

Leonardo Maria Gianni Ph.D

Geologo – A.P. Regione Lazio n°1767
Research Fellow GEO05 - University “La Sapienza” Roma

leonardomaria.giannini@uniroma1.it



15 APRILE 2024

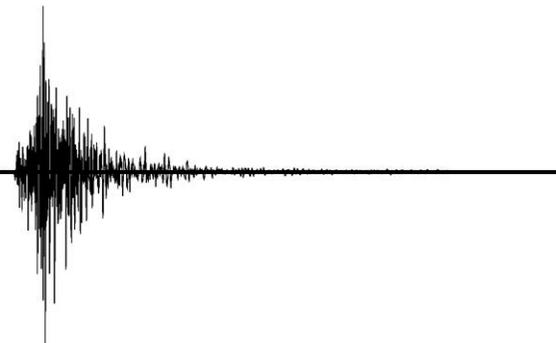
VITERBO

Via Faul 17, Viterbo

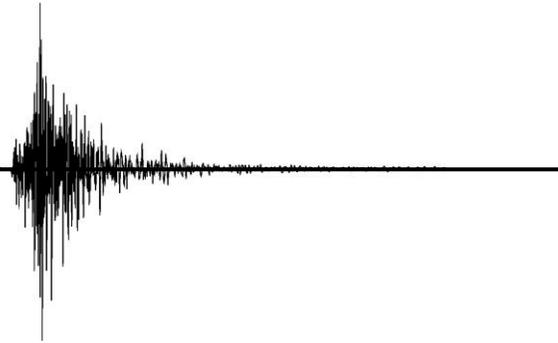
L'interdisciplinarietà delle analisi di RSL: approcci e metodi

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI LATINA
ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO

PERICOLOSITÀ SISMICA



Introduzione



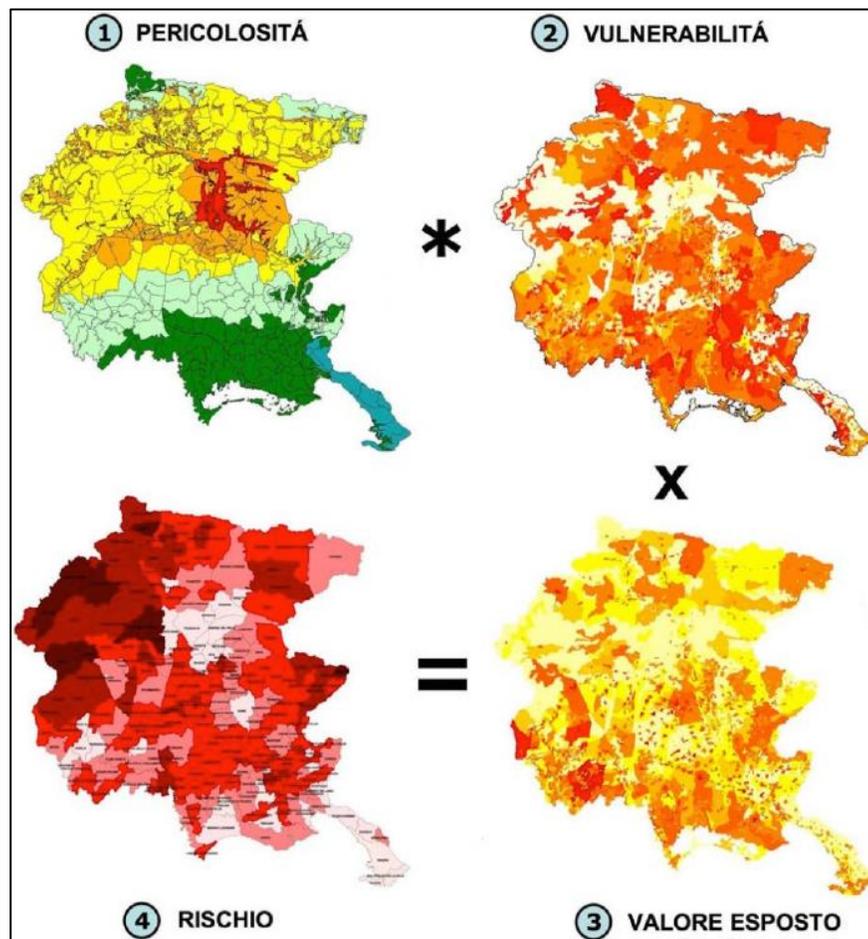
- DEFINIZIONI
- PERICOLOSITÀ SISMICA
- PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE
- PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO
- RAPPRESENTARE LA PERICOLOSITÀ SISMICA



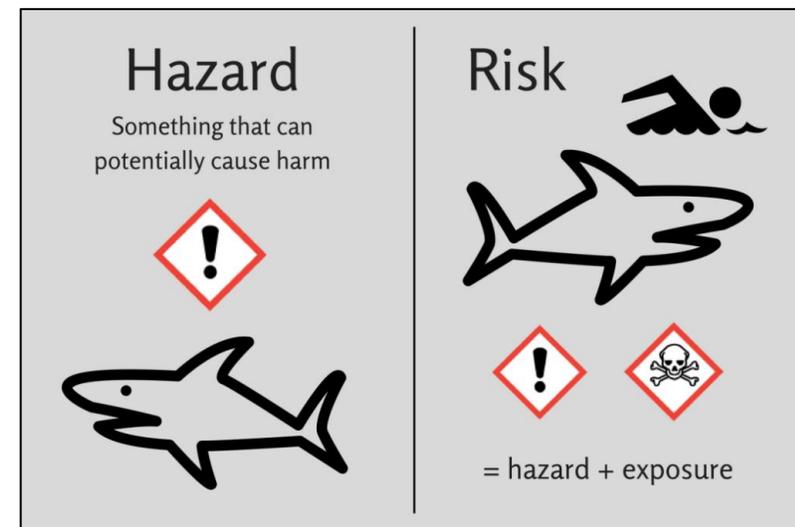
- Pericolosità:** Stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto ad un evento sismico, in una determinata area. La pericolosità sismica può essere analizzata con metodi deterministici, assumendo un determinato terremoto di riferimento, o con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati.
- Vulnerabilità:** La vulnerabilità esprime la correlazione non lineare esistente tra l'intensità di un evento stressore (es. terremoto) ed il danno atteso: ogni sistema ha quindi una propria curva di vulnerabilità. L'analisi di vulnerabilità comporta tuttavia problemi diversi a seconda che si esamini un sistema puntuale come un singolo edificio oppure un sistema esteso e complesso come un insediamento urbano.
- Esposizione:** Ciò che può essere negativamente affetto da un evento sismico e sul quale viene svolta l'analisi di rischio sismico. E' identificabile attraverso categorie omogenee e sistemi che possono subire perdite a seguito di evento sismico. Es.: popolazione, attività economiche, servizi pubblici, beni culturali, ecc.
- Rischio:** Probabilità che si verifichi o che venga superato un certo livello di danno o di perdita in termini economico-sociali in un prefissato intervallo di tempo ed in una data area, a causa di un evento sismico.

(Gruppo di lavoro MS, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, 2008
Rischio sismico e pianificazione nei centri storici, a cura di I. Cremonini, Alinea editrice, Firenze, 1994)

$$R = P \cdot V \cdot E$$



(Dario Slejko – Schema del calcolo del Rischio Sismico, per la Regione Friuli Venezia Giulia)

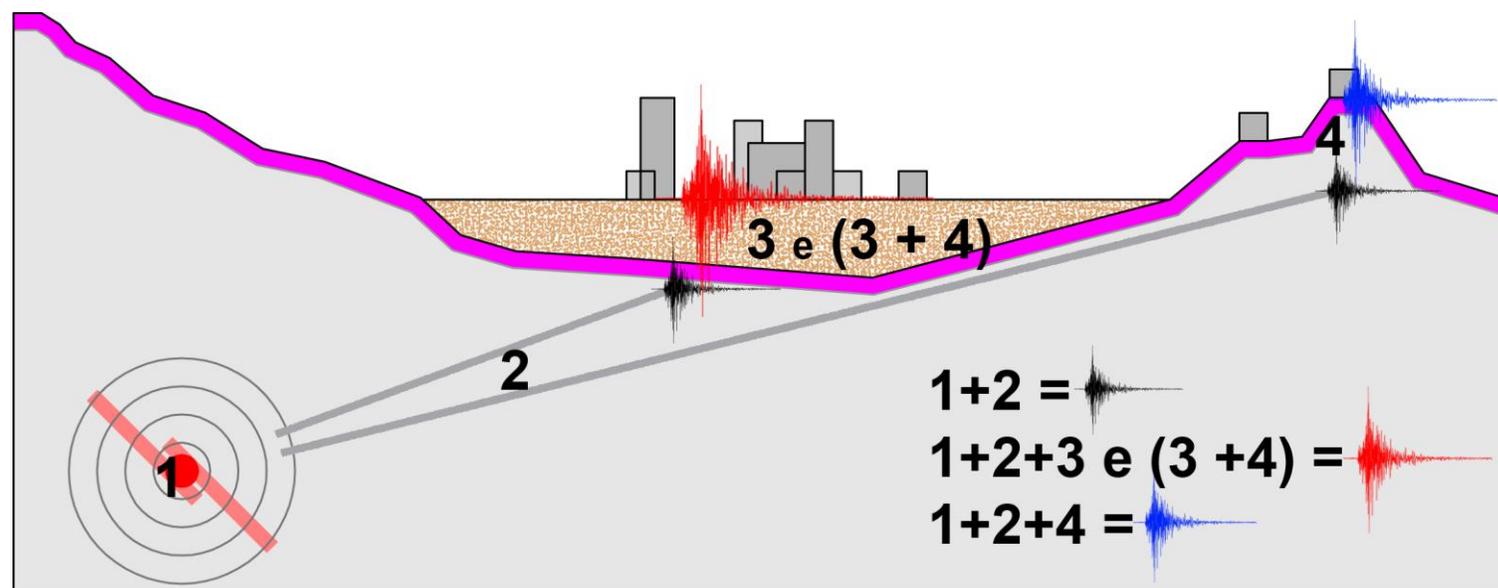


«Il rischio è sempre collegato ad una scelta, mentre pericolo deriva dal termine greco peras che vuol dire limite, ed è connaturato al limite della nostra esperienza. Dalla radice greca per deriva anche il termine esperienza che significa attraversare il limite e dunque correre un pericolo.»

(Prof. Giacomo Marramao – Festival del Pensare 2017)

Pericolosità Sismica

Come per ogni **pericolo** l'analisi della pericolosità sismica di una determinata area è svincolata da tutto ciò che si trova sopra e/o a contatto con la superficie libera del terreno; dipendente solamente dalla sua relativa posizione rispetto alla sorgente sismica che ha provocato un evento e dalle caratteristiche fisico meccaniche del mezzo che il moto sismico (segnale - accelerogramma) ha attraversato. L'analisi della pericolosità sismica dipende da due macro fattori il primo **sismologico**, caratteristiche sismogenetiche del territorio, ed il secondo morfologico – geotecnico – geofisico. L'analisi della pericolosità sismica di un area è il risultato della combinazione tra la **pericolosità sismica di base** e la **pericolosità sismica di sito**.

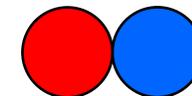


Pericolosità Sismica

Deformazioni non permanenti: lo scuotimento del terreno in termini di durata, accelerazione e frequenza.

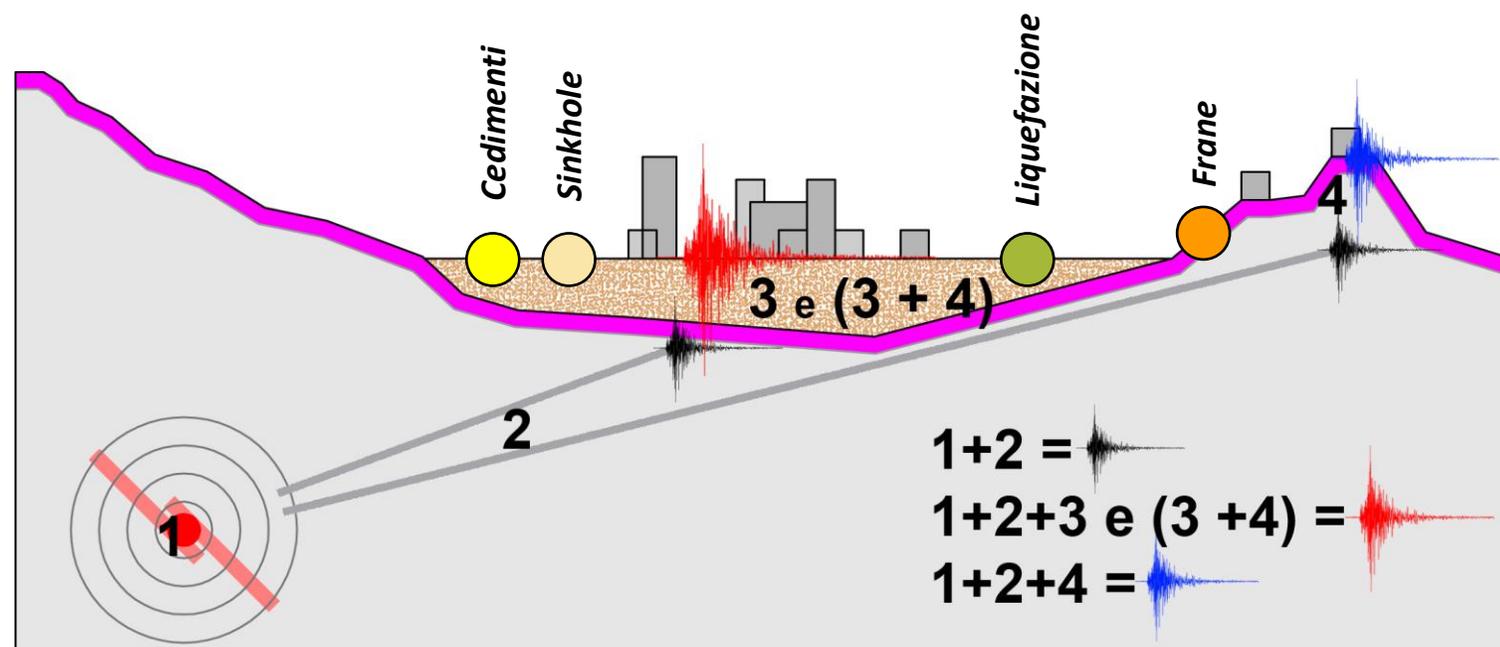
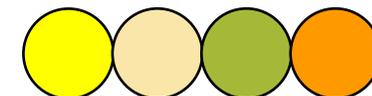
Deformazioni permanenti: variazioni di un stato dei luoghi non recuperabili con il tempo, come fratturazioni superficiali, fenomeni di liquefazione, cedimenti dei terreni, crollo volte delle cavità (Sinkholes) e fenomeni gravitativi - frane.

Deformazioni **non permanenti**



Deformazioni **permanent**

(effetti cosismici)



Pericolosità Sismica

di base

Dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento – Cat. A-T1). La scala di analisi è solitamente regionale.



***Mappe della distribuzione di un parametro
Terremoto di riferimento***

di sito

Dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche, v. anche *effetti locali*). Lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito; permette di definire le *amplificazioni locali* e la possibilità di accadimento di fenomeni *cosismici*.



***Stima degli effetti del comportamento dei
terreni: amplificazioni e fenomeni cosismici***

(Gruppo di lavoro MS, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, 2008)

Pericolosità Sismica *di base*

Come possiamo valutare la pericolosità?

- ➔ **Sorgenti sismogenetiche:** Devono essere individuate la/le sorgenti **sismogenetiche**. Una sorgente sismogenetica può essere una singola faglia o un gruppo di faglie
- ➔ **Potenziale sismogenetico:** Definire la potenzialità di una o più sorgenti sismogenetiche di generare un determinato numero di terremoti caratterizzati da una certa energia.
- ➔ **Valutazione degli effetti:** Vengono definite relazioni tra i parametri descrittivi del moto e le caratteristiche delle sorgenti. Tali relazioni tengono conto della distanza tra sorgente e punto di analisi.
- ➔ **Stima della pericolosità:** Possibile stimare la pericolosità di una determinata area secondo due principali approcci.

Pericolosità Sismica *di base*

Stima della pericolosità

Deterministico - DSHA

Fa riferimento all'**evento massimo credibile**, in grado di produrre quello che è ragionevolmente ritenuto il maggior livello di scuotimento al sito. Il metodo tiene conto sia della sismicità storica, ossia degli eventi osservati, sia delle caratteristiche delle sorgenti che possono interessare il sito, e determina il terremoto di progetto in termini di magnitudo, meccanismo focale e distanza. Non tiene conto del tasso di ricorrenza dei terremoti, ma considera il livello di scuotimento ritenuto verosimilmente maggiore al sito; di contro, l'approccio probabilistico tiene conto di tutti gli scenari di scuotimento possibili, inclusi quelli della DSHA (Abrahamson, 2006).

