



# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

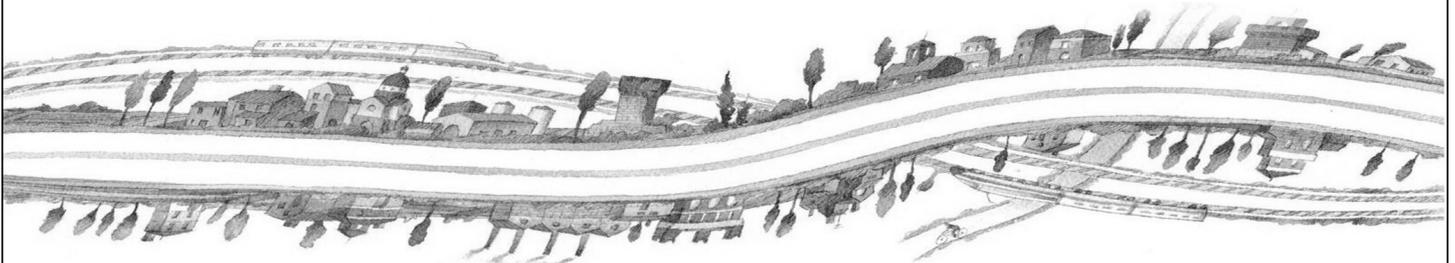
CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)  
GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA**

SISMICA

ASSE AUTOSTRADALE - RELAZIONE SISMICA



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi  
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				A. Boschi	G. Marchi	E. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
0628	PD	0	A00	A0000	0	GT	RH	02	A	



## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
2.1. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	4
2.2. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO .....	4
<b>3. CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO.....</b>	<b>5</b>
<b>4. CLASSIFICAZIONE SISMICA .....</b>	<b>9</b>
<b>5. SISMICITÀ E MAGNITUDO STORICA.....</b>	<b>11</b>
5.1. MAGNITUDO STORICA.....	24
<b>6. STRUTTURE SISMOGENETICHE .....</b>	<b>25</b>
<b>7. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>29</b>
<b>8. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE AI FINI DEL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.....</b>	<b>36</b>
8.1. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	36
8.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	38
<b>9. PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>39</b>
9.1. VITA NOMINALE .....	39
9.2. CLASSE D'USO .....	39
9.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	40
<b>10. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>41</b>
<b>11. SEQUENZA SISMICA MAGGIO 2012.....</b>	<b>42</b>

## **1. PREMESSA**

---

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo sulla A22 al casello di Ferrara Sud sulla A13, il presente documento concerne lo studio degli aspetti sismici relativi all'asse autostradale.

Il progetto è sviluppato in riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- normativa di riferimento;
- definizione dei caratteri sismo tettonici del territorio;
- classificazione sismica del territorio ai sensi dell'OPCM 3274/2003 e s.m.i.;
- definizione della sismicità e della magnitudo storica;
- definizione delle principali strutture sismogenetiche;
- definizione della magnitudo di riferimento;
- definizione dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica di riferimento;
- considerazioni preliminari in merito alla liquefazione.

## 2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

---

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD\_0\_000\_00000\_0\_GE\_KT\_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

### 2.1. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

---

- CNR - Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei suoli – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (scala 1:250.000), S.E.L.C.A. Firenze, 2004.

### 2.2. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

---

Sulla base di quanto reperito in bibliografia e di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, a corredo della presente relazione sismica sono state elaborate le cartografie tematiche di seguito elencate:

- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 1/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_01;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 2/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_02;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 3/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_03;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 4/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_04;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 5/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_05;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 6/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_06;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio, scala 1:10.000 (Tav. 7/7) - cod. PD\_0\_A00\_A0000\_0\_GT\_CT\_07.

