

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**Corso di Laurea Triennale in Ingegneria per l'Ambiente e il
Territorio**

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale

Tesi di Laurea

**IL RUOLO DELL'ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO
NELL'INNESCO DELLE FRANE INDOTTE DAL TERREMOTO DI
AMATRICE DEL 2016**

Relatore

Ch.mo Prof. Geol. Antonio Santo
Ch.mo Prof. Ing. Fatemeh Jalayer

Candidato

Eleonora Famà
Matr. N49/469

Correlatori

Dott. Geol. Giovanni Forte
Dott. Ing. Andrea Miano

Anno Accademico 2015/2016

Abstract

La presente tesi sperimentale in geologia applicata ed ingegneria sismica analizza i fenomeni franosi indotti dal terremoto di Amatrice del 24 agosto 2016 di Magnitudo 6.0, in funzione dei fattori geologici e dell'input sismico.

Nella prima parte della tesi si è adottata la shakemap fornita dall'INGV, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che ha fornito una stima di PGA (accelerazione di picco al suolo) che ben si è adattata ad un'analisi basata sulla carta litologica di scala 1:100000; secondariamente per costruire gli involuipi di innesco frana, si è adoperata una generazione di shakemaps che tenessero conto della variazione stratigrafica e topografica dell'area in esame e delle incertezze della legge di attenuazione tramite le simulazioni.

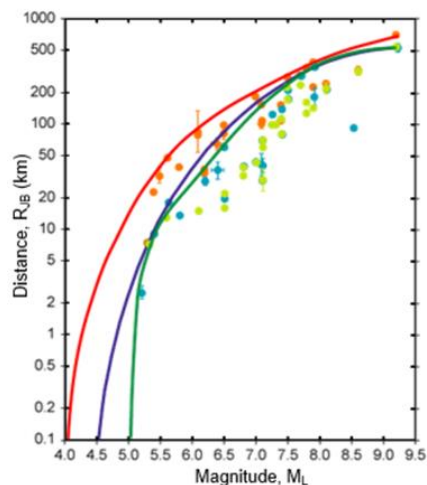
Le frane registrate dal sisma del 24 Agosto sono state scaricate dal database del CERI (Centro di Ricerca sui Rischi Geologici) dell'Università "Sapienza" di Roma che ha curato la nuova versione del Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT), un Catalogo che censisce gli effetti indotti da terremoti dall'anno 1000 d.C. al 2016.

Dopo il sisma sono state rilevate e caricate su ARCGis, più di un centinaio di frane prevalentemente in roccia accorpate e divise in due categorie, crolli e scorrimenti.

Questo poiché, è stata adottata la classificazione di Keefer e Wilson, che nel 1989 hanno raggruppato le frane sismoindotte in 3 grandi categorie e, tenendo conto anche della frequenza con la quale questi fenomeni si verificano, è possibile associare alla categoria I i crolli (i più frequenti), alla categoria II gli scorrimenti ed alla categoria III le colate.

Fissata la magnitudo in ascissa, unico parametro che definisce la pericolosità sismica, è possibile perimetrare l'area all'interno della quale è lecito attendersi un fenomeno franoso indotto dal sisma.

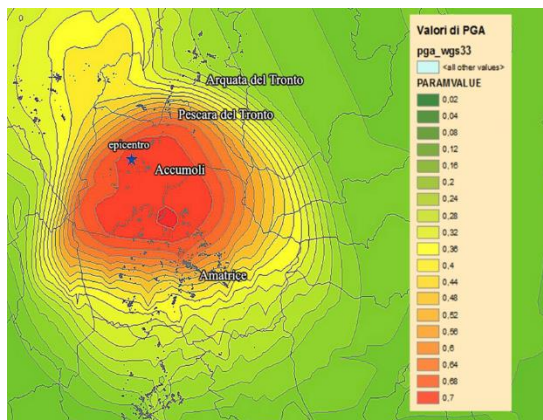
Nell'immagine sono riportate infatti le massime distanze epicentrali alle quali sono stati osservati eventi appartenenti alle tre categorie di frane sismoindotte: è possibile osservare che le frane appartenenti alla categoria 1 (*crolli*) richiedono una minore magnitudo di innesco (M4.0) rispetto a quelle appartenenti alle categorie 2 (M4.5) e 3 (M5.0).



limiti di Keefer e Wilson (1989)