(Bongiovanni G. et al, 2013 Valutazione della pericolosità sismica: considerazioni – Energia, Ambiente e Innovazione)

Probabilistico - PSHA

Utilizza i dati sismologici disponibili per delimitare e caratterizzare le sorgenti sismogenetiche in termini di massima magnitudo e di ricorrenza (numero atteso di eventi in un anno per ciascun intervallo di magnitudo) e definire un modello di attenuazione dell'energia sismica. Ciò permette di attribuire al sito di interesse una "storia sismica", che tiene conto dei contributi di tutte le sorgenti individuate. Assumendo un modello statistico delle "comparsa sismiche" è quindi possibile ottenere stime del valore del parametro di riferimento che ha una assegnata probabilità di essere superato al sito in un dato intervallo di tempo o, equivalentemente, che ha un assegnato tempo medio di ritorno; interpolando i risultati ottenuti per più siti, si possono ricavare le mappe di pericolosità, come quelle di riferimento per l'attuale normativa, realizzate in termini di PGA (Meletti e Montaldo, 2007).

Pericolosità Sismica *di base*

Stima della pericolosità

Deterministico - DSHA

Probabilistico - PSHA

I due approcci non sono necessariamente alternativi, anzi sarebbe buona norma confrontarne i risultati, come si fa ad esempio per le piattaforme petrolifere offshore in aree ad alta sismicità (Chang et al., 2005) - ACI 376-10 del 2010 (Code Requirements for Design and Construction of Concrete Structures for the Containment of Refrigerated Liquefied Gases). In Italia la **Circolare DG Dighe n.17281 26 Luglio 2018** «verifiche sismiche delle grandi dighe, degli scarichi e delle opere complementari ed accessorie» e le «*Linee guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe*» **DG Dighe n.21530 del 27 Settembre 2017** indicano come per determinate aree sia obbligatorio uno studio con approccio DSHA. Tuttavia le stesse circolari – linee guida evidenziano come sia necessario un confronto finale dei due approcci per valutare quale sia più conservativo.

"This apparent dichotomy brings people to divide themselves into two parties, the Tory (let's say the DSHA supporters) and the Labour (let's say the PSHA supporters), each one affirming the supremacy of one approach over the other, whereas they are integrative rather than alternative«

Roberto Walter Romeo

In entrambe i casi ci basiamo su assunzioni, modelli...

Pericolosità Sismica *di base*

Per il territorio italiano la stima della pericolosità sismica si basa su un approccio di tipo probabilistico **PSHA** (**p**robabilistic **s**eismic **h**azard **a**nalysis) che consiste nella stima della probabilità che si verifichi un livello di scuotimento sismico maggiore di un assegnato valore, entro un dato periodo di tempo. In genere la classificazione sismica amministrativa italiana e le norme tecniche per le costruzioni NTC fanno riferimento all'accelerazione orizzontale massima **PGA** (**p**eak **g**round **a**cceleration).su suolo rigido Cat.A-T1.

Il metodo **PSHA** valuta la occorrenza degli eventi sismici in modo indipendente, un evento non influenza altri eventi, si assume che la probabilità di due eventi simultanei sia nulla e che il processo sismogenetico sia stazionario, qualsiasi intervallo di tempo presenta le stesse caratteristiche da un punto di vista statistico. Quanto detto viene identificato in un processo statistico detto «*Poissoniano*».

Pericolosità Sismica *di base*

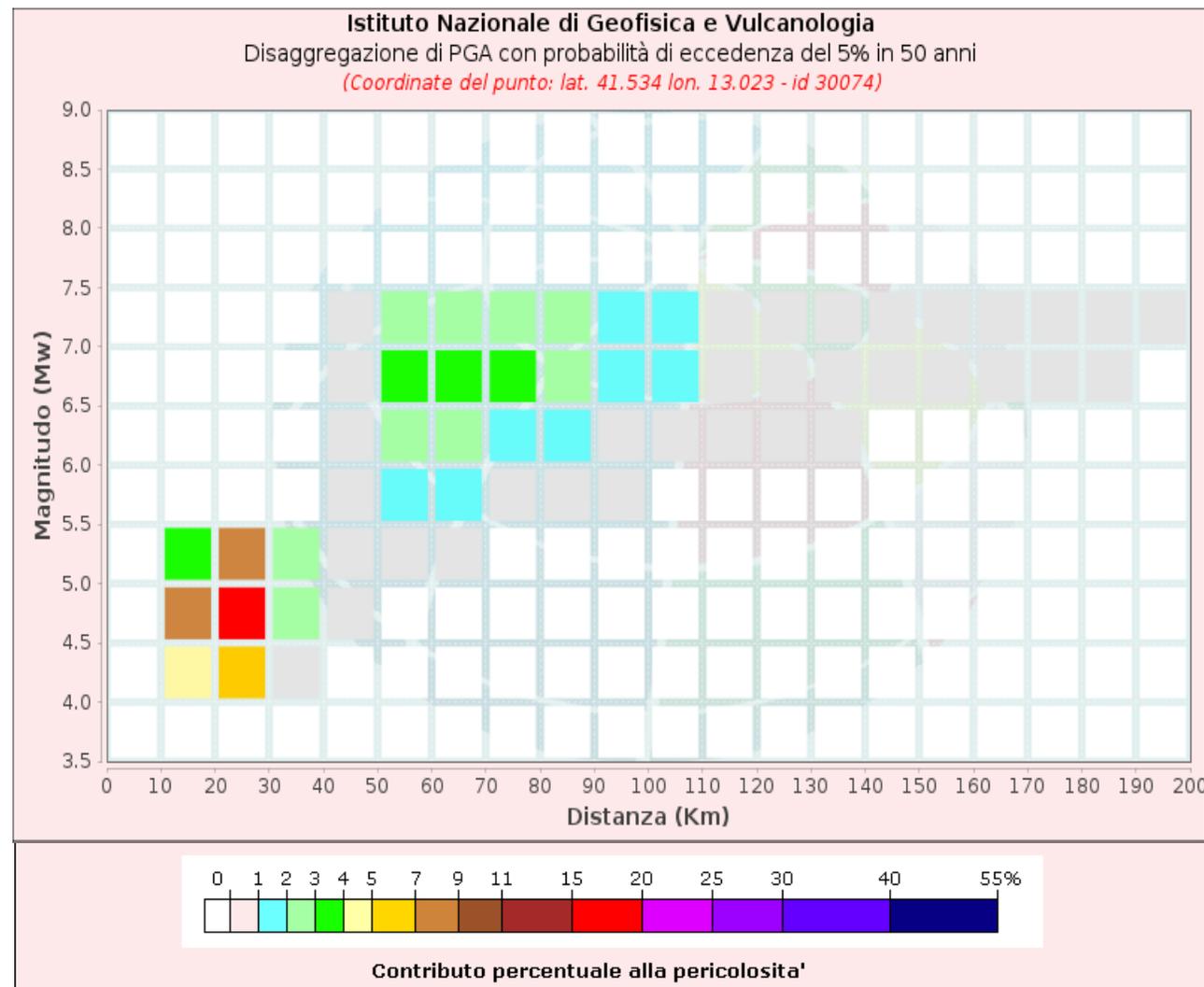
La pericolosità sismica è intesa come probabilità di superamento di un parametro in un determinato intervallo di tempo (McGuire, 2004):

$$E(Z > z) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_{r=0}^{r=\infty} f_i(m) f_i(r) P(Z > z | m, r) dr dm$$

- $E(Z > z)$ rappresenta la frequenza di superamento di una determinata accelerazione Z rispetto ad una accelerazione z e può essere espressa come $\lambda_y(1/year)$ *annual rate of exceedence*
- $\sum_{i=1}^N \alpha_i$ vengono presi in considerazione nel calcolo i terremoti da tutte le N potenziali sorgenti, caratterizzate da un *activity rate* α_i
- m_{\min} e m_{\max} rappresentano il range di *magnitudo* M caratteristico potenziale di ogni sorgente
- $r = 0$ e $r = \infty$ rappresentano i limiti per l'intervallo di integrazione in funzione della *distanza* R
- $f_i(m)$ e $f_i(r)$ sono le funzioni di probabilità associata alle variabili m e r

Pericolosità Sismica *di base*

L'operazione che porta alla valutazione del contributo di sorgenti sismogenetiche poste ad una distanza R rispetto al sito di analisi, capaci di generare terremoti di magnitudo M è chiamata **disaggregazione** (Bazurro et al., 1999 - Spallarossa et al., 2007). Lo studio della **disaggregazione** permette di definire il contributo nei confronti della pericolosità sismica dei terremoti caratterizzati da coppie di valori M e R , determinando uno scenario di pericolosità dominato dal **terremoto di scenario**.

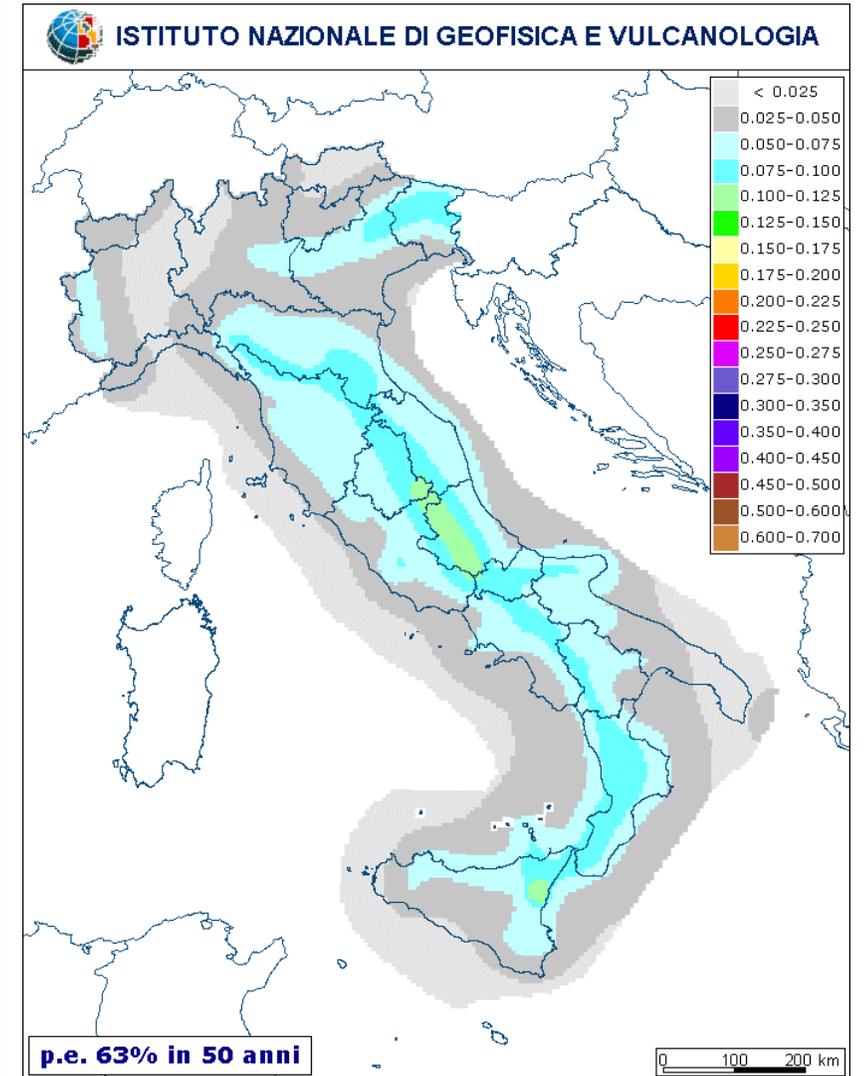
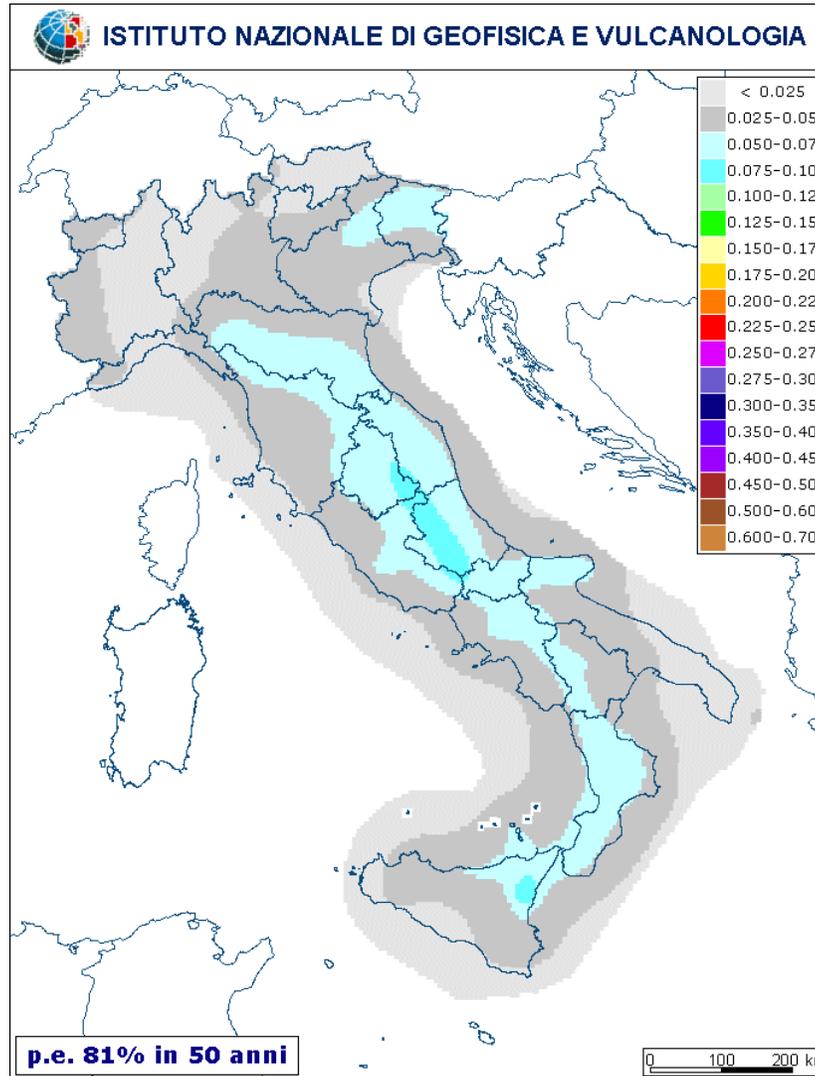


(<http://esse1.mi.ingv.it/>)

