Copia conforme all'orginale

Firmato digitalmente
da Arch Maurizio
Ostini
Data: 2013.05.06
18:12:09 +02'00'

CONCESSIONI AUTOSTRADALI LOMBARDE

Autostrada Pedemontana Lombarda

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE

DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA B2

SISMICA

RELAZIONE SISMICA

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

WBS

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
D	SI	B2	000	GE00	000	RS	001	A

I. D.

DATA Feb. 2009

SCALA -

PROGETTAZIONE

CONSORZIO ITALIANO PER LE INFRASTRUTTURE LOMBARDE

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Massimo Raccosta

DATA	REVISIONE	
Feb. 2009	EMISSIONE	A

ELABORAZIONE PROGETTUALE

TECHNITAL

PROGETTISTA: Dott. Ing. Massimo RACCOSTA

DIRETTORE TECNICO: Dott. Ing. Massimo RACCOSTA

Redatto: PAMPANIN

Visto: RIZZO

Approvato: RENSO

CONCEDENTE

CONCESSIONI AUTOSTRADALI LOMBARDE

CONCESSIONARIO

Autostrada Pedemontana Lombarda

Direttore Tecnico: Dott. Ing. Giuliano Lorenzi
Coordinatore Tecnico Operativo: Dott. Arch. Giovanni Cannito
Referente Tecnico: Dott. Matteo Colombo

VERIFICA E VALIDAZIONE

ITALSOCOTEC S.p.A.
SOCOTEC S.p.A.
CONTECO S.p.A.

Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato in tutto o in parte senza il consenso scritto di Autostrada Pedemontana Lombarda S. p. A. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.
This document may not be copied, reproduced or published either in part or entirely without the written permisson of Autostrada Pedemontana Lombarda S. p. A. Unauthorized use will be persecuted by law.

Autostrada Pedemontana Lombarda

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTE B1, B2, C, D
2° LOTTO DELLA TANGENZIALE DI COMO
2° LOTTO DELLA TANGENZIALE DI VARESE

TRATTA B2

RELAZIONE SISMICA

Elaborazione:

CONSORZIO ITALIANO PER LE INFRASTRUTTURE LOMBARDE

INDICE

1. INTRODUZIONE 3
2. OGGETTO E SCOPO 4
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 5
4. INQUADRAMENTO GEO-TETTONICO E SISMICO 6
5. APPLICAZIONE DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 11
5.1 VITA NOMINALE 12
5.2 CLASSI D'USO E COEFFICIENTE D'USO C_U 12
5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA 14
6. AZIONE SISMICA 16
6.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITA' DI SUPERAMENTO 19
6.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE 20
6.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA 23
6.3.1 Spettri di risposta elastici in accelerazione 24
7. PROCEDIMENTO DI CALCOLO 29
8. STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE 32
ALLEGATO 33

1. INTRODUZIONE

L'area in cui ricade il tracciato dell'Autostrada Pedemontana Lombarda è interessata da fenomeni sismici, come tutto il territorio nazionale, è pertanto soggetta alla specifica normativa per la progettazione delle opere pubbliche.

Nel documento si delinea un quadro rappresentativo della sismicità della zona e si specificano le modalità di applicazione della normativa vigente in materia.

In dettaglio la presente relazione concerne la tratta B2: Lentate- Cesano Maderno.

Nell'ambito della presente relazione vengono forniti gli elementi di base per la progettazione nel rispetto delle Normativa vigente:

- Definizione della Vita Nominale e Classe d'Uso delle opere, cui consegue la determinazione dei periodi di riferimento per l'azione sismica;
- Individuazione delle zone sismiche di riferimento e dei parametri a_g, F_o e T^*_C, sulla base dei quali viene definita la pericolosità sismica;
- Individuazione delle categorie di suolo di fondazione, sulla base della campagna geognostica condotta sul sito e delle condizioni topografiche.

Sulla base delle analisi di seguito esposte, emerge la sostanziale omogeneità del territorio in cui ricade l'intera tratta B2 come zona sismica, ovvero:

- omogeneità dei valori dei parametri ag, Fo e T*C, che definiscono la pericolosità sismica;
- unicità di categoria di suolo di fondazione;
- unicità di condizione topografica legata alla morfologia del territorio.

Pertanto la presente relazione comprende tutti gli elementi di base per la progettazione delle opere nel rispetto della normativa sismica vigente, senza rimandare ad elaborati grafici (planimetrie di macrozonazione e microzonazione sismica), che non presenterebbero lungo lo sviluppo delle opere variazioni dei parametri di progetto.

Per la tratta in esame non si è pertanto prevista la redazione di tali elaborati grafici.

2. OGGETTO E SCOPO

Oggetto della trattazione sono i terreni di fondazione interessati dalle opere del progetto "Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo e opere connesse, in particolare per la Tratta B2: Lentate- Cesano Maderno.

Scopo del presente documento è l'individuazione della zona sismica e delle categorie di suolo da utilizzare ai fini progettuali

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- "Testo Unico - Norme tecniche per le costruzioni" DM 18/01/2008;
- Ordinanza del presidente del consiglio dei ministri 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Autostrada Pedemontana Lombarda - Capitolato Prestazionale e d'oneri – Specifiche Prestazionali per la redazione del Progetto Definitivo – elaborato 2.2.2 –luglio 2007.

4. INQUADRAMENTO GEO-TETTONICO E SISMICO

Come diffusamente trattato nella Relazione Geologica, l'area è caratterizzata da potenti depositi di età pliocenica-quaternaria in discordanza su formazioni conglomeratico-arenacee mioceniche ed un substrato mesozoico piegato e fagliato (faglie listriche).

La struttura a faglie è interpretata come il risultato dell'interferenza della più recente tettonica Appenninica con l'assetto strutturale della pianura Lombarda "foreland" del ricoprimento alpino, già piegato quando la recente tettonica Appenninica lo aveva coinvolto. La sequenza pre-Pliocenica, sempre caratterizzata da strutture con polarità Alpina, sembra aver reagito alla susseguente compressione Appenninica prima innalzando le strutture pre-esistenti e quindi piegando con esse anche la sequenza Pliocenica.

L'assetto geostrutturale della Pianura Padana è quindi stato fortemente condizionato dalla presenza delle due catene delle Alpi Meridionali e dell'Appennino.

L'attività tettonica lungo le due catene ha prodotto e ancora produce deformazioni che si manifestano attraverso l'attività sismica. Come ampiamente documentato da dati geologici regionali e da misure geodetiche, lungo l'Avanfossa Appenninica i tassi di deformazione quaternaria diminuiscono procedendo verso ovest, vale a dire passando dall'arco di Ferrara verso quello Emiliano e del Monferrato. Questa tendenza trova riscontro nella relativa diminuzione del grado di sismicità lungo i tre archi (Catalogo storico, Boschi et al. 2000; CPTI 2004): i terremoti a maggiore intensità, a magnitudo compresa fra M5 e M5.5, diminuiscono di frequenza spostandosi dall'Emilia verso il Piemonte (Monferrato), FIG.4.1.

I dati storici a disposizione testimoniano come in genere i sismi nelle Alpi Meridionali presentano magnitudo massime (M 6.5) maggiori rispetto a quanto mostrato dall'Appennino.

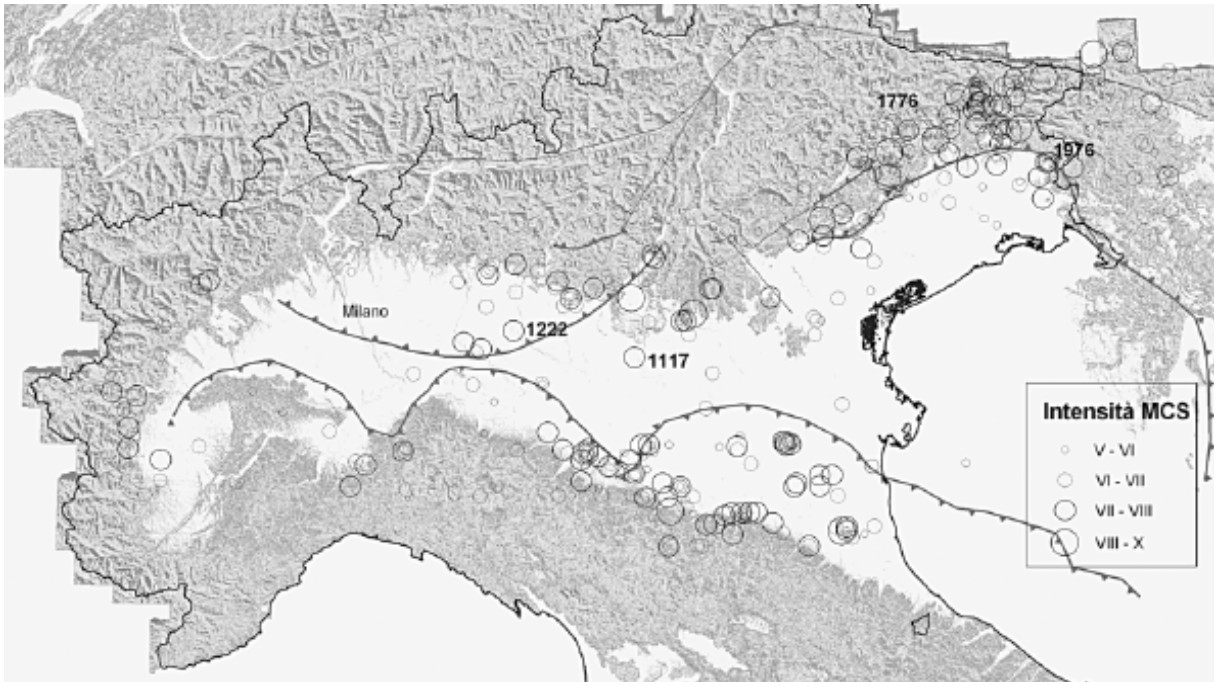


Figura 1 - Estratto da GNGTS Atti del 23° convegno nazionale 07.19 (Sileo, Giardina et Al.)

Questi forti terremoti storici hanno tempi di ritorno più lunghi nelle zone occidentali (Garda) che in quelle orientali (Friuli). I meccanismi focali dei terremoti recenti di più bassa magnitudo (come l'evento del 13 Novembre 2002, M 4.2, al Lago d'Iseo, e del 24 novembre 2004, M 5.2, a Salò, sulle rive occidentali del Lago di Garda) sono in accordo con l'assetto tettonico compressivo definito dalle evidenze geologiche e da profili sismici lungo la base delle Alpi Meridionali (Castellarin e Cantelli 2000; Fantoni et al. 2004).