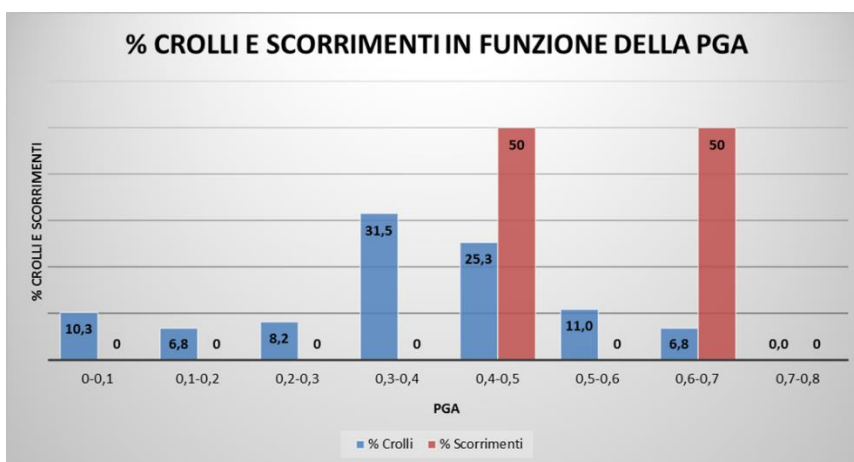
Uno studio di primo livello di zonazione sismica è stato proprio quella di valutare se le frane indotte dai sismi di Agosto e del 30 Ottobre fossero comprese nelle aree prevedibili da Keefer.

Per svolgere la seconda elaborazione in funzione della PGA ,accelerazione di picco al suolo, è stato fondamentale l'uso della shakemap fornita dall'INGV.



Shakemap INGV

Questa elaborazione è volta a mettere in relazione le due categorie registrate (crolli e scorrimenti) del terremoto di Agosto in relazione ai valori di PGA misurata. Come mostrato dall'istogramma, la maggior parte dei crolli si sono innescati tra i valori di PGA media, 0,3 e 0,5 mentre gli scorrimenti, in numero minore, sono avvenuti per valori di PGA più alti.



% crolli e scorrimenti in funzione della PGA

Ciò quindi conferma che la frequenza degli eventi di categoria I (crolli) è molto maggiore rispetto alla frequenza degli eventi di categoria II(scorrimenti) questo poiché, i crolli si innescano su discontinuità preesistenti e quindi c'è bisogno di una minore energia di attivazione a differenza degli scorrimenti che si innescano su fratture di neoformazione.

La Terza importante elaborazione ha permesso di indagare il ruolo della litologia dell'area in esame con la carta litologica 1:100 000.

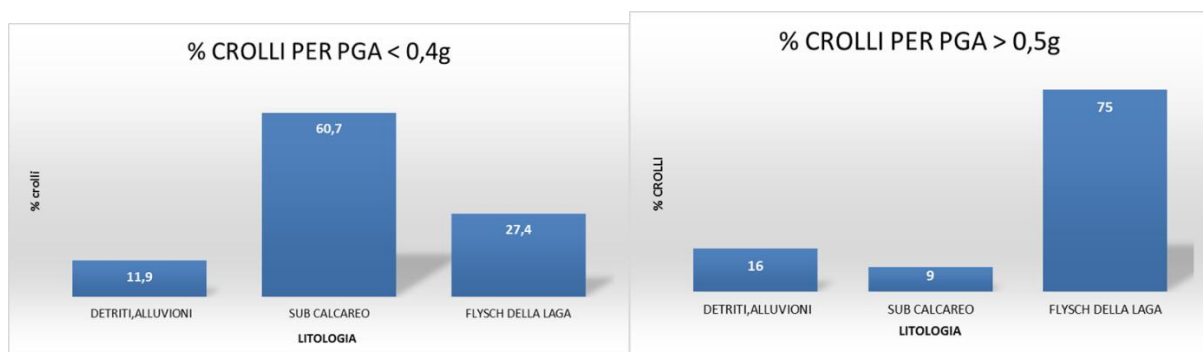


Carta litologica 1:100000

I litotipi maggiormente presenti sono le arenarie del Flysch della Laga e il substrato calcareo, tipico dell'Appennino Centrale. Con una presenza minore ma in corrispondenza dei centri abitati (si noti il colore beige) si trovano invece, alluvioni, colluvioni e detriti che hanno causato non pochi problemi agli edifici.