Pericolosità Sismica *di base*

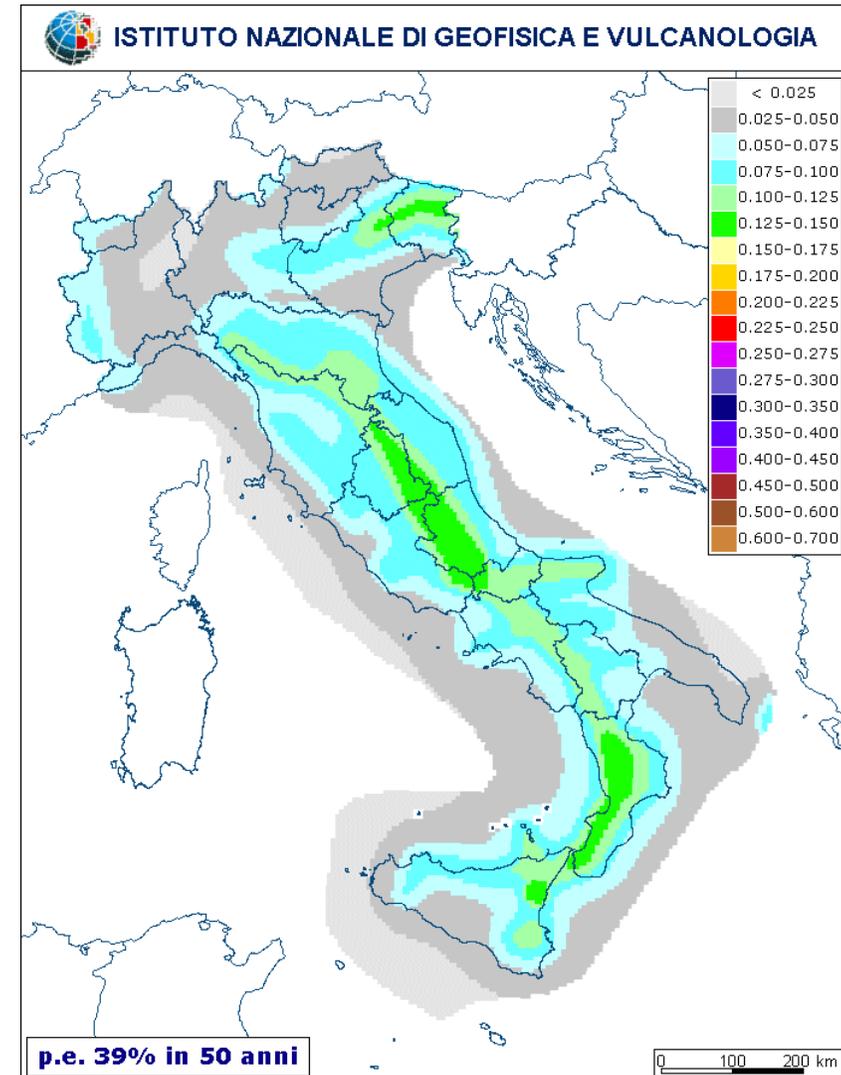
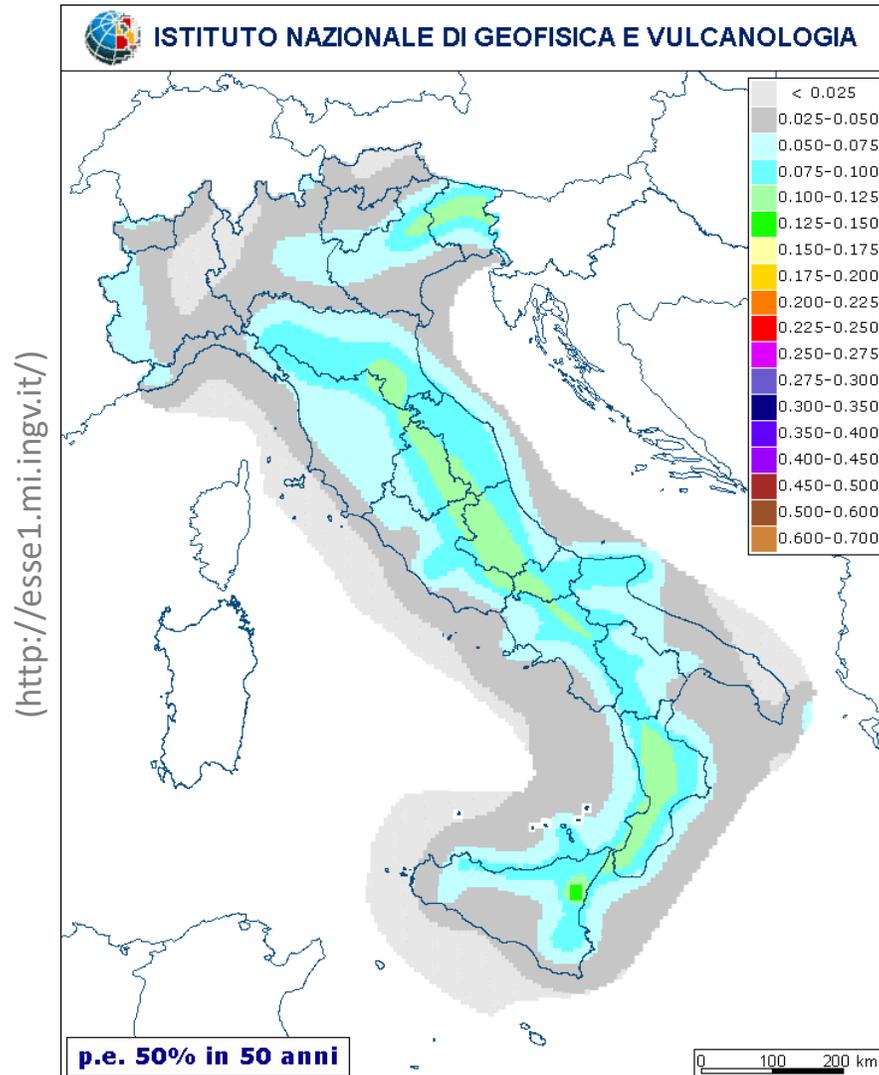
Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004

(<http://esse1.mi.ingv.it/>)



Pericolosità Sismica *di base*

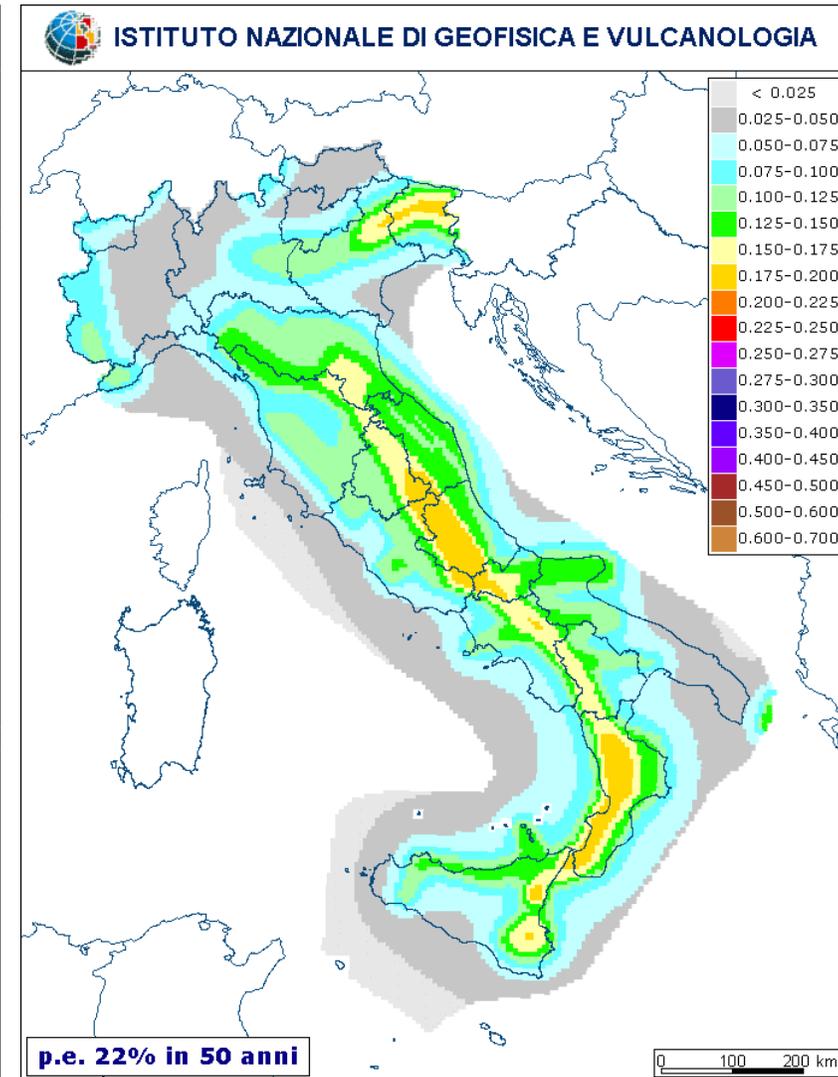
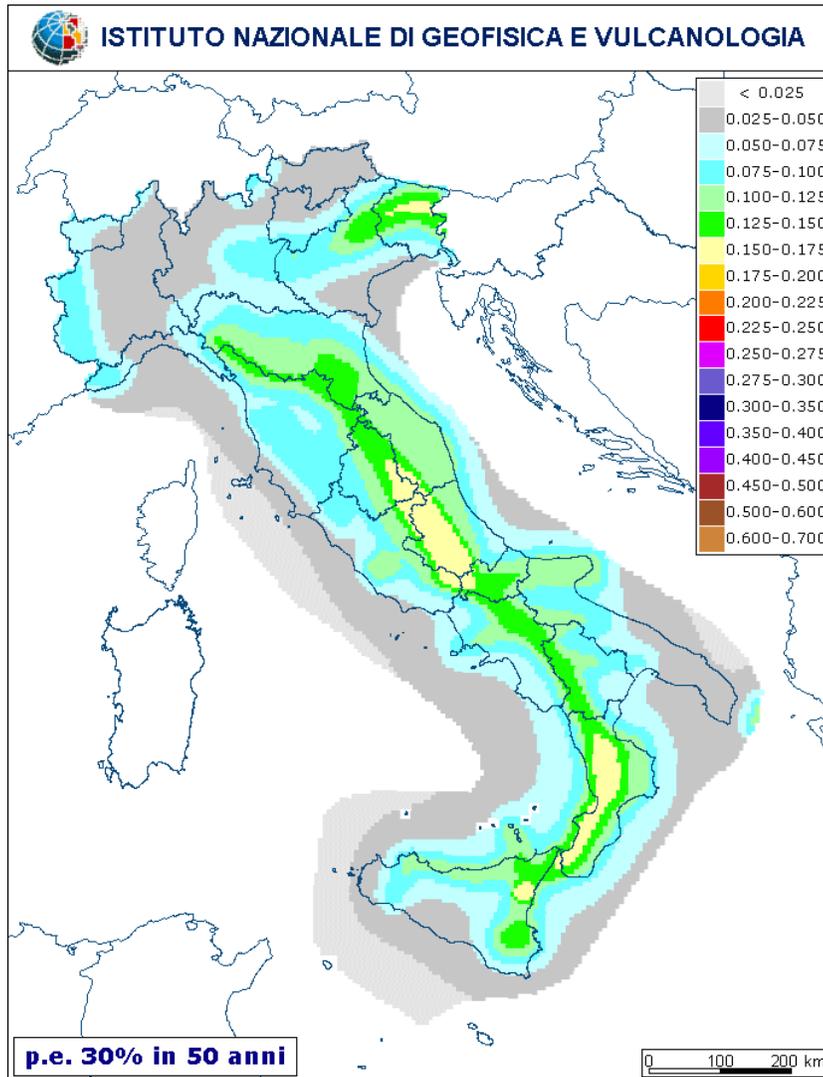
Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004



Pericolosità Sismica *di base*

Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004

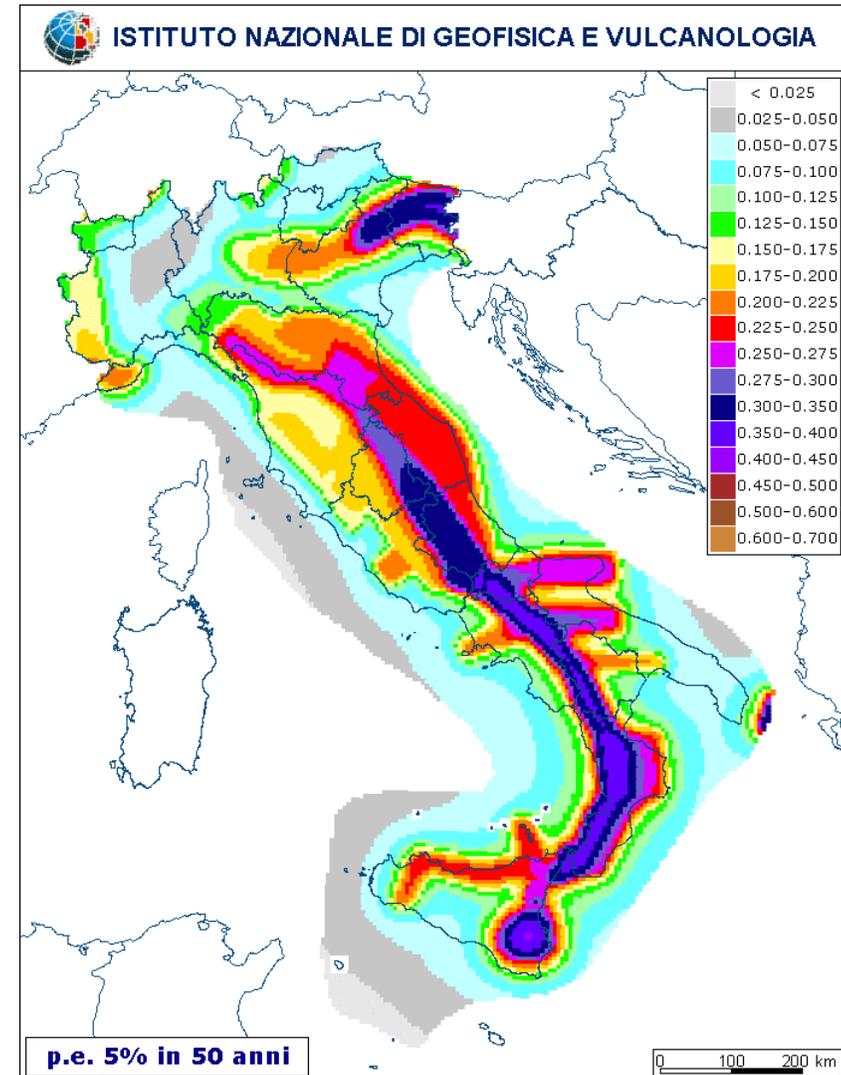
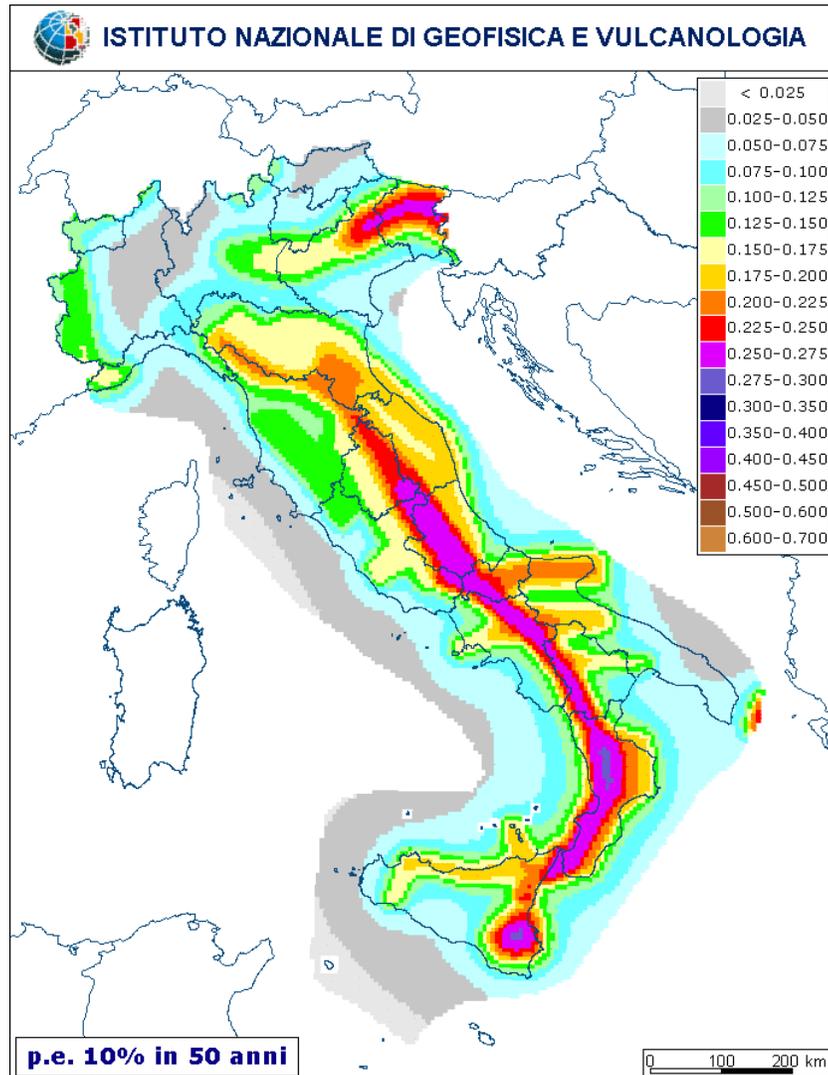
(<http://esse1.mi.ingv.it/>)



