

MICROZONAZIONE SISMICA  
UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO  
L'esperienza della Regione Emilia-Romagna

## Microzonazione sismica: obiettivi e principi fondamentali

Prof. Ing. Teresa Crespellani



Ettore Sottsass, Jr, 1981

Bologna - 19 aprile 2012

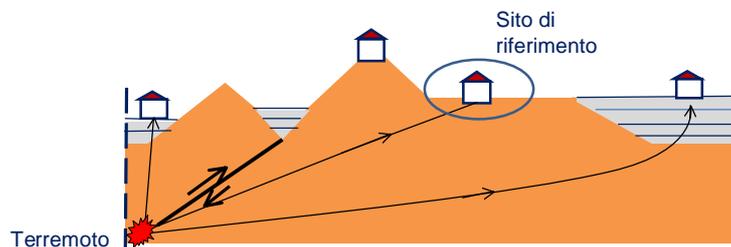
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Università di Firenze

MICROZONAZIONE SISMICA - UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO  
L'esperienza della Regione Emilia-Romagna - Bologna 19 Aprile 2012

### Definizione

Ø **Microzonazione Sismica (MS):** È l'operazione tecnico-scientifica di suddivisione di un dato territorio in zone omogenee sotto il profilo della risposta a un terremoto di riferimento in arrivo al sito valutata tenendo conto delle interazioni tra onde sismiche e condizioni geologiche, topografiche e geotecniche locali ("pericolosità sismica locale") che modificano la "pericolosità di base" (cioè la pericolosità valutata su terreno duro e pianeggiante di riferimento)

*Pericolosità = "entità massima della scossa sismica attesa in un prefissato intervallo di tempo espressa in termini di accelerazione massima".*

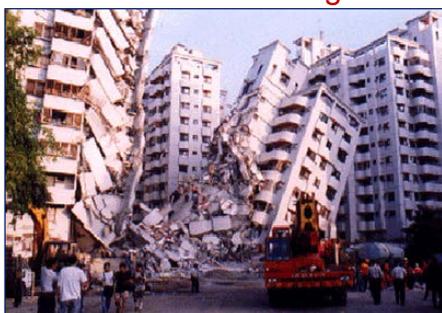


### Finalità

- Ø È uno **strumento conoscitivo** fondamentale per la prevenzione e riduzione del rischio sismico, utile ai fini della:
- Ø *pianificazione territoriale e urbanistica*
- Ø *progettazione sismica*
- Ø *pianificazione dell'emergenza*
- Ø *ricostruzione post-sisma*



### Differente comportamento sismico di edifici di analoghe caratteristiche



## Differente comportamento sismico di edifici di analoghe caratteristiche



## Differente comportamento sismico di edifici di analoghe caratteristiche

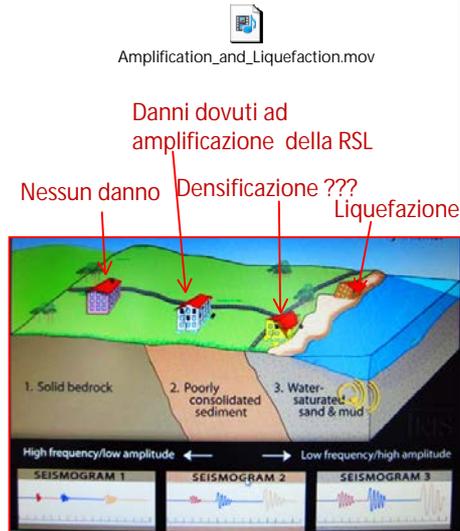


## Natura del problema



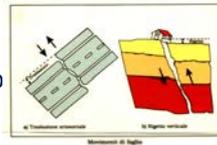
L'esempio indica che i danni possono essere dovuti a due tipi di fenomeni fisici:

- Amplificazione della RSL che *non comporta* instabilità del terreno ("effetti di sito")
- Amplificazione della RSL che *comporta* instabilità del terreno ("liquefazione", "densificazione")