### 3. CARATTERI SISMOTETTONICI DEL TERRITORIO

Il tracciato dell'Autostrada Regionale Cispadana si colloca nella porzione centro orientale della Pianura Padana a sud del fiume Po. La Pianura Padana è un ampio bacino d'avanfossa subsidente compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord che, a partire dal Terziario, ha raccolto i sedimenti provenienti dallo smantellamento delle catene alpina e appenninica in formazione.

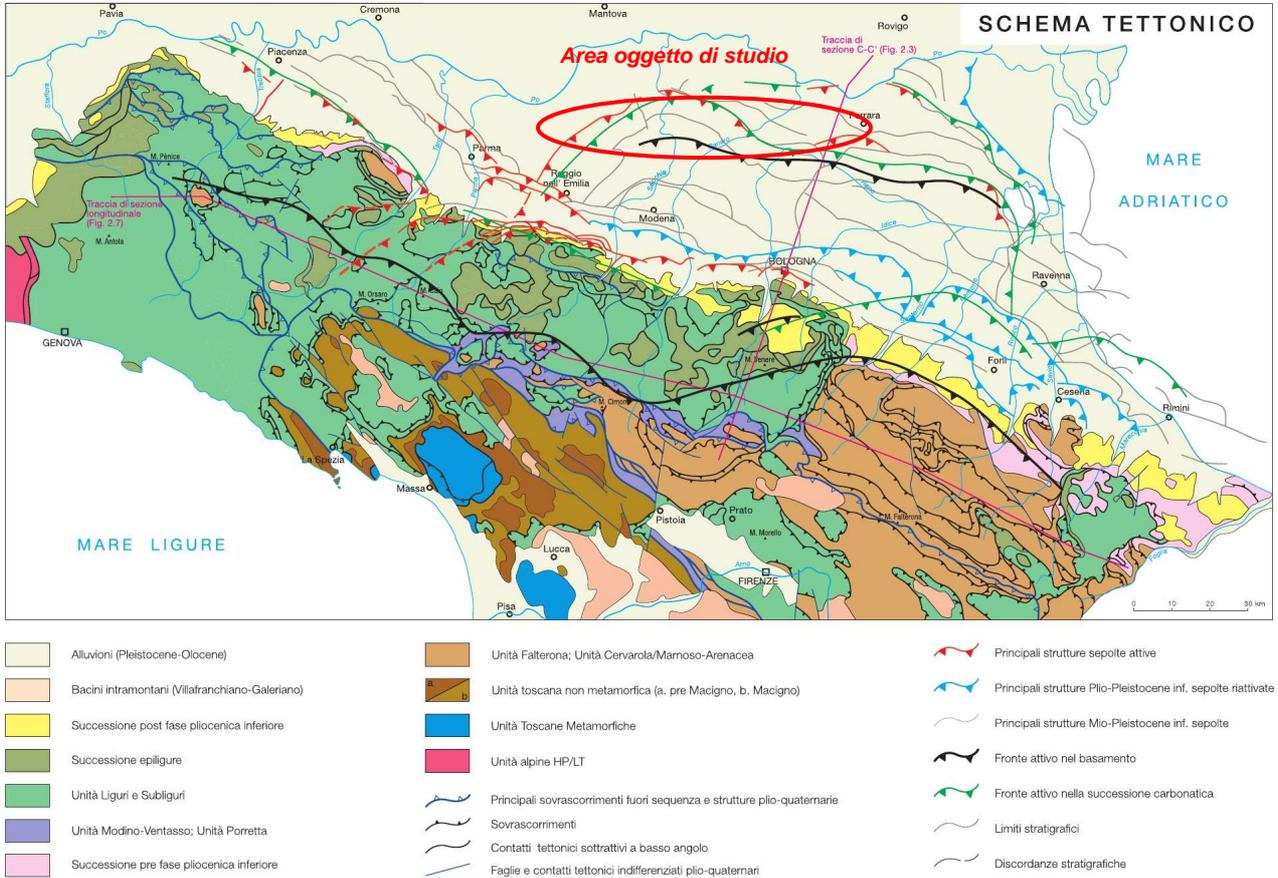
L'assetto strutturale di tale bacino, noto attraverso lo studio dei dati derivanti dalle indagini profonde per ricerche idriche e di idrocarburi (sondaggi, indagini geofisiche), spinti sino ad alcuni chilometri di profondità, appare assai complesso e strettamente legato alle dinamiche evolutive della catena subalpina e di quella appenninica.