Pericolosità Sismica *di base*

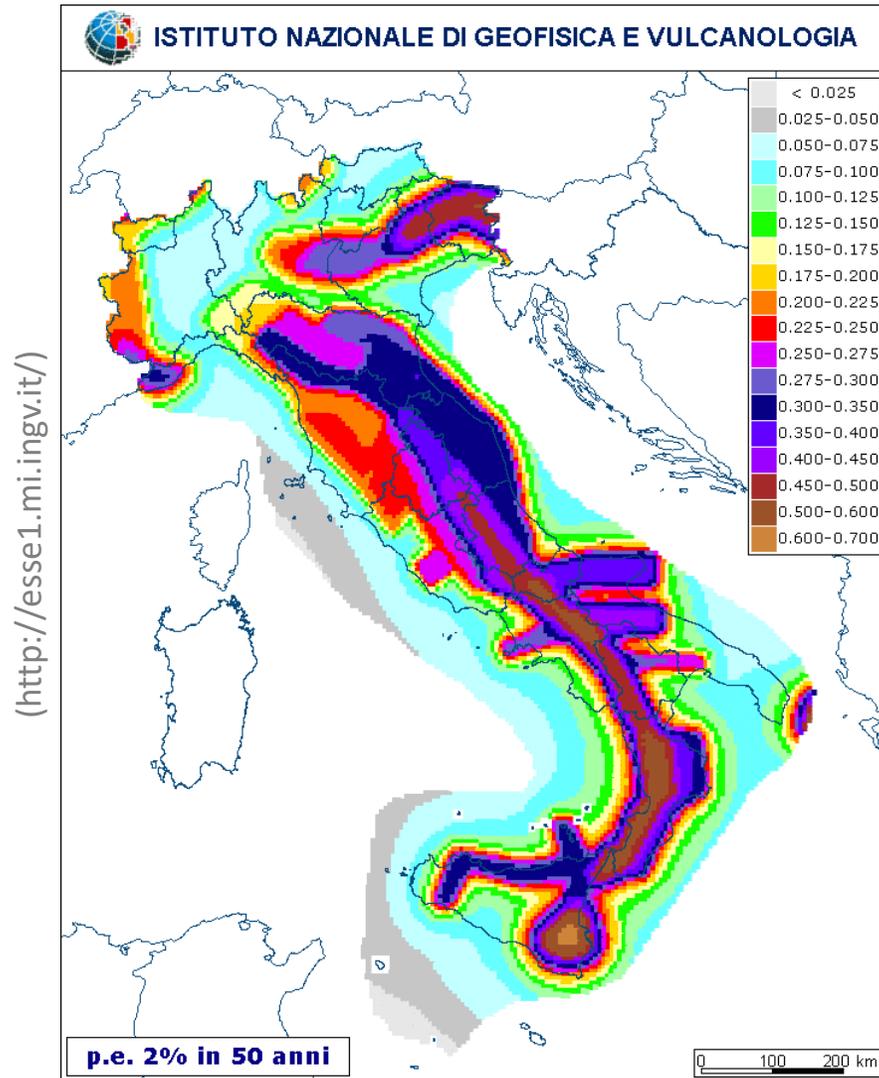
Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004

(<http://esse1.mi.ingv.it/>)

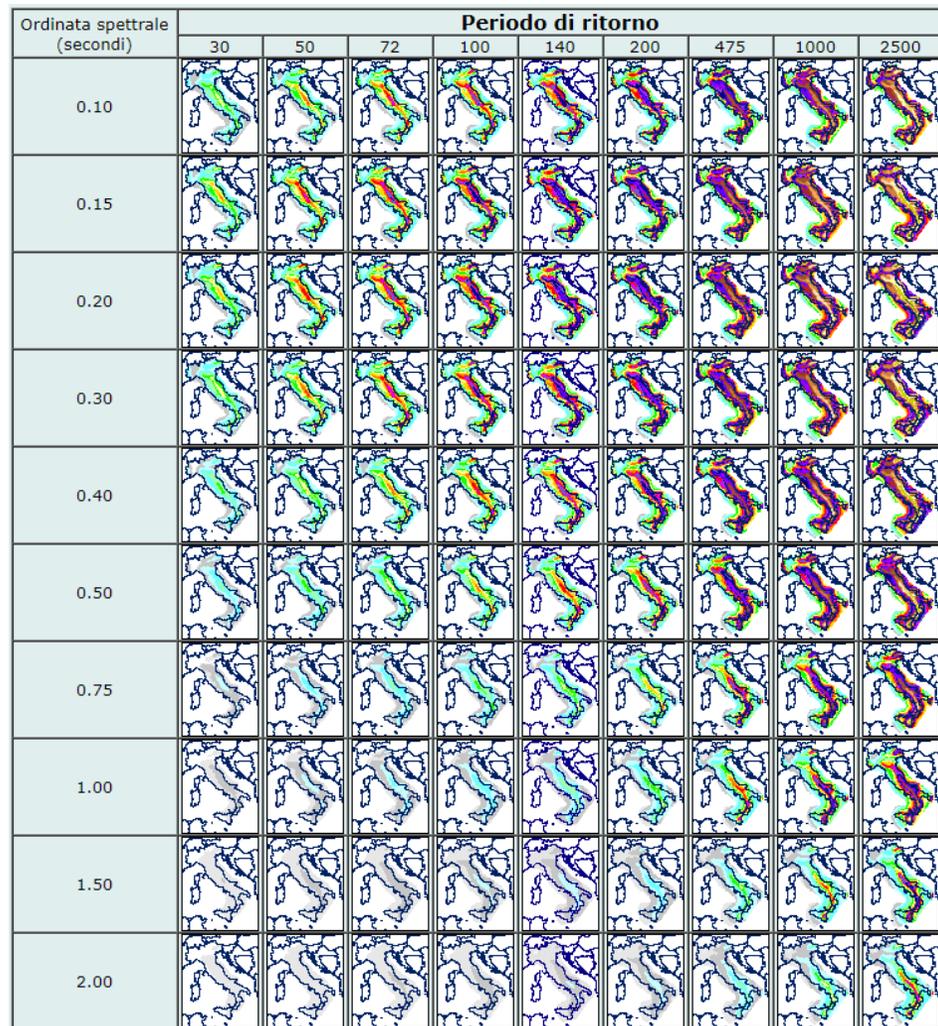


Pericolosità Sismica *di base*

Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004



Pericolosità Sismica *di base*



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

Selezione Mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Parametro dello scuotimento: PGA

Probabilità in 50 anni: 10%

Percentile: 50°

Periodo spettrale (sec.):

Ridisegna mappa

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 5.000.000)

Scala: 4949102

Coordinate del centro della mappa

Lat.: 41.527

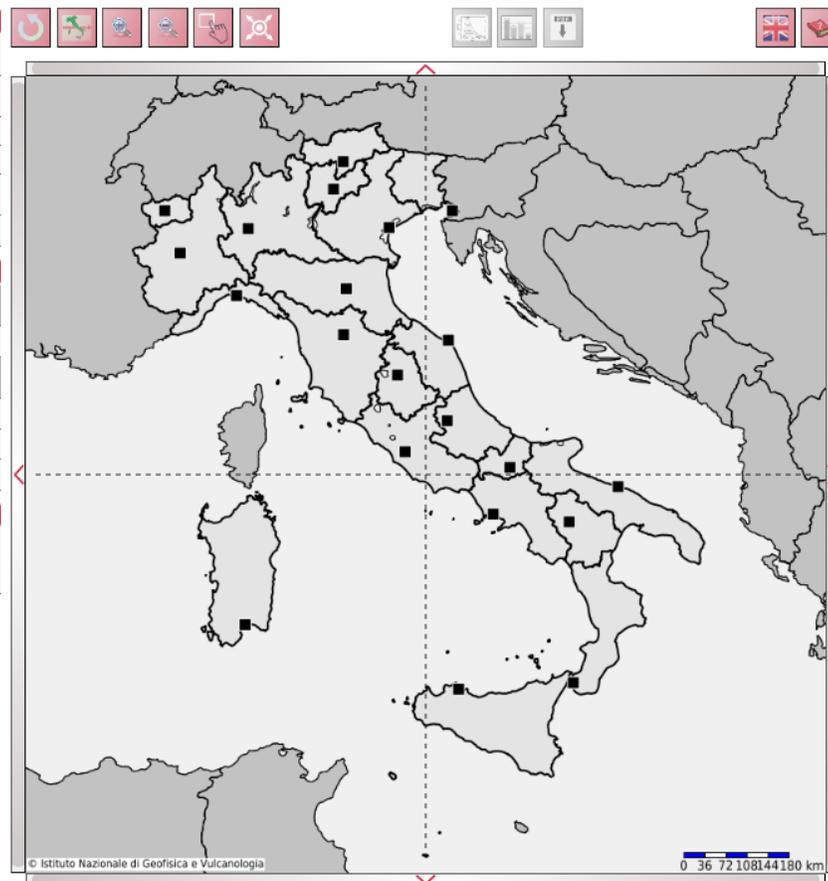
Long.: 12.883

Cambia scala/centro

Ricerca Comune

Il nome contiene:

Ricerca



Copyright

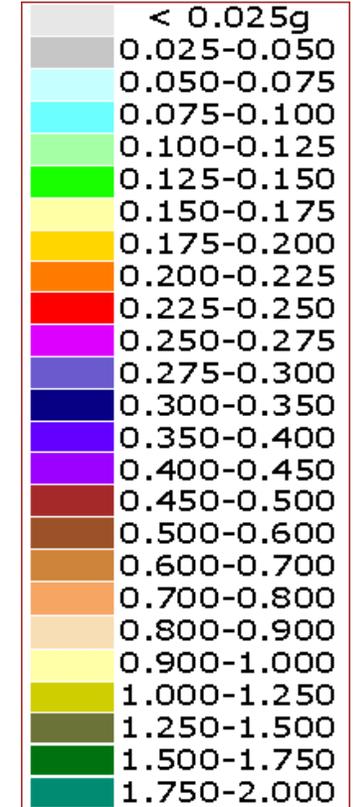
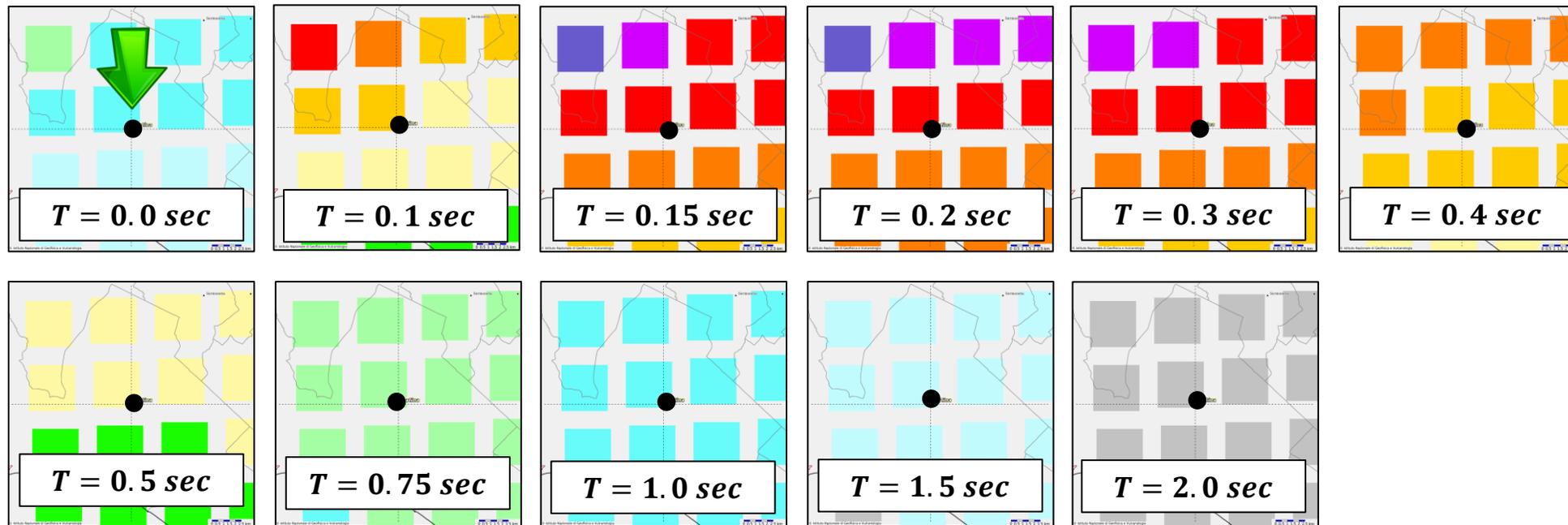


(<http://esse1.mi.ingv.it/>)

Pericolosità Sismica *di base*

E' possibile identificare delle *curve di pericolosità* per diversi **periodi spettrali** T , selezionando la *probabilità di eccedenza annuale* si identificano le relative *PGA* per ogni **periodo spettrale**. Con questa procedura è possibile generare **uniform hazard spectrum** (T_i vs. PGA_i) (Eurocode 8, 2004).

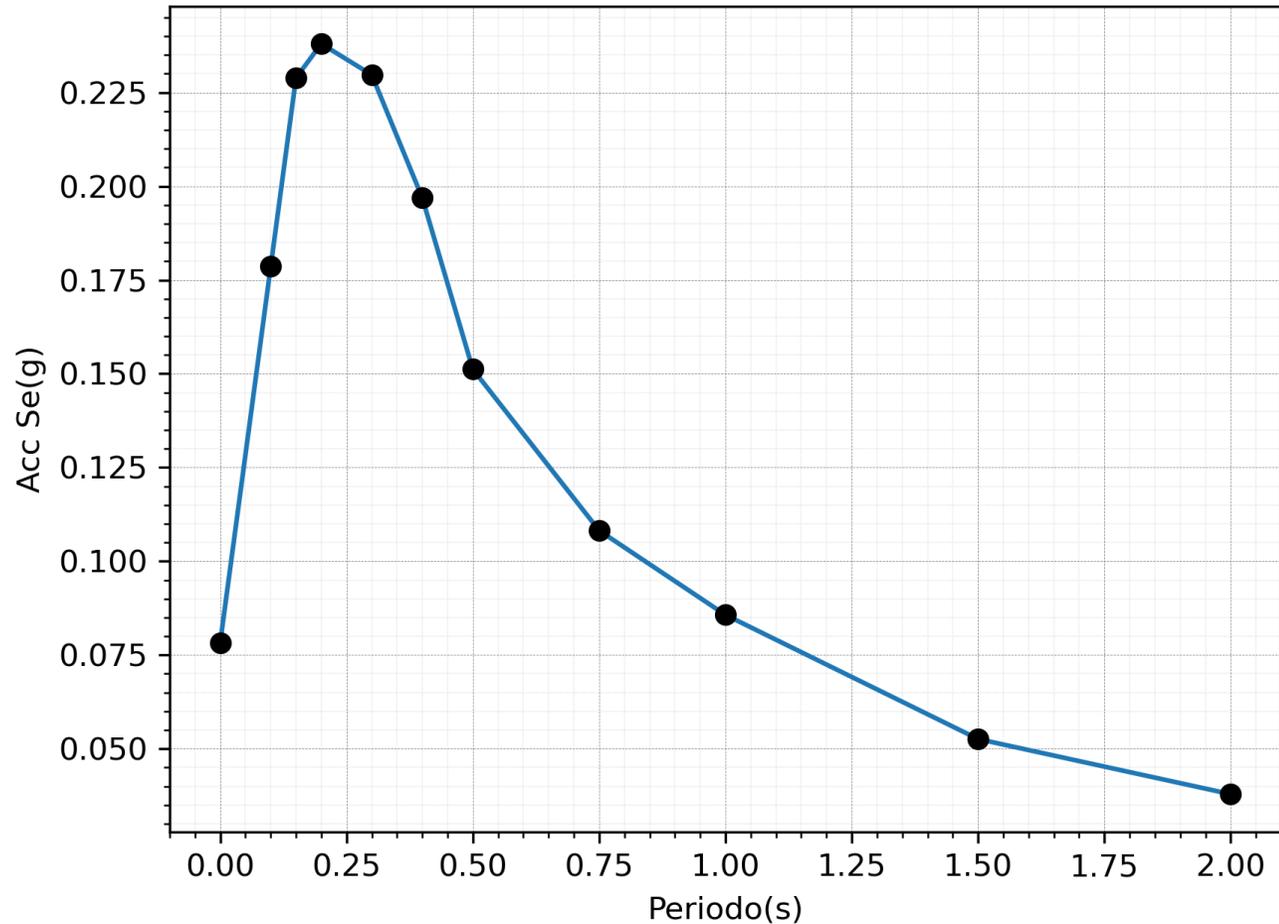
PGA



(<http://esse1.mi.ingv.it/>)

Pericolosità Sismica *di base* $T = 0.0 \text{ sec} - 0.0783$ $T = 0.1 \text{ sec} - 0.1786$ $T = 0.15 \text{ sec} - 0.2289$ $T = 0.2 \text{ sec} - 0.2380$ $T = 0.3 \text{ sec} - 0.2297$ $T = 0.4 \text{ sec} - 0.1969$ $T = 0.5 \text{ sec} - 0.1512$ $T = 0.75 \text{ sec} - 0.1082$ $T = 1.0 \text{ sec} - 0.0857$ $T = 1.5 \text{ sec} - 0.0526$ $T = 2.0 \text{ sec} - 0.0379$