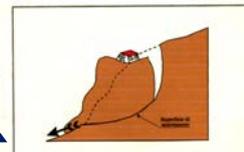


## Scenari di instabilità dovuti alle interazioni tra onde sismiche e terreni

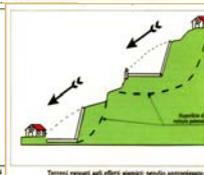
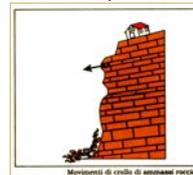
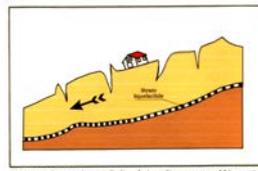
A) Rotture del terreno



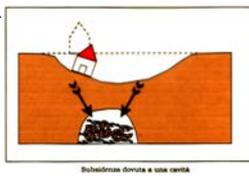
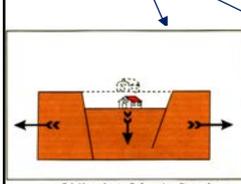
B) Fenomeni di instabilità dei pendii



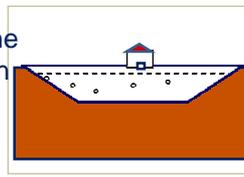
C) liquefazione dei terreni sabbiosi saturi



D) subsidenza



E) Densificazione dei terreni non saturi



## Rotture del terreno e dislocazioni



Alaska,  
1964



Fukushima,  
Giappone, 2011



Christchurch, New  
Zealand, 2011



Manzanillo,  
Messico,  
1995

## Movimenti orizzontali del terreno (Lateral spreading)



## Rotture del terreno, crateri e vulcanelli, fuoriuscite di sabbia

Christchurch, New Zealand, 2011



Prof. Ing. Teresa Crespellani – Microzonazione sismica: obiettivi e principi fondamentali

11

## Fuoriuscite di acqua e sabbia e formazione di laghi

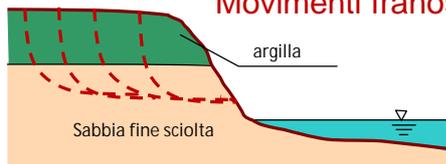
Kokaeli, Turchia, 1999



Prof. Ing. Teresa Crespellani – Microzonazione sismica: obiettivi e principi fondamentali

12

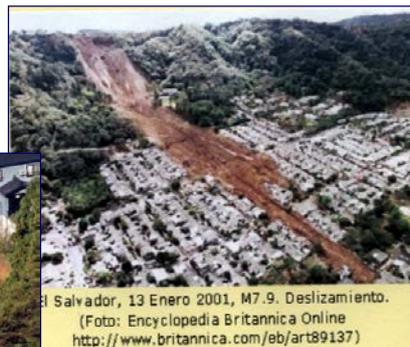
## Movimenti franosi



Tokachi-oki, Giappone, 2003



## Movimenti franosi



El Salvador, 13 Enero 2001, M7.9. Deslizamiento.  
(Foto: Encyclopedia Britannica Online  
<http://www.britannica.com/eb/art89137>)

## Abbassamenti del terreno

Haiti, 2010



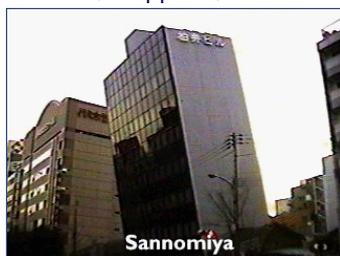
Fukushima, Giappone, 2011

Prof. Ing. Teresa Crespellani - Microzonazione sismica: obiettivi e principi fondamentali

15

## Perdita di capacità portante

Kobe, Giappone, 1995



Kokaeli, Turchia, 1999



Chichi, Taiwan, 1999

Chichi, Taiwan, 21 Septiembre 1999, M7.6. Fallo de los cimientos por licuefacción (USGS)

Prof. Ing. Teresa Crespellani - Microzonazione sismica: obiettivi e principi fondamentali