In particolare la fascia posta tra la pianura e le prime colline dell'Appennino è stata ed è sede di intensi e complessi movimenti tettonici per la sua particolare posizione quasi "a cerniera" tra la catena appenninica in sollevamento e la pianura soggetta a subsidenza.

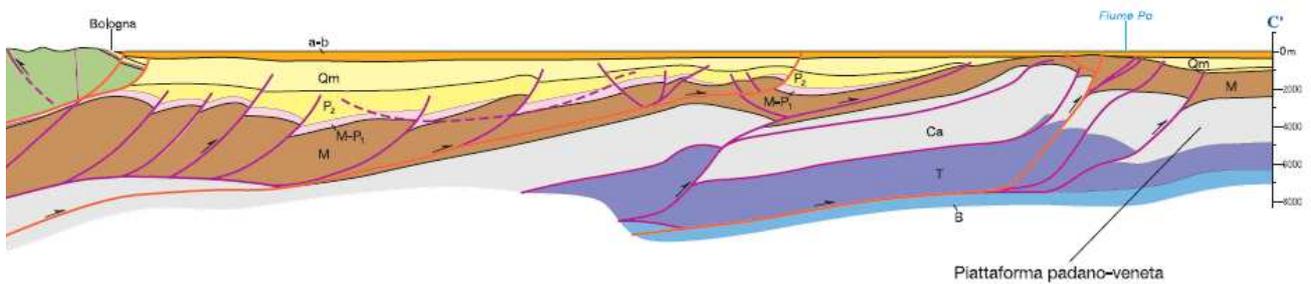
Lo stile tettonico compressivo ed il conseguente accorciamento crostale per convergenza e collisione tra la placca Europea e quella Africana è accompagnato, in quest'area, da un pattern deformativo e da un'attività sismica molto complessi.

L'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca di idrocarburi mostra che dal punto di vista strutturale la Pianura Padana a sud del Po è caratterizzata dalla presenza di faglie inverse e sovrascorrimenti sepolti nord-vergenti, associati ad anticlinali e costituenti i fronti più esterni della catena appenninica (Pieri e Groppi, 1975). A tal riguardo si possono distinguere due archi di pieghe principali, che da ovest verso est sono l'Arco delle Pieghe Emiliane e l'Arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole (Figura 3-1), ed un motivo strutturale sepolto di pieghe pedappenniniche che marca il margine pedemontano della Regione, delimitando la zona collinare in sollevamento dall'antistante pianura subsidente (Figura 3-2). Il fascio delle pieghe pedappenniniche, è spesso interrotto da numerose faglie con carattere di trascorrenza e con direzione NE-SO, riscontrabili anche nella morfologia di superficie.

Per la valutazione della pericolosità sismica di un'area è importante individuare tra le faglie attive quelle la cui storia recente è direttamente legata ai terremoti di elevata magnitudo: faglie primarie o principali. Queste strutture sismogenetiche hanno lasciato le tracce più tangibili della loro attività nella storia geologica tardo-quadernaria, rappresentate dal macroscopico condizionamento del contesto geologico su cui insistono. Il concetto di faglia attiva è attualmente oggetto di numerose definizioni e si presta ad interpretazioni ambigue imponendo la necessità di definire con chiarezza i criteri discriminanti delle faglie attive rispetto all'insieme delle strutture tettoniche riconoscibili. Una definizione utile di attività con riferimento agli scopi eminentemente pratici del progetto è la seguente: "faglia che può muoversi con potenziali effetti dannosi in un intervallo di tempo di interesse sociale" (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti- PE98).