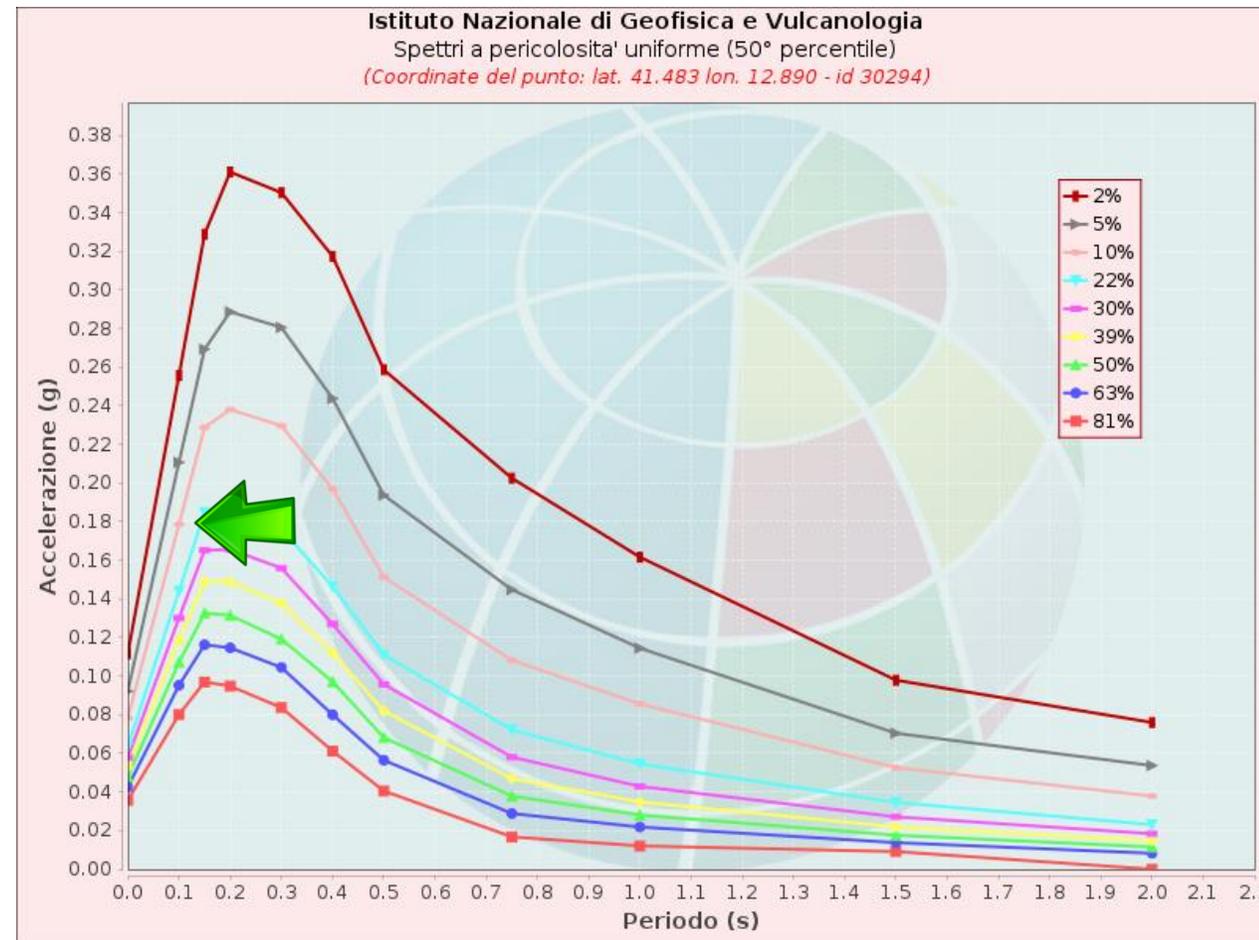
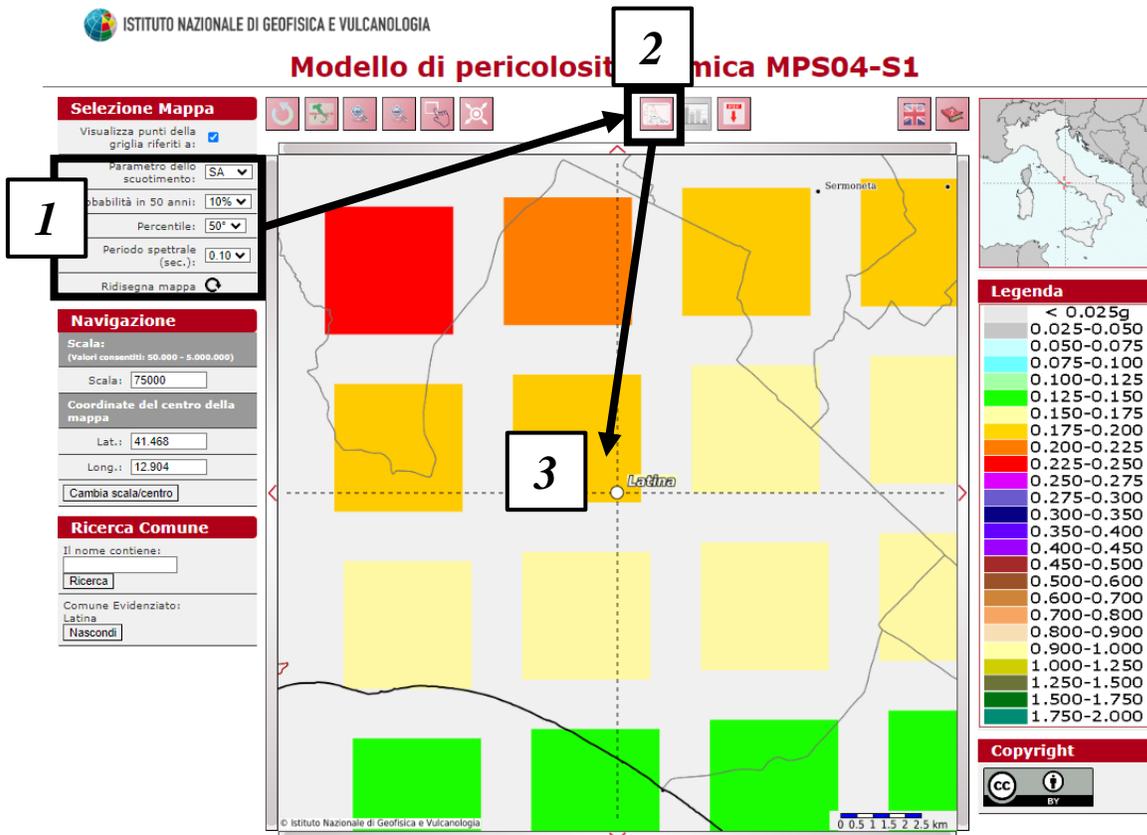
Uniform hazard spectrum - Probabilità eccedenza in 50 anni 10%



Pericolosità Sismica *di base*

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



(<http://esse1.mi.ingv.it/>)

Pericolosità Sismica *di base*

Probabilità di eccedenza in 50 anni	Corrispondente periodo di ritorno	Corrispondente frequenza annuale di superamento
81%	30	0.0332
63%	50	0.0199
50%	72	0.0139
39%	101	0.0099
30%	140	0.0071
22%	201	0.0050
10%	475	0.0021
5%	975	0.0010
2%	2475	0.0004

Mappe in termini di *PGA* utilizzando una maglia di calcolo con passo 0.05 gradi° per un totale di 16852 punti (**nodi**) ordinati da Ovest a Est e da Nord a Sud (Meletti et al., 2007).

Ad ogni nodo è associato un valore di **PGA** (a_g) e **FO** e T^*_c , che rappresentano rispettivamente il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ed il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, sempre in accelerazione orizzontale; i valori sono calcolati per differenti *tempi di ritorno* (30 - 50 - 72 - 101 - 140 - 201 - 475 - 975 - 2475 anni). La definizione di questa terna di parametri permette di ottenere quello che è noto come **Uniform Hazard Spectrum** - spettro elastico in accelerazione delle componenti orizzontali (§ 3.2.3.1 Norme Tecniche per le Costruzioni 2018).

$C_u = 1$
 $V_n = 50$ anni
 $P_{vr} = 10\%$ (SLV)



$T_R \approx 475$ anni ($0.0021 \lambda_y$)

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{vR})} = -\frac{C_u V_n}{\ln(1 - P_{vR})}$$

$C_u = 1.5$
 $V_n = 50$ anni
 $P_{vr} = 10\%$ (SLV)



$T_R \approx 712$ anni ($0.0014 \lambda_y$)

Pericolosità Sismica *di base*

The screenshot displays the ESM Database web application interface. The browser address bar shows `esm-db.eu/#/rexel`. The page header includes the ESM Database logo, navigation links (Glossary, Contact us, Administrator login), and logos for Orfeus, EPOS, and ERIC. A blue button labeled "User Manual" is visible in the top right.

The main content area is titled "Rexel" and shows a status "Ok - ready to load step#2". The interface is divided into two main sections: a search configuration panel on the left and a map on the right.

Search Configuration Panel:

- Target spectrum:** Preliminary search, Spectrum matching, Refine search.
- Target:** NTC18 - Italian Building code (D.M. 2018)
- Spectrum type:** Type 1 - Higher level of seisr
- Latitude [°]:** 42.403584
- Longitude [°]:** 12.858077
- ag [g]:** 0.16
- Soil Type:** A
- Topography:** T1 - flat surfaces, isolated cliff
- Nominal life:** 50 years - ordinary structures
- Functional type:** II
- Limit state:** SLV (10%)
- Probability of exceedance:** 50% in 50 years (73 years)
- Aggregation level:** mean

Red arrows point to the "Target", "Soil Type", "Nominal life", "Functional type", and "Limit state" fields. A green arrow points to the "Target spectrum" tab. A blue button "Confirm changes" and a "New search" button are at the bottom of the search panel.

Map Section:

- Buttons: Map, Target plot, Preliminary plot, Matching plot, Summary.
- Text: "Click on the map to select a new location"
- The map shows a geographical area with a blue location pin and a red arrow pointing to it.

(<https://esm-db.eu/#/rexel>)

Pericolosità Sismica *di base*

The screenshot displays the ESM Database RexelWEB interface. The left sidebar contains navigation options: Home, About, Waveforms, Events, Stations, WEBServices, Products, Tools, Documents, and News. The main content area is divided into two panels. The left panel, titled 'Preliminary search', contains search criteria: Component (one horizontal component), Limit (500), Inferred soil class (checked), Late trigger events (unchecked), Soil Type (Site class), Instrument type (Any), Style of faulting (Any), CRITERION (Magnitude-distance), Type of magnitude (Moment or local magnitude), Mode (Mode 1), Parameter (PGA), M min (4), M max (7.5), Epsilon (1.5), R minimum [km] (0), and R maximum [km] (40). A green arrow points to the 'Preliminary search' tab, and several red arrows point to specific input fields. The right panel, titled 'Preliminary plot', shows a graph of PSA [cm/s²] vs. Period [s]. The y-axis ranges from 0 to 1200, and the x-axis ranges from 0 to 3. The plot displays multiple grey lines for 'Selected spectra', a black line for 'Average spectrum', and a red line for 'Target spectrum'. Vertical dashed lines indicate T1 and T2 periods. A legend at the bottom identifies the lines and includes 'Unscaled' and 'Scaled' options.

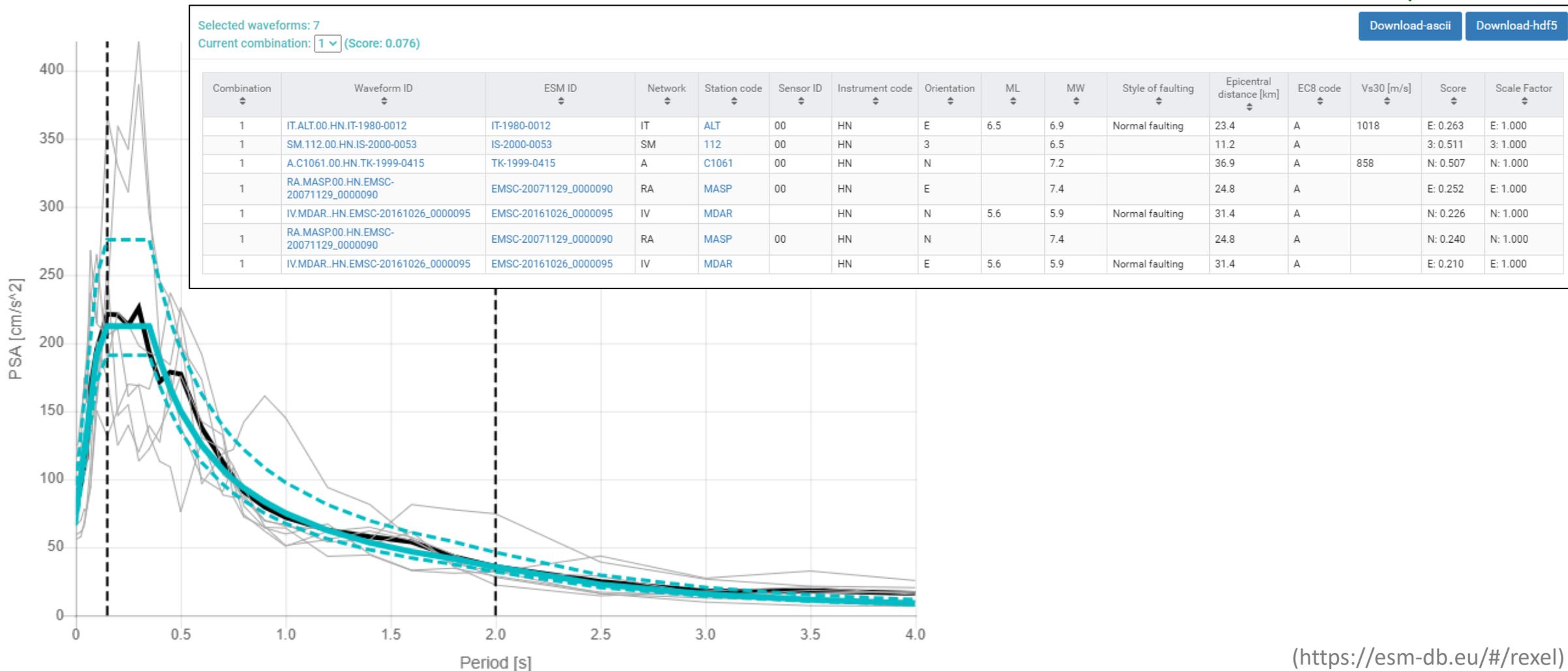
(<https://esm-db.eu/#/rexel>)

Pericolosità Sismica *di base*

The screenshot displays the ESM Database RexelWEB interface. The left sidebar contains navigation options: Home, About, Waveforms, Events, Stations, WEBServices, Products, Tools, Documents, and News. The main content area is divided into two panels. The left panel, titled 'Spectrum matching', contains search parameters: Lower tolerance [%] (10), Upper tolerance [%] (30), T1 [s] (0.150000), T2 [s] (2.000000), Additional tolerance [%] (0), Set size (7), Number of combinations (1), Adimensional flag (unchecked), Check on PGA (checked), and Maximum average scale-factor (5). A green arrow points to the 'Spectrum matching' tab, and a red arrow points to the 'Lower tolerance [%]' input field. A 'Change data' button is located at the bottom right of this panel. The right panel, titled 'Matching plot', shows a graph of PSA [cm/s²] versus Period [s]. The graph displays a horizontal target spectrum (solid cyan line), lower/upper tolerance (dashed cyan lines), T1/T2 (dashed black vertical lines at 0.15s and 2.0s), and an average spectrum (solid black line). The y-axis ranges from 0 to 400, and the x-axis ranges from 0 to 4.0. The legend at the bottom identifies the lines: Horizontal target spectrum, Lower/Upper tolerance, T1/T2, and Average spectrum.

