forte sensibilità alla risoluzione del DEM;
- necessità di calibrazione dei parametri che sono spesso sconosciuti;
- necessità di algoritmi robusti e significativi;
- calibrazione più difficile.

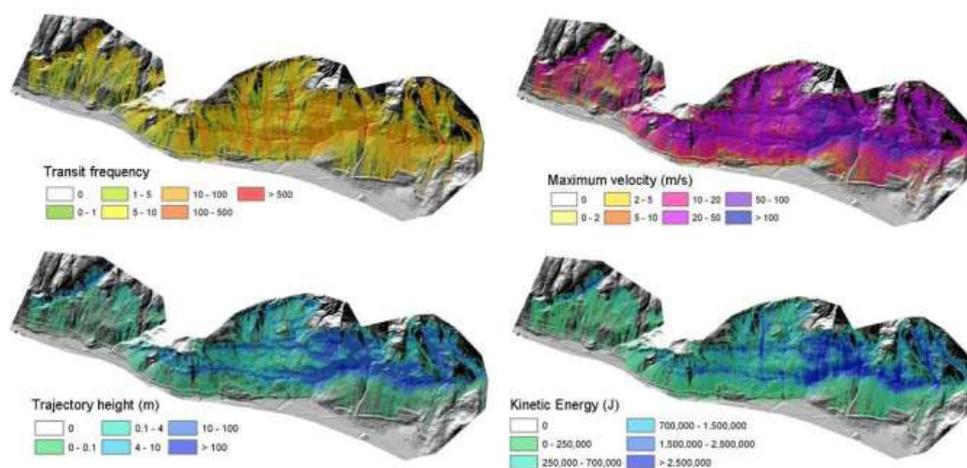


Figura 8 - Esempio di modellazione 3D a scala locale (ref. L_R) per l'area di studio di Timau (Friuli Venezia Giulia).

A4.2.3 - Zonazione della suscettibilità

A4.2.3.1 - Massimo espandimento, zonazione dell'area di massimo espandimento (R_S1, R_S2)

La forma più semplice di zonazione della suscettibilità da caduta massi è la mappatura della massima area potenzialmente interessata da caduta massi. In questo caso non viene fornita una zonazione ulteriore basata sulla probabilità di transito e non si dice nulla sulla distribuzione spaziale dell'intensità (ad esempio velocità, energia cinetica, altezza). Un'ulteriore valutazione della suscettibilità richiede una stima della frequenza relativa di transito dei blocchi in un certo punto del versante. Questa informazione può essere facilmente ottenuta utilizzando strumenti di modellazione 2D e 3D. In generale, una semplice valutazione del massimo espandimento della caduta massi (senza ulteriore zonazione) è considerata utile solo come "requisito minimo" per studi su scala regionale, dove la modellazione 2D non è fattibile e la modellazione 3D potrebbe essere troppo onerosa per le finalità di una semplice analisi preliminare della caduta massi. In questi casi, una prima stima di caduta massi può essere effettuata utilizzando l'approccio del cono d'ombra, con o senza una semplice zonazione in base al numero di "coni d'ombra" (ciascuno proveniente da una cella sorgente) che insistono su ogni punto della scarpata (Jaboyedoff e Labiouse, 2003).

A4.2.3.2 - Suscettibilità all'innescò + frequenza di transito (L_S)

Un approccio tipico di valutazione della suscettibilità tramite l'utilizzo di modelli 2D è l'analisi della percentuale di blocchi che passano oltre una certa distanza. Questo approccio permette di tracciare linee di pari "probabilità" di transito o di arresto interpolando tra più profili i risultati di modelli 2D. Il principale limite di tale approccio è che un modello 2D non può simulare la possibile deviazione

laterale delle traiettorie, sopravvalutando di fatto la frequenza dei blocchi che passano attraverso ogni profilo. Utilizzando modelli 3D è possibile definire una frequenza di transito per ogni elemento di scarpata tenendo conto della possibile deviazione laterale delle traiettorie causata da morfologie complesse. Normalmente l'analisi della frequenza di transito viene eseguita simulando un gran numero di blocchi da ogni area sorgente ed introducendo un'incertezza sui parametri (volume del blocco, coefficienti di restituzione, coefficienti di attrito volvente, ecc.) attraverso un approccio stocastico.

Un esempio di questo approccio è dato dalla metodologia RHAP (Mazzacolla e Sciesa, 2000). Concepito per l'utilizzo con modelli 2D, il metodo RHAP si applica a frane di crollo sia in singoli blocchi sia in massa con volumi superiori a 1000 m³, ed è adatto per studi a scala locale. Il metodo permette di classificare la suscettibilità da crollo in modo relativo per un singolo sito. Per questo motivo, suscettibilità calcolate per siti diversi non sono comparabili in valore assoluto. La metodologia consente di combinare una zonazione euristica della suscettibilità all'innesco con un'analisi 2D della propagazione dei blocchi. Per ciascuna zona sorgente caratterizzata da un certo valore di suscettibilità all'innesco, vengono individuate uno o più traiettorie rappresentative per eseguire simulazioni 2D con approccio stocastico. Le simulazioni sono effettuate considerando i volumi modali di blocchi e la forma tipica, mentre la taratura dei coefficienti di restituzione è effettuata utilizzando i dati storici o l'estensione di depositi di detrito alla base delle pareti. Dalla percentuale di blocchi che passa ad una distanza determinata il versante è suddiviso in 4 zone con diversi livelli preliminari di suscettibilità: 4 (75% dei blocchi), 3 (90%), 2 (100%), 1 (estensione di blocchi eccezionali). La classificazione preliminare viene modificata in base alla suscettibilità all'innesco in modo semplice. Quest'ultima viene riclassificata in tre classi di attività: bassa, media, alta. Questa classificazione viene poi utilizzata per modificare la mappa preliminare di suscettibilità incrementando (attività alta) o decrementando (attività bassa) il grado di suscettibilità finale.

A4.2.3.3 - Suscettibilità all'innesco + frequenza di transito + energia (L_S)

Utilizzando modelli 2D o 3D è possibile calcolare una frequenza di transito per ciascun punto del versante (di solito un pixel), nonché una serie di descrittori di intensità (per es. velocità, energia cinetica, altezza). Normalmente, l'analisi viene eseguita simulando un gran numero di blocchi di partenza da ogni area sorgente, e introducendo l'incertezza di parametri (volume del blocco, coefficienti di restituzione, coefficienti di attrito volvente, ecc.) attraverso un approccio stocastico. Un approccio concettualmente simile (per es. combinando la frequenza di transito e

L'intensità) è stato implementato con la modellazione 2D da Jaboyedoff et al. (2005), al fine di consentire la valutazione della suscettibilità ai sensi della normativa svizzera.

Nell'approccio RHV (Rockfall Hazard Vector - Crosta e Agliardi, 2003), la suscettibilità in un determinato punto si presume essere una funzione della frequenza di transito, dell'energia cinetica del blocco e dell'altezza della traiettoria. L'approccio valuta così la suscettibilità, tenendo conto sia della frequenza sia dell'intensità. I parametri richiesti possono essere calcolati per ciascun punto eseguendo una modellazione 3D di propagazione a un livello di dettaglio adeguato (a seconda della scala di analisi).

La metodologia segue questi step:

- individuazione delle sorgenti potenziali di caduta massi e caratterizzazione della loro suscettibilità all'innescio;
- modellazione della propagazione della caduta massi utilizzando uno strumento di modellazione 3D;
- estrazione e riclassificazione per ogni cella del modello di: frequenza di transito (c), altezza massima (h) ed energia cinetica media o massima (k) (Fig. 9);
- calcolo del modulo dell'RHV definito come:

$$|RHV| = \sqrt{c^2 + e_c^2 + h^2}$$

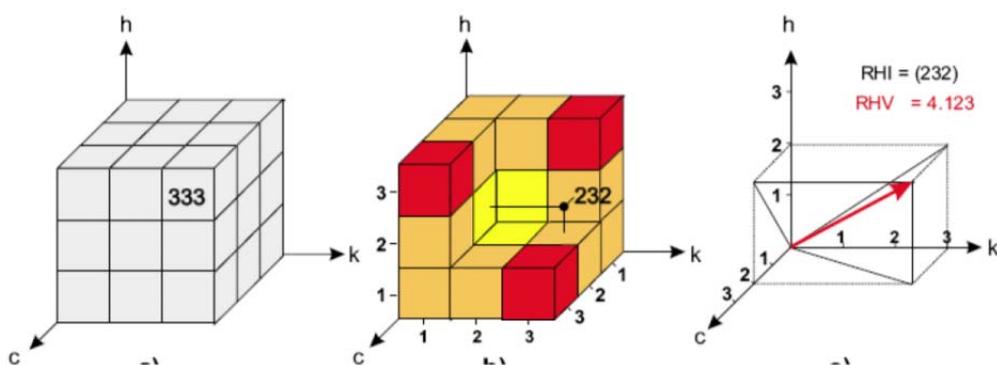


Figura 9 - Definizione dei parametri per il metodo RHV (da Crosta e Agliardi, 2003).

class	c (normalised)		k (kJ)	h (m)
	regional scale	local scale		
1	< 0.2	< 0.01	≤ 700	≤ 4
2	0.2 – 1	0.01 – 0.1	700 – 2500	4 – 10
3	> 1	> 0.1	≥ 2500	≥ 10

Figura 10 - Esempio di Riclassificazione dei parametri nel metodo RHV (da Crosta e Agliardi, 2003).

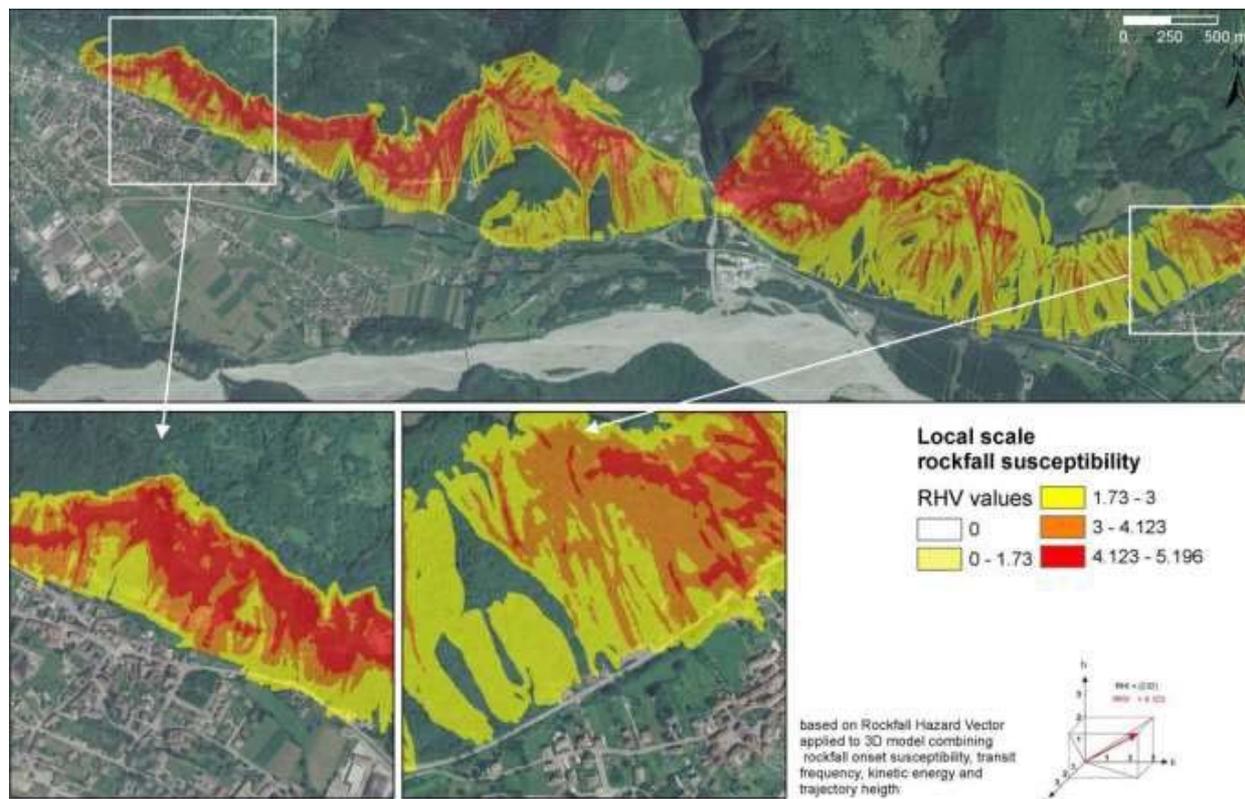


Figura 10 - Esempio di zonazione della suscettibilità a scala locale con l'approccio dell'RHV (L_S) per l'area di studio di Villa Santina (Friuli Venezia Giulia).