Nell'arco del Monferrato, lungo il fronte appenninico, alle significative deformazioni tettoniche quaternarie (illustrate ad esempio dai profili di sismica a riflessione dall'industria petrolifera; Bello & Fantoni 2002) è associato un livello di sismicità che, anche se minore di quello presente nell'arco Ferrarese, non può essere considerato trascurabile in termini di pericolosità sismica.

Nell’area pedemontana fra i laghi di Como e Maggiore, al fronte della catena Sudalpina, nonostante anche qui si abbiano chiare evidenze di tettonica quaternaria, descritte in letteratura (Orombelli 1976; Bini et al. 1992; Zanchi et al. 1997; Bini et al. 2001), la pericolosità sismica viene considerata praticamente insignificante. Tale valutazione si basa esclusivamente sul dato storico, in pratica sull’assenza nel catalogo sismico di terremoti con Intensità epicentrale maggiore di VI (MCS), FIG.4.1.

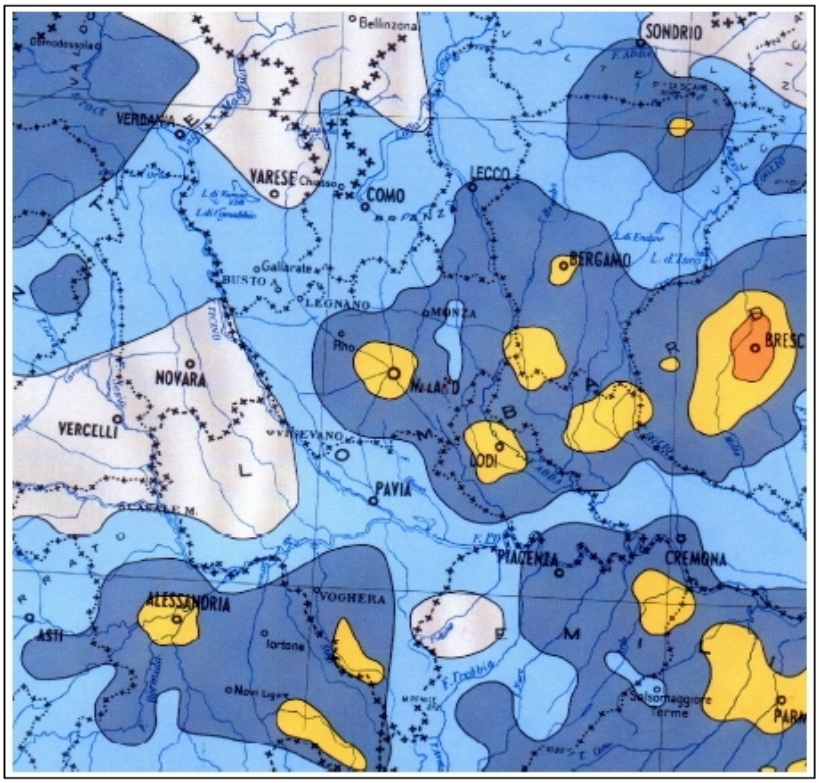
Studi eseguiti nel settore insubrico (Sileo-Giardina-Michetti et al. 2004, Orombelli 1976, Zanchi et al. 1997) in particolare nei siti di Albese con Cassano, Monte Olimpino e Monte Campo di Fiori, attraverso analisi geomorfologiche e rilevamenti sul terreno hanno evidenziato particolari condizioni geostrutturali che rivelano un attività tettonica ancora in corso.

L'area dell'alta pianura è marcata da intensità sismiche relativamente più elevate variabili dal VI al VII (MCS), FIG.4.2.

Il territorio comunale attraversato dalla tratta B2 non era considerato tra quelli sismici secondo la vecchia normativa sismica (DM del 5/3/84 e D.M. 24/01/1986).

La nuova Classificazione Sismica (Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/03 e successive modifiche ed integrazioni) che ha in parte recepito i risultati e le indicazioni scaturite dai vari studi e/o progetti di neotettonica eseguiti nell'ultimo decennio e/o in corso, ha portato ad una riclassificazione dell'intero territorio italiano e quindi anche di quello regionale lombardo. Tale nuova classificazione comprende i territori comunali di seguito citati entro la Zona 4 di sismicità.

Stralcio tratto da:
"MASSIMA INTENSITÀ RISENTITA IN ITALIA" 1995
(Scala 1:1.500.000)
a cura di: C.N.R. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA



LEGENDA

Intensità espresse in scala M.C.S.

- Inferiore al VI grado / *Less then VI degree*
- VI grado / *VI degree*
- VII grado / *VII degree*
- VIII grado / *VIII degree*
- IX grado / *IX degree*

Gli annali storici relativi agli eventi sismici registrati (banca dati del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) non segnalano una ragguardevole attività

sismica nell'area di interesse a causa di una discreta distanza degli epicentri, perciò nei territori di interesse sono stati registrati sporadici eventi sismici e tutti di modesta intensità.

Si riporta nella Figura 2 (Catalogo ISC, Catalogo macrosismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica, ecc.) la distribuzione degli epicentri sul territorio italiano per gli eventi sismici più significativi, ovvero quelli con magnitudo>5.

.

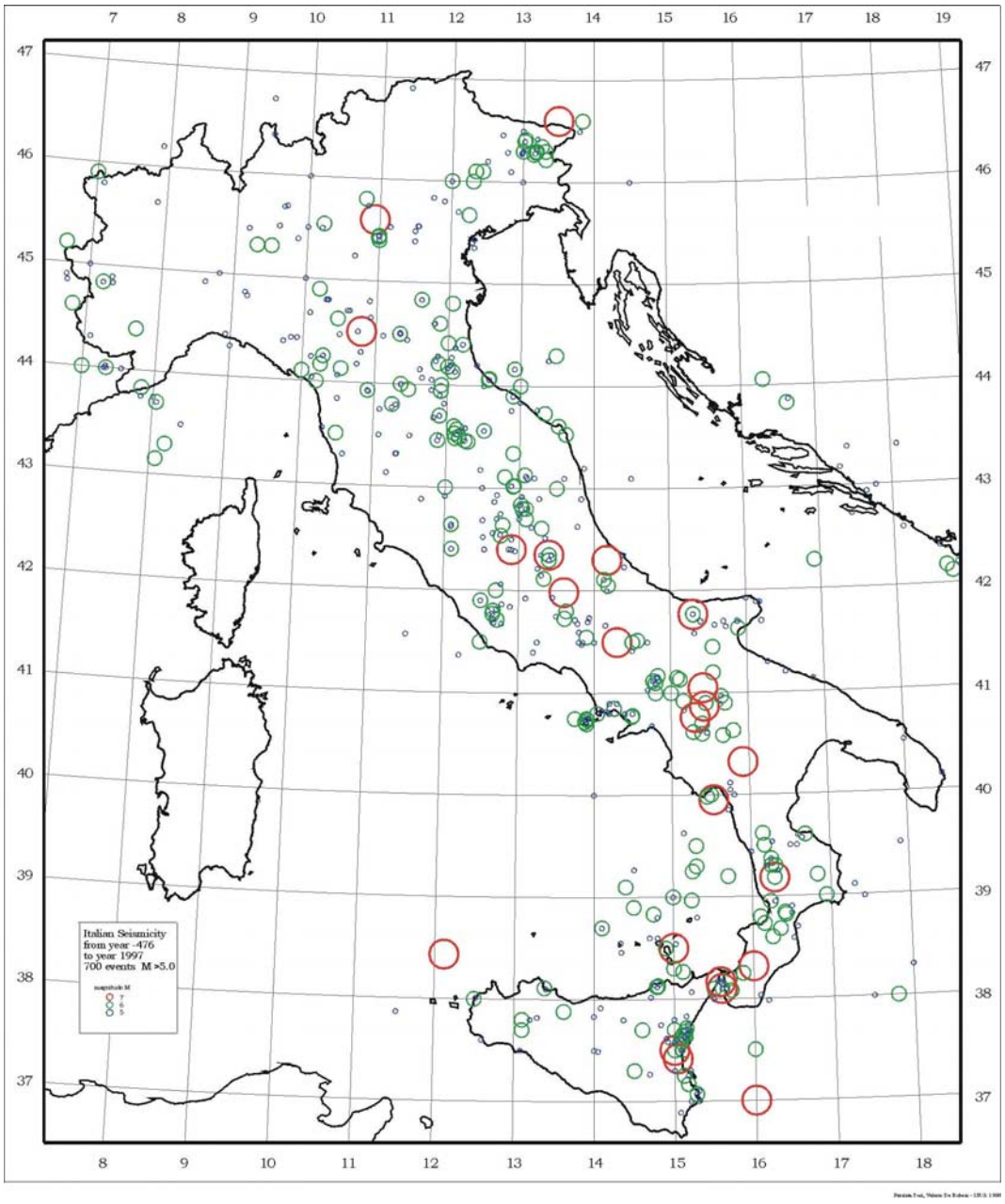


Figura 2 - Sismicità dell'Italia dal 476 AC al 1997 DC (eventi con M>5)

5. APPLICAZIONE DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Il nuovo testo delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), di cui al D.M. 14 gennaio 2008, è stato pubblicato il 4 febbraio 2008 (nel Suppl. Ordinario n. 30 alla GU n. 29) entrando in vigore 30 giorni dopo, quindi a partire dal 5 marzo 2008. Dal testo del decreto si rileva che le nuove norme:

(art. 1): "sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 settembre 2005"; (art. 2): "entrano in vigore trenta giorni dopo la pubblicazione […] nella Gazzetta Ufficiale" e, quindi, a partire dal 5 marzo 2008.

Tali norme sono cogenti in quanto "prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni, ovvero prima del 5 marzo 2008", è stato approvato solo il progetto preliminare della Pedemontana Lombarda.

Si riporta di seguito la zonazione sismica dei comuni interessati dal tracciato della Pedemontana Lombarda per la tratta B2 di pertinenza.

Denominazione	***Categoria secondo la classificazione precedente Decreti fino al 1984)***	***Categoria secondo la proposta del GdL del 1998***	***Zona ai sensi dellOPCM del 20/03/2003***
Lentate sul Seveso	NC	NC	4
Barlassina	NC	NC	4
Seveso	NC	NC	4
Meda	NC	NC	4
Cesano Maderno	NC	NC	4

La valutazione dell'azione sismica effettuata secondo la nuova normativa risulta per alcuni aspetti diversa da quella proposta dalle altre normative (Eurocodice 8, D.M. 14/09/2005, e D.M. 16/01/1996), avendo introdotto un nuovo parametro, ossia il coefficiente d'uso (Cu) dimensionante ai fini del calcolo del tempo di ritorno, insieme al valore della Vita nominale V_N, già presente nelle precedenti normative (es. norme tecniche del 2005).