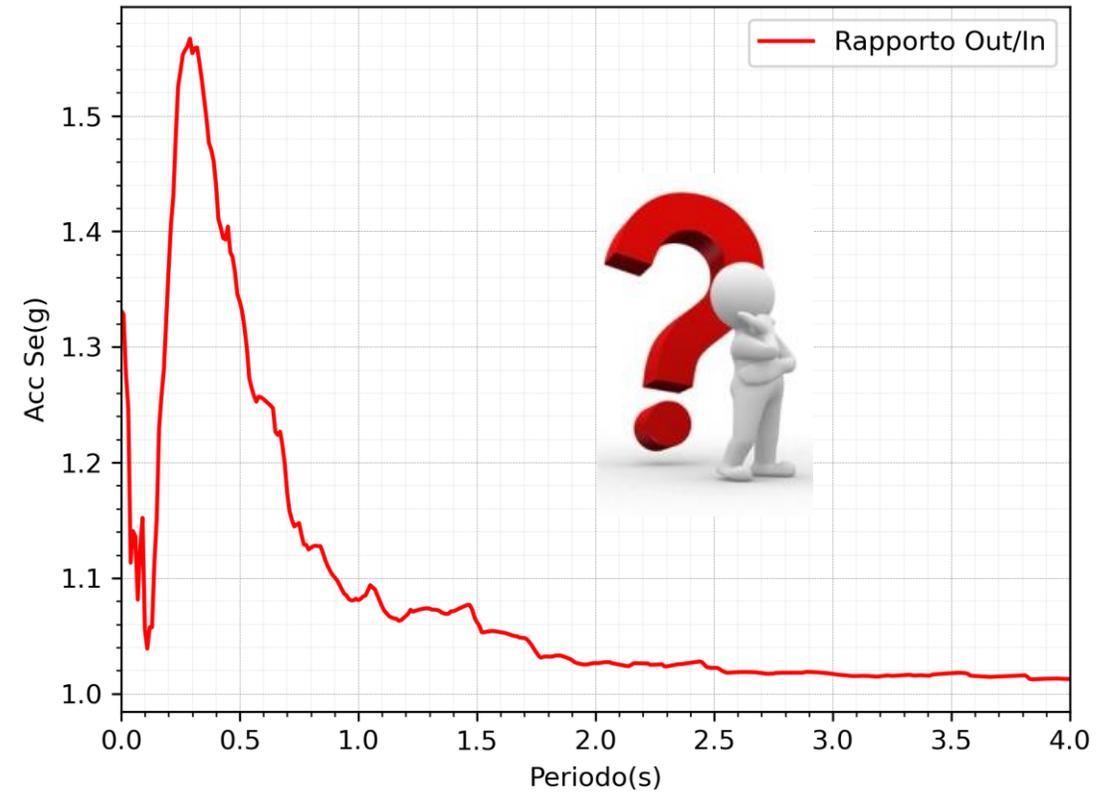
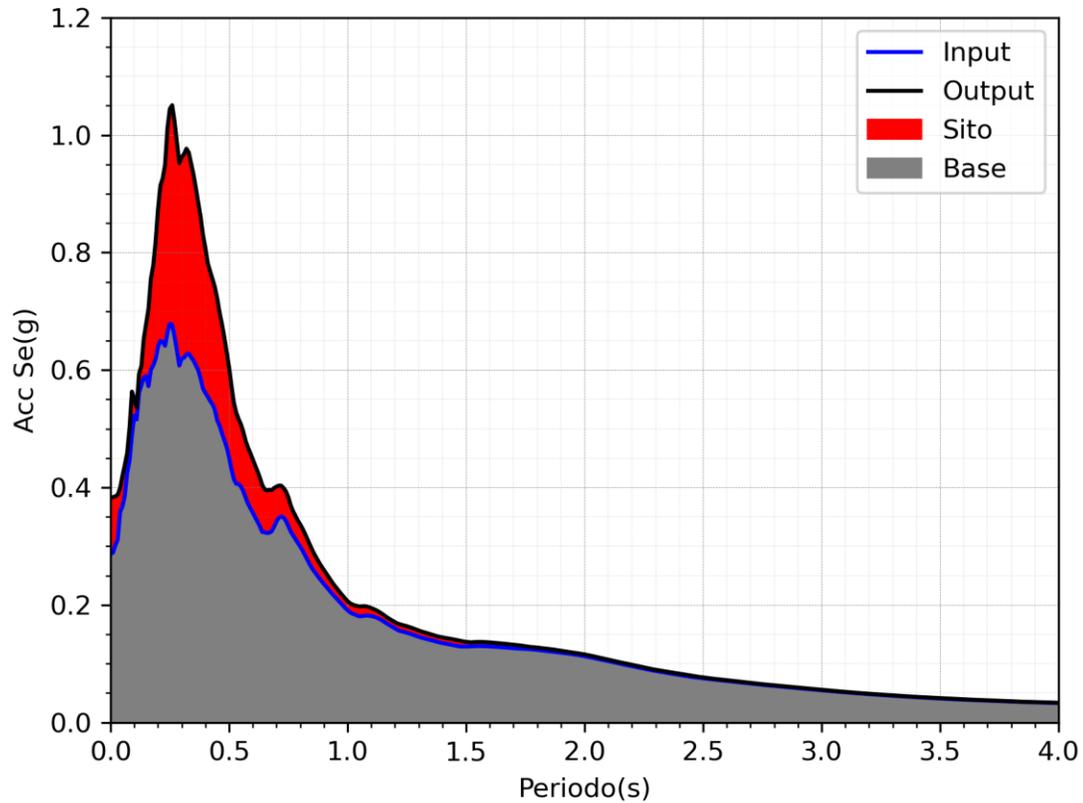
(<https://esm-db.eu/#/rexel>)

Pericolosità Sismica *di base*



(<https://esm-db.eu/#/rexel>)

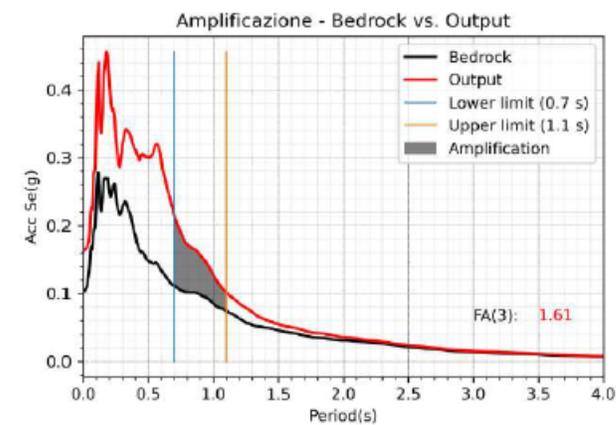
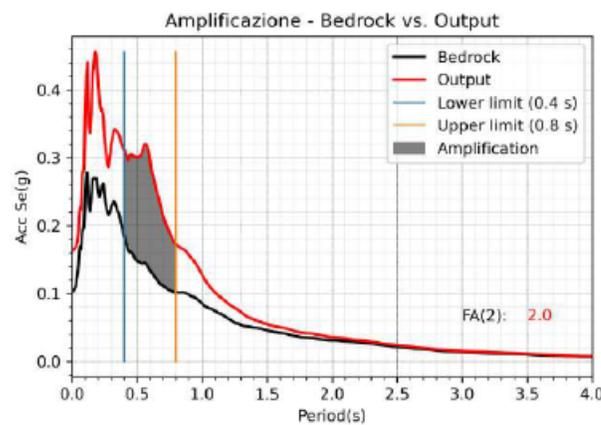
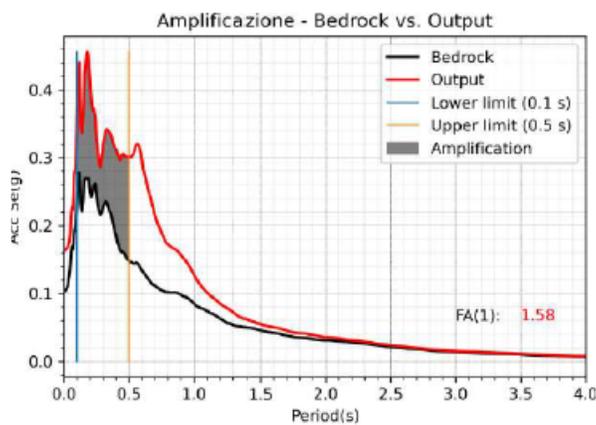
Pericolosità Sismica *di sito*



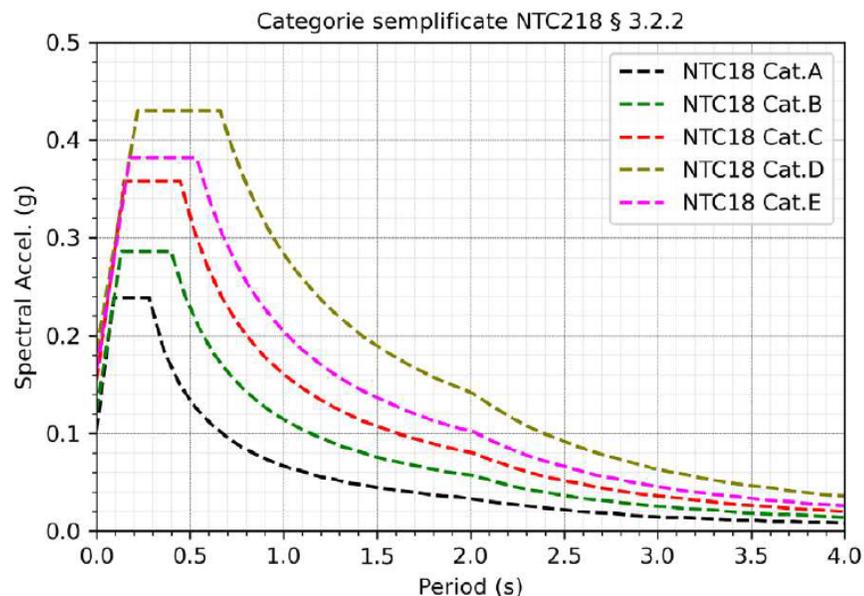
Pericolosità Sismica *di sito*

Per scopi ingegneristici è conveniente restringere il campo di analisi e valutazione del fattore di amplificazione AF per uno o più intervalli di periodo, tipicamente (per opere convenzionali) sono utilizzati intervalli **[0.1-0.5]**, **[0.4-0.8]**, **[0.7-1.1]** secondi; questi intervalli sono stati utilizzati per i calcoli del fattore di amplificazione AF nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 per le aree del cratere sismico 2016 (Ordinanza del Commissario straordinario n°24 del D.L. n°8 del 9 Febbraio 2017 - convertito con modificazioni in Legge 7 Aprile 2017, n°45).

$$AF_{p \div pi} = \frac{\int_p^{pi} PSA_{output}(t) dt}{\int_p^{pi} PSA_{input}(t) dt}$$



Pericolosità Sismica *di sito*



“ S è il fattore che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni tipografiche mediante la seguente relazione:

$$S = S_s * S_T \text{ formula [3.2.3]}$$

Configurazioni stratigrafiche & topografiche
20 - [A,B,C,D,E] * [T1,T2,T3,T4]

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

§ 3.2.1

Parametri sismici di base: $a_g - F_0 - T_c^*$



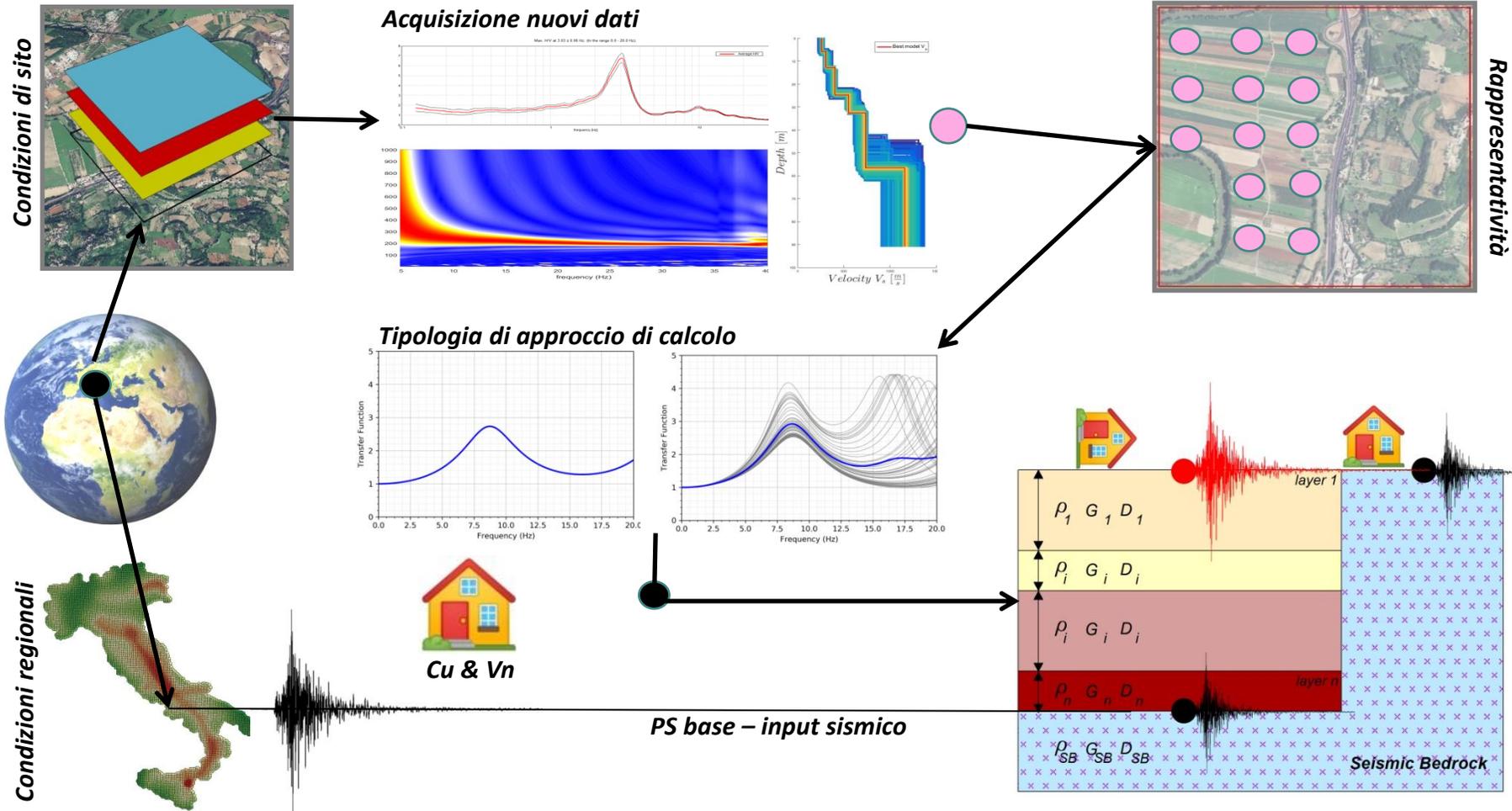
Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

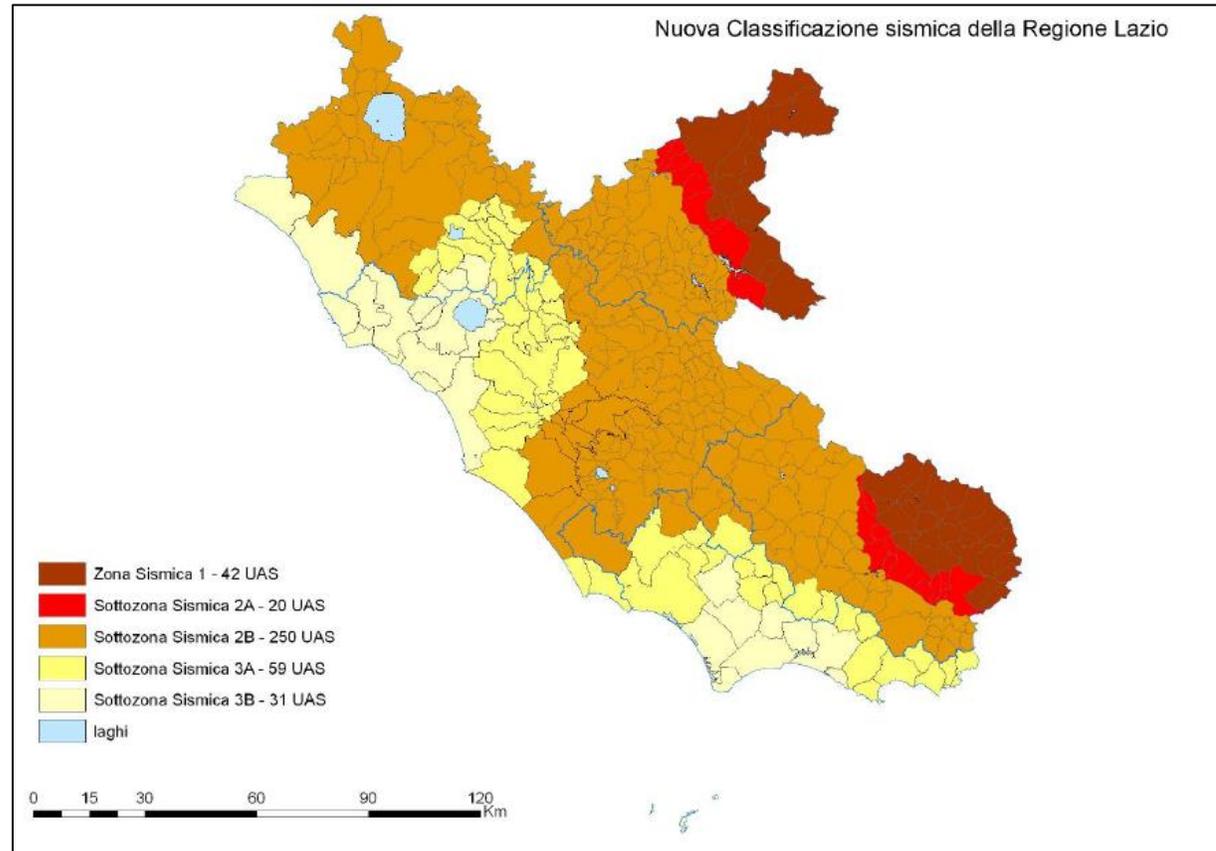
Pericolosità Sismica *di sito*



- Ambito progettuale
- Tipologia di intervento
- Normativa di riferimento
- Conoscenza ancillare dell'area di studio
- Pianificazione del piano indagini geognostiche
- Analisi della rappresentatività
- Selezione degli accelerogrammi di input
- Definizione dei modelli di calcolo
- Definizione del modello sismo stratigrafico
- Analisi numeriche per la stima della pericolosità sismica di sito

