Frane sismoindotte
Ricadute applicative nella valutazione del rischio sismico

Roberto W. Romeo
Dipartimento di Scienze della Terra, della Vita e dell’Ambiente
Università degli Studi di Urbino, Carlo Bo
Rischio: le conseguenze di una minaccia

- La propensione al dissesto nei confronti degli eventi naturali costituisce una minaccia per i beni esposti (pericolosità)
- La presenza di beni esposti (strutturali, infrastrutturali e socio-economici) rende la minaccia un potenziale disastro
- La perdita (=rischio) dipende dalla capacità di danneggiamento degli eventi, dalla tipologia e quantità di beni esposti e dalla loro capacità di resistenza (grado di resilienza)
- La sua valutazione attiene pertanto alla SICUREZZA
Relationship of Site Response with Seismic Hazard, Risk and Design

**Earthquake faulting** (seismic-moment)
- Energy release (stress-drop)
- Seismic shaking (ground-motion)

**Surface or capable faulting** (slip-offset)

**Tsunami** (run-up)

**SITE RESPONSE**

**Ground failures**
- Landslides
- Liquefaction
- Secondary hazards (e.g., dam break)

**Damages**
- Inertial loads
- Soil-structure interaction

**Amplifications**

**Basin effects** (surface-waves entrapment)

**Layering effects** (seismic impedance)

**Morphological effects** (topography and buried structures)

**Unstable behaviour**

**Stable behaviour**

**Built environment**

**Primary effects**

**Secondary effects**

**Losses** direct and indirect

from Romeo, IAEA 2012
Cause di danneggiamento a strutture

a) Primary cause of building damage in each earthquake

- Tsunami
- Landslide
- Shaking

b) Secondary cause of building damage in each earthquake

- Shaking
- Landslide
- Liquefaction
- Tsunami
- Fault rupture
- None

After Bird & Bommer, 2004
Cause di danneggiamento a infrastrutture di comunicazione

a) Cause of damage, earthquakes with significant transportation damage

- Fault rupture
- Tsunami
- Liquefaction
- Landslide
- Shaking

b) Cause of damage, earthquakes with moderate transportation damage

- Fault rupture
- Shaking
- Liquefaction
- Landslide
Cause di danneggiamento a infrastrutture di servizio (lifelines)

a) Cause of damage, earthquakes with significant utilities damage
   - Fault rupture
   - Tsunami
   - Liquefaction
   - Landslide
   - Shaking

b) Cause of damage, earthquakes with moderate utilities damage
   - Fault rupture
   - Liquefaction
   - Landslide
   - Shaking

After Bird & Bommer, 2004
Perdite Dirette e Indirette

• Lo scuotimento (GS) è spesso la causa principale delle perdite dirette (danneggiamento), ma le deformazioni del suolo (GF) che interessano infrastrutture e servizi (lifelines) sono spesso la causa delle perdite indirette dovute alla interruzione delle attività produttive e delle operazioni di soccorso, i cui costi possono superare largamente i costi dovuti alle perdite dirette (es. Kobe, 1995: 11 vs. 100 billion $)
Vulnerabilità dei sistemi

- Le vie di trasporto e comunicazione (con la sola eccezione dei ponti) sono in genere più vulnerabili alle GF (frane in primis) che al GS.
- Le infrastrutture costiere o limitrofe a corsi d’acqua sono particolarmente soggette a liquefazione e spandimenti laterali a causa della presenza di terreni recenti soffici e al loro grado di saturazione.
- I danni alle lifelines sono spesso la combinazione di danni a sistemi e componenti che possono a loro volta indurre danni collaterali. Es.: i gasdotti possono provocare incendi e la simultanea rottura di acquedotti ne impedisce il controllo favorendone la diffusione (effetto domino).
Effetto scala

- Nell’intero cratere del terremoto GS è la causa principale di danno, tuttavia localmente le GF possono risultare la causa dominante dei danni e delle perdite, come nel caso del terremoto di Izmit (Turchia 1999) dove nella città di Adapazari i danni furono dovuti prevalentemente alla liquefazione. Ma anche in Italia si è avuto recentemente un esempio simile ...
Piano seminterrato della chiesa di San Carlo
Rialzo del piano di calpestio di 60 cm per liquefazione
Wu-Feng primary school (0.8g): 1999 Chi-Chi (Taiwan) M7.6
Danni indipendenti vs. danni cumulati

- \( P(DS > ds | GS \cup GF) = P(ds | GS) \ OR \ P(ds | GF) = P(ds | GS) + P(ds | GF) - P(DS > ds | GS \cap GF) \)
  dove il danno è dovuto a GS oppure a GF (es. basculamento di edifici senza lesioni da taglio, collasso da frana senza che edifici contigui abbiano subito danni evidenti)