16



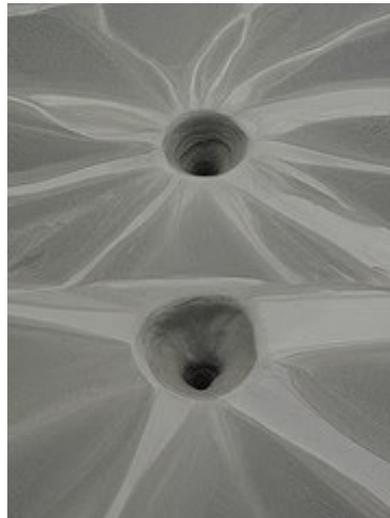
## Perdita di capacità portante del terreno

Christchurch, New Zealand, 2011

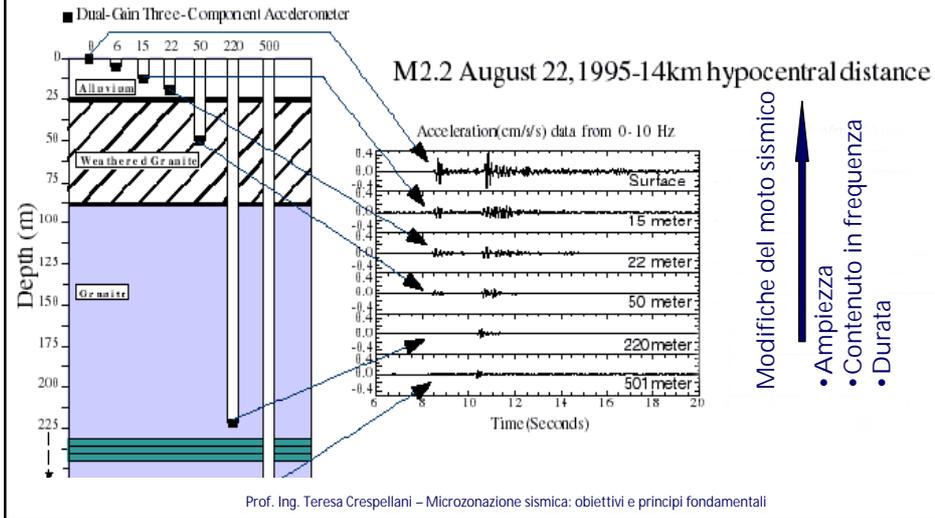


## Crateri e vulcanelli

Christchurch,  
New Zealand, 2011



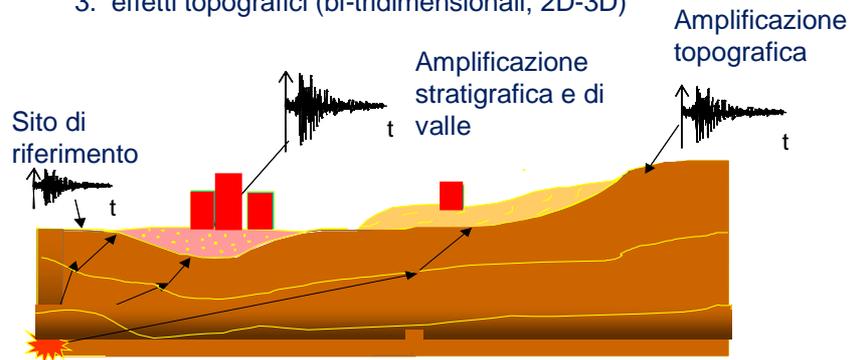
### Garner Valley Downhole Seismographic Array



19

Ø Effetti di sito = modificazioni che il moto sismico subisce nell'attraversare i depositi e gli ammassi rocciosi superficiali rispetto al moto che si avrebbe su sottosuolo di categoria A con superficie topografica orizzontale

1. effetti stratigrafici (monodimensionali, 1D)
2. effetti di valle (bi-tridimensionali, 2D-3D)
3. effetti topografici (bi-tridimensionali, 2D-3D)