Pericolosità Sismica – *un metodo di rappresentazione*

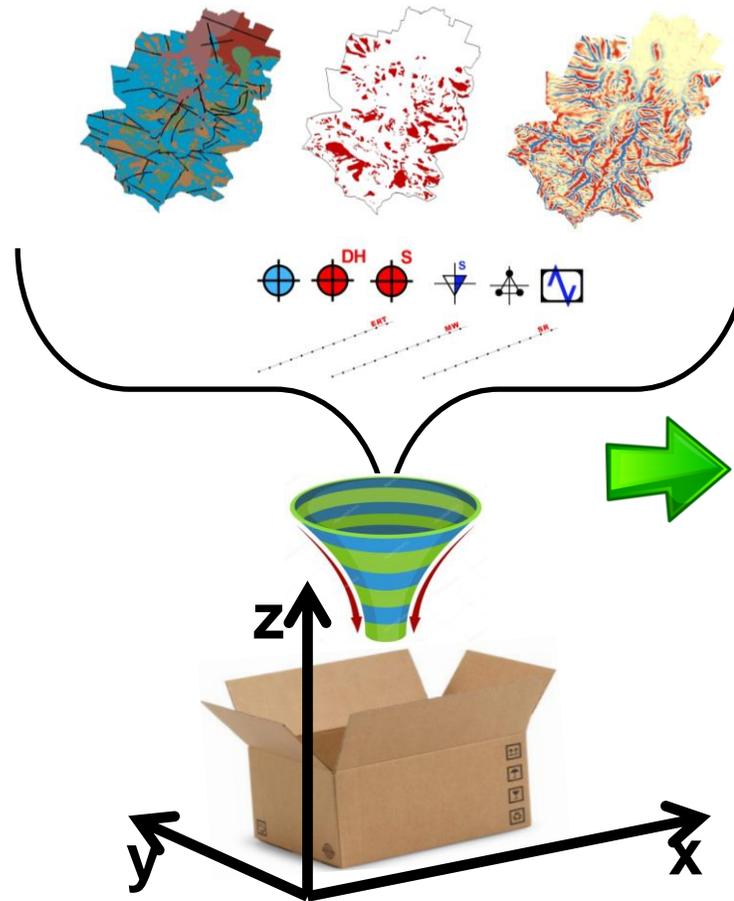
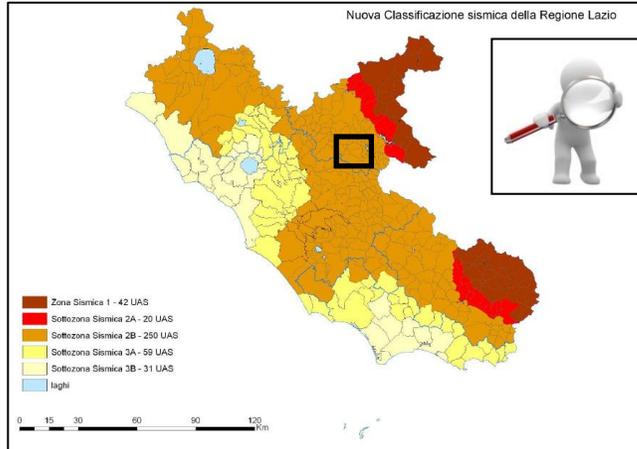
“D.G.R. n.387/2009” Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519/2006 e D.G.R n. 766/2003.



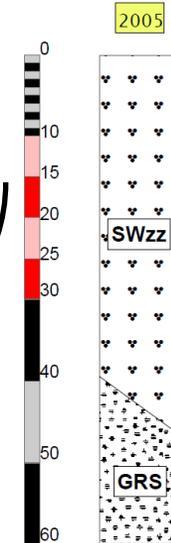
Il territorio della Regione Lazio viene suddiviso in **zone sismiche**.

Ad ogni comune (UAS) viene attribuito un **grado di pericolosità sismica di base**. All’interno della stessa UAS si assume il medesimo valore di pericolosità.

Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

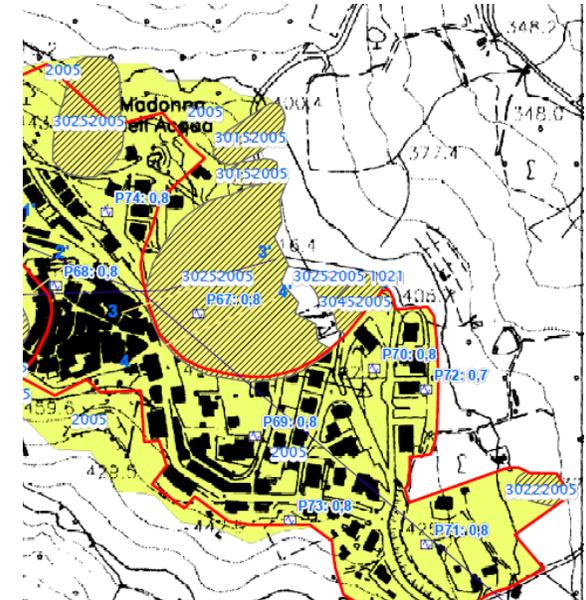


Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
(rielaborata nell'area di studio MS3)



SWzz – Sabbie e Conglomerati a luoghi cementate di origine marina, alternanze più o meno serrate. Localmente rappresenta il substrato geologico ($V_s < 800$ m/s).

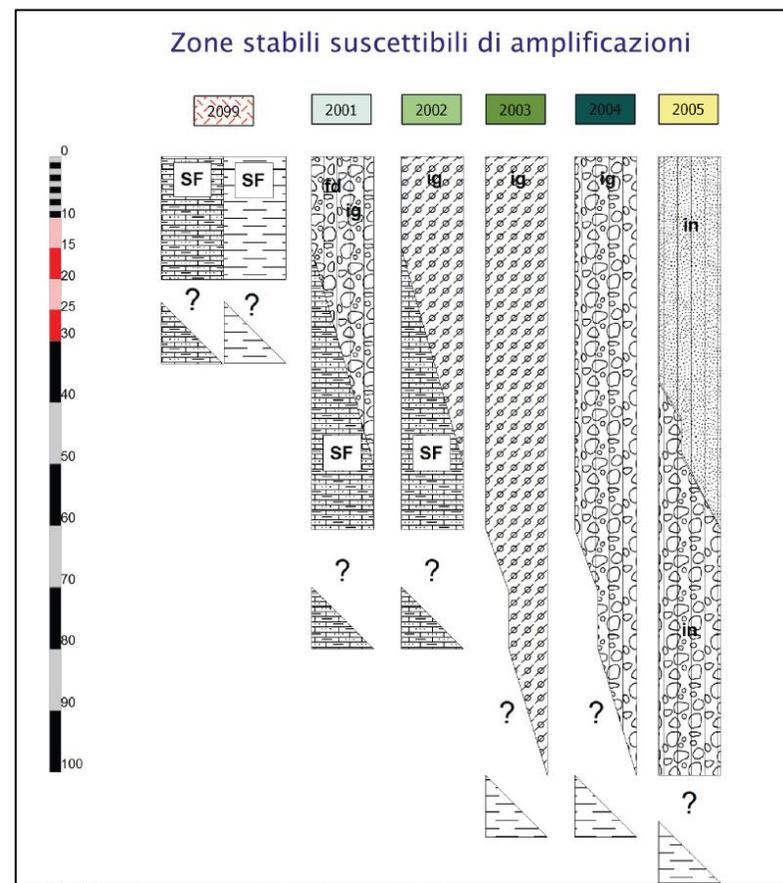
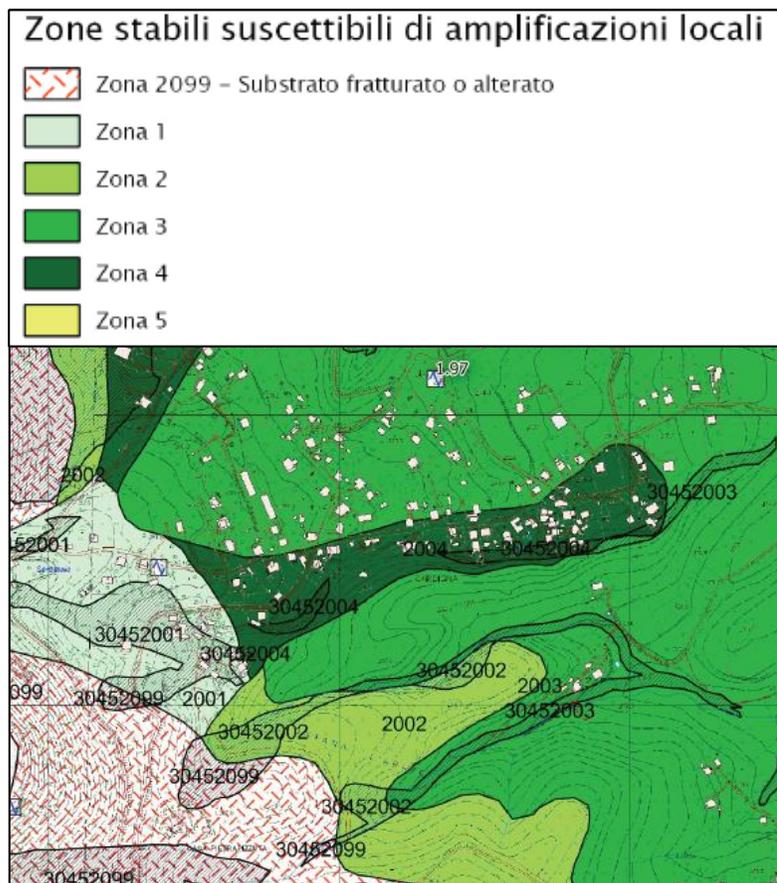
GRS – Substrato geologico granulare cementato (Bedrock sismico $V_s > 800$ m/s)



Microzonazione sismica

Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

Gli studi di MS suddividono il territorio analizzato in **zone** caratterizzate dalle medesime peculiarità morfo – sismo – geotecnico - stratigrafiche in prospettiva sismica. **Carta delle** Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica **MOPS**.



Ogni Zona viene «sintetizzata» sotto forma una colonna rappresentativa che indica spessore e successione dei vari orizzonti geotecnici (sismo – stratigrafici). **Colonne litostratigrafiche sintetiche**.

..e il grado di pericolosità sismica



Non tutti gli studi di MS permettono di ottenere valori analitici di pericolosità sismica intesa come pericolosità totale (base + sito) ad esempio espressa in termini di **FA**

Pericolosità Sismica – *un metodo di rappresentazione*

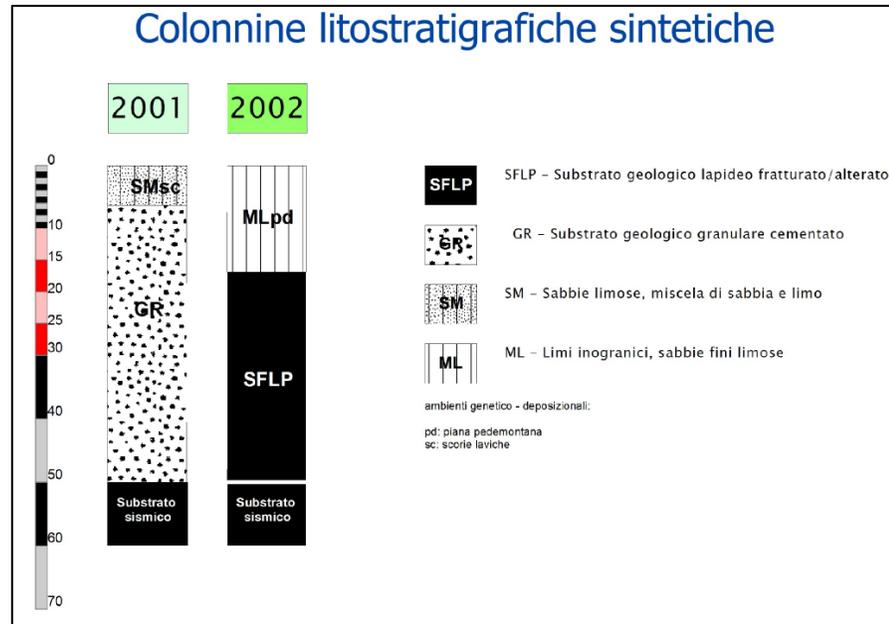
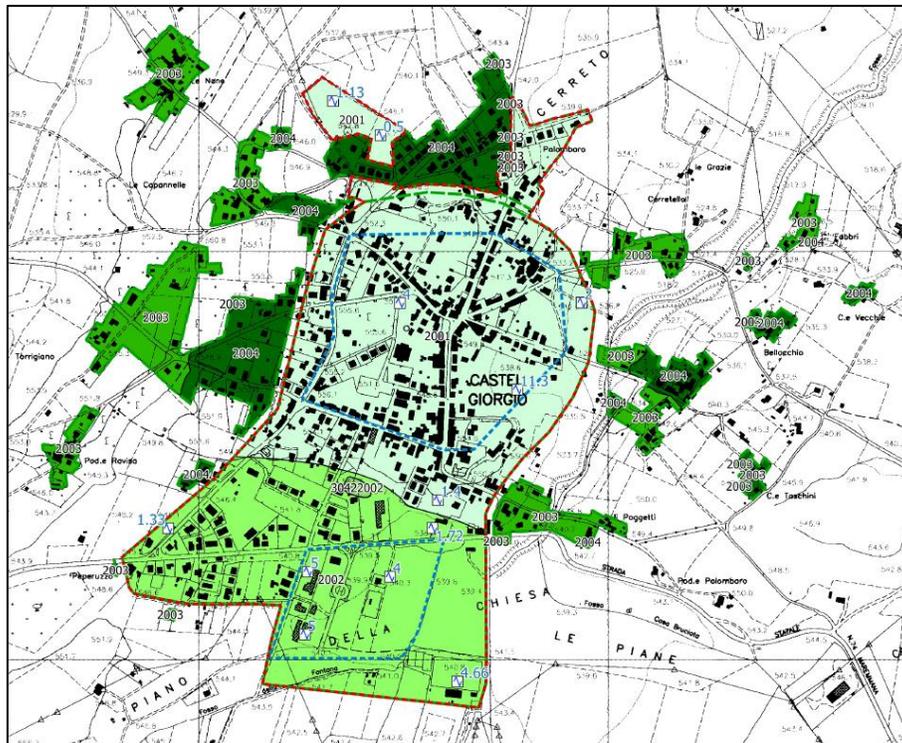
MS Livello 1: Piccola scala, basso grado di definizione delle proprietà delle microzone omogenee individuate; sono ammessi range di variabilità molto ampi delle caratteristiche morfo - lito - stratigrafiche all'interno della stessa microzona. L'approccio di studio è principalmente qualitativo, vengono raccolti i dati, per lo più di archivio, afferenti all'area e interpretati in prospettiva sismica. Non viene attribuito un grado di pericolosità sismica alle MOPS.

MS Livello 2: Media scala, aumenta sensibilmente il grado di definizione delle caratteristiche delle microzone omogenee individuate; si restringe, rispetto al livello 1, il range di variabilità ammesso per le caratteristiche morfo - lito - stratigrafiche all'interno della stessa microzona. L'approccio di studio è qualitativo – quantitativo; vengono forniti valori numerici di amplificazione FA definiti mediante l'utilizzo di *Abachi*.

MS Livello 3: Grande scala, aumenta sensibilmente il grado di definizione delle proprietà delle microzone omogenee individuate; si restringe, rispetto al livello 2, il range di variabilità ammesso per le caratteristiche morfo - lito - stratigrafiche all'interno della stessa microzona. L'approccio di studio è quantitativo, vengono definiti in modo numerico valori numerici di amplificazione FA; valutando anche eventuali effetti 2/3D.