Caricando i dati su Arcgis, si è calcolata la frequenza dei crolli per ogni litologia. Andando ad indagare meglio l'accelerazione che ha causato i fenomeni, si può osservare che i crolli con una $PGA < 0,4$ sono avvenuti principalmente su substrato calcareo, questo a causa delle numerose fratture e discontinuità tipiche di questa litologia sedimentaria e delle maggiori pendenze del complesso.

Invece si può osservare come per $PGA > 0,5$ g i crolli siano avvenuti sui flysch della Laga, una successione arenaceo-argillosa di notevole spessore (ca. 3000 mt) in cui la bassa permeabilità limita l'infiltrazione delle precipitazioni e ciò fa sì che l'acqua non occupi e scavi in fratture preesistenti.

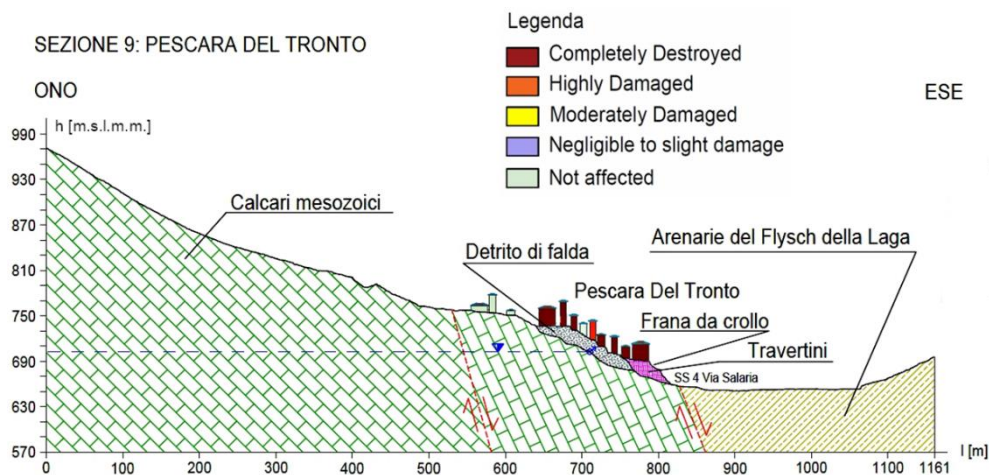


Istogrammi con le % di crolli in base alla PGA

La più grande frana indotta dal terremoto di agosto però è stata quella avvenuta su travertini, nella parte bassa di Pescara del tronto.

La frana è scivolata sulla via Salaria, rendendo molto complicato il passaggio anche ai mezzi di soccorso. I detriti di falda erano in realtà parte costituente di una paleofrana, corpo immobile da

tempo, poggiante su travertini poco consolidati. Essa si è riattivata a causa dello scuotimento sismico. Si può notare il forte danneggiamento degli edifici che si trovavano su di essa dal colore rosso scuro. Inoltre hanno contribuito l'amplificazione stratigrafica dovuta all'addensamento delle onde nello strato dei detriti, più soffice del substrato calcareo, e l'amplificazione topografica dovuta all'acclività del pendio. Si noti infatti come gli edifici posti sul substrato calcareo e in una zona più pianeggiante siano poco danneggiati.



Sezione geologica di Pescara del Tronto

Amplificazione stratigrafica e topografica sono entrambi effetti di sito cioè fattori che localmente amplificano le onde sismiche e per i quali anche a seguito di una scossa non estremamente intensa possono svilupparsi importanti devastazioni.

L'ultima elaborazione di questa tesi è consistita nel costruire gli involucri di innesco frana per il terremoto di Amatrice per esprimere la probabilità che avvengano crolli e scorrimenti all'aumentare della PGA.

Utilizzando i dati di input quali carta geologica, Magnitudo, epicentro e posizione di faglia dell'evento, si è arrivati alla generazione di shakemaps per simulare infiniti campi di PGA che tenessero conto delle caratteristiche del sito in esame.

Queste nuove shakemaps sono basate sull'implementazione della legge di attenuazione BINDI PACOR 2011 (tarata su recenti terremoti italiani come quello del Molise e l'Aquila), e, considerando gli effetti stratigrafici e topografici del sito, sono state aggiornate ulteriormente con i dati registrati dalle stazioni accelerometriche. Definendo poi il set dei crolli e scorrimenti, e calcolando la funzione di densità cumulata delle PGA che causano l'innesco, si arriva alla costruzione degli involucri.