Nei capitoli seguenti vengono fornite le definizioni per la Vita Nominale V_N, la Classe d'uso ed il coefficiente d'uso C_U e le rispettive categorie e valori considerati per la progettazione delle opere dell' Autostrada Pedemontana Lombarda, quindi gli elementi di base per poter procedere alla progettazione delle opere secondo la Normativa vigente.

5.1 VITA NOMINALE

La vita nominale V_N di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni in cui la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La Vita nominale dei diversi tipi di opere è così definita :

$V_N \leq 10$ anni , per opere provvisorie – Opere provvisionali ;

$V_N \geq 50$ anni , per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;

Si adotta tale valore per le opere che appartengono alla viabilità secondaria.

$V_N \geq 100$ anni , per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Si adotta tale valore per le opere che appartengono all'asse principale e per quelle la cui proiezione cade sull'asse principale.

5.2 CLASSI D'USO E COEFFICIENTE D'USO C_U

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, in presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso.

La classe d'uso viene stabilita sulla base della tipologia di viabilità.

Classe I : Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Alla classe d'uso I corrisponde un valore del coefficiente d'uso $C_U = 0.7$

Classe II : Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Alla classe d'uso II corrisponde un valore del coefficiente d'uso C_U = 1.0

In classe d'uso II pertanto, con l'adozione del valore C_U = 1.0, ricadono le opere che appartengono alla viabilità secondaria, comunale.

Classe III : Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Alla classe d'uso III corrisponde un valore del coefficiente d'uso C_U = 1.5

In classe d'uso III pertanto, con l'adozione del valore C_U = 1.5, ricadono le opere che appartengono alla viabilità secondaria, provinciale o ex-statale.

Classe IV : Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti ed a impianti di produzione di energia elettrica.

Alla classe d'uso IV corrisponde un valore del coefficiente d'uso C_U = 2.0

Le opere che appartengono all'asse principale e la cui proiezione ricade sull'asse principale sono individuate da classe d'uso IV, pertanto si adotta il valore C_U = 2.0.

5.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle opere vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di opera, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Sulla base dei valori di V_N e di C_U sopra definiti ne consegue che:

- **per le opere che appartengono all'asse principale e per quelle la cui proiezione cade sull'asse principale il Periodo di Riferimento sarà pari a**:

$$\mathbf{V_R} = V_N \times C_U = 100 \times 2 = \mathbf{200\ anni}$$

ed il Tempo di Ritorno, considerando ad esempio una probabilità di superamento del 10%, sarà pari a:

$$\mathbf{T_R} = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{Vr}.)} = \mathbf{1900\ anni}$$

- **per le opere che appartengono alla viabilità secondaria, provinciale o ex-statale, il Periodo di Riferimento sarà pari a:**

$$\mathbf{V_R} = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = \mathbf{75\ anni}$$

ed il Tempo di Ritorno, considerando ad esempio una probabilità di superamento del 10%, sarà pari a:

$$\mathbf{T_R} = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{Vr}.)} = \mathbf{700\ anni}$$

- **per le opere che appartengono alla viabilità secondaria, comunale, il Periodo di Riferimento sarà pari a:**

$$\mathbf{V_R} = V_N \times C_U = 50 \times 1 = \mathbf{50\ anni}$$

ed il Tempo di Ritorno, considerando ad esempio una probabilità di superamento del 10%, sarà pari a:

$$\mathbf{T_R} = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{Vr}.)} = \mathbf{475\ anni}$$

6. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche vengono definite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito ove ricadono le opere. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica viene definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A, ammassi rocciosi o terreni molto rigidi con $V_{s,30} \geq$ 800m/s), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR}, nel periodo di riferimento V_R..

Sono individuati

In corrispondenza dell'origine del sistema di riferimento T=0 s il valore $S_e = a_g * S$

I valori TB (periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante) e TC (periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro), con TB=TC/3

Ai fini delle Normativa vigente le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su suolo rigido orizzontale:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nell'allegato alla presente relazione sono forniti i valori di a_g, F_o e TC* necessari per la determinazione delle azioni sismiche per tutti i siti interessati dal tracciato delle opere.

La tabella seguente rappresenta un estratto dell'Allegato B alle Norme Tecniche per le costruzioni: Parametri che definiscono l'azione sismica.

Sono forniti per i punti del reticolo di riferimento in cui ricadono le opere della tratta B2 e per 9 valori del periodo di ritorno i valori dei parametri a_g,F_0 e T^*_C, per definire l'azione sismica secondo le modalità previste dalla Normativa.

L'accelerazione a_g è espressa in (g/10), F_0 è dimensionale e T^*_C è espresso in secondi

Lentate sul Seveso					
ID	LON	LAT			
11150	9,128	45,706			
Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR di riferimento					
TR	ag	Fo	TC*		
[anni]	[g/10]	[-]	[s]		
30	0,168	2,571	0,158		
50	0,210	2,543	0,182		
72	0,246	2,577	0,191		
101	0,279	2,603	0,203		
140	0,310	2,623	0,217		
201	0,345	2,644	0,230		
475	0,436	2,647	0,282		
975	0,529	2,698	0,300		
2475	0,660	2,787	0,321		
Barlassina, Seveso, Meda					
ID	LON	LAT			
11372	9,132	45,657			
Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR di riferimento					
TR	ag	Fo	TC*		
[anni]	[g/10]	[-]	[s]		
30	0,171	2,562	0,159		
50	0,215	2,533	0,187		
72	0,251	2,588	0,193		
101	0,285	2,589	0,207		
140	0,316	2,617	0,219		
201	0,351	2,642	0,232		
475	0,445	2,658	0,279		
975	0,539	2,701	0,299		
2475	0,675	2,787	0,319		
Cesano Maderno					
ID	LON	LAT			
11594	9,135	45,607			
Valori dei parametri ag, Fo, TC* per i periodi di ritorno TR di riferimento					
TR	ag	Fo	TC*		
[anni]	[g/10]	[-]	[s]		
30	0,174	2,560	0,159		
50	0,219	2,534	0,187		
72	0,256	2,583	0,196		
101	0,290	2,581	0,210		
140	0,322	2,610	0,222		
201	0,357	2,637	0,239		
475	0,454	2,654	0,279		
975	0,548	2,693	0,299		
2475	0,687	2,777	0,317		

6.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITA' DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite di esercizio e ultimi sono individuati con riferimento alle prestazioni dell'opera nel suo complesso.

Rimandando per il dettaglio alla Normativa, si definiscono:

Stati Limite di Esercizio:

- **SLO** – **S**tato **L**imite di **O**peratività;
- **SLD** – **S**tato **L**imite di **D**anno;

Stati Limite Ultimi:

- **SLV** – **S**tato **L**imite di salvaguardia della **V**ita;
- **SLC** – **S**tato **L**imite di prevenzione del **C**ollasso.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite considerati sono di seguito riportate (cfr Tab 3.2.I del DM 18/01/2008);

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento in V_R	
Esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

Considerando i periodi di riferimento V_R = 50 anni, V_R = 75 anni e V_R 200 anni, relativi rispettivamente alle opere della viabilità secondaria comunale, secondaria provinciale o ex-statale, e della viabilità principale, ne consegue la valutazione del Tempo di ritorno T_R in anni.

Stati Limite	P_{VR}	$TR_{[VR\ 50\ anni]}$ -	$TR_{[VR\ 75\ anni]}$	$TR_{[VR\ 200\ anni]}$
SLO	81 %	30	45	120
SLD	63 %	50	75	200
SLV	10 %	475	710	1900
SLC	5 %	975	1460	3900

6.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento all'approccio che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento (cfr tab 3.2.II DM 18/01/2008):

Tabella 1 – Categorie di suolo di fondazione

Categoria	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT> 50 o coesione non drenata cu> 250 kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (15<NSPT<50, 70 kPa <cu< 250 kPa)
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di VS30 minori di 180m/s (NSPT< 15, cu< 70 kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 superiore ad 800 m/s.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI >40) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di VS30 minori di 100 m/s e 10 kPa < cu <20 kPa.
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

La classificazione si effettua sulla base dei valori della velocità equivalente Vs,30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano d'imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano d'imposta della fondazione.

Nell'ambito della campagna d'indagini svolta per il Progetto Definitivo è stata effettuata una cospicua serie di misure delle onde di taglio con verticali down-hole spinte fino a 40 m di profondità da piano campagna.

Per sottosuoli appartenenti alle categorie S1 e S2 è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o argille d'elevata sensitività possa portare fenomeni di collasso del terreno.

La velocità equivalente delle onde di taglio Vs,30 è definita dall'espressione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} [m/s]$$

dove:

h_i = spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato, ricavata dalle indagini down-hole.

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità

Sul profilo stratigrafico della tratta in esame sono stati indicati i valori di Vs forniti dalle indagini down-hole, come di seguito specificato:

- da km 0+000 a km 0+900 V_{s30}= 420 m/s;

- da km 0+900 a km 2+100 V_{s30}= 440 m/s;

- da km 2+100 a km 3+200 V_{s30}= 650 m/s;

- da km 3+200 a km 4+200 V_{s30}= 420 m/s;

- da km 4+200 a km 5+400 V_{s30}= 480 m/s;

- da km 5+400 a km 6+000 V_{s30}= 450 m/s;

- da km 6+000 a km 7+900 V_{s30}= 550 m/s;

- da km 7+900 a km 9+000 V_{s30}= 420 m/s;

In relazione ai valori sopra riportati corrisponde una categoria di suolo tipo B:

- da km 9+000 a km 9+600 V_{s30}= 330 m/s: il valore ricade all'interno del campo di velocità cui corrisponde una categoria di suolo tipo C.

In considerazione dei valori riscontrati, la caratterizzazione di suolo è ricondotta alle categorie tipo B –C per i terreni di fondazione della tratta B2.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per le condizioni topografiche si fa riferimento alla seguente classificazione (cfr. tab 3.2.IV DM 18/01/2008):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Rilievi con inclinazione media i › 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media i › 30°

Le sopra esposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La morfologia del territorio in cui ricade la tratta B2 è tale per cui ricade nella categoria topografica T1

6.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali X e Y e una verticale Z, da considerare tra loro indipendenti

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima attesa in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- accelerogramma.

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può passare ai valori sui piani di riferimento definiti per le varie tipologie di opere indicati al paragrafo precedente.

In assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale.