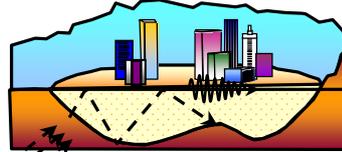
20

### Effetti di sito

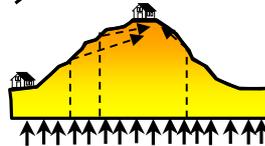
Ø Effetti stratigrafici 1-D:



Ø Effetti di valle 2-D o 3-D:



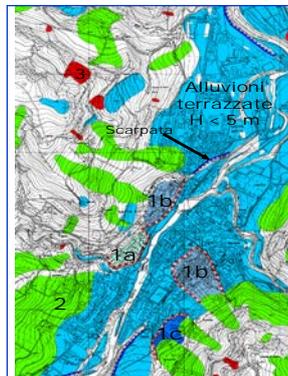
Ø Effetti topografici 2-D o 3-D:



*La previsione quantitativa degli effetti di sito viene denominata:  
Analisi della risposta sismica locale*

### Finalità di uno studio di MS

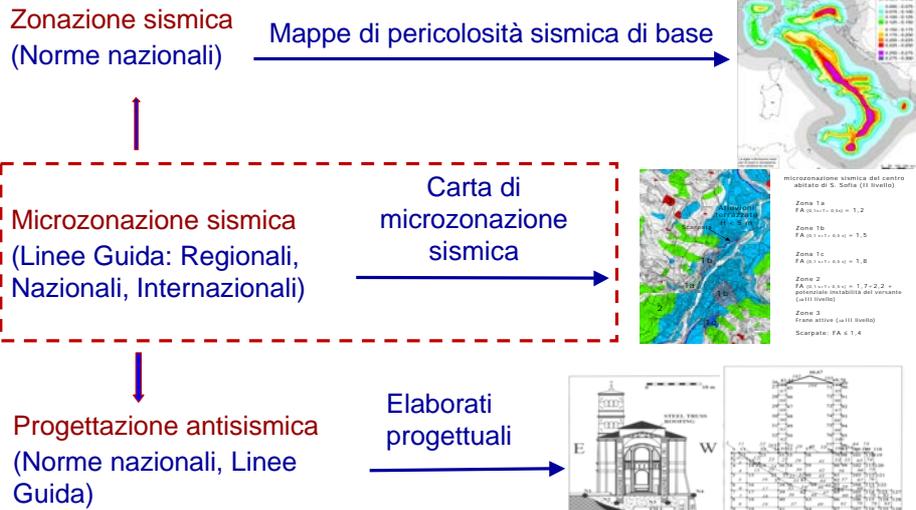
- Ø La finalità di uno studio di MS è pervenire alla stesura di una carta (scala 1:10000 o inferiori) dove:
  - § siano perimetrate le aree dove possono avvenire **fenomeni di instabilità**
  - § siano identificati i confini delle zone dove possono verificarsi **effetti di sito**
  - § vengano quantificati i livelli di pericolosità delle diverse zone attraverso opportuni indicatori



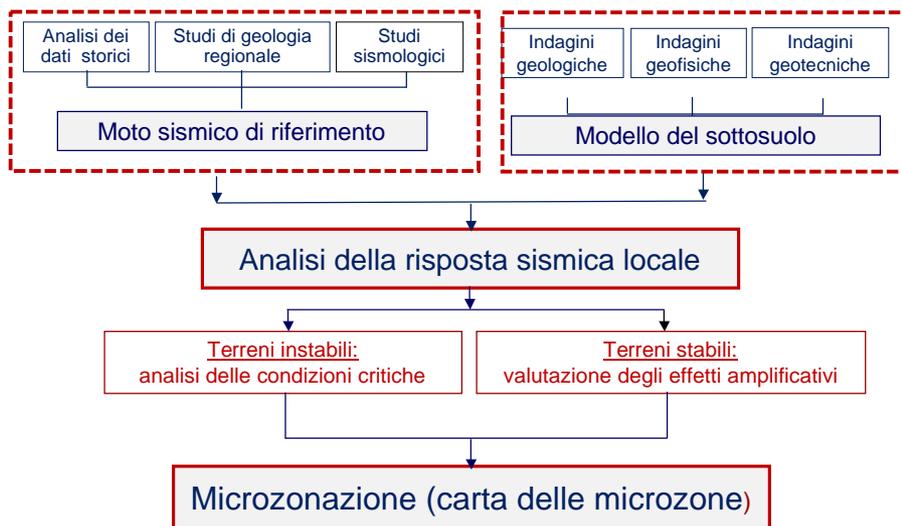
microzonazione sismica del centro abitato di S. Sofia (II livello)