A4.2.4 - Zonazione della pericolosità

Il passaggio che porta alla definizione della pericolosità e alla sua successiva zonazione è la ricorrenza temporale di un fenomeno che resta l'incognita fondamentale e più difficile da determinare.

A4.2.4.1 - Frequenza attesa associata ad uno scenario di riferimento

L'approccio più semplice e semplicistico per la valutazione della probabilità temporale è di assegnare una frequenza attesa ad uno scenario che è considerato il più "rappresentativo" per l'area di studio. Questa è una forte semplificazione, poiché è ben noto che la frequenza dipende dal volume della frana.

La frequenza prevista può essere definita utilizzando approcci euristici o statistici.

A4.2.4.1.1 - Approccio euristico (L-H1, L-H2, S_H1)

La valutazione euristica della probabilità viene eseguita tramite una stima soggettiva della frequenza degli eventi basata su:

- conoscenza approfondita delle condizioni geologiche (sismicità, strutture, litologia, ecc.);
- frequenza degli eventi passati;
- somiglianza con altre aree per le quali sono disponibili dati.

Un esempio di stima euristica della probabilità temporale è l'approccio utilizzato nella metodologia BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 1998). Questa metodologia richiede una stima della frequenza e dell'intensità, consentendo così di eseguire, anche se in maniera semplificata, una valutazione della pericolosità reale. La metodologia BUWAL richiede in primo luogo l'individuazione di aree potenzialmente interessate da uno scenario di caduta massi. Normalmente è considerato un solo scenario, essendo questo lo scenario più "rappresentativo". Per questo scenario, viene stimata l'intensità in termini di volume prevedibile e velocità, utilizzando tabelle che permettono di assegnare classi di intensità in base a intervalli di valori di questi due parametri. Per quanto riguarda la velocità, i fenomeni di caduta massi appartengono sempre alla classe 3 secondo la classificazione BUWAL. Per lo scenario "rappresentativo", la probabilità è stimata utilizzando quattro classi di tempo di ricorrenza, T_r : alto ($T_r < 30$ anni), medio ($30 < T_r < 100$ anni), basso ($100 < T_r < 300$ anni), molto basso ($T_r > 300$ anni). La tabella 11 fornisce un collegamento tra l'attività delle frane e il tempo di ricorrenza previsto. La notevole ampiezza degli intervalli di frequenza consente di assimilare l'incertezza nella stima.

Classe di frequenza	Tempo di ricorrenza, T_r	Attività
1	< 30	Frana attiva o quiescente con elevata frequenza di riattivazione
2	$30 - 100$	Frana quiescente con media frequenza di riattivazione
3	$100 - 300$	Frana quiescente con bassa frequenza di riattivazione
4	> 300	Frana relitta

Tabella 11 - Definizione delle classi di frequenza nella metodologia BUWAL (1998).

Vantaggi:

- il metodo è semplice;
- il metodo consente di assegnare frequenze diverse a diversi settori dell'area di studio.

Svantaggi:

- il metodo è soggettivo;
- data l'incertezza, la frequenza è più o meno stimata per le classi dei tempi di ricorrenza utilizzando un'ampia gamma di valori.

Applicabilità:

- il metodo richiede un'esperienza diretta dell'esperto per quanto riguarda problemi di caduta massi in una certa area. Pertanto esso è adatto per analisi su scala locale, mentre quando viene applicato a studi su scala regionale la stima diventa molto incerta e arbitraria.

Nelle procedure di classificazione delle pericolosità nei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) attualmente viene utilizzato un metodo BUWAL modificato (ADBVE, 2007)¹.

A4.2.4.1.2 - Statistiche dei dati storici (L_H2)

Un approccio statistico è basato sull'analisi di eventi storici volti a identificare un tempo medio di ricorrenza indipendentemente dal volume. Poiché il numero di eventi solitamente disponibili è limitato, le statistiche devono essere calcolate utilizzando dati di regioni di grandi dimensioni, supponendo che la frequenza sia uguale per l'intera area.

Vantaggi:

- il metodo è oggettivo e basato su dati;
- il metodo è semplice.

Svantaggi:

- gli eventi di caduta massi sono raramente raccolti per piccoli volumi e per eventi che si verificano nelle zone rurali, senza danni alle infrastrutture, di conseguenza la frequenza media è normalmente sottovalutata;
- la frequenza è assunta costante su grandi aree.

¹ Le pericolosità PAI sono suddivise in quattro classi ad intensità crescente da P1 a P4, cui corrispondono vincoli crescenti nell'uso del territorio.

Applicabilità:

- il metodo è adatto per grandi aree, in cui il numero di eventi è sufficiente per stimare un valore affidabile del tempo di ritorno (sebbene sottovalutato).

A4.2.4.2 - Relazioni Magnitudo Frequenza (MF) (S-H2)

Al fine di ottenere una valutazione completamente quantitativa della pericolosità legata al verificarsi di caduta massi, la frequenza annuale di eventi deve essere stimata con riferimento a diversi scenari di magnitudo (volumi), come normalmente effettuato per gli eventi alluvionali o i terremoti. Questo richiede di conoscere o assumere la distribuzione di magnitudo-frequenza degli eventi di caduta massi in una data area caratterizzata da specifiche caratteristiche geologiche e geomorfologiche. Per la caduta di massi, alcuni autori (Hungry et al, 1999; Dussauge et al, 2003; Malamud. Et al, 2004) hanno dimostrato che la relazione di magnitudo-frequenza cumulata (MCF) degli eventi per j -esime classi di volume può essere descritta da una legge di potenza nella forma:

$$\log N (V) = N_0 + b \log V$$

dove $N (V)$ è la frequenza cumulata annuale di eventi di caduta massi superiori a un dato volume, N_0 è il numero totale annuo di eventi di caduta massi, e b , è l'esponente della legge di potenza. La frequenza annuale degli eventi di caduta massi in una data classe di volume può essere derivata dalle curve Magnitudo Frequenza Cumulate (MCF) sottraendo le frequenze cumulate per ciascuna classe di volume considerata (Hungry et al., 1999). I parametri delle curve di MCF non hanno alcun significato universale, anche se l'esponente b varia normalmente in un range piuttosto stretto, tra -0,7 e -0,4 (Hungry et al, 1999; Dussauge et al, 2003). La corretta parametrizzazione della curva MCF dovrebbe essere basata su un inventario completo di dati storici di eventi. Purtroppo database storici e inventari di eventi di frana sono raramente disponibili, e una raccolta ad hoc può essere impraticabile per aree di grandi dimensioni. I valori di volume riportati nei database storici possono essere incompleti o stimati con una certa approssimazione (es. ordine di grandezza, Hungry et al., 1999). Inoltre, i dati di inventario possono essere incompleti sia nello spazio (ossia i dati si riferiscono solo a sotto-aree specifiche) che nel tempo (ossia i dati si riferiscono soltanto a una determinata finestra di tempo).

Quando disponibili, le relazioni di magnitudo frequenza forniscono un mezzo per stimare il tempo di ritorno di frane che superano una determinata magnitudo/volume, $T (V) = 1 / N (V)$, e quindi la probabilità che un certo numero

di eventi possa verificarsi in un dato intervallo di tempo, permettendo così una completa valutazione probabilistica della pericolosità da frana.

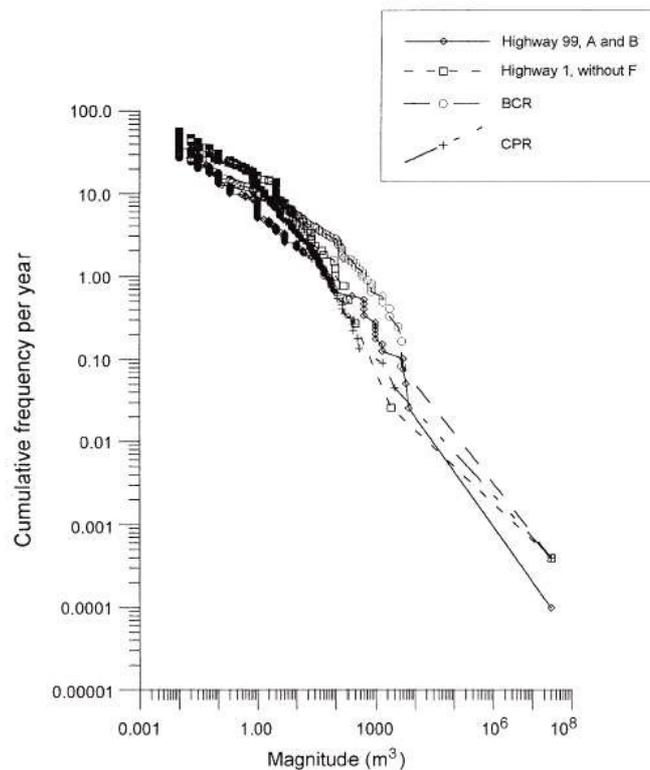


Figura 11 - Esempio di curve di Magnitudo Frequenza Cumulate (magnitudo-cumulative frequency, MCF) per la caduta massi (Hungry et al., 1999).

A4.2.4.3 - Combinazione della frequenza con la suscettibilità: pericolosità da crollo

Per valutare la pericolosità da caduta massi (compresa la frequenza attesa di eventi) a diversi livelli (vedi precedenti paragrafi) è necessario combinare la frequenza di evento con la suscettibilità all'innescò e al transito, al fine di ottenere mappe di pericolosità che considerino tutti questi aspetti.

Sono disponibili diversi approcci possibili (a diversi livelli di complessità):

- 1) produzione di mappe basate su scenari di suscettibilità, modellando volumi di blocchi corrispondenti a determinati tempi di ritorno (solo un "volume di progetto" se è disponibile solo una stima euristica o statistica della frequenza, diversi volumi se è disponibile una curva Magnitudo-Frequenza (MF));
- 2) adattamento di un approccio tipo RHAP e RHV, scalando la probabilità di transito in ogni punto del pendio con la probabilità di innescò corrispondente a determinati tempi di ritorno (moltiplicazione);

3) modifica dell'approccio BUWAL, come già proposto da alcune Amministrazioni e Autorità di bacino in Italia al fine di incorporare (come dati di input matrice) la frequenza degli eventi (stimata in modo euristico, statistico o tramite curve MF) e l'intensità (energia cinetica) ottenuta da modellazione numerica con volumi coerenti con la frequenza di innesco. In questo caso l'uso separato del "Buwal modificato" della tabella della velocità e della tabella della dimensione dei blocchi non sarebbe necessario perché verrebbe utilizzata direttamente l'energia cinetica. Questo approccio potrebbe anche consentire l'utilizzo del metodo per ogni unità di territorio (per es. cella elementare) in modo da rappresentare la variabilità dell'intensità di caduta massi lungo il pendio.