In via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

Vengono di seguito fornite le indicazioni di carattere operativo per procedere alla determinazione degli spettri di risposta elastici

6.3.1 Spettri di risposta elastici in accelerazione

<u>Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali</u>

Per quanto concerne lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali, quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \le T < T_B \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right] \qquad (1)$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \qquad (2)$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) \qquad (3)$$

$T_D \leq T$ $$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \quad (4)$$

in cui T ed S_e sono rispettivamente periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

Inoltre:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche attraverso la relazione

$$S=S_S \times S_T$$

In cui Ss è il coefficiente di amplificazione di amplificazione stratigrafica

Ss = f (Fo, a_g), funzione delle categorie del suolo (A ÷ E), **nel caso specifico B, per cui 1≤ Ss≤ 1.20 ;**

Ss = 1.40- 0.40 Fo a_g/g

S_T è il coefficiente di amplificazione topografica

S_T = f (T), funzione della categoria topografica (T1 ÷ T4), **nel caso specifico T1, per cui S_T= 1.0**

Infatti:

Per l'amplificazione stratigrafica:

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti Ss e Cc sono pari a 1

Per categorie di sottosuolo B,C,D e E, i coefficienti Ss e Cc possono essere calcolati in funzione dei valori Fo e T*c relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V del DM 18/01/2008, **quindi nel caso specifico si adotteranno i coefficienti per sottosuolo di categoria B**

Per l'amplificazione Topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST funzione delle categorie topografiche T1 ÷ T4

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 del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della sommità del pendio	1.4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove S_T assume il valore unitario.

Inoltre:

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, secondo la relazione

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0.55$$

Dove:

ξ espresso in % è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, con valore minimo pari a 2.2, vedi Tab 6.1

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$Tc = Cc \times T^*c \ ,$$

dove

T^*_C è periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale, vedi Tab 6.1

C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (rif. Tab. 3.2.V del DM 18/01/2008), nel caso specifico, con categoria B, $Cc=1.10(T^*_C)^{-0.20}$

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,

$$T_B = T_C /3$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi dalla relazione:

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

<u>Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale</u>

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \le T < T_B \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right] \qquad (1)$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \qquad (2)$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) \qquad (3)$$

$$T_D \le T \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2}\right) \qquad (4)$$

in cui T ed S_{ve} sono rispettivamente periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale ed F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale mediante la relazione

$$F_v = 1.35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0.5}$$

I valori di a_g, Fo, S, η sono già stati definiti nell'ambito delle componenti orizzontali, mentre per i valori di S_S, T_B, T_C e T_D i valori sono di seguito indicati (rif. TAB 3.2.VII DM 18/01/2008)

Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A,B,C,D,E	1.0	0.05 s	0.15 s	1.0 s

Per considerare le condizioni topografiche, si rimanda all'impiego dei valori S_T già forniti nell'ambito delle componenti orizzontali.

7. PROCEDIMENTO DI CALCOLO

Viene di seguito indicato il procedimento operativo da seguire per la progettazione delle opere nel rispetto della normativa di riferimento (D.M. 18/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni").

1. Dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php) sono state individuate le zone sismiche di appartenenza, sulla cui base è stato possibile ricavare il valore dell'accelerazione orizzontale massima convenzionale a_g riferita ad un suolo di categoria A.

2. Si è individuata la categoria di suolo su cui sorge l'opera, basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde si-smiche di taglio (VS) ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, ovvero sulla coesione non drenata media (cu).

   La procedura ha portato alla definizione di un coefficiente amplificativo Ss che varia a seconda della categoria del suolo di fondazione.

3. In funzione dei parametri fin qui definiti è possibile costruire lo spettro di risposta elastico, come illustrato nell'esempio seguente.

Si considerano le opere della viabilità principale:

- Periodo di riferimento VR= 200anni

Considerando lo stato limite di danno SLD, consegue $T_{VR\ 200}$= 200 anni

Per $T_{VR\ 200}$= 200 anni consegue ad es per il sito di Lentate sul Seveso (tratta B2)

Fo = 2.644; a_g = 0.345 [g/10] m/s^2, T*c=0.230 s, per cui:

- Con categoria di sottosuolo B,

Ss = 1.40-0.40Fo /ag, con 1 ≤Ss≤1.20.
Risultando dall'applicazione della formula Ss= 1.36 > 1.20, segue che il valore da considerare è **S_S=1.20.**

- Condizioni topografiche T1, per cui **S_T=1.0**

Quindi **$S=S_S x S_T$ = 1.20x1.0=1.20**

Inoltre

Cc= $1.10(T^*c)^{-0.20}$ = 1.10* 0.230^$^{-.0.20}$ **= 1.48**

Sulla base delle prime valutazioni sopra esposte vengono definiti i valori di accelerazione orizzontale e verticale massima da considerare (vedi tabella seguente).

Periodo di Ritorno	**accelerazione massima attesa su suolo rigido**	**accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido componenti orizzontali - m/s²**	**accelerazione verticale massima attesa su suolo rigido componente verticale - m/s²**
TR - anni	**ag - m/s²**		
30	0.016	0.019	0.016
50	0.020	0.024	0.020
120	0.029	0.035	0.029
475	0.042	0.050	0.042
975	0.050	0.060	0.050
1900	0.058	0.070	0.058
3900	0.068	0.082	0.068

Per utilizzare i metodi pseudostatici per il dimensionamento delle opere, con riferimento alla normativa vigente, occorre considerare degli opportuni coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, così definiti:

per la componente orizzontale

$$K_h = \beta \times \frac{a_{max}}{g}$$

per la componente verticale
$K_v = 0.5K_h$

Per opere rigide quali muri di sostegno, gallerie artificiali, cavalcavia e viadotti il coefficiente β può essere assunto pari a 1.

Per scavi, rilevati e diaframmi, con riferimento alle tabelle 7.11.I e 7.11.II il coefficiente di riduzione β in relazione al valore dell'accelerazione massima su suolo rigido si può assumere pari a 0.20.

Vengono di seguito forniti nel dettaglio i valori caratteristici degli spettri di risposta elastici da applicare per eventuali analisi sismiche specialistiche.

Per lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali:

$\eta = 1$
T_C = C_CxT^*_C= 1.48*0.230**=0.340 s;**
T_B=T_C/3=0.40/3=**0.113 s**;
T_D= 4.0*a_g/g+1.6 =**1.738 s;**

Per T=0 Se(T) = 0.041 s;

Per T=T_B=T_C Se(T) = 0.109 s

Per T=T_D Se(T) = 0.021s.

Per lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale si ha

Fv 1.35Fo(a_g/g)^0.5=0.66

Per tutte le categorie di sottosuolo tipo A÷E, quindi per B, si ha

Ss= 1,

quindi S= SsxST = 1.0

TB=0.05 s

TC=0.15 s

TD= 1.0s,

di conseguenza

Per T=0 Sve(T) = 0.009 s;

Per T=T_B=T_C Sve(T) = 0.015 s

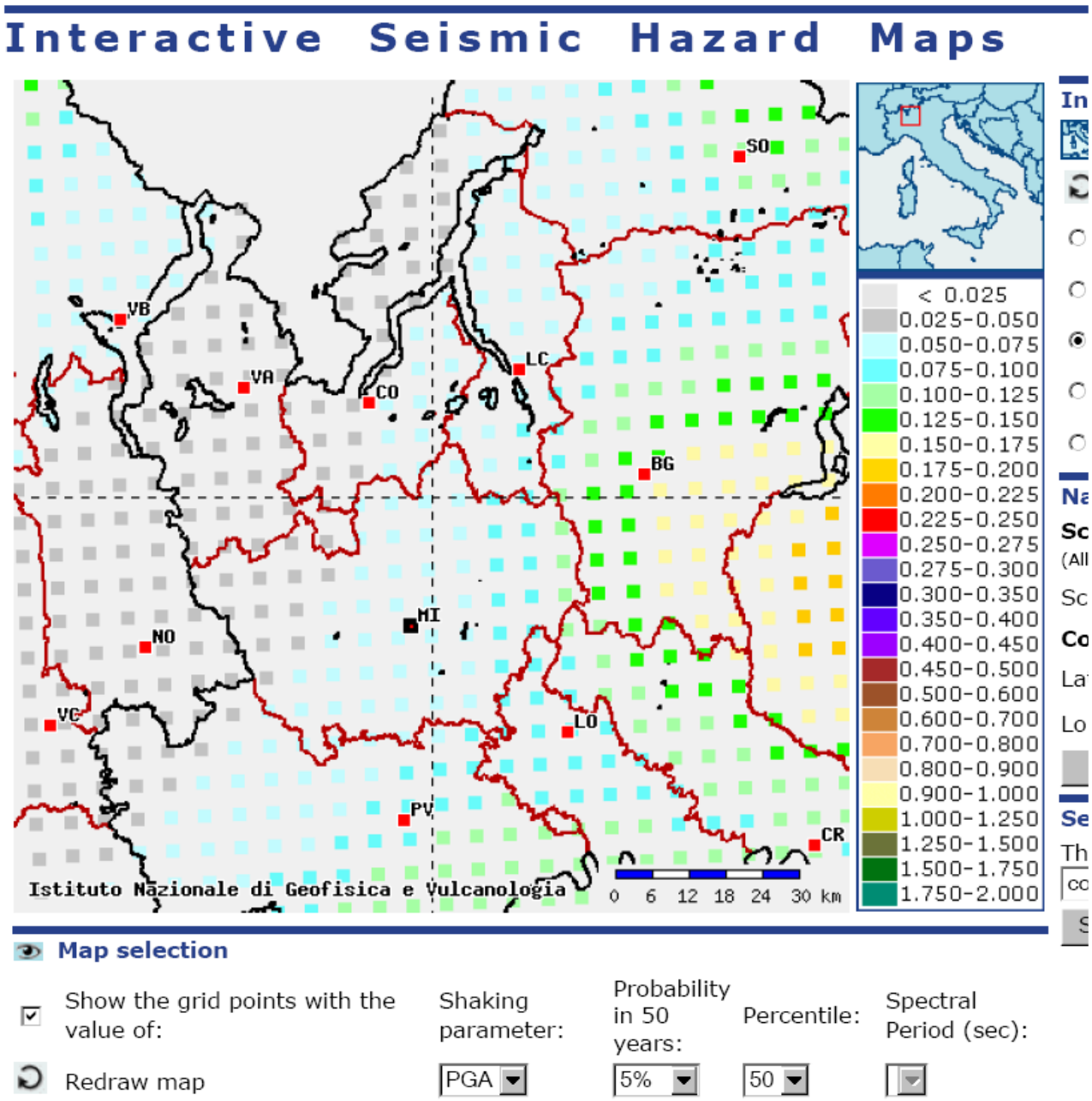
Per T=T_D Sve(T) = 0.002 s.

8. STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

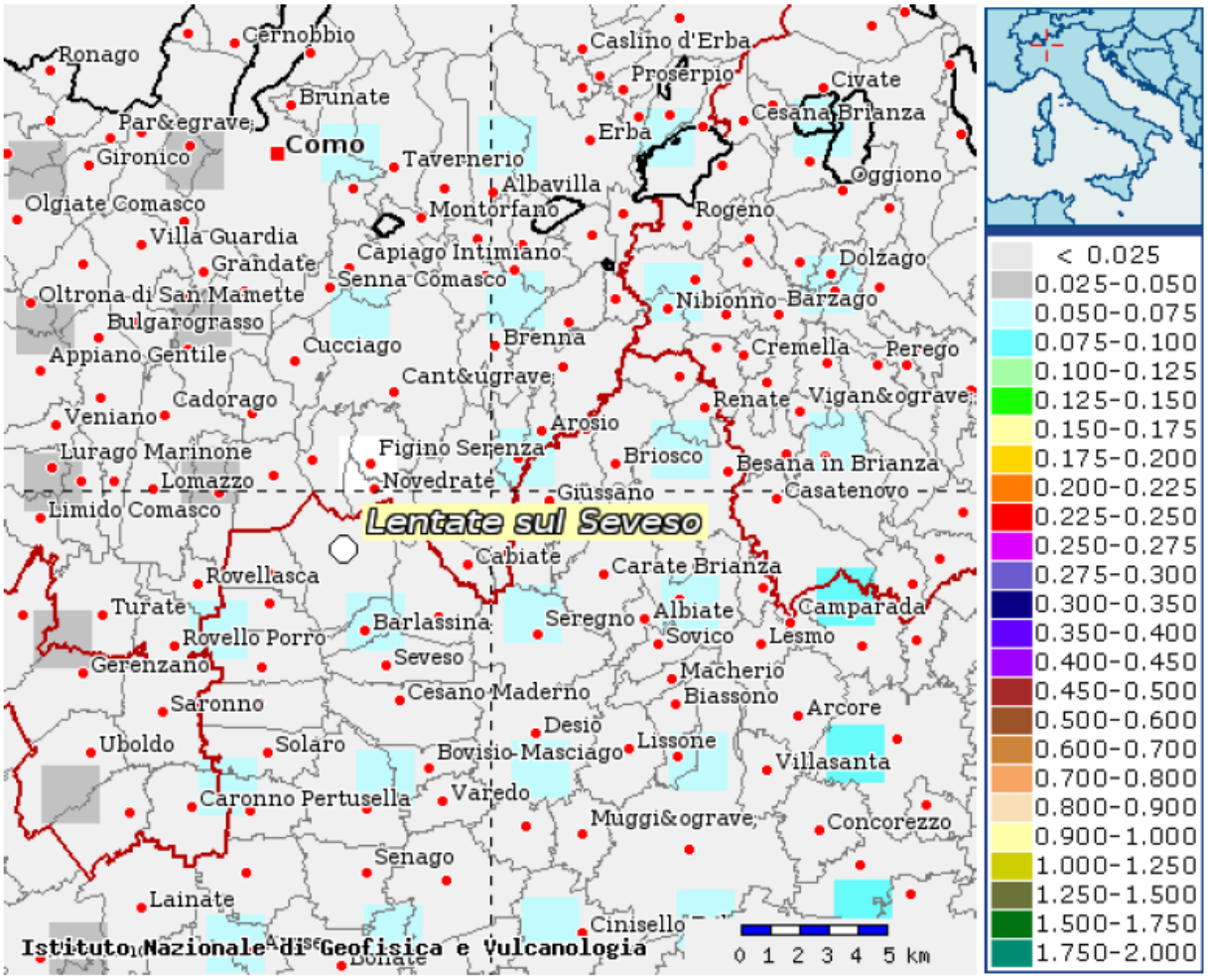
La verifica a liquefazione per le opere può essere omessa in quanto la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m dal piano campagna, essendo il piano campagna sub-orizzontale, inoltre i depositi sono costituiti da sabbie con elevata resistenza alla penetrazione con penetrometro dinamico SPT, tale per cui $(N_1)_{60}$ › 30 e per penetrometro statico q_{c1N}> 180.

ALLEGATO

Grafici rappresentativi dell'accelerazione di picco al suolo (PGA) in funzione della frequenza annuale di superamento (AFOE).



Interactive Seismic Hazard Maps

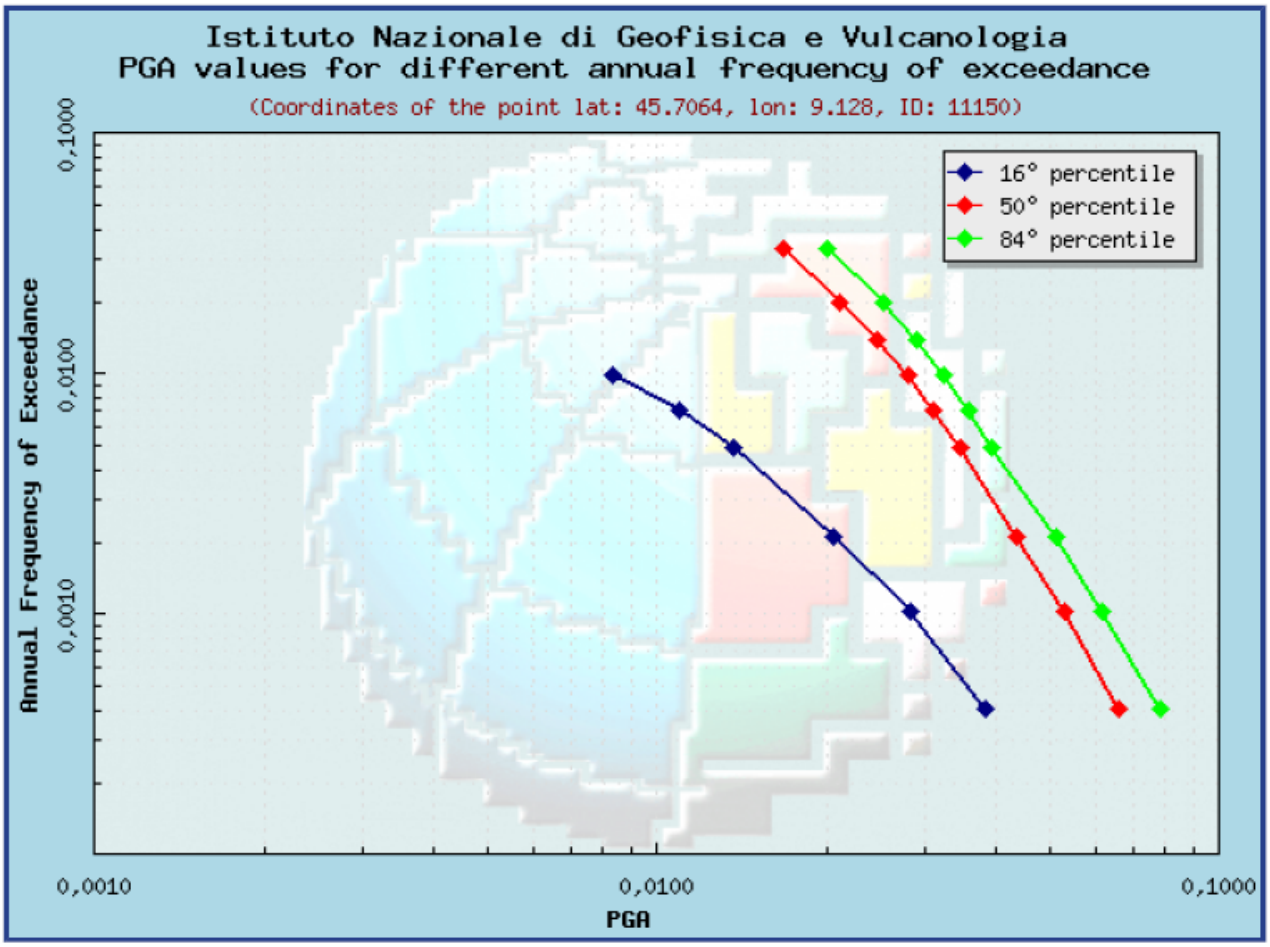


Map selection

Show the grid points with the value of:

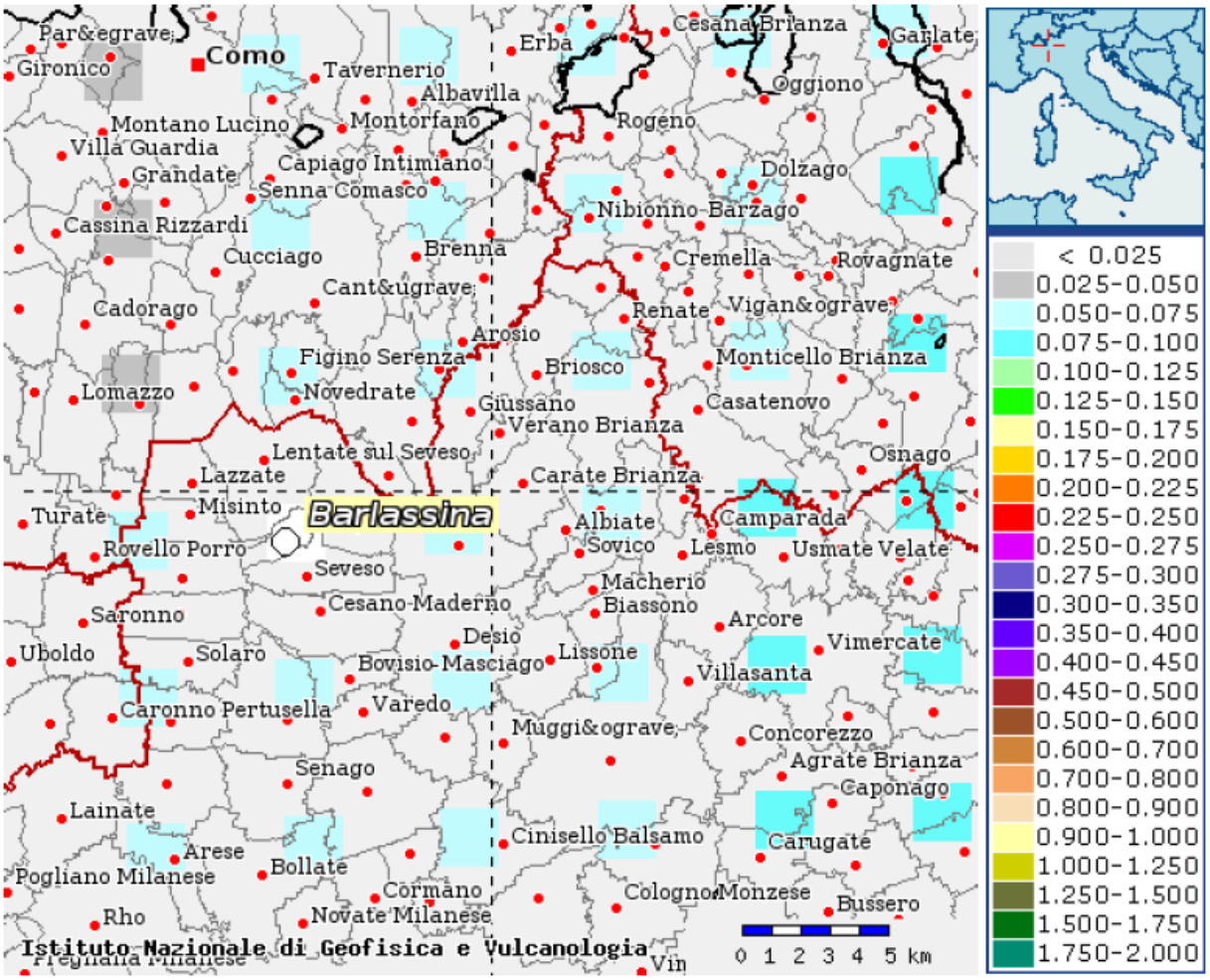
Redraw map

Shaking parameter:	Probability in 50 years:	Percentile:	Spectral Period (sec):
PGA	5%	50	



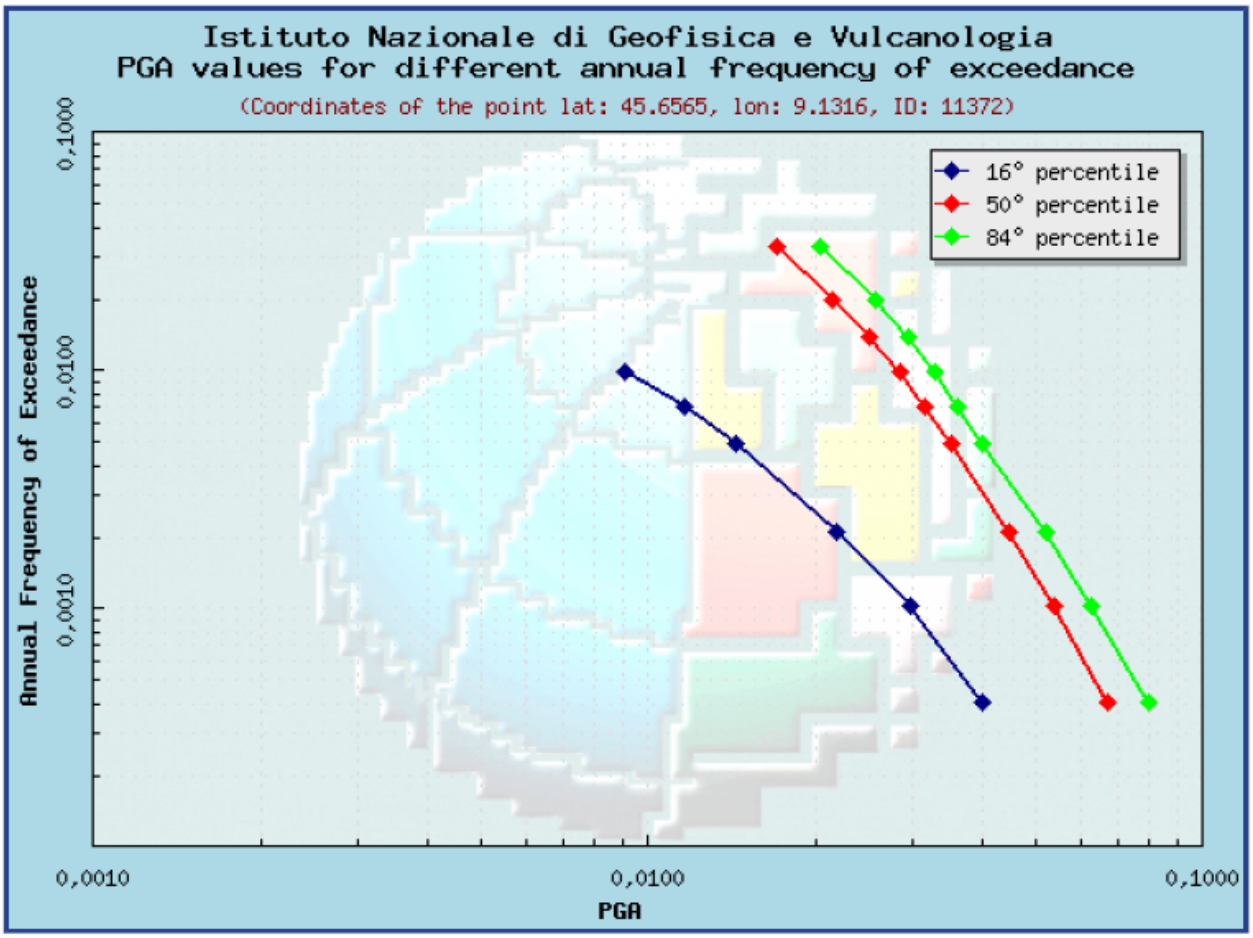
Annual Frequency of Exceedance (AFOE)	PGA (Coordinates of the point lat: 45.7064, lon: 9.128, ID: 11150)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.0383	0.0660	0.0782
0.0010	0.0282	0.0529	0.0616
0.0021	0.0205	0.0436	0.0511
0.0050	0.0137	0.0345	0.0393
0.0071	0.0109	0.0310	0.0357
0.0099	0.0084	0.0279	0.0324
0.0139	0.0000	0.0246	0.0289
0.0200	0.0000	0.0210	0.0253
0.0333	0.0000	0.0168	0.0200

Interactive Seismic Hazard Maps



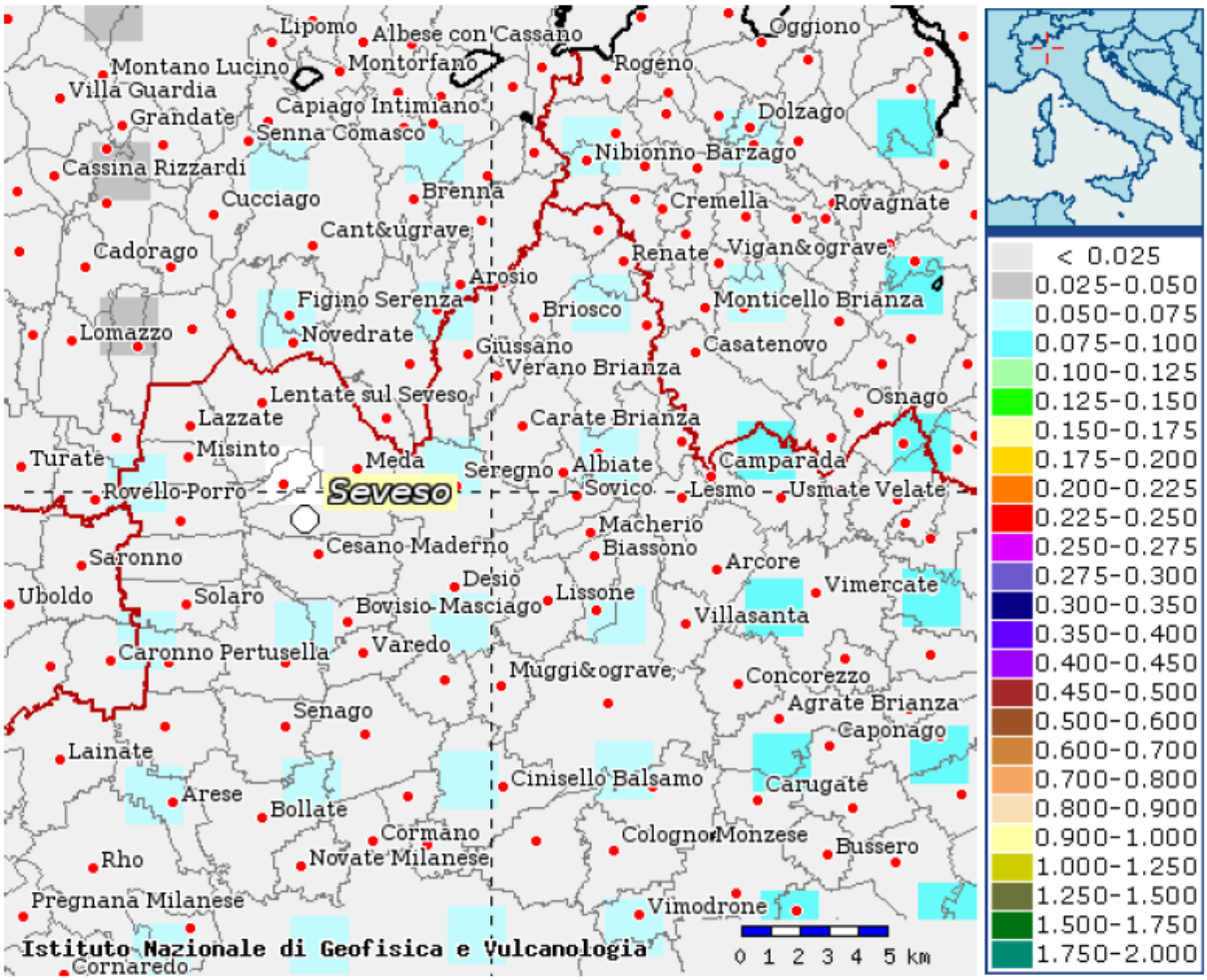
Map selection

☑ Show the grid points with the value of:	Shaking parameter:	Probability in 50 years:	Percentile:	Spectral Period (sec):
Redraw map	PGA	5%	50	



Annual Frequency of Exceedance (AFOE)	PGA (Coordinates of the point lat: 45.6565, lon: 9.1316, ID: 11372)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.0399	0.0675	0.0796
0.0010	0.0295	0.0539	0.0629
0.0021	0.0217	0.0445	0.0520
0.0050	0.0144	0.0351	0.0399
0.0071	0.0116	0.0316	0.0362
0.0099	0.0090	0.0285	0.0328
0.0139	0.0000	0.0251	0.0293
0.0200	0.0000	0.0215	0.0256
0.0333	0.0000	0.0171	0.0204