**FIGURA 3-1: AREA DI STUDIO CON LE PRINCIPALI STRUTTURE SEPOLTE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE (DA PIERI & GROPPI, 1981, MODIFICATA)**



Ai fini della individuazione di faglie attive primarie, un'importante condizione è che i terremoti rilevanti abbiano origine crostale e siano prodotti dallo scorrimento lungo piano di faglia ben definiti/definibili con metodi geologici di superficie e/o geofisici. In particolare, la fagliazione superficiale rappresenta l'evidenza più diretta della tettonica fragile in atto e, in particolare modo, di strutture sismogenetiche significative ai fini

della valutazione della pericolosità legata ai terremoti in Italia. Infatti, i dati mondiali (Wells and Coppersmith, 1994) e la sismicità recente in Italia mostra che i terremoti crostali sono associati a deformazioni cosismiche superficiali, in particolare fagliazione superficiale, a partire da magnitudo prossime a 6; le dislocazioni divengono rilevanti, da alcuni decimetri fino a metri di rigetto e lunghezze di decine di chilometri, per magnitudo superiori a 6,5 circa.

L'analisi sismotettonica del territorio emiliano-romagnolo evidenzia come parte delle strutture individuate da profili sismici che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano caratterizzate da attività molto recente ad attuale. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. A tali strutture (in particolare alla dorsale Ferrarese) possono essere associati i fenomeni di fagliazione superficiale osservati in alcune aree di Pianura Padana, nelle province di Reggio Emilia e Modena (Pellegrini & Mezzani, 1978). Lungo il margine, risulta attivo il thrust pede-appenninico tra Bologna e Parma, mentre blind thrusts attivi caratterizzano il settore a Sud Est di Bologna. L'attività del thrust pede-appenninico è in accordo con quanto osservato da Amorosi et alii (1996) sulla base dell'analisi delle correlazioni tra terrazzi fluviali del margine e conoidi alluvionali nella pianura nelle vicinanze della città di Bologna. Attivi risultano anche sovrascorrimenti nell'area di catena, come il sistema che si sviluppa tra Castiglione Pepoli e M. Orsaro (crinale tosco-emiliano) e le strutture nell'area di S. Sofia (Appennino romagnolo).