Bibliografia

- Agliardi F. and Crosta G.B., 2003: High resolution three-dimensional numerical modelling of rockfalls. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40(4), 455-471
- Abellán A., Vilaplana J.M., Martínez J., 2006: Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*, 88, 136-148
- ADBVE (Autorità di Bacino dei fiumi dell'alto Adriatico), 2007: Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bachiglione. Relazione tecnica, adottata con delibera del comitato istituzionale n.4 del 19 giugno 2007, 113-118.
- Baillifard F., Jaboyedoff M, and Sartori M, 2003: Rockfall hazard mapping along a mountainous road in CH using a GIS-based parameter rating approach. *NHESS*, 3, 431-438
- Bäk R., Kranitz F., Torresin M., Mariani R., 2011: Minimal standard for creation of hazard maps for landslides and rock fall as a tool for preventive disaster reduction. *INTERREG IV A Italy/Austria, Project 1381-302, Akronym MassMove, Wildbach- und Lawinenverbau*, 166, 176 - 197
- Bozzolo D. and Pamini R., 1986: Simulation of rock falls down a valley side. *Acta Mechanica*, 63, 113-130
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1998: Amt für Raumplanung Graubünden. Ufficio Cantonale di Pianificazione. *Grundlage zur FAN-Tagung vom 13-16 October 1998 in Ittingen*, 15 pp.
- Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y., Minami M., 2004: Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41, 3-19
- Copons R., Vilaplana J.M., 2008: Rockfall susceptibility zoning at a large scale: from geomorphological inventory to preliminary land use planning. *Engineering Geology*, 102, 142-151
- Copons R., Vilaplana J.M., Linares R., 2009: Rockfall travel distance analysis by using empirical models (Solà d'Andorra la Vella, Central Pyrenees). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 6, 2107-2118

- Corominas J., 1996: The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Can. Geotech. J.*, 33, 260-271
- Crosta G.B. and Agliardi F., 2003: A new methodology for physically-based rockfall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 407-422
- Crosta G. B., Agliardi, F., Frattini P. and Imposimato S., 2004: A three-dimensional hybrid numerical model for rockfall simulation. *Geophysical Research Abstracts*, 6, 04502
- Crosta G.B., Frattini P., 2008: Rainfall induced landslides and debris flows. *Hydrological Processes*, 22, 473-477, doi:10.1002/hyp.6885
- Descoedres F., Zimmermann T., 1987: Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls. In Herget, G. and Vongpaisal, S., editors, *Proceedings of the Sixth International Congress on Rock Mechanics*. Montreal. Rotterdam, Balkema, 37-42
- Domaas U., 1994: Geometrical methods of calculating rockfall range, Norwegian Geotechnical Institute, Report 585910-1, 21 pp.
- Dorren L.K.A., 2003: A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27, 1, 69-87
- Dorren L.K.A., Berger, F., Putters, U.S., 2006: Real size experiments and 3D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 145-153
- Dussauge C., Grasso, J.R., Helmstetter, A., 2003: Statistical analysis of rockfall volume distributions: implications for rockfall dynamics. *Journal of Geophysical Research*, 108(B6), 2286
- Evans S.G., Hungr O., 1993: The assessment of rock fall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 30, 620-636
- Frattini P., Crosta G.B., Carrara A., Agliardi F., 2008: Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches. *Geomorphology*, 94, 419-437
- Günther A, Carstensen A, and Pohl W, 2004: Automated sliding susceptibility mapping of rock slopes, *NHESS*, 4, 95-102

- Günther A., 2003: SLOPEMAP: programs for automated mapping of geometrical and kinematical properties of hard rock hill slopes. *Computers & Geosciences* 29, 865-875
- Guzzetti F., Crosta G.B, Detti R. and Agliardi F., 2002: STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. *Computers and Geosciences*, 28 (9), 1081-1095
- HARP, E. L., and NOBLE, M. A. (1993). An engineering rock classification to evaluate seismic rock-fall susceptibility and its application to the Wasatch Front. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 30(3), 293-319.
- Heim A., 1932: *Bergsturz und Menschenleben*. Zurich, Fretz and Wasmuth Verlag, 218 pp.
- Heinimann H.R., Holtenstein K., Kienholz H., Krummenhacher B., Mani P., 1998: *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Umwelt-Materialien 85, Naturgefahren, BUWAL, Bern (in German)
- Hoek E., Bray J.W., 1981: *Rock Slope engineering* (5th edn), The Institution of Mining and Metallurgy, London
- Holm K., Jakob M., 2009: Long rockfall runout, Pascua Lama, Chile. *Canadian Geotechnical Journal*, 46, 225-230
- Hungr O., 1995: A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches. *Canadian Geotechnical Journal*, 32, 610-623
- Hungr O., Evans S.G. 1988: Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne, Switzerland, 1, 685-690
- Hungr O., Evans S.G. and Hazzard J., 1999: Magnitude and frequency of rockfalls and rock slides along the main transportation corridors of south-western British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 224-238
- Jaboyedoff M., 2003: Design of a pseudo-3D topographic analysis computer program: COLTOP-3D. Project Proposal, PROJECT - 01, Quanterra, www.quanterra.org.
- Jaboyedoff M., Dudt J.P., and Labiouse V., 2005: An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency and fragmentation degree, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 621-632

- Jaboyedoff M. and Labiouse V., 2003: Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data. In: 10th International Congress on Rock Mechanics ISRM 2003 – Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa, 575–578
- Jones C.L., Higgins J.D., Andrew R.D., 2000: Colorado Rock fall Simulation Program Version 4.0. Colorado Department of Transportation, Colorado Geological Survey, 127 pp.
- Keylock C. and Domaas U., 1999: Evaluation of topographic models of rockfall travel distance for use in hazard applications. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 31(3), 312–320
- Lan H.X., Martin C.D. and Lim C.H., 2007: RockFall analyst: a GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modelling. *Computers & Geosciences*, 33, 262–279
- Lied K., 1977: Rockfall problems in Norway. In: *Rock fall dynamics and protective work effectiveness*, 90. Bergamo, Italy, ISMES, 51–53
- Matheson G.C., 1983: *Rock Stability Assessment in Preliminary Site Investigations - Graphical Methods*. Transport and Road Research Laboratory, Report 1039, Crowthorne, Berkshire
- Mazzoccola D., and Sciesa E., 2000: Implementation and comparison of different methods for rockfall hazard assessment in the Italian Alps. *Proc. 8th Int. Symp. on Landslides*, Cardiff, Balkema, Rotterdam, 2, 1035–1040
- Malamud B.D., Turcotte D.L., Guzzetti F. and Reichenbach P., 2004: Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29 (6), 687–711
- Meißl G., 2001: Modelling the runout distances of rockfalls using a geographic information system. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 125, 129–137
- Meißl G., 1998: Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GISgestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Beierischen und Tiroler Alpenraum. *Innsbrucker Geografischen Studien* 28. Ph.D. Thesis, Universität Innsbruck, Innsbruck, 249 pp.
- Onofri R. e Candian C., 1979: Indagine sui limiti di massima invasione dei blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Regione Autonoma Friuli-Venezia-Giulia, CLUET, 42 pp.

- Pfeiffer T.J., Bowen T.D., 1989: Computer simulations of rockfalls. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 26, 135-146
- Stevens W., 1998: RockFall: a tool for probabilistic analysis, design of remedial measures and prediction of rockfalls. M.A.Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Toronto. Canada, 105 pp.
- Tianchi L., 1983: A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 24, 473-482.
- Toppe R., 1987: Terrain models as a tool for natural hazard mapping. In *Avalanche Formation, Movement and Effects*, ed. B. Salm and H. Gubler. International association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, Publication, 162, 629-638
- Wieczorek G.F., Snyder J.B., 1999: Rock falls from Glacier Point above Camp Curry, Yosemite National Park, California. *US Geol. Surv., Open-File Report*, 13 99-385

APPENDICE A5 – Metodologia per l'identificazione della soglia di a_{max} (a cura dell'Università Bicocca, Milano)

Il parametro sismico scelto come fattore di instabilità aggiuntivo nella metodologia RHAP per la definizione della pericolosità da crollo è la a_{max} (accelerazione massima in superficie, anche PGA).

Per la definizione di un valore soglia da utilizzare nella metodologia RHAP sono stati studiati i crolli dei due principali terremoti italiani che hanno generato frane di crollo negli ultimi decenni: il terremoto del Friuli, 1976, e il terremoto Umbria-Marche, 1997.

Per entrambi i terremoti, è stato studiato il valore di a_{max} derivato dalle ShakeMap prodotte dall'USGS (Wald et alii 2005; figura A3_1: $PGA=a_{max}$) e sono stati raccolti i dati della localizzazione delle frane di crollo dalla letteratura (per il terremoto del Friuli, Govi, 1976, Valagussa et al, 2014; per il terremoto Umbria-Marche, Carro et al, 2003). I dati sono inoltre stati integrati con il database CEDIT (Romeo et alii, 2010) (Figura A3_1).

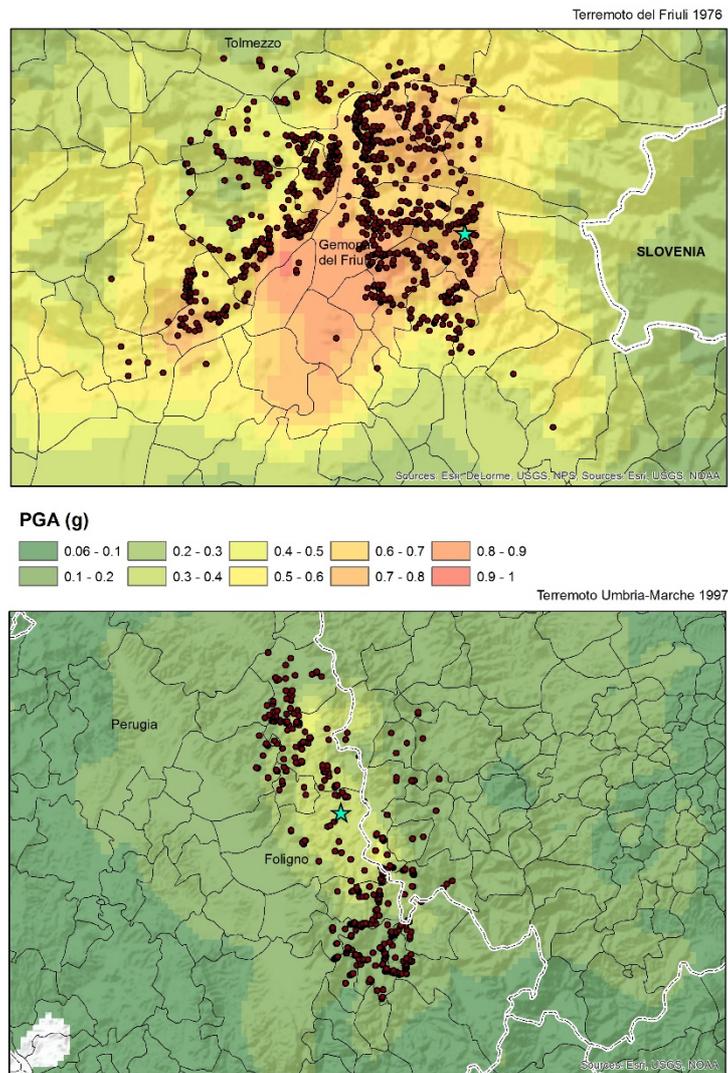


Figura A3_1 - Mappa rappresentante la distribuzione della a_{max} (PGA) per i casi studio del Friuli Venezia Giulia (sopra) e Umbria-Marche (sotto).

Densità di frana vs a_{max} (PGA)

Sulla base dei due dataset disponibili per i due casi studio è stata definita la densità di frana nelle due aree (figura A3_2). In particolare, per ogni cella di dimensione $1 \times 1 \text{ km}^2$ è stata definita la densità chilometrica in un intorno di $10 \times 10 \text{ km}^2$.