- \( P(DS > ds | GS \cap GF) = P(ds | GS) \ AND \ P(ds | GF) = P(ds | GS) \cdot P(ds | GF) \)
  dove il danno è dato dall’effetto combinato di GS e GF (es. cedimenti e/o perdita di capacità portante dovuto all’eccentricità del carico prodotta dai danni dovuti al GS)
Only GS

Kocaeli 1999, M7.4

GS followed by GF

Chi-Chi 1999, M7.6
Las Colinas (St. Tecla) landslide, El Salvador 2001 M7.6: cause of damage and death
Nikawa landslide
1999 Kobe, M6.9
11 houses destroyed
34 fatalities
Only cause of death
Calitri landslide, Irpinia 1980 M6.9: only damage
Immaterialità delle cause
LE DIMENSIONI DEL FENOMENO: LA SISMICITÀ

Es. le Marche ricadono in 2^ zona
Es. le Marche hanno un rapporto di area in frana sulla superficie totale di circa il 20%
CEDIT, [http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp](http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp)

from Martino & Romeo, 2013
SCENARI DI PERICOLOSI È RISCHIO DA FRANA CON PARTICOLARE RIGUARDO ALL'INNESCO DA TERREMOTI

A cura di Roberto M. Roncalli e Pierpaolo Tiberti
Diagramma di flusso metodologico

1. Geology
   - Geomechanical properties (static capacity of resistance)
     - Ground shaking (seismic demand)
       - EC8 ground conditions (site amplifications)

2. Landslide inventory
3. Slope gradient

4. Rainfall distribution
5. Hydraulic conditions

6. Static slope performance: $P_f (FS)$

7. Critical acceleration, $A_c$ (seismic capacity of resistance)

8. Seismic slope performance: $P_f (FD)$, $P(Dc)$

9. Exposed Assets
10. RISK
Critical Displacement Probability Map
Outer Apennines seismic sources
Wet conditions

$P(D > D_c | D \leq 0)$

- Red: > 95%
- Orange: 75 - 95%
- Yellow: 50 - 75%
- Green: 25 - 50%
- Light blue: 5 - 25%
- Beige: < 5%

La minaccia
Landslide Risk Map - Outer Apennines seismic sources
Wet conditions

145 out of about 1,500 landslides

Percentiles
- > 95%
- 75 - 95%
- 50 - 75%
- 25 - 50%
- 5 - 25%
- < 5%
- none

Assets
- Highway
- Main Road
- Railway
- Aqueduct

La perdita (rischio)
Principii base delle NTC: sicurezza e prestazioni (stati limite)

- La **sicurezza** concerne le **prestazioni** che un’opera o parti di essa devono assolvere in relazione agli **stati limite** che si possono verificare durante la sua vita tecnica utile.

- Lo **stato limite** è una condizione che non dev’essere superata sotto scenari di carico di predeterminata probabilità di occorrenza.

- Per la valutazione della **sicurezza** si devono pertanto adottare opportuni **criteri probabilistici** scientificamente comprovati.
Esempio di calcolo della probabilità di rottura (**collasso, SLe**) 

**Pericolo**

Es.: verifica allo SLC di un pendio in zona sismica.

\[ P_{F|t} = P[FS \leq 1 \mid Ag] \cdot P[Ag \geq a \mid t] \]

\[ Ag \cdot (P[0.05, t=50y]) \geq 0.18 \]

\[ P[FS \leq 1 \mid Ag \geq 0.18g] \approx 0.4 \]

\[ P_{F|t} = 0.05 \times 0.4 = 0.02 \]

\[ P_{S|t} = 1 - P_{F|t} = 1 - 0.02 = 0.98 \]

Probabilità annuale:

\[ P_{F} \approx P_{F|t}/t = 0.02/50 = 4 \cdot 10^{-4} \]

\[ (P_{F} = - \ln[1-P_{F|t}]/t = 4.04 \cdot 10^{-4}) \]
Approccio rigoroso

\[ P_F = \int_{-\infty}^{+\infty} f_S(s) F_R(s) \, ds \]

S = domanda (Ag)
R = capacità (FS<1|Ag)
\( f_S \) = pmf domanda
\( F_R \) = CDF capacità

Probabilità annua di collasso:
\[(P_C = - \ln[1-P_F|t]/t = -\ln[1-0.115]/50 = 2.44 \cdot 10^{-3}\]
circa 6 volte maggiore