Prima di elaborare gli involucri, ci si è accertati che la legge di Bindi Pacor ben si adattasse alle misurazioni di PGA effettivamente registrate da 28 stazioni poste a piccola distanza dall'epicentro.

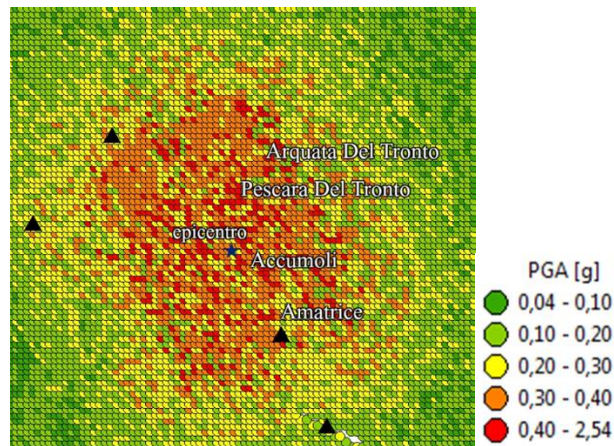
Essa utilizza la classificazione dell'eurocodice 8 che divide il sottosuolo in 5 categorie in base alla velocità delle onde di taglio nei primi 30 m (VS 30).

Per la generazione delle shakemaps si considera inizialmente nel bedrock (roccia sottostante) suolo rigido di tipo A, con coefficiente $FS = 1$. In seguito per tener conto degli effetti di sito, la legge

verrà ulteriormente modificata con due coefficienti: coefficiente di amplificazione topografica e stratigrafica.

La PGA del bedrock della legge verrà quindi moltiplicata per entrambi i coefficienti calcolando così quella finale.

Infine, aggiornando i dati con le stazioni accelerometriche poste sul sito (triangolini neri), si otterranno infiniti campi di PGA.

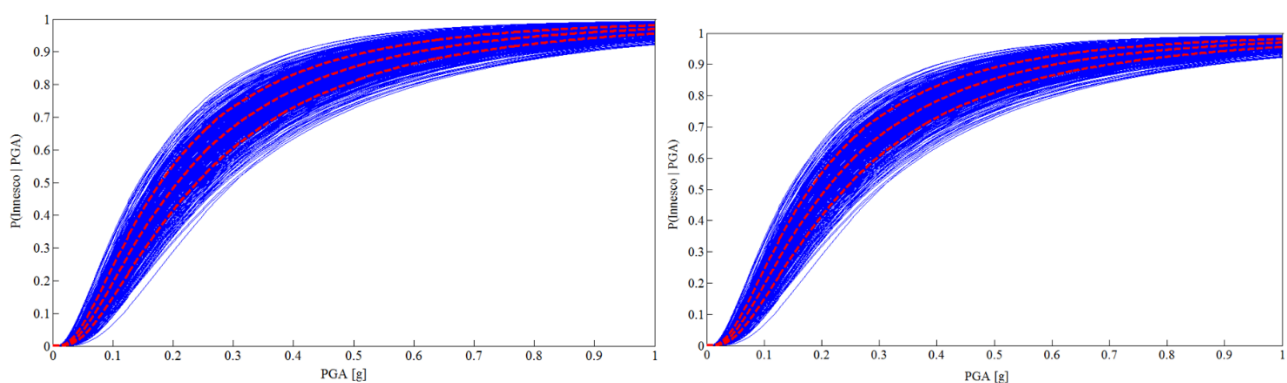


Mediana delle simulazioni di shakemaps

Per costruire gli involuipi di innesco frana, si è scelto il set di crolli e scorrimenti e si è adoperato un modello di distribuzione di probabilità Lognormale e la sua funzione di densità cumulata (CDF) delle PGA che causano l'innesco delle frane stesse.

Gli involuipi sono stati costruiti per diverse simulazioni ed a 500 simulazioni è risultato che media e deviazione standard si siano stabilizzate ottenendo i seguenti involuipi per crolli e scorrimenti.

Analizzando gli involuipi si evince che, il 50% di probabilità di innesco frana si raggiunge per valori di PGA compresi tra 0,2 e 0,3 g.



Involuipi di innesco crolli(a sinistra) e scorrimenti(a destra)

La conoscenza quindi del nostro territorio è fondamentale per salvaguardare il patrimonio culturale ma soprattutto per evitare perdite di vite innocenti dovute ad uno scarso monitoraggio della stabilità dei versanti che aiuterebbe, in molti casi, nella formulazione di adeguati piani di emergenza.