- Zona 1a  
FA (0,1 s < T < 0,5 s) = 1,2
- Zona 1b  
FA (0,1 s < T < 0,5 s) = 1,5
- Zona 1c  
FA (0,1 s < T < 0,5 s) = 1,8
- Zona 2  
FA (0,1 s < T < 0,5 s) = 1,7 + 2,2 + potenziale instabilità del
- Zona 3  
Frane attive (⇒ III livello)  
Scarpate: FA ≤ 1,4

## Strumenti di mitigazione del rischio sismico



## Fasi di uno studio di Microzonazione Sismica



## Indirizzi e criteri di MS

**A scala internazionale:** "Manuale internazionale TC4" ISSMGE,  
1993, 1999



**A scala nazionale:** Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica del  
Gruppo di lavoro MS, 2008

(a cura di F. Bramerini, G. Di Pasquale,  
G. Naso, M. Severino)



**ØA scala locale RER:** "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica  
in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e  
urbanistica", 2007

## Finalità degli indirizzi di MS della Regione Emilia-Romagna

ØHanno cercato di perseguire i seguenti fini:

§adeguare la protezione sismica alla reale pericolosità del territorio

§attivare iniziative a livello provinciale e comunale per una più approfondita conoscenza del territorio

§promuovere l'avanzamento culturale e professionale di pianificatori, progettisti, funzionari attivi nella Regione

§Ottimizzare le risorse disponibili

**Nella fase di applicazione preliminare la Regione ha fornito agli enti locali e ai progettisti il supporto tecnico-scientifico necessario per garantire la qualità dello studio e la comparabilità dei prodotti**

## Livelli di approfondimento

Complessità crescente

- Ø A causa della complessità di uno studio di MS, dei costi delle indagini e dei diversi obiettivi, sono previsti tre livelli di approfondimento
- Ø livello 1 (L1): propedeutico ai veri e propri studi di MS; si basa sulla raccolta di dati preesistenti e su rilevazioni geologiche in prospettiva sismica;
- Ø livello 2 (L2) associa alle zone omogenee dei **parametri quantitativi** di interesse ingegneristico utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini e definisce la *carta di microzonazione sismica*;
- Ø livello 3 (L3) restituisce una *carta di microzonazione sismica con approfondimenti* su tematiche o aree particolari

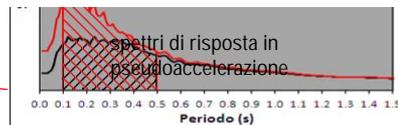
## Metodologie di valutazione della pericolosità locale

- Ø Sono in genere rapportate al livello di approfondimento
- Ø **livello 1**: la valutazione degli effetti amplificativi viene effettuata su basi geologiche
- Ø **livello 2**: viene effettuata per mezzo di “abachi semplificati”, che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche
- Ø **livello 3**: per la valutazione quantitativa degli effetti occorre riferirsi a procedure specialistiche (differenti per i vari tipi di problemi: RSL, liquefazione, ecc.) che utilizzano programmi di calcolo complessi che richiedono dati di ingresso di alta qualità

## Parametri ingegneristici più utilizzati per esprimere gli effetti amplificativi nelle aree stabili

- rapporto rispetto all'accelerazione massima attesa su affioramento roccioso  $FPGA = A_s/A_b$
- altri coefficienti sintetici riferiti agli spettri di risposta in accelerazione o in velocità

$$FHa_{(0.1-0.5)} = \frac{\int_{0.1s}^{0.5s} S_{a,s}(T) dT}{\int_{0.1s}^{0.5s} S_{a,i}(T) dT}$$