Interactive Seismic Hazard Maps

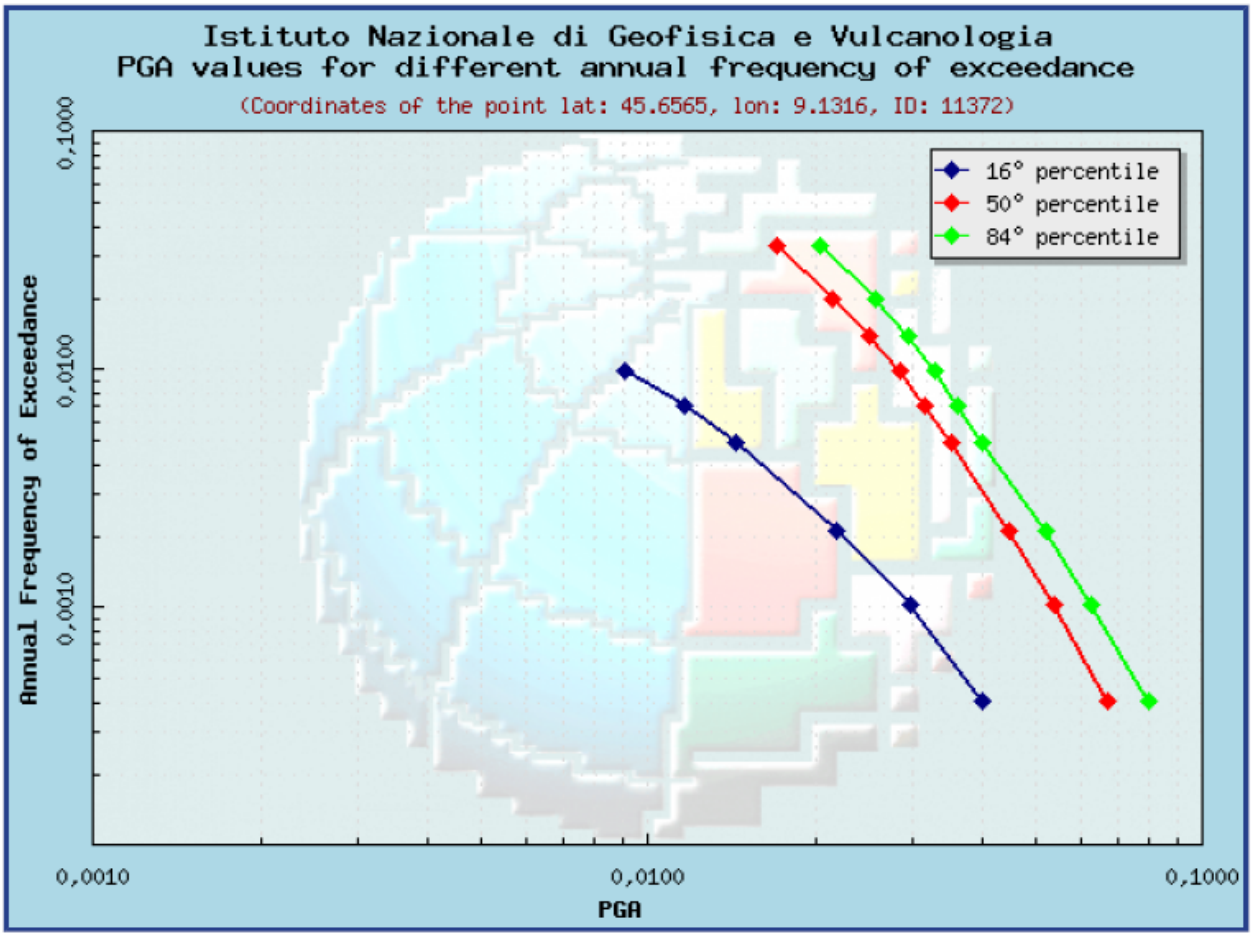


Map selection

Show the grid points with the value of:

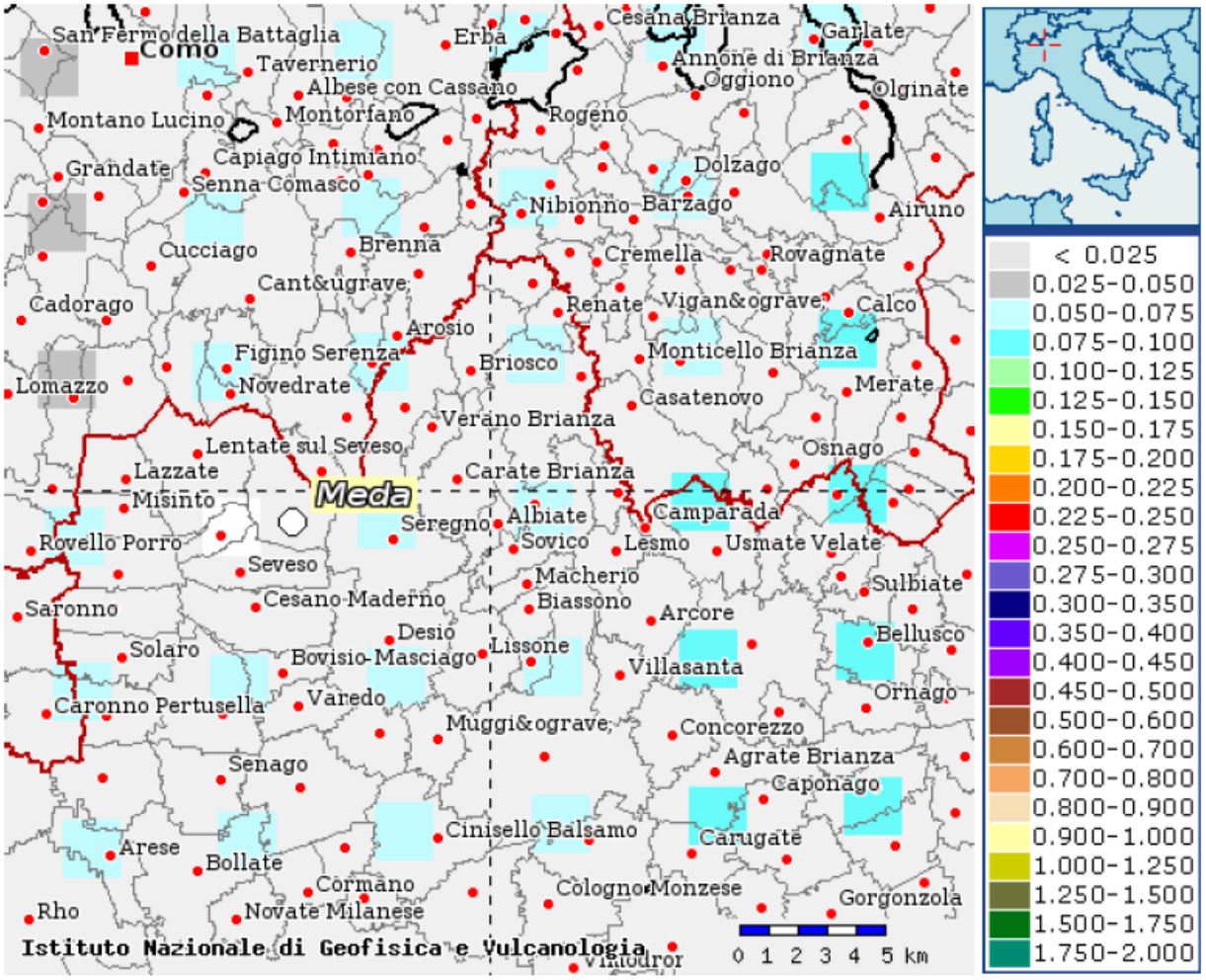
Redraw map

Shaking parameter:	Probability in 50 years:	Percentile:	Spectral Period (sec):
PGA	5%	50	



Annual Frequency of Exceedance (AFOE)	PGA (Coordinates of the point lat: 45.6565, lon: 9.1316, ID: 11372)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.0399	0.0675	0.0796
0.0010	0.0295	0.0539	0.0629
0.0021	0.0217	0.0445	0.0520
0.0050	0.0144	0.0351	0.0399
0.0071	0.0116	0.0316	0.0362
0.0099	0.0090	0.0285	0.0328
0.0139	0.0000	0.0251	0.0293
0.0200	0.0000	0.0215	0.0256
0.0333	0.0000	0.0171	0.0204

Interactive Seismic Hazard Maps

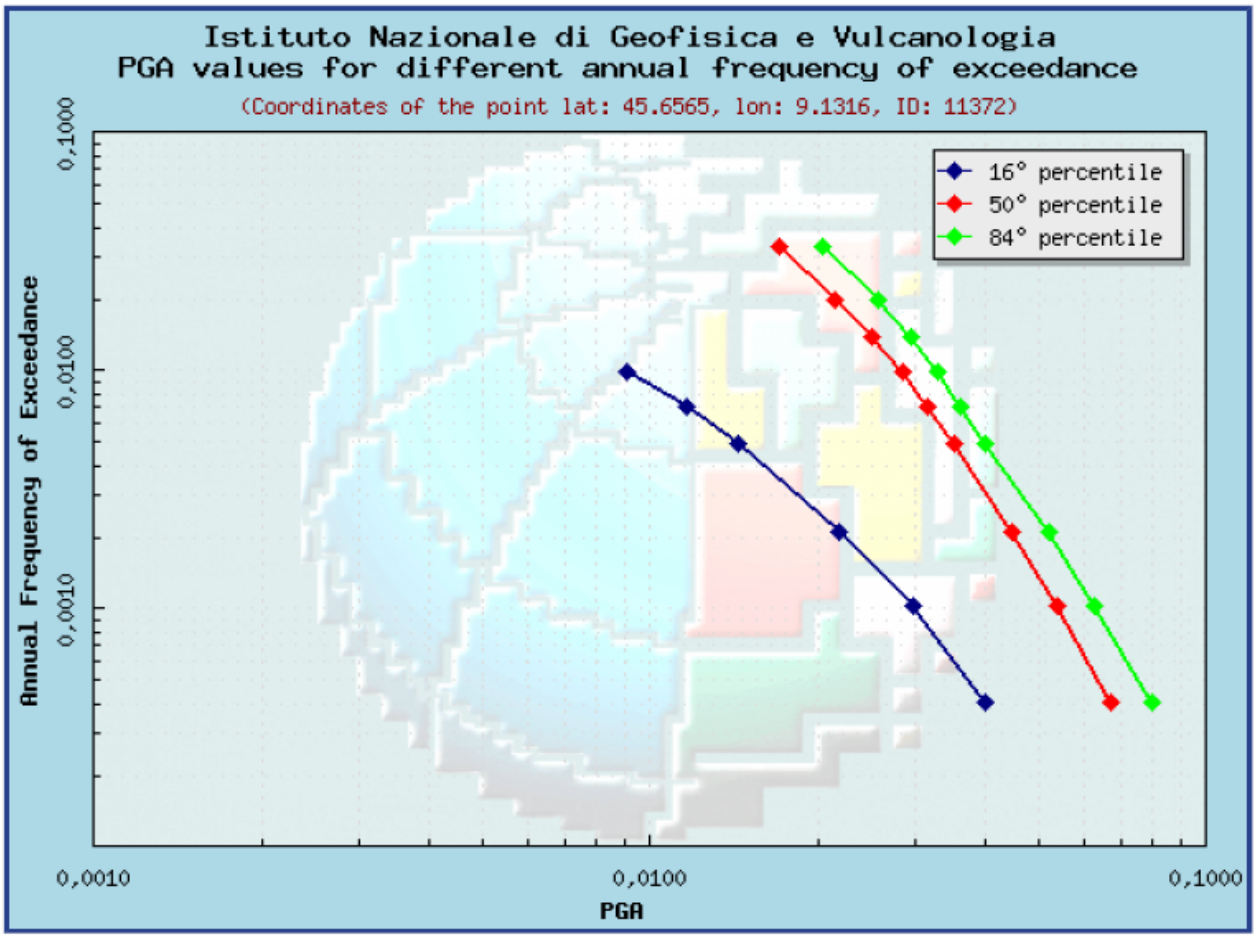


Map selection

Show the grid points with the value of:

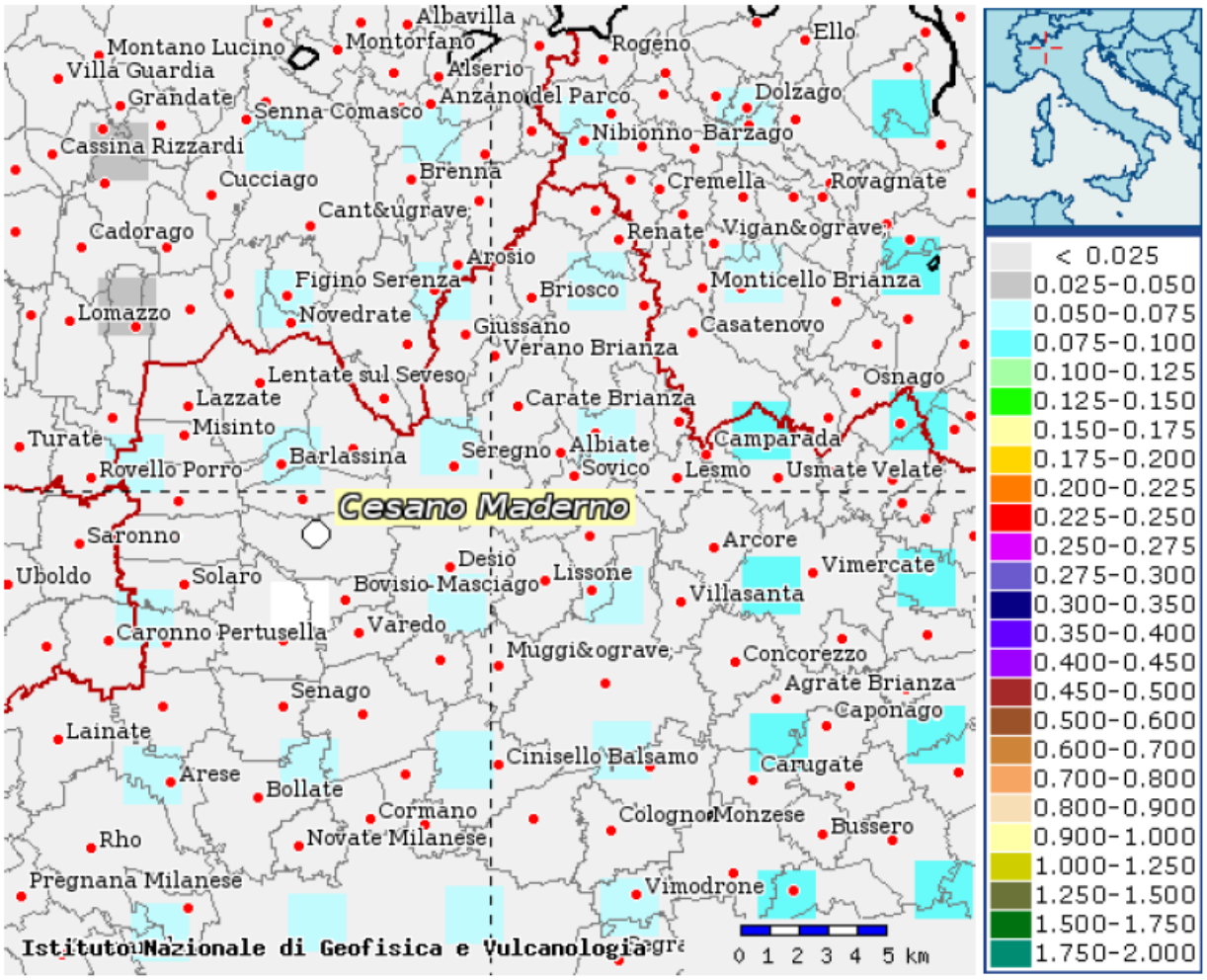
Redraw map

Shaking parameter:	Probability in 50 years:	Percentile:	Spectral Period (sec):
PGA	5%	50	



Annual Frequency of Exceedance (AFOE)	PGA (Coordinates of the point lat: 45.6565, lon: 9.1316, ID: 11372)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.0399	0.0675	0.0796
0.0010	0.0295	0.0539	0.0629
0.0021	0.0217	0.0445	0.0520
0.0050	0.0144	0.0351	0.0399
0.0071	0.0116	0.0316	0.0362
0.0099	0.0090	0.0285	0.0328
0.0139	0.0000	0.0251	0.0293
0.0200	0.0000	0.0215	0.0256
0.0333	0.0000	0.0171	0.0204

Interactive Seismic Hazard Maps

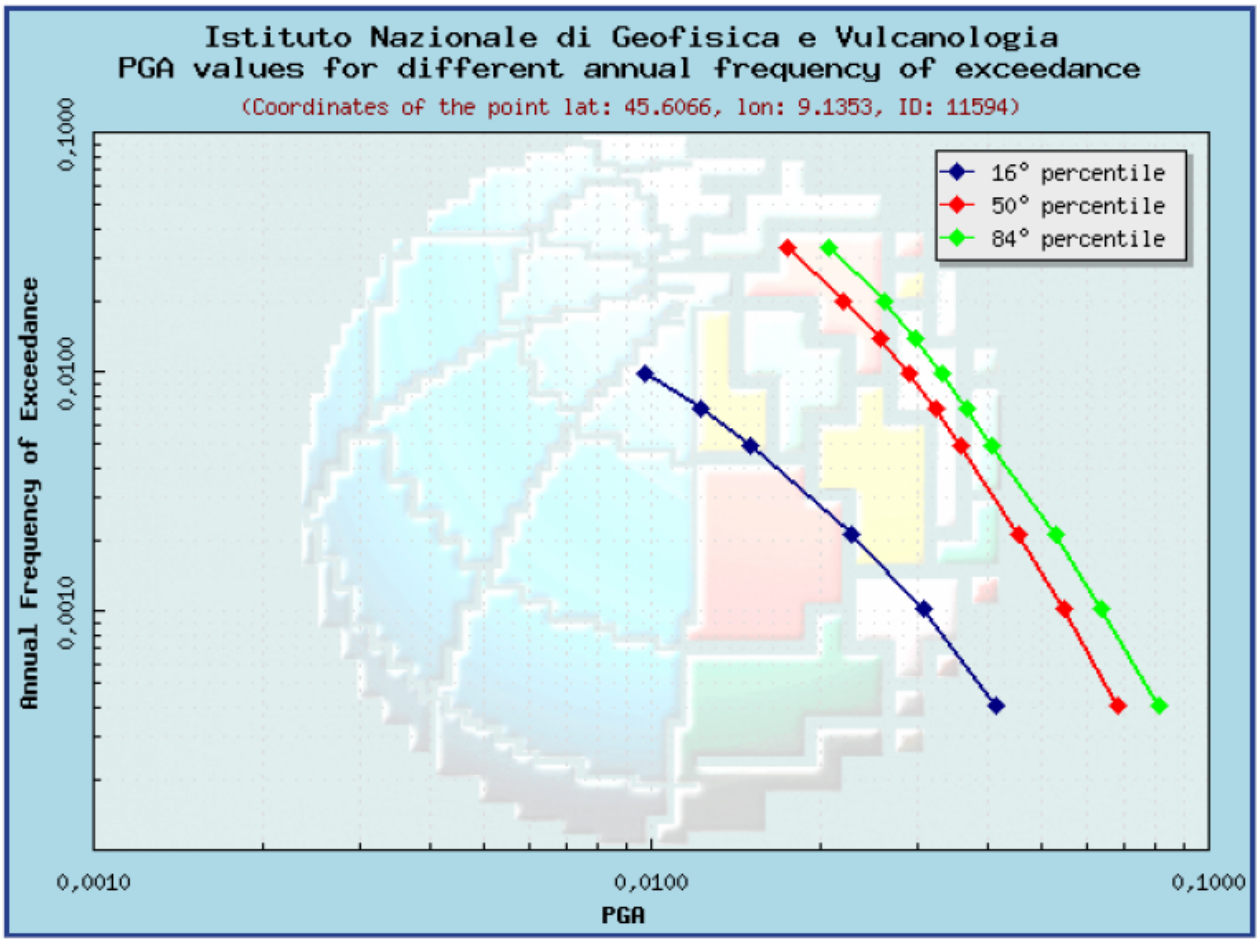


Map selection

Show the grid points with the value of:

Redraw map

Shaking parameter:	Probability in 50 years:	Percentile:	Spectral Period (sec):
PGA	5%	50	



Annual Frequency of Exceedance (AFOE)	PGA (Coordinates of the point lat: 45.6066, lon: 9.1353, ID: 11594)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.0414	0.0687	0.0811
0.0010	0.0307	0.0548	0.0640
0.0021	0.0228	0.0454	0.0529
0.0050	0.0150	0.0357	0.0405
0.0071	0.0122	0.0322	0.0366
0.0099	0.0097	0.0290	0.0332
0.0139	0.0000	0.0256	0.0297
0.0200	0.0000	0.0220	0.0260
0.0333	0.0000	0.0174	0.0207