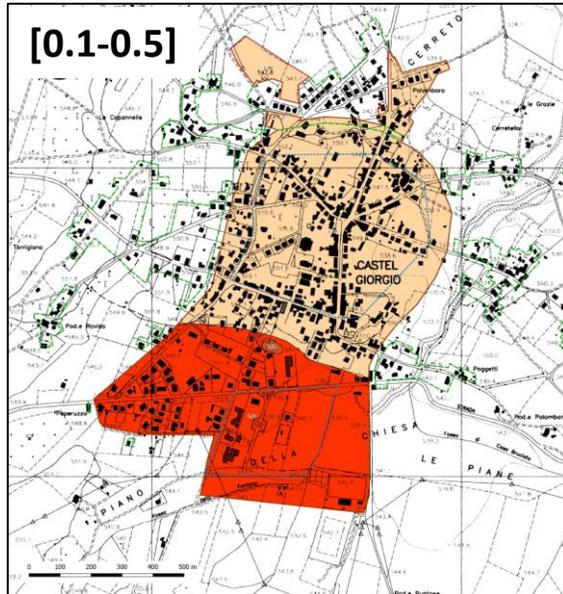
Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

MS Livello 1  Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica MOPS



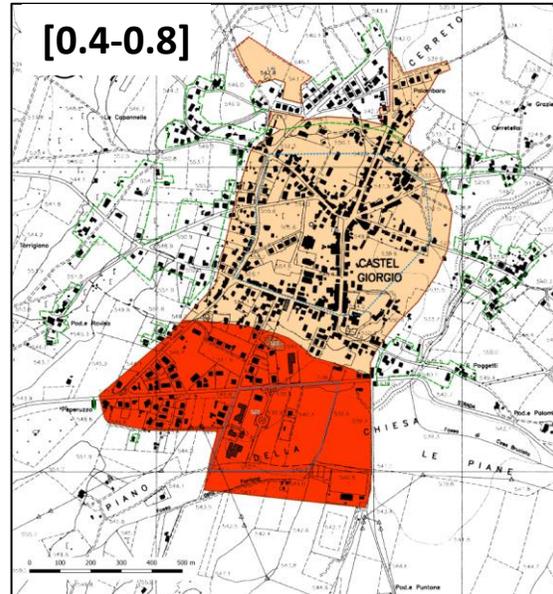
Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

MS Livello 2  Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 [0.1-0.5 -- 0.4-0.8 -- 0.7-1.1]



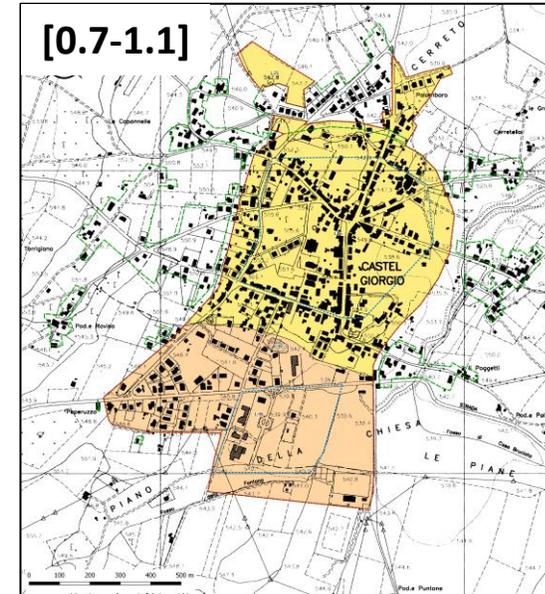
MZS3 - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali liv 3

-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.5 - 1.6)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 2.1 - 2.2)



MZS3 - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali liv 3

-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.5 - 1.6)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 2.1 - 2.2)

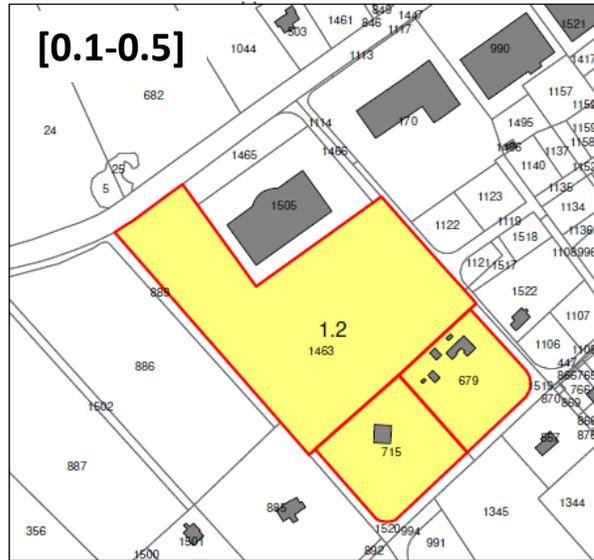


MZS - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.3 - 1.4)
-  Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA = 1.5 - 1.6)

Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

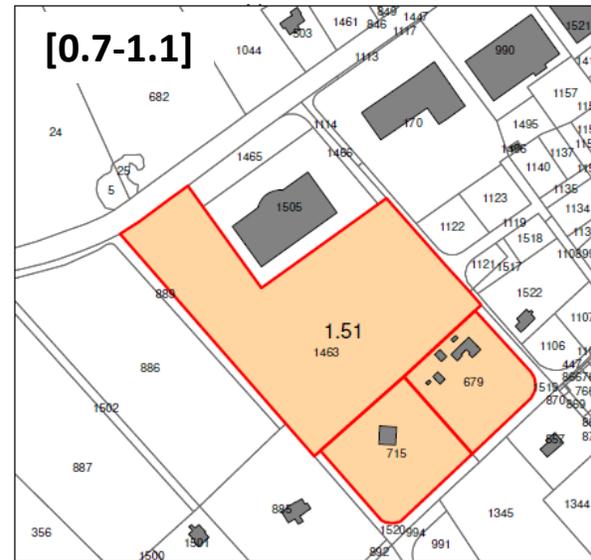
MS Livello 3  Carta di Microzonazione Sismica di Livello 3 [0.1-0.5 -- 0.4-0.8 -- 0.7-1.1]



 Area oggetto dell'intervento
 FA [0.1 - 0.5]: 1.2



 Area oggetto dell'intervento
 FA [0.4 - 0.8]: 1.42



 Area oggetto dell'intervento
 FA [0.7 - 1.1]: 1.51



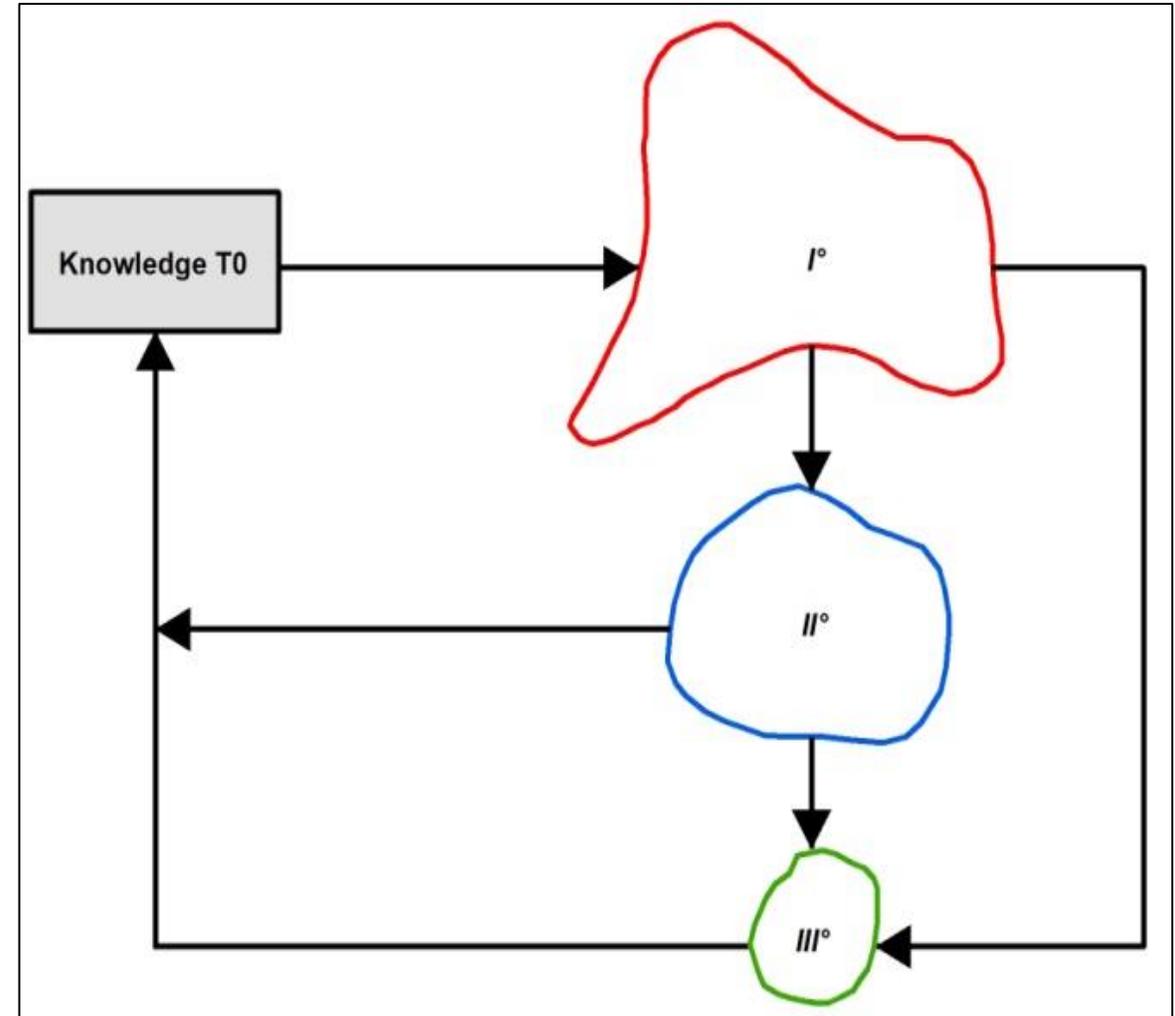
Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

Una netta linea di demarcazione tra i vari livelli di approfondimento non esiste, gli studi sono governati da filosofia generale che prevede gradi di **ereditarietà delle conoscenze** tra i vari approfondimenti.

Definendo i prodotti finali degli studi come '*Carte*' si potrebbe pensare a prodotti statici, va invece sottolineata la **dinamicità circolare** tra i tre livelli.

La ricerca tecnico – scientifica e la coscienza sociale nei confronti della pericolosità sismica «produce» un continuo miglioramento delle conoscenze, che possono tradursi in rivisitazioni e miglioramenti di studi fatti.

Allo stesso modo, la caratterizzazione generale di un'area, definita nell'ambito di uno studio di livello 1, può essere modificata (in alcuni casi stravolta) da successivi approfondimenti dei livelli successivi.



Pericolosità Sismica – un metodo di rappresentazione

Non esiste un ordine di importanza tra i vari livelli di microzonazione sismica. Può trarre in inganno il fatto che il livello 1, in quanto privo di informazioni dedotte da approcci numerici e conseguente stima di FA, sia meno importante degli altri o che la sua definizione sia meno complessa. In realtà si ritiene che le difficoltà nel redigere uno studio di livello 1 siano talvolta maggiori degli altri livelli.

«**Ripensare**» un'area, caratterizzarla tridimensionalmente in prospettiva sismica da dati ancillari, spesso carenti in numero e poco variegati come tipologia, è un lavoro che richiede grandi capacità e conoscenze che abbracciano molti campi delle scienze della terra come la geologia strutturale, la sedimentologia - stratigrafia, la geologia del quaternario e la geomorfologia, oltre che chiaramente la geotecnica e la geofisica.

Per i **livelli 2 e 3, fortemente indirizzati dai risultati delle indagini effettuate ad hoc**, per assurdo può venire meno valorizzata la capacità di percezione spaziale, «spazio – tempo» geologico.

Pericolosità Sismica

MS Livello 3  Progettazione



Seppur caratterizzate da un alto grado di **sito specificità** le simulazioni numeriche per la caratterizzazione di una **microzona** sono dedotte a partire da una **sismo - stratigrafia tipo**, che ne rappresenta una **generalizzazione** delle proprietà fisico - meccaniche e morfo - stratigrafiche.

Soprattutto in **ambito urbano**, la capillare complessità della natura e geometria dei terreni superficiali e sub superficiali rendono rischiosa una (integra e non supervisionata) migrazione dei risultati MS3 per la progettazione delle strutture.

Allo stesso tempo però i risultati MS3, in ambito di progettazione delle strutture, devono rappresentare un solido supporto per la verifica della congruenza con le simulazioni effettuate ad hoc per ogni singola struttura, avendo cura di considerare eventuali differenze attribuibili al passaggio di scala di analisi.



 Area oggetto dell'intervento
 FA [0.1 - 0.5]: 1.2



Le analisi numeriche per la definizione di **FA** in MS3 sono eseguite considerando un $Tr = 475$ anni.

FA è un rapporto ma.....

Pericolosità Sismica

MS Livello 3  Progettazione



“Ordinanza n.55 24-Aprile 2018”

Allegato 1 dell’Ordinanza n. 55 del 24 aprile 2018 definisce i **criteri generali per l’utilizzo degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3** per la ricostruzione nei territori colpiti dagli eventi sismici dal 24 agosto 2016.

Relativamente allo spettro elastico di progetto, il **progettista delle strutture** dovrà **confrontare lo spettro di risposta medio regolarizzato** (secondo il metodo riportato in Appendice 1) ottenuto dallo studio di **MS3** della microzona di interesse **con** quello ottenuto con **l’approccio semplificato della normativa sismica**, per la categoria di sottosuolo in corrispondenza del manufatto e per il tempo di ritorno di **475 anni**.

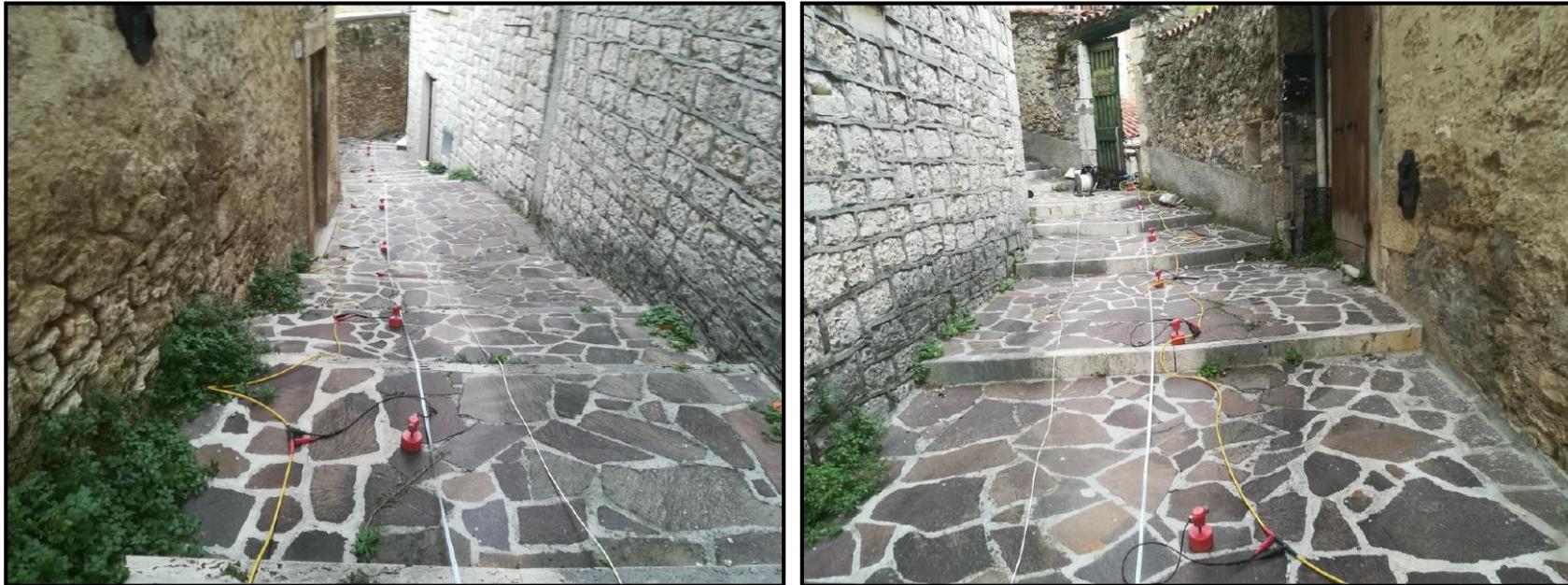
L’intervallo di periodi da considerare per il confronto tra lo spettro di MS3 e quello di norma dell’approccio semplificato è **determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell’opera** nelle due direzioni principali, ossia il minore, **Tmin**, e il maggiore, **Tmax**, dei tre periodi di vibrazione dell’edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell’elongamento degli stessi durante la risposta sismica. Tale intervallo è compreso tra Tmin e 2Tmax

In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

1. lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
2. l’integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Se nessuna delle due condizioni è verificata, è possibile utilizzare l’approccio semplificato della normativa sismica. Se almeno una delle condizioni di cui sopra è verificata, lo spettro previsto dall’approccio semplificato della normativa può ritenersi significativamente meno conservativo di quello di MS3.

Pericolosità Sismica – «controllabile»



GRAZIE PER L'ATTENZIONE