## Fattori di amplificazione (I&C regionali, 2007)

I coefficienti di amplificazione sismica (FA) sono espressi in termini di :

- § rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ )
- § rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ) per prefissati intervalli di periodi ( $0,1s < T_0 \leq 0,5s$ ;  $0,5s < T_0 \leq 1,0s$ ) dove

$PGA_0$  e  $SI_0$  sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento  
 $PGA$  e  $SI$  sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\tau=5\%)} dt$$

$$SI_0 = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{0(\tau=5\%)} dt$$

**Esempio di Tabella (I&C regionali, 2007)**

$$V_{S_{MEDIA}} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

A2.1 – Tabelle per il calcolo dei coefficienti di amplificazione FA

A2.1.1 - Appennino e margine appenninico-padano

Substrato marino  $V_s \geq 800$  m/s;  $H$  = spessore della coltre detritica o profondità del bedrock (in metri);  $h_i$  = spessore degli strati detritici fino al bedrock;  $V_{S_i}$  = velocità degli strati fino al bedrock

$V_s$ (m/s)	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
$H \leq 5$ m	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	2.1	2.0	1.7	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
20	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
25	2.2	2.4	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
30	2.1	2.3	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0
35	1.9	2.1	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.0

**Fattori di amplificazione (I&C, 2008)**

$FA = SA_{m,o} / SA_{m,i}$  fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici a basso periodo (determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione)

$FV = SV_{m,o} / SV_{m,i}$  fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici a periodo proprio (per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità)

$$FA = \frac{\frac{1}{TA_s} \int_{0.5TA_s}^{1.5TA_s} S_{A,s}(T) dT}{\frac{1}{TA_i} \int_{0.5TA_i}^{1.5TA_i} S_{A,i}(T) dT}$$

$$FV = \frac{\frac{1}{0.4 \cdot TV_s} \int_{0.8TV_s}^{1.2TV_s} S_{V,s}(T) dT}{\frac{1}{0.4 \cdot TV_i} \int_{0.8TV_i}^{1.2TV_i} S_{V,i}(T) dT}$$

$TA$  e  $TV$  (periodo di picco dello spettro di pseudoaccelerazione e pseudovelocità):

§  $TA_i$  e  $TV_i$  per l'input  
§  $TA_o$  e  $TV_o$  per l'output

Intervalli di integrazione differenti per gli spettri di input e di output

### Stato dell'arte

- Ø Sotto il profilo tecnico-scientifico lo stato dell'arte sulla microzonazione sismica è oggi molto avanzato ed è possibile dare adeguate risposte a molte delle domande che si pongono per la riduzione del rischio sismico a scala territoriale ed urbana
- Ø È tuttavia da sottolineare che, ancorché radicato in un lungo passato, è un tema in piena evoluzione

#### Inoltre è da tenere presente che:

- Ø Ogni studio di microzonazione deve confrontarsi con situazioni geografiche e contesti socio-economici diversi e quindi ogni studio di MS deve unire insieme “scienza” ed “arte”

### Le tre dimensioni della MS

- Ø È “scienza” che oggi deve confrontarsi con una varietà di metodi e di tecniche avanzate e complesse, frutto di esperienze condivise a scala mondiale ma che deve essere anche *scienza dinamica* capace di rinnovarsi e di apprendere dalle catastrofi
- Ø È “arte” che deve sapere leggere e interpretare il territorio nelle sue specificità, nei suoi condizionamenti, ma anche nelle sue potenzialità
- Ø È “società” perché è uno degli strumenti conoscitivi indispensabili per la riduzione del rischio sismico e per il rispetto dei diritti fondamentali riguardanti la sicurezza degli individui e della collettività

*la Repubblica (...) è cosa del popolo e (...) popolo è l'unione di una moltitudine stretta in società dal comune sentimento del diritto e dalla condivisione dell'utile collettivo",*

Cicerone, *De Re Publica*, I, 89

Grazie per l'attenzione!