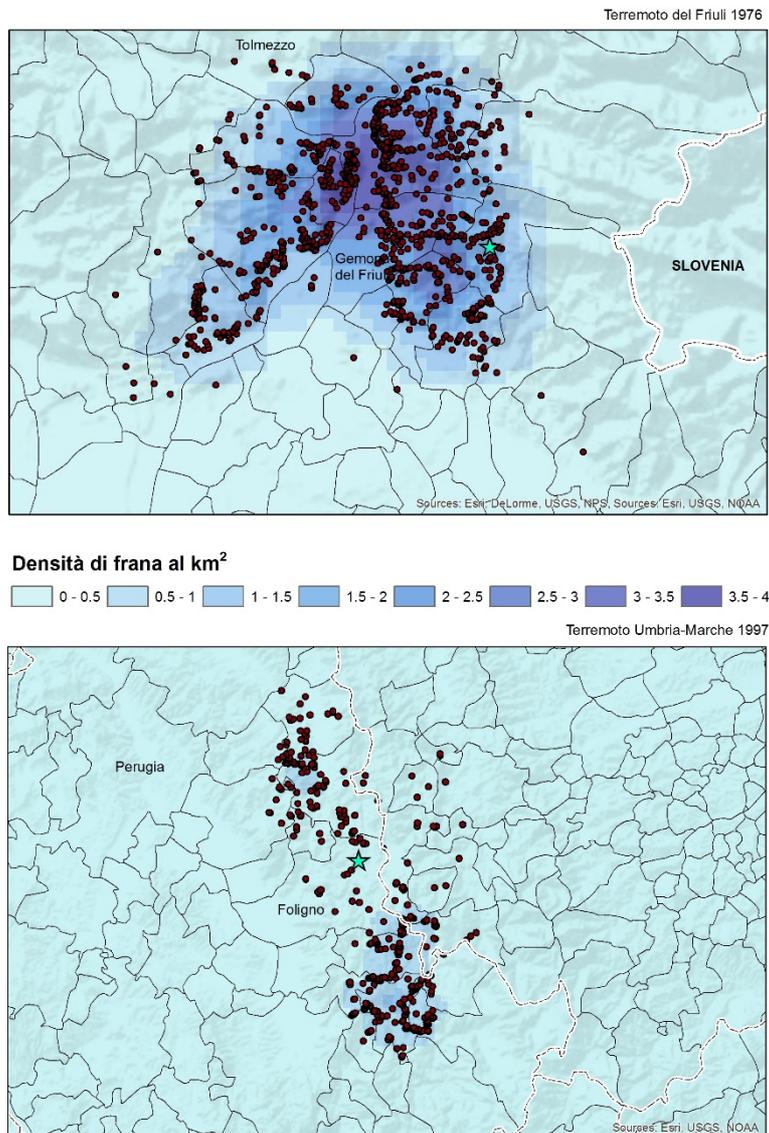


Figura A3_2 - Mappe rappresentanti la densità di frana al km² per i casi studio del Friuli Venezia Giulia (sopra) e Umbria-Marche (sotto).

Diagrammando la densità di frana in funzione della a_{max} è possibile osservare un incremento di densità di frana al crescere della a_{max} , come atteso (figura A3_3). Si osserva una chiara separazione tra i due terremoti a causa della loro diversa intensità. Purtroppo, l'interpolazione dei dati al fine di individuare una relazione tra a_{max} e densità è resa difficoltosa dalla dispersione dei dati. Parte della dispersione dipende dal fatto che le aree pianeggianti non sono state eliminate, e parte probabilmente è riferibile ad effetti locali che non sono debitamente considerati nella ShakeMap. Viste queste limitazioni, non è stato possibile individuare un valore soglia da questa relazione.

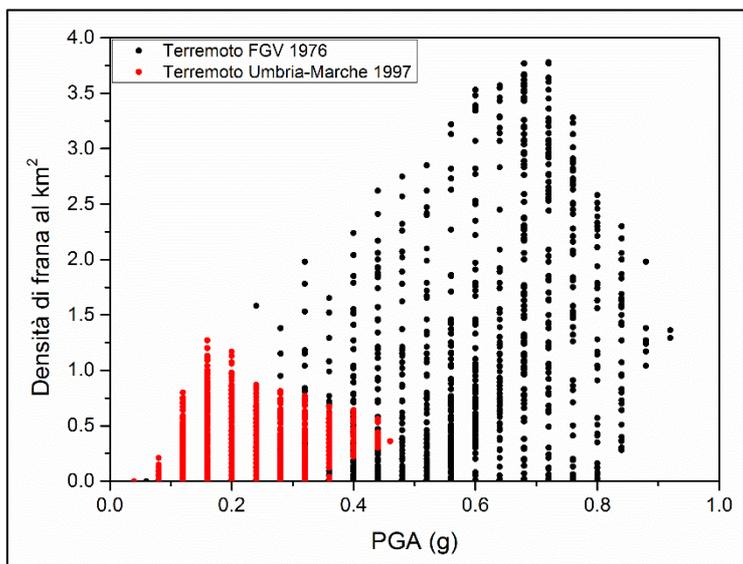


Figura A3_3 - Grafico rappresentante la distribuzione della densità di frana rispetto la a_{max} .

Frequenza cumulata di frana vs a_{max}

Ad ogni punto rappresentante un evento di frana negli inventari analizzati è stato attribuito il valore puntuale della a_{max} . È stata poi calcolata la frequenza cumulata di occorrenza delle frane per classi di a_{max} ad intervalli di 0.15 g.

Come si può osservare dalla figura A3_4 si osserva un gradino, corrispondente a un forte incremento nell'occorrenza delle frane, al passaggio tra la classe 0.15 e 0.20 g. Come conseguenza è possibile fissare la soglia da utilizzare nella metodologia RHAP ad un valore di 0.15 g, pari al valore limite per l'Innesco di un numero sufficientemente significativo di frane da crollo.

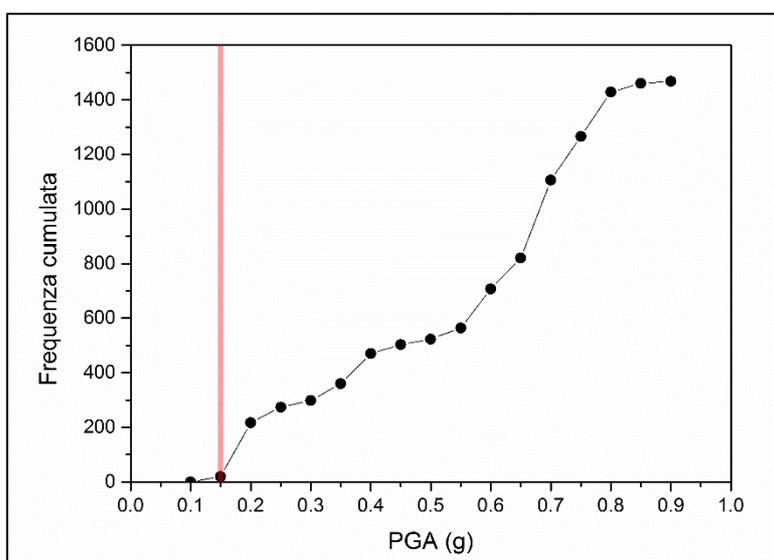


Figura A3-4 - Grafico rappresentante la frequenza cumulata di frana rispetto alla a_{max} . La banda rossa tratteggiata rappresenta il limite identificato per l'aggiunta dell'aggravante sismica alla metodologia RHAP, pari a 0.15 g.

Considerando la mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni è possibile individuare le regioni e di conseguenza i comuni per i quali l'aggravante sismica sia da introdurre all'interno della metodologia RHAP. Si osserva inoltre che il valore soglia identificato corrisponde al valore medio registrato sul territorio nazionale.

Bibliografia

- Carro, M., De Amicis, M., Luzi, L., & Marzorati, S. (2003). The application of predictive modeling techniques to landslides induced by earthquakes: the case study of the 26 September 1997 Umbria–Marche earthquake (Italy). *Engineering Geology*, 69(1), 139-159.
- Govi, M. (1976). Map showing the landslides triggered by earthquake (from aerial photographs of May–June 1976). National Research Council Geological and Mining Sciences Committee Italian “Geodynamics” Project. *Geology of the Friuli area primarily involved in the earthquake (In Italian)*.
- Valagussa, A., Frattini, P., & Crosta, G. B. (2014). Earthquake-induced rockfall hazard zoning. *Engineering Geology*, 182, 213-225.
- Wald, D. J., Worden, B. C., Quitoriano, V., & Pankow, K. L. (2005). *ShakeMap manual: technical manual, user's guide, and software guide (No. 12-A1)*.

APPENDICE A6 – Metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti cosismici sulle instabilità di versante finalizzati alla valutazione dell'Indice di Operatività del Contesto Territoriale (IOCT)

Attività A2.1

Definizione di metodi di studio delle instabilità cosismiche e delle situazioni geologiche complesse:

frane sismoindotte in terra e di crollo

Metodi semplificati per il calcolo degli spostamenti cosismici sulle instabilità di versante finalizzati alla valutazione dell'Indice di Operatività del Contesto Territoriale (IOCT)

PON GOVERNANCE E CAPACITA' ISTITUZIONALE 2014-2020

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA
DI
RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO
AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE

Commissione tecnica interistituzionale

Mauro Dolce (presidente)

Laura Albani, Salvo Anzà, Walter Baricchi, Lorenzo Benedetto, Michele Brigante, Gennaro Capasso, Vincenzo Chieppa, Luigi D'Angelo, Lucia Di Lauro, Calogero Foti, Luca Lo Bianco, Giuseppe Marchese, Paolo Marsan, Mario Nicoletti, Mario Occhiuto, Ezio Piantedosi, Roberta Santaniello, Luciano Sulli, Carlo Tansi, Federica Tarducci, Carmela Zarra

Segreteria

Elda Catà, Carletto Ciardiello, Giuseppe Tiberti

Struttura responsabile dell'attuazione del Programma

Angelo Borrelli (responsabile), Anna Natili (supporto)

Coordinamento

Fabrizio Brammerini, Angelo Corazza, Biagio Costa, Italo Giulivo, Gaetano Mignone, Paolo Molinari, Francesca Romana Paneforte

Unità operativa rischi

Paola Bertuccioli, Sergio Castenetto, Stefano Ciolli, Andrea Duro, Emilio De Francesco, Antonio Gioia, Pietro Giordano, Giuseppe Naso, Stefania Renzulli, Daniele Spina

Unità di raccordo DPC

Sara Babusci, Lavinia Di Meo, Valter Germani, Biagio Prezioso, Chiara Salustri Galli

Amministrazione

Gabriella Carunchio, Pietro Colicchio, Francesca De Sandro, Stefania Nardella

Referenti Regioni

Campania: Mauro Biafore (coordinatore), Claudia Campobasso, Luigi Cristiano, Nicola Di Benedetto, Luigi Gentilella, Maurizio Giannattasio, Francesca Maggiò; Puglia: Tiziana Bisantino, Lucia Di Lauro (coordinatrice), Pierluigi Loiacono, Giuseppe Pastore, Francesco Ronco, Maria Trabace, Isabella Trulli; Calabria: Domenico Pallaria, Francesco Russo (coordinatore), Giuseppe Iritano, Carlo Tansi; Sicilia: Nicola Alleruzzo, Aldo Guadagnino, Antonio Torrisi.

CNR

Massimiliano Moscatelli (referente)

Struttura tecnica

Gianluca Carbone, Marco Modica, Federico Mori, Edoardo Peronace, Francesco Stigliano (coordinatore operativo),

Massimo Cesarano, Ilaria Mazzini, Francesco Filice, Gino Cofone, Anita Di Giulio, Francesca Trapasso, Angelo Gigliotti, Vincenzo Galizia, Paolo Tommasi, Girolamo Belardi, Stefania Montesanti, Francesca Argiolas, Biagio Giaccio, Giuseppe Cosentino

Struttura gestionale

Lucia Paciucci (coordinatore gestionale), Laura Ragazzi, Francesco Petracchini

Referee

Paolo Boncio, Paolo Clemente, Maria Ioannilli, Massimo Mazzanti, Roberto Santacroce, Carlo Viggiani

A2.1 - Definizione di metodi di studio delle instabilità cosismiche e delle situazioni geologiche complesse: frane sismoindotte in terra e di crollo

Responsabile CNR-IGAG: Edoardo Peronace

Responsabile DPC: Sergio Castenetto

A cura di

Edoardo Peronace (CNR-IGAG), Federico Mori (CNR-IGAG), Giuseppe Naso (DPC), Carolina Fortunato (CNR-IGAG).