<table>
<thead>
<tr>
<th>Ag (g)</th>
<th>( f_S(Ag) )</th>
<th>( F_R(Ag) )</th>
<th>( P_F )</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>0</td>
<td>15.33333</td>
<td>0.00135</td>
<td>0</td>
</tr>
<tr>
<td>0.01</td>
<td>13.1536</td>
<td>0.002555</td>
<td>0.000192</td>
</tr>
<tr>
<td>0.02</td>
<td>11.28373</td>
<td>0.004661</td>
<td>0.000312</td>
</tr>
<tr>
<td>0.03</td>
<td>9.679681</td>
<td>0.008198</td>
<td>0.000489</td>
</tr>
<tr>
<td>0.04</td>
<td>8.303654</td>
<td>0.013903</td>
<td>0.000737</td>
</tr>
<tr>
<td>0.05</td>
<td>7.123238</td>
<td>0.02275</td>
<td>0.001072</td>
</tr>
<tr>
<td>0.06</td>
<td>6.110625</td>
<td>0.03593</td>
<td>0.001505</td>
</tr>
<tr>
<td>0.07</td>
<td>5.241962</td>
<td>0.054799</td>
<td>0.00204</td>
</tr>
<tr>
<td>0.08</td>
<td>4.496784</td>
<td>0.080757</td>
<td>0.002668</td>
</tr>
<tr>
<td>0.09</td>
<td>3.857538</td>
<td>0.11507</td>
<td>0.003373</td>
</tr>
<tr>
<td>0.1</td>
<td>3.309165</td>
<td>0.158655</td>
<td>0.004123</td>
</tr>
<tr>
<td>0.11</td>
<td>2.838747</td>
<td>0.211855</td>
<td>0.004877</td>
</tr>
<tr>
<td>0.12</td>
<td>2.435201</td>
<td>0.274253</td>
<td>0.005587</td>
</tr>
<tr>
<td>0.13</td>
<td>2.089022</td>
<td>0.344578</td>
<td>0.006204</td>
</tr>
<tr>
<td>0.14</td>
<td>1.792054</td>
<td>0.42074</td>
<td>0.006687</td>
</tr>
<tr>
<td>0.15</td>
<td>1.537303</td>
<td>0.5</td>
<td>0.007004</td>
</tr>
<tr>
<td>0.16</td>
<td>1.318766</td>
<td>0.57926</td>
<td>0.00714</td>
</tr>
<tr>
<td>0.17</td>
<td>1.131295</td>
<td>0.655422</td>
<td>0.007096</td>
</tr>
<tr>
<td>0.18</td>
<td>0.970474</td>
<td>0.725747</td>
<td>0.006888</td>
</tr>
<tr>
<td>0.19</td>
<td>0.832515</td>
<td>0.788145</td>
<td>0.006543</td>
</tr>
<tr>
<td>0.2</td>
<td>0.714168</td>
<td>0.841345</td>
<td>0.006095</td>
</tr>
<tr>
<td>0.21</td>
<td>0.612645</td>
<td>0.88493</td>
<td>0.005582</td>
</tr>
<tr>
<td>0.22</td>
<td>0.525553</td>
<td>0.919243</td>
<td>0.005036</td>
</tr>
<tr>
<td>0.23</td>
<td>0.450843</td>
<td>0.945201</td>
<td>0.004488</td>
</tr>
<tr>
<td>0.24</td>
<td>0.386753</td>
<td>0.96407</td>
<td>0.003958</td>
</tr>
<tr>
<td>0.25</td>
<td>0.331773</td>
<td>0.97725</td>
<td>0.003464</td>
</tr>
<tr>
<td>0.26</td>
<td>0.28461</td>
<td>0.986097</td>
<td>0.003012</td>
</tr>
<tr>
<td>0.27</td>
<td>0.244151</td>
<td>0.991802</td>
<td>0.002607</td>
</tr>
<tr>
<td>0.28</td>
<td>0.209443</td>
<td>0.995339</td>
<td>0.002249</td>
</tr>
<tr>
<td>0.29</td>
<td>0.179669</td>
<td>0.997445</td>
<td>0.001936</td>
</tr>
<tr>
<td>0.3</td>
<td>0.154128</td>
<td>0.99865</td>
<td>0.001665</td>
</tr>
</tbody>
</table>

0.114629
RISCHIO ACCETTABILE(!!)

No. di potenziali vittime ; $10^{-6}$ PIL (milioni di €)

ACCETTABILE

TOLLERABILE

NON TOLLERABILE

MARGINALMENTE ACCETTABILE
PER CONCLUDERE

• Le GF hanno la potenzialità di incidere considerevolmente sui danni e le perdite dovute al GS e di produrre effetti negativi di lungo termine
• Tuttavia, siccome l’instabilità dei versanti è un processo naturale di raggiungimento di un equilibrio, ciò che rende una frana un DISASTRO è solo la presenza umana
• Pertanto, ciò che conta in definitiva + che la pericolosità è il RISCHIO (= perdita), MA ...
• ... mentre la fragilità del sistema è investigabile e controllabile ...

QUANTO SIAMO CONFIDENTI CIRCA LA CONOSCENZA DEL FENOMENO?
LA GEOLOGIA è UNA SCIENZA ESATTÀ?
LA GEOLOGIA SAREBBE UNA SCIENZA ESATTA ....
... SFORTUNATAMENTE IL 99,7% DI ESSA È SEPOLTA ...
... E IL RESTANTE 0,3% è SPESSO ahimè ... MALE INTERPRETATO!