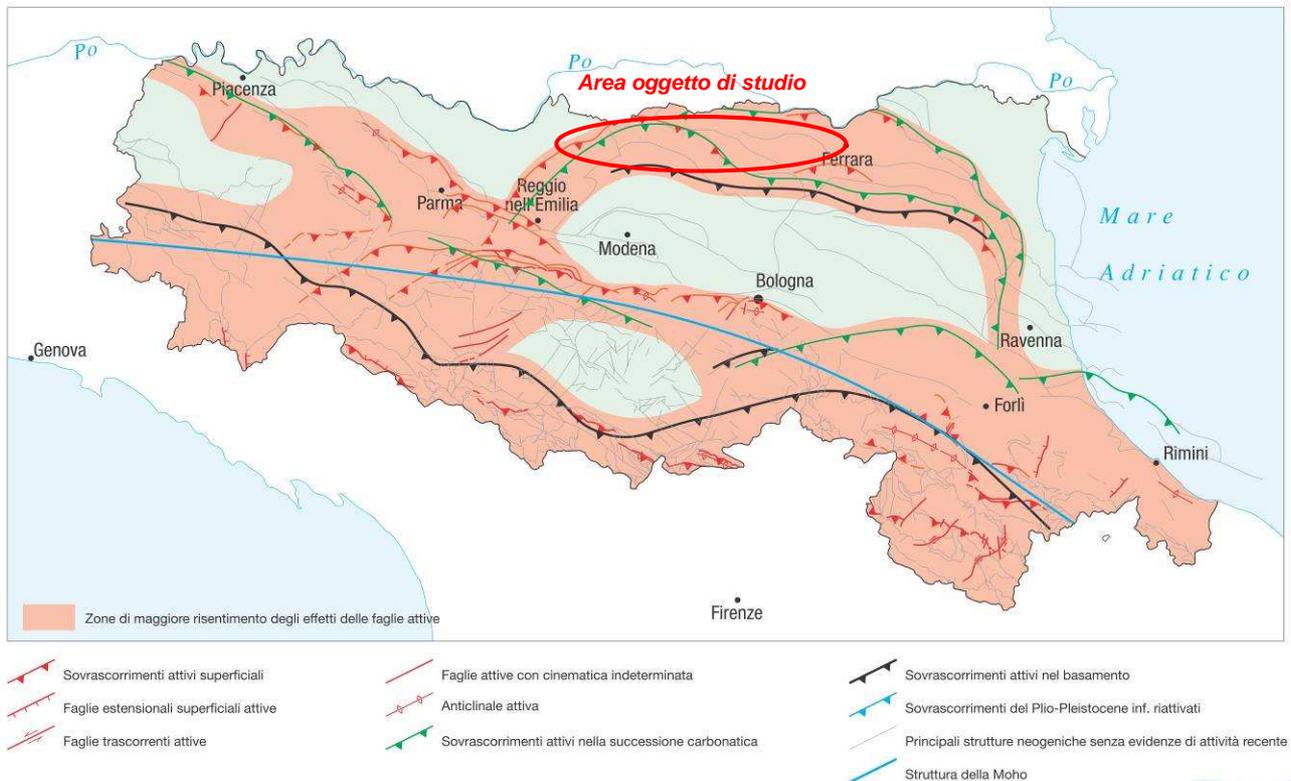
La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, risulta molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese, con meccanismi focali compressivi e trascorrenti e direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. Risulta quindi che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano, e decisamente minore in pianura. I terremoti profondi risultano quasi tutti di bassa magnitudo, probabilmente per la maggiore presenza di fluidi nel mantello, per cui pochi sono i meccanismi focali calcolati. Ciò nonostante questi sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

Nel definire le strutture sismogenetiche non si può prescindere dal considerare che esistono strutture attive, e potenzialmente sismogenetiche, almeno a 3 livelli (copertura, crosta e mantello) anche se tra loro coerenti. In Figura 3-3 viene riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività. Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi. Le zone di maggiore risentimento corrispondono anche alle aree dove sono più frequenti le manifestazioni superficiali di idrocarburi e le sorgenti termo-minerali.



**FIGURA 3-3: ZONE DI MAGGIOR RISENTIMENTO DELLE FAGLIE ATTIVE**

## 4. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio interessato dall'infrastruttura in progetto, come indicato nella Delibera di Giunta Regionale n.1677/2005, a decorrere dal 23/10/2005 trova attuazione la classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna, stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito dall'allegato B della D.G.R. n.1677/2005, i Comuni attraversati dall'infrastruttura in progetto sono classificati così come riportato nelle sottostanti Figura 4-1 e Tabella 4-1.

Nella Planimetria con classificazione sismica del territorio allegata al presente progetto ai Comuni interessati dal tracciato autostradale sono state associate campiture colorate in funzione della vigente zonazione sismica del territorio regionale.