Sommario

1. Introduzione.....	147
2. Deformazioni cosismiche.....	147
2.1 Fonti della metodologia.....	147
2.2 Dati di base.....	148
2.3 Calcolo dello spostamento – Modello semplificato (Metodo HAZUS)....	149
Passo 1) Definizione della suscettibilità alle instabilità di versante.....	149
Passo 2) Angolo del pendio.....	150
Passo 3) Accelerazione critica.....	150
Passo 4) Classificazione di suscettibilità.....	152
Passo 5) Categoria di suscettibilità.....	152
Passo 6) Calcolo dello spostamento.....	153
2.4 Calcolo dello spostamento – Modello avanzato.....	153
2.4.1 Area posta a valle dei depositi in frana.....	155
3. Bibliografia.....	156

A6.1 Introduzione

L'obiettivo di questo documento è definire procedure multilivello, con approcci semplificati ed avanzati, finalizzate al calcolo dello spostamento delle instabilità di versante cosismiche, da utilizzare nelle valutazioni della CLE a scala comunale o scala sovracomunale (CT).

Tali procedure sono funzionali alla realizzazione di scenari di danno all'interno di un software in linguaggio MATLAB® per il calcolo IOCT, sviluppato per la modellazione e l'analisi del comportamento di sistemi infrastrutturali interconnessi e/o interdipendenti e insiemi di edifici, a scala urbana e/o regionale, a partire da scenari di pericolosità naturali o antropica.

A6.2 Deformazioni cosismiche

Nel perseguimento dell'obiettivo valgono i seguenti principi generali:

- nell'ambito della modellistica per la valutazione della CLE, il livello di approfondimento per considerare anche gli effetti geologici s.l. può essere condizionato da due fattori:
 - la scala di valutazione dello scenario, per cui gli effetti non possono essere trascurati alla scala della CLE o del CT (1:5.000/10.000/25.000);
 - il dettaglio dei dati riferiti agli elementi esposti e ai parametri di vulnerabilità, e l'analiticità del modello di valutazione dei danni.
- la definizione del livello di approfondimento, e conseguentemente il dettaglio geologico, dipende dagli obiettivi di utilizzo delle valutazioni.
- la CLE deve essere integrata nello scenario del Contesto Territoriale (CT); i due piani dovrebbero essere costruiti contemporaneamente, alimentandosi l'uno dei prodotti dell'altro.

A6.2.1 Fonti della metodologia

Le procedure operative sono state definite sulla base di:

- Hazus-HM (FEMA, 2003);
- Indirizzi e criteri per la MS (Gruppo di lavoro MS, 2008);
- Norme tecniche delle costruzioni (NTC, 2008);
- Articoli dalla letteratura scientifica e rapporti interni del DPC.

A62.2 Dati di base

Nell'ambito degli scenari comunali o sovracomunali il calcolo delle deformazioni permanenti devono tener conto della diversificazione del territorio a una scala 1:5.000-1:10.000 (studi di MS) - 1:25.000 (dati geologici e geomorfologici s.l.). I dati di base richiesti devono essere acquisiti almeno a questa scala.

- Elaborazioni DEM (risoluzione 20 m)

Fonti dei dati: ISPRA

- Mappe litologiche/litotecniche/geologiche/geomorfologiche

In queste mappe devono essere ben segnalati gli affioramenti di ghiaie, sabbie, limi e argille (o loro alternanze), depositi recenti e attuali del Quaternario:

Fonti dei dati:

Carta geologico-tecnica per la MS (WebMS);

Cartografia inclusa negli studi urbanistici (Comuni);

Cartografia e banche dati regionali e provinciali;

Cartografia 1:50.000 del progetto CARG, con rilevamento 1:10.000 (Min. Ambiente - Ispra);

Carte geologiche di dettaglio (studi tecnico-scientifici pubblicati).

- Mappa andamento falda

Fonti dei dati:

Carta geologico-tecnica per la MS (WebMS);

Cartografia inclusa negli studi urbanistici (Comuni).

- Sondaggi litostratigrafici

Fonti dei dati:

Carta geologico-tecnica per la MS (WebMS);

Cartografia e banche dati inclusi negli studi dei piani regolatori e in altri elaborati riguardanti opere costruite nel territorio comunale (Comuni, Regioni);

Litostratigrafie dei pozzi per scopi di ricerca idrica o per opere di ingegneria civile ad una profondità di oltre 30 m (Legge 464-84; Min. Ambiente - ISPRA).

- Mappa regionale progetto IFFI e PAI

Fonti dei dati:

Carta geologico-tecnica per la MS (WebMS);
 Progetto IFFI (Min. Ambiente – ISPRA);
 Cartografie PAI (Amministrazioni regionali e provinciali).

- Magnitudo attesa

Fonti dei dati

Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV);
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (INGV).

- Elementi del CT

Fonti dei dati

Banche dati CLE (WebMS);

La metodologia, coerentemente con il calcolo dell'amplificazione in superficie prevede due livelli di approfondimento: Modello semplificato (quantitativo convenzionale o metodo HAZUS) e Modello avanzato (quantitativo specifico).

A6.2.3 Calcolo dello spostamento – Modello semplificato (Metodo HAZUS)

La procedura prevede 6 passi, nei quali l'operatore interviene solo per i passi 1) e 2), mentre i passi da 3) a 6) sono implementati in automatico all'interno di un software in linguaggio MATLAB®.

Passo 1) Definizione della suscettibilità alle instabilità di versante

La suscettibilità ai movimenti franosi è funzione della litologia, dell'assetto idrogeologico e dell'angolo del pendio. La tabella 8 riporta una divisione per gruppi litologici tratta da Wilson e Keefer (1985). Nell'applicazione della procedura, sarà necessario suddividere l'area di studio secondo le tre categorie della tabella 1. Per area in studio in questo caso si intende l'urbanizzato o l'urbanizzabile e le zone circostanti alle aree potenzialmente instabili per frana (valutazioni sulla base di angolo del pendio e litologia). La criticità dell'operazione consiste nell'individuazione della potenziale superficie di scivolamento.

Categoria geologica	
a) Soprafalda (il livello della falda è al di sotto della superficie di scivolamento)	
A	Rocce fortemente cementate
B	Rocce e terreni debolmente cementati ($c=0$ kPa; $\phi=35^\circ$)
C	Rocce argillose ($c=0$ kPa; $\phi=20^\circ$)

b) Sottofalda (il livello della falda è al di sopra della superficie di scivolamento)	
A	Rocce fortemente cementate
B	Rocce e terreni debolmente cementati ($c=0$ kPa; $\phi=35^\circ$)
C	Rocce argillose ($c=0$ kPa; $\phi=20^\circ$)

Tabella 1 – Suscettibilità ai movimenti franosi per categorie di litologie

Passo 2) Angolo del pendio

Ad ogni area del gruppo geologico identificato al passo 1) bisogna associare una categoria di angolo del pendio (tabella 2).

Angolo del pendio (°)					
0-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40

Tabella 2 – Angolo del pendio

Passo 3) Accelerazione critica

Le instabilità di versante si innescano solamente quando il valore del picco di accelerazione (a_{max}) indotto dal terremoto nella massa di terreno, eccede l'accelerazione critica A_c . In generale più è piccolo il rapporto A_c/a_{max} maggiore sarà il movimento. La quantità di movimento dipende anche dal numero di cicli n dello scuotimento.

Il software in linguaggio MATLAB®, provvede a calcolare in automatico l'accelerazione critica dai modelli sviluppati da Wilson e Keefer (1985) mediante il grafico di figura 1.

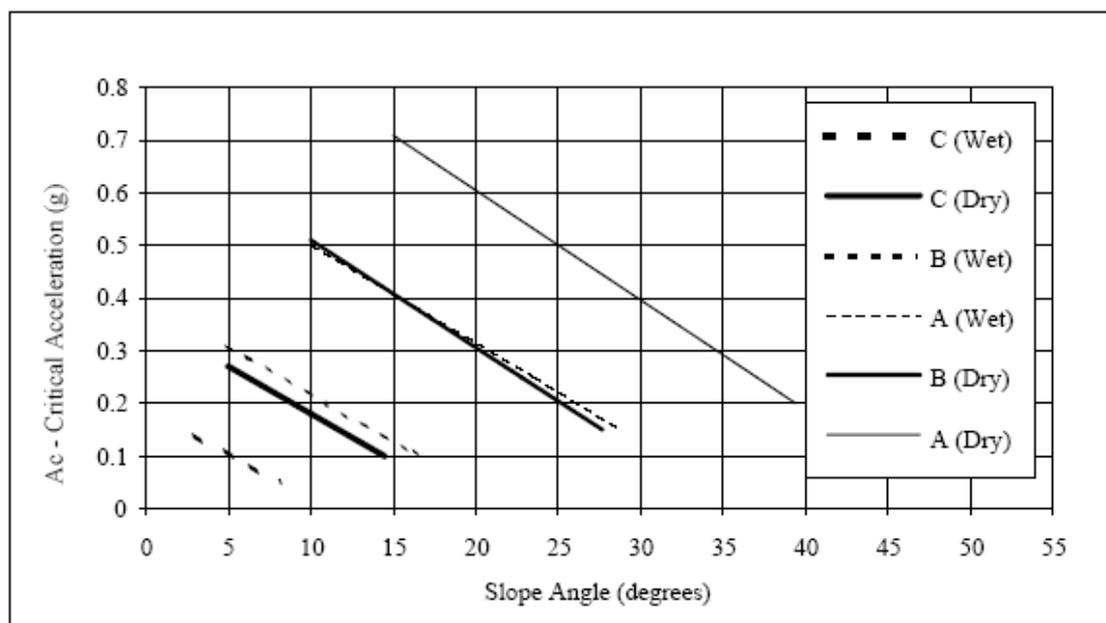


Figura 1 – Accelerazione critica come funzione delle litologie e dell'angolo del pendio (da Wilson e Keefer, 1985)

Una volta verificato il valore di A_c sarà necessario confrontarlo con il valore di a_{max} . Se il valore di a_{max} risulta inferiore al valore di A_c non è necessario continuare nella procedura. Se invece il valore di a_{max} eccede il valore di A_c , è necessario andare avanti con la procedura.

Sulla base dei valori di A_c e per valori bassi o nulli dell'angolo del pendio, si stabiliscono dei limiti inferiori alla suscettibilità (tabella 3).

Litologia	Angolo di slope (°)		Accelerazione critica (g)	
	Soprafalda	Sottofalda	Soprafalda	Sottofalda
A	15	10	0.20	0.15
B	10	5	0.15	0.10
C	5	3	0.10	0.05

Tabella 3 – Limiti inferiori per le analisi di suscettibilità (da Wilson e Keefer, 1985)

Passo 4) Classificazione di suscettibilità

Con i limiti definiti in tabella 3 e sulla base di A_c si ricostruisce la tabella 4, che consente di definire i coefficienti di riduzione che saranno utilizzati per il calcolo del valore di spostamento (D).

Gruppo geologico		Angolo del pendio (°)					
		0-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40
a) Sopra falda (il livello della falda è al di sotto della superficie di scivolamento)							
A	Rocce fortemente cementate			I	II	IV	VI
B	Rocce e terreni debolmente cementati ($c=0$ kPa; $\phi=35^\circ$)		III	IV	V	VI	VII
C	Rocce argillose ($c=0$ kPa; $\phi=20^\circ$)	V	VI	VII	VIII	IX	X
b) Sottofalda (il livello della falda è al di sopra della superficie di scivolamento)							
A	Rocce fortemente cementate		III	VI	VII	VIII	VIII
B	Rocce e terreni debolmente cementati ($c=0$ kPa; $\phi=35^\circ$)	V	VIII	IX	IX	IX	X
C	Rocce argillose ($c=0$ kPa; $\phi=20^\circ$)	VII	IX	X	X	X	X

Tabella 4 – Suscettibilità dei terreni in funzione della litologia e dell'angolo del pendio

Passo 5) Categoria di suscettibilità

Non tutta l'area mappata in una certa categoria litologica sarà interessata da instabilità di versante in caso di evento sismico, questo perché la relazione di Wilson e Keefer (1985) è molto cautelativa. Wieczorek et alii (1985) forniscono una tabella di "aggiustamento" in termini di area interessata all'instabilità e in termini di accelerazione critica A_c , suddivise per categoria di suscettibilità (tabelle 5 e 6).

Categoria di suscettibilità	Nulla	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Area	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

Tabella 5 – Percentuale dell'area che contiene depositi suscettibili di instabilità di versante

A ogni categoria di suscettibilità è associata una A_c (tabella 6)

Categoria di suscettibilità	Nulla	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
A_c	0.00	0.60	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Tabella 6 - A_c per le categorie di suscettibilità

Passo 6) Calcolo dello spostamento

Calcolo del fattore di spostamento (Saygili et al., 2008):

$$\ln D = a_1 + a_2 \left(\frac{k_y}{PGA} \right) + a_3 \left(\frac{k_y}{PGA} \right)^2 + a_4 \left(\frac{k_y}{PGA} \right)^3 + a_5 \left(\frac{k_y}{PGA} \right)^4 + a_6 \ln(PGA) + \varepsilon \sigma_{\ln D}$$

La geometria delle zone è data dall'unione di una carta delle frane (es. IFFI) e di una carta geologica.

A6.2.4 Calcolo dello spostamento – Modello avanzato

La procedura è identica a quanto descritto per il Modello semplificato, ad esclusione del calcolo di K_y e degli spostamenti specifici per l'area in esame, che vengono calcolati secondo il metodo proposto da Bray e Travasarou (2007; 2009).

$$K_y = \exp \left[\frac{-a + \sqrt{b}}{0.665} \right]$$

con

$$a = 2.83 - 0.566 \ln(Sa)$$

$$b = a^2 - 1.33 \{ \ln(d) + 1.10 - 3.04 + 0.244 [\ln(Sa)]^2 - 1.5 Ts - 0.278 (Mw - 7) - \varepsilon \}$$

con $\varepsilon = 0$ a 50% probabilità di eccedenza

con $\varepsilon = 1$ a 16% probabilità di eccedenza e se $T_s < 0.22$, il termine 1.10 è sostituito da 0.22

Definito K_y è possibile calcolare la probabilità di occorrenza della frana sismoindotta secondo il metodo di Bray e Travasarou (2007); il calcolo dello spostamento D è dato dalla seguente equazione:

$$\ln D = -1.10 - 2.83 \ln(k_y) - 0.333 [\ln(k_y)]^2 + 0.566 \ln(k_y) \ln[Sa(1.5 Ts)] + 3.04 \ln[Sa(1.5 Ts)] - 0.244 \{ \ln[Sa(1.5 Ts)] \}^2 + 1.5 Ts + 0.278 (Mw - 7) \pm \varepsilon$$

dove:

K_y = coefficiente sismico

T_s = periodo fondamentale del corpo in frana

$S_a(1.5 T_s)$ = accelerazione spettrale a $1.5 T_s$ (periodo fondamentale degradato)

M_w = Magnitudo momento di riferimento (da disaggregazione)

In alternativa, per il calcolo di K_y è possibile l'utilizzo della metodologia indicata in EC8 (2003) e NTC (2008).

Le norme europee EC8 (prEN 1998 - 2003) indicano per un più generico coefficiente sismico orizzontale K_y un valore pari a:

$$k_y = 0,5 \cdot a_g \cdot \gamma_I \cdot S/g$$

dove γ_I è il coefficiente di importanza della struttura (pari a 1 per pendii naturali); S , è il prodotto tra il coefficiente di amplificazione stratigrafico, S_s , e quello topografico, S_T .

Per quanto riguarda la normativa italiana le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008) definiscono l'azione pseudostatica introducendo un coefficiente di riduzione, β_s , che tiene conto della duttilità:

$$k_y = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

in cui a_{max} è l'accelerazione massima attesa in superficie, mentre β_s , assume i valori riportati in tabella 7.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g (g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g (g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g (g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tabella 7- Valori di β_s in NTC (2008)

La geometria delle zone è data dall'unione di una carta delle frane (es. IFFI) e di una carta geologica.

A6.2.4.1 Area posta a valle dei depositi in frana

Le equazioni sopra presentate calcolano gli spostamenti D . Se questo valore D viene confrontato con la distanza tra l'oggetto da valutare e il limite inferiore e/o laterale della frana, si possono analizzare le probabilità che la frana interferisca con il perimetro dell'oggetto attenzionato. Lo stesso ragionamento può essere fatto per la distanza tra il piede di un versante in roccia e il perimetro dell'oggetto.

A6.3 Bibliografia

- Bray J. D., Travasarou T. (2007) - Simplified procedure for estimating earthquake - induced deviatoric slope displacements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 133(4):381-392.
- Bray J. D., Travasarou T. (2009) - Pseudostatic coefficient for use in simplified slope stability evaluation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 135(9):1336-1340.
- Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (2008) - *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*. Dipartimento della Protezione Civile
- FEMA (2003) - HAZUS-MH MR1: Technical Manual. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni
- Saygili G., Rathje E.M., Asce M. (2008) - Empirical predictive models for earthquake-induced sliding displacements of slopes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 134 (6), DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:6(790).
- Uni En 1998-4:2006 (Eurocodice 8)
- Wieczorek G.F., Harp E.L., Mark R.K. and Bhattacharyya A. K. (1985) - Map showing slope stability during earthquake in San Mateo County, California. U.S. Geological Survey Miscellaneous Geologic Investigations Map I-1257-E, scale 1:62.500
- Wilson R. C. e Keefer D. K. (1985) - Predicting the areal limits of earthquake - induced landsliding. In: J. I. Ziony (Editor), *Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles region - An Earth Science Perspective*, U. S. Geological Survey Professional Paper 1360, 316-345.



Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISTITUTO DI GEOLOGIA AMBIENTALE E GEINGEGNERIA



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Agencia per la Coesione Territoriale



GOVERNANCE
E CAPACITA'
ISTITUZIONALE
2014-2020



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

PON GOVERNANCE E CAPACITA' ISTITUZIONALE 2014-2020
PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA
DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO
AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE

ATTIVITA' A2.1

Definizione di metodi di studio delle instabilità cosismiche e delle
situazioni geologiche complesse: frane sismoindotte in terra e di crollo

Responsabile CNR-IGAG: Edoardo Peronace
Responsabile DPC: Sergio Castenetto
A cura di: Edoardo Peronace (CNR-IGAG), Federico Mori (CNR-IGAG),
Giuseppe Naso (DPC), Carolina Fortunato (CNR-IGAG).

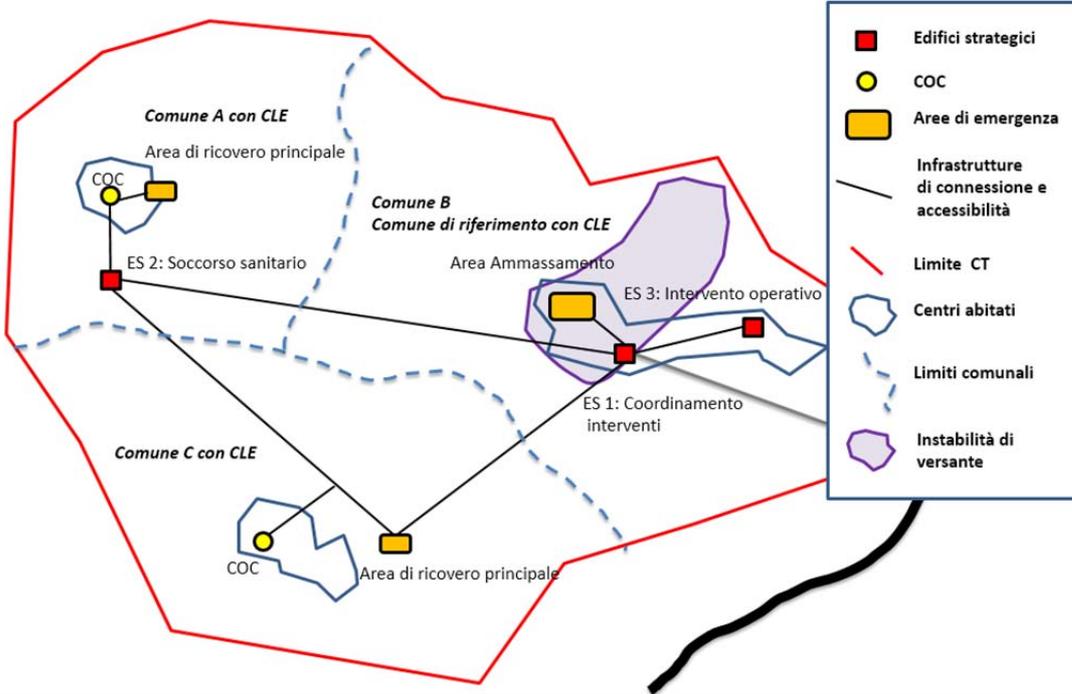


Consiglio Nazionale delle Ricerche
ISTITUTO DI GEOLOGIA AMBIENTALE E GEINGEGNERIA

Obiettivo:

Procedura di calcolo di parametri di spostamento delle instabilità di versante finalizzate alle valutazioni della CLE a scala comunale o sovracomunale (CT) mediante l'esecuzione di scenari di pericolosità sismica.

Il sistema strutturale di emergenza nel Contesto Territoriale



Le Fasi della metodologia per il calcolo di IOCT (evento sismico)

FASE 1. Lo scenario sismico di base

- La pericolosità sismica di base spazialmente correlata

FASE 2. La pericolosità sismica locale

- I modelli per le amplificazioni
- **I modelli per le instabilità (frane)**



FASE 3. La valutazione dell'operatività delle componenti del sistema

- I modelli per gli edifici strategici
- I modelli per le infrastrutture e le aree di emergenza
- I modelli per le connessioni

FASE 4. La valutazione dell'operatività del sistema

- L'indice IOCT

FASE 5. I criteri per il miglioramento del sistema

- Le priorità di intervento e l'allocazione delle risorse per il miglioramento del sistema

La pericolosità sismica locale

➤ Modelli per il calcolo delle deformazioni cosismiche delle instabilità di versante

• Modelli semplificati* - (Metodo HAZUS)

Definizione della suscettibilità alle instabilità di versante

- 1) Categoria geologica (carta geologica 1:25.000)
- 2) Angolazione del pendio (DEM 20)
- 3) Accelerazione critica (grafici e tabelle Wilson e Keefer, 1985)
- 4) Classificazione di suscettibilità (tabella funzione della litologia e dell'angolo del pendio)
- 5) Categoria di suscettibilità (tabelle di aggiustamento)
- 6) Calcolo dello spostamento con modello quantitativo convenzionale semplificato (Saygili et al., 2008)

• Modelli avanzati**

Procedura identica al Modello semplificato da 1) a 5)

- 6) Calcolo dello spostamento con modello quantitativo specifico (Bray e Travararou, 2007; 2009)

* Prevedono la raccolta di dati di letteratura

** prevedono misure sul terreno

Fase 1

Fase 2

Fase 3

Fase 4

Fase 5

APPENDICE B1 – Schema di Programma Zone Instabili

Finalità generale

La finalità generale del Programma Zone Instabili è ridurre gli eventuali effetti dovuti a:

- instabilità di versante sismoindotta;
- (...)

Oggetto e finalità specifiche

1. Le ZS o ZR dei comuni interessati sono oggetto di uno specifico Programma che verifica e persegue [selezione in funzione della scelta dell'obiettivo]:
 - la delocalizzazione di tutte le funzioni strategiche, con individuazione di altre sedi o nuova realizzazione delle stesse in aree esterne alle ZS e alle ZR;
 - la delocalizzazione degli edifici rilevanti, come definiti dal Decreto del Capo Dipartimento della protezione civile n.3685/2003;
 - la delocalizzazione delle funzioni residenziali;
 - il cambiamento della destinazione d'uso delle aree non edificate, in funzioni di servizio e altre funzioni, senza volumetrie;
 - interventi di mitigazione della pericolosità e della vulnerabilità;
 - interventi di adeguamento o miglioramento antisismico sull'edilizia esistente;
 - le priorità di intervento fra ZS e ZR.
2. Tale programma individua gli incentivi finanziari, gli incentivi urbanistici e le misure premiali dirette a favorire la rapida e completa attuazione degli interventi di miglioramento, adeguamento o di delocalizzazione, volti anche al raggiungimento di più elevati livelli di sicurezza sismica, efficienza energetica e qualificazione dell'assetto urbano da parte dei privati interessati.
3. Il programma è corredato da un'analisi del fabbisogno finanziario per l'attuazione del programma stesso.

4. Il programma individua interventi che possono essere in conformità con gli strumenti urbanistici generali vigenti, o rendere necessaria la loro variante:
 - Qualora risulti indispensabile la realizzazione di nuovi insediamenti prevalentemente residenziali o produttivi, il programma definisce la contestuale realizzazione e completamento delle connesse dotazioni territoriali e infrastrutture per la mobilità;
 - Qualora tali previsioni non siano presenti nella pianificazione urbanistica vigente, le stesse devono essere individuate in adiacenza e continuità con i tessuti urbani esistenti.
5. Per la scelta delle aree nelle quali trasferire gli edifici e le funzioni delocalizzate nel programma si individua come prioritario il riuso di immobili e aree dismesse, collocate all'interno del territorio urbanizzato o in fase di urbanizzazione certa.
6. Il programma può essere realizzato anche attraverso specifici piani attuativi, ove necessari, di iniziativa pubblica da approvare mediante Accordo di programma ai sensi dell'art. art. 34 del D.Lgs. 267/2000,

Strumenti di attuazione. Piani attuativi

1. Il programma, per le sue finalità, individua le aree da sottoporre a specifici piani attuativi.
2. I piani attuativi individuati ai sensi del comma 1, disciplinano le trasformazioni urbanistiche da operare nell'ambito delle ZS e delle ZR, per conseguire gli obiettivi generali e specifici indicati all'articolo 2, fra le quali:
 - interventi di ristrutturazione edilizia, per l'adeguamento antisismico degli edifici ospitanti funzioni compatibili;
 - interventi di ristrutturazione urbanistica con particolare attenzione all'incremento del sistema delle vie di fuga e della loro ridondanza;
 - cambiamento di destinazione d'uso per gli immobili che ospitavano funzioni strategiche oggetto di delocalizzazione.

3. I piani individuano le Unità Minime di Intervento, come definite dalle Regioni, che necessitano di modifica della disciplina prevista dalla pianificazione urbanistica, stabilendo i sistemi strutturali, gli ingombri planivolumetrici e le caratteristiche progettuali più appropriate, ai fini della conservazione dei tessuti urbani, e ogni altra regolamentazione di dettaglio necessaria per procedere con intervento diretto alla realizzazione degli interventi. A tal fine è incentivata la costituzione di forme consortili e accordi tra i proprietari degli edifici ricadenti negli interventi unitari, favorendo la sinergia tra pubblico e privato e intervenendo anche sui tempi di esecuzione.
4. Il piano individua le limitazioni per classi d'uso consentite e il tipo di intervento con riferimento alla normativa tecnica e individua inoltre:
 - le parti del territorio interessate da ZS e ZR da includere nel piano in funzione della unitarietà e coerenza urbanistica e in funzione delle Unità Minime di Intervento;
 - gli ambiti del territorio comunale idonei alla eventuale rilocalizzazione delle funzioni.
5. Allo scopo di assicurare la fattibilità dell'intervento, la delibera di adozione dei piani è corredata da una apposita relazione circa il pieno coinvolgimento di tutti i soggetti privati interessati, attraverso la stipula di accordi compensativi che dimostrino la disponibilità delle risorse finanziarie necessarie per l'attuazione degli interventi.
6. Allo scopo di assicurare il pieno coinvolgimento di tutti i soggetti privati interessati, i contenuti dei piani possono essere oggetto di accordi preliminari con i privati stessi.
7. Il quadro conoscitivo e le valutazioni ambientali dei piani sono predisposti ai sensi della normativa sulla VAS, tenendo conto delle analisi di microzonazione sismica, con particolare riguardo alle aree urbanizzate e a quelle prescelte per i nuovi insediamenti.

APPENDICE B2 – Schemi sintetici di classificazione

A ciascuna indicazione urbanistica della tabella B1 (qui riportata nuovamente) vengono associate una o più indicazioni sulla tipologia di intervento per l'edilizia esistente o di nuova costruzione riportate nella Tab. B2.

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di instabilità di versante	Z _{AFR}	Obbligo di approfondimento (6.1.1)	Obbligo di approfondimento (6.2.1)		Programma Infrastrutture (5.3)
	Z _{SFR}	Programma Zone Instabili (6.1.2)	Intervento limitato (6.2.2)		
	Z _{RFR}				

Tabella B2.1 - Indicazioni urbanistiche

Categorie urbanistiche		Aree edificate (recenti o consolidate)	Aree non edificate (con previsione di trasformazione)	Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata	Infrastrutture
Zone di instabilità di versante	Z _{ALQ}	EL-NI	EL-NI		Programma Infrastrutture
	Z _{SLQ}	EL-NI (EL-NL) (EO-NI) (ED-NI)	EL-NL		
	Z _{RLQ}				

Tabella B2.2 – Indicazioni sulle tipologie di intervento per l'edilizia esistente e per la nuova edificazione.

Legenda

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
EL	Esistente	Limitato	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
			riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
EO	Esistente	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da qualunque tipo di richiesta di intervento.
ED	Esistente	Delocalizzazione	Non è consentito alcun intervento sull'edilizia esistente, perché oggetto di delocalizzazione obbligatoria.
NL	Nuova costruzione	Limitato	È consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive..
NI	Nuova costruzione	Inibito	Non è consentita la nuova edificazione.

La Tabella B2.2, con riferimento alla disciplina d'uso per le zone di ricostruzione post-terremoto di cui al capitolo 7), per quanto riguarda le Aree edificate (recenti o consolidate), viene così integrata:

Categorie urbanistiche	Aree edificate (recenti o consolidate)
------------------------	--

Zone di liquefazione	Z _{AFR}	LL-ML-GL
	Z _{SFR}	LL-ML-GL (LO-MO-GO)
	Z _{RFR}	LL-ML-GL (LO-MO-GO)

Legenda Tabella B2.3 - Indicazioni sulle tipologie di intervento per l'edilizia esistente e per l'edilizia danneggiata.

Sigla	Edilizia	Tipo Intervento	Descrizione
LL ML GL	Danneggiata (danno Leggero, Medio- grave, Gravissimo)	Limitato	Qualsiasi tipo di intervento deve prevedere (nei tempi definiti dalla Regione) interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
LO MO GO	Danneggiata (danno Leggero, Medio- grave, Gravissimo)	Obbligatorio	Non è obbligatoria la delocalizzazione, ma viene favorita. Interventi obbligatori (nei tempi definiti dalla Regione): interventi di miglioramento e/o adeguamento e/o rafforzamento locale e valutazione di interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente), indipendentemente da richieste di manutenzione o altri tipi di richiesta. Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.

Le sigle relative all'edilizia sopra riportate fanno riferimento ad una possibile classificazione dell'edilizia in funzione del danno. Sistemi di classificazione più

articolati possono prevedere la valutazione del livello di danneggiamento e l'analisi di vulnerabilità del manufatto.

A titolo esemplificativo viene riportata la metodologia per l'attribuzione del livello di danno e vulnerabilità utilizzata dal Comune dell'Aquila per l'attribuzione degli indennizzi (Comune dell'Aquila, Assessorato alla Ricostruzione, Urbanistica e Pianificazione territoriale, Sisma Abruzzo 2009, Manuale Istruzioni, Scheda P.E.R. L'Aquila, gennaio 2013).

Il metodo si basa su un'analisi danno-vulnerabilità degli edifici effettuata utilizzando un'apposita scheda progetto. La correlazione danno-vulnerabilità porta all'individuazione di 4 livelli, utilizzati anche come riferimento per l'indennizzo (Fig. B2_1). Il livello di danno viene valutato sulla base del rilevamento di danneggiamento a seguito del terremoto, utilizzando la scala EMS98 (Fig. B2_2). La valutazione della vulnerabilità viene effettuata sulla base di criteri speditivi attribuendo un punteggio a ciascuna tipologia o carenza costruttiva (Figure B2_3 e B2_4)

Correlazione danno-vulnerabilità	Muratura			Cemento armato		
	Livello di vulnerabilità			Livello di vulnerabilità		
	V1 bassa	V2 media	V3 elevata	V1 bassa	V2 media	V3 Elevata
D0 – danno nullo	L0	L0	L1	L0	L0	L1
D1 – danno lieve	L0	L1	L1	L0	L1	L1
D2 – danno moderato	L1	L1	L2	L1	L1	L2
D3 – danno medio	L1	L2	L2	L1	L2	L3
D4 – danno grave	L2	L2	L3	L2	L3	L3
D5 – danno gravissimo	L2	L3	L3	L3	L3	L3

Figura B2.1 – Livelli di indennizzo (L) sulla base della correlazione danno-vulnerabilità.

Descrizione dei livelli di danno della scala Ems 98 ottenuti dalla conversione del danno rilevato con la scheda AeDES :				
<ul style="list-style-type: none"> • D1 danno leggero: nessun danno strutturale e danno non strutturale trascurabile; fessure capillari a pochi pannelli murari; caduta di piccoli pezzi di solo intonaco, in rari casi caduta di parti superiori di edifici. • D2 danno moderato non strutturale, lesioni alle murature, cadute di pezzi abbastanza grandi di intonaco; crolli parziali di canne fumarie. • D3 danno medio con estese lesioni in più pannelli murari, lesioni ai cornicioni; crollo di elementi non strutturali. • D4 danno grave alle strutture, crollo di porzione di muri, crollo parziale di cornicioni e solai. • D5 danno gravissimo alle strutture, prossimo al crollo o crollo totale. 				
				
D1 – danno leggero	D2- danno medio-moderato	D3 – danno medio-grave	D4 – danno grave	D5 – danno gravissimo

Figura B2.2 – Definizioni dei livelli di danno

CRITERI ADOTATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA VULNERABILITA' DEGLI EDIFICI IN MURATURA

Nella sezione D6.12 sono riportati, per ciascun indicatore, il giudizio e il punteggio delle vulnerabilità rilevate, il punteggio totale e il livello di vulnerabilità complessiva.

n.	MODELLO SPEDITIVO VULNERABILITA'	V3 = elevata	V2 = media	V1 = bassa	V3	V2	V1
1	qualità della muratura	caotica, sbazzata senza ricorsi e orizzontalità, diatoni, ...	sbazzata con ricorsi, a spacco, ...	squadrata, mattoni pieni, con ricorsi, diatoni	15	8	4
2	qualità delle connessioni della muratura alle angolate ed ai martelli.	Assente	Irregolari	alternanza regolare	6	4	2
3	Presenza di muratura gravante in falso, almeno su un livello, sulle strutture orizzontali per almeno il 10% della superficie in pianta.	Presente		assente	3	0	0
4	Elevata distanza tra pareti portanti successive (rapporto massimo interasse/spessore della muratura maggiore di 14)	>14	≥10;<14	<10	4	3	2
5	Orizzontamenti : collegamento alle strutture verticali portanti	Assenti o mal collegati	collegamenti poco efficaci	ben collegati	10	7	5
6	Strutture di copertura : collegamento alle strutture verticali portanti	Assente, mal collegato/pesante	collegamenti poco efficaci	ben collegati	8	6	4
7	Presenza di impalcati impostati su piani sfalsati con dislivello maggiore di 1/3 dell'altezza di interpiano	si	No	No	4	0	0
8	Carenza di collegamenti fra gli elementi non strutturali e la struttura.	assente	poco efficaci	efficaci	4	2	0
9	Posizione nell'aggregato	testata/angolo	Interno sporgente	interno	3	2	1
Totale punteggio massimo					57	34	18

Vulnerabilità muratura

La vulnerabilità è stata determinata attribuendo un punteggio a ciascuna tipologia o carenza costruttiva graduato su tre livelli. La vulnerabilità elevata (V3) è attribuita quando il punteggio è maggiore o uguale a 40, la vulnerabilità media (V2) prevede un punteggio compreso tra 25 e 40 e la vulnerabilità bassa (V1) si ottiene per punteggi inferiori a 25.

Livello vulnerabilità	Punteggio
V3 – elevata	>40
V2 – Media	≥21 - ≤40
V1 – bassa	<21

Figura B2.3 – Livelli di vulnerabilità per gli edifici in muratura

CRITERI PER LA DETERMINAZIONE DELLE VULNERABILITA' DEGLI EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

La vulnerabilità è stata graduata su tre livelli : Elevata, media e bassa. A ciascuna carenza costruttiva è stata attribuita una classe tra A (principale) e B (secondaria). La vulnerabilità è Elevata (V3) quando sono presenti almeno 3 carenze costruttive di classe A, è bassa (V1) se sono presenti almeno 5 carenze costruttive di classe B e media (V2) in tutti gli altri casi.

Alta	≥ 2 A
Media	Altre combinazioni
Bassa	≤ 3 B

Nella tabella sono riportate gli indicatori di vulnerabilità e la classe

TABELLA RIEPILOGATIVE DELLE CARENZE COSTRUTTIVE GRAVI		A	B
1	Regolarità in pianta	X	
2	Rigidezza de solai		X
3	Distribuzione delle tamponature in pianta		X
4	Distribuzione delle tamponature in elevazione	X	
5	Tamponature fuori della maglia strutturali		X
6	Presenza di pilastri tozzi	X	
7	Carenza del sistema resistente	X	
8	Stato di conservazione		X
9	Assenza del giunto simico		X
10	Carico sui pilastri	X	
11	Resistenza del calcestruzzo	X	
12	Epoca di costruzione		X

tabella riepilogativa delle carenze costruttive gravi

Figura B2.4 – Livelli di vulnerabilità per gli edifici in cemento armato

APPENDICE B3 – Schema riassuntivo della disciplina d’uso

Disciplina d’uso (Frane)

E' necessario approfondire gli studi (MS3) al fine di individuare ZS e SR

 EDILIZIA ESISTENTE	 INTERVENTO LIMITATO	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
 NUOVA COSTRUZIONE	 INTERVENTO INIBITO	Non è consentita la nuova edificazione.

Slide 1 – Zone di Attenzione: Interventi limitati per l’edilizia esistente e inibizione per le nuove costruzioni

Disciplina d’uso (Frane)

PZI
Un programma da includere nei propri strumenti di pianificazione urbanistica

Fattibilità

- Incentivi finanziari
- Incentivi urbanistici
- Misure premiali
- Livelli di sicurezza
- Analisi del fabbisogno finanziario per l’attuazione del programma
- Piani attuativi

Slide 2 – Zone di Suscettibilità e Zone di Rispetto per Aree Edificate: Definizione del Programma Zone Instabili

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Disciplina d'uso (Frane)

PZI
Un programma da includere nei propri strumenti di pianificazione urbanistica
Sceita di un obiettivo (ZS e ZR): ←
Obiettivo 1: intervento limitato
Obiettivo 2: Intervento obbligatorio o inibito
Obiettivo 3: Intervento inibito

	Obiettivo 1	Obiettivo 2	Obiettivo 3
 EDILIZIA ESISTENTE	 INTERVENTO LIMITATO	 INTERVENTO OBBLIGATORIO	 DELOCALIZZAZIONE
 NUOVA COSTRUZIONE	 INTERVENTO LIMITATO	 INTERVENTO INIBITO	 INTERVENTO INIBITO

Slide 3 – Zone di Suscettibilità e Zone di Rispetto per Aree Edificate: Scelta Obiettivo del PZI

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Disciplina d'uso (Frane)

 EDILIZIA ESISTENTE	 INTERVENTO LIMITATO	Con esclusione degli interventi di manutenzione ordinaria, degli interventi di adeguamento igienico-sanitario, o altri interventi obbligatori di settore, qualsiasi altro tipo di intervento deve prevedere interventi di miglioramento e/o di adeguamento e/o di rafforzamento locale e valutazione di eventuali interventi di riduzione della pericolosità (in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.
 NUOVA COSTRUZIONE	 INTERVENTO LIMITATO	E' consentita la nuova edificazione con valutazione di interventi di riduzione della pericolosità in conformità alla normativa vigente). Si rimanda alla normativa regionale o alla disciplina urbanistica del PAI di riferimento, qualora siano vigenti norme più restrittive.

Slide 4 - Zone di Suscettibilità e Zone di Rispetto per Aree non Edificate e Aree non Edificabili: Interventi limitati per l'edilizia esistente e per le Nuove costruzioni



Disciplina d'uso zone di ricostruzione (Frane)

 EDILIZIA Danneggiata	Obiettivo 1		Obiettivo 2	
	ZS	ZR	ZS	ZR
Danno leggero				
Danno medio-grave				
Danno gravissimo				

Slide 5 - Disciplina d'uso per le zone di ricostruzione, in funzione dell'obiettivo prescelto per il PZI.



Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISTITUTO DI GEOLOGIA AMBIENTALE E GEOINGEGNERIA



UNIONE EUROPEA

Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Agenzia per la Coesione Territoriale



**GOVERNANCE
E CAPACITÀ
ISTITUZIONALE
2014-2020**



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

**PON GOVERNANCE E CAPACITA' ISTITUZIONALE 2014-2020
PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA
DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO
AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE**

ATTIVITA' A2.1

Definizione di metodi di studio delle instabilità cosismiche e delle situazioni geologiche complesse: frane sismoindotte in terra e di crollo

Responsabile CNR-IGAG: Edoardo Peronace

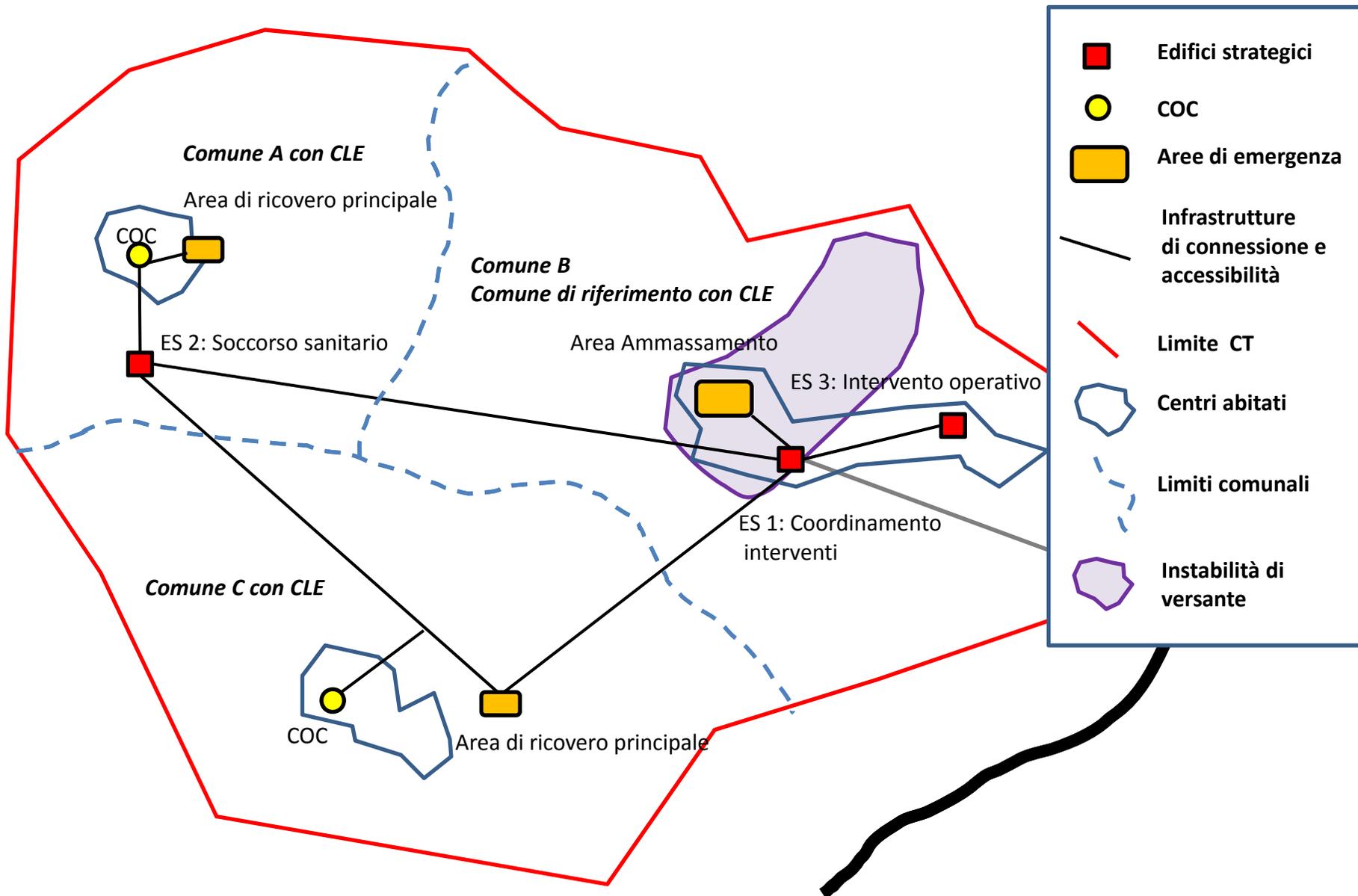
Responsabile DPC: Sergio Castenetto

*A cura di: Edoardo Peronace (CNR-IGAG), Federico Mori (CNR-IGAG),
Giuseppe Naso (DPC), Carolina Fortunato (CNR-IGAG).*

Obiettivo:

Procedura di calcolo di parametri di spostamento delle instabilità di versante finalizzate alle valutazioni della CLE a scala comunale o sovracomunale (CT) mediante l'esecuzione di scenari di pericolosità sismica.

Il sistema strutturale di emergenza nel Contesto Territoriale



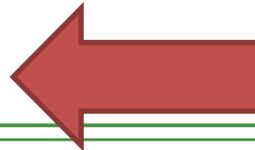
Le Fasi della metodologia per il calcolo di IOCT (evento sismico)

FASE 1. Lo scenario sismico di base

- La pericolosità sismica di base spazialmente correlata

FASE 2. La pericolosità sismica locale

- I modelli per le amplificazioni
- **I modelli per le instabilità (frane)**



FASE 3. La valutazione dell'operatività delle componenti del sistema

- I modelli per gli edifici strategici
- I modelli per le infrastrutture e le aree di emergenza
- I modelli per le connessioni

FASE 4. La valutazione dell'operatività del sistema

- L'indice IOCT

FASE 5. I criteri per il miglioramento del sistema

- Le priorità di intervento e l'allocazione delle risorse per il miglioramento del sistema

La pericolosità sismica locale

- Modelli per il calcolo delle deformazioni cosismiche delle instabilità di versante

- Modelli semplificati* - (Metodo HAZUS)

Definizione della suscettibilità alle instabilità di versante

- 1) Categoria geologica (carta geologica 1:25.000)
- 2) Angolazione del pendio (DEM 20)
- 3) Accelerazione critica (grafici e tabelle Wilson e Keefer, 1985)
- 4) Classificazione di suscettibilità (tabella funzione della litologia e dell'angolo del pendio)
- 5) Categoria di suscettibilità (tabelle di aggiustamento)
- 6) Calcolo dello spostamento con modello quantitativo convenzionale semplificato (Saygili et al., 2008)

- Modelli avanzati**

Procedura identica al Modello semplificato da 1) a 5)

- 6) Calcolo dello spostamento con modello quantitativo specifico (Bray e Travasarou, 2007; 2009)

Fase 1

Fase 2

Fase 3

Fase 4

Fase 5

* Prevedono la raccolta di dati di letteratura

** prevedono misure sul terreno