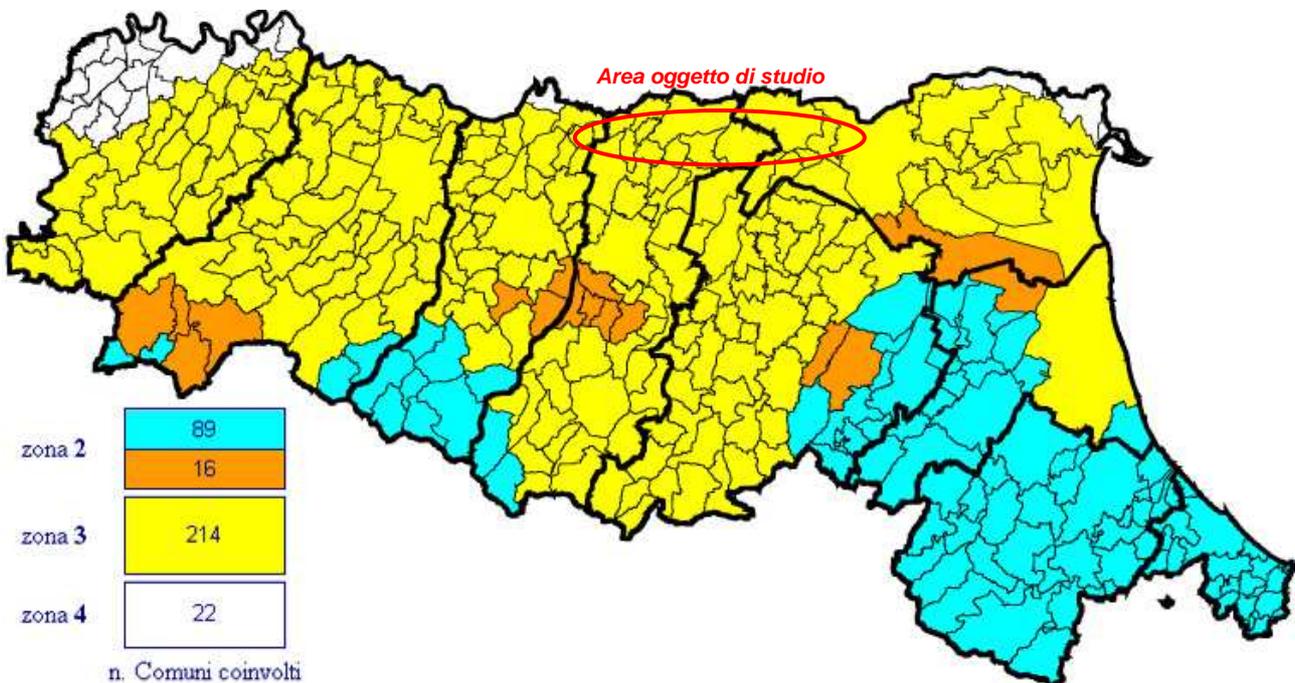


FIGURA 4-1: CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA

TABELLA 4-1: CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI INTERESSATI DAL TRACCIATO AUTOSTRADALE

<i>Provincia</i>	<i>Comune</i>	<i>Zona sismica (OPCM 3274)</i>
RE	Reggiolo	3
RE	Rolo	3
RE	Novi di Modena	3
MO	Concordia sulla Secchia	3
MO	San Possidonio	3
MO	Mirandola	3
MO	Medolla	3
MO	San Felice sul Panaro	3
MO	Finale Emilia	3
RE	Cento	3
RE	Sant'Agostino	3
RE	Poggio Renatico	3
RE	Ferrara	3

## 5. SISMICITÀ E MAGNITUDO STORICA

In generale per il territorio interessato dall'opera in progetto sono storicamente documentate numerose scosse sismiche, molte delle quali sono attribuibili a eventi sismici con aree epicentrali esterne al territorio di interesse. Non mancano tuttavia forti sismi riconducibili invece ad eventi locali e connessi da un punto di vista strutturale a movimenti delle pieghe dell'Appennino sepolto.

L'analisi storica degli eventi sismici non deriva da misure strumentali, bensì fa riferimento, per la maggior parte, a testimonianze e documenti scritti relativi ai danni registrati nei vari luoghi in cui il sisma ha fatto sentire maggiormente i suoi effetti. Per tali motivi è in genere possibile segnalare come epicentro del sisma solo il centro abitato da cui provengono le notizie dei maggiori danni, così come spesso, data la varietà dei sistemi di riferimento orari esistenti prima della nascita dello Stato Nazionale, è assai difficoltoso ricostruire il momento reale dell'evento. Allo stesso modo, mancando nella maggior parte dei casi dati strumentali relativi alla magnitudo, per la valutazione dell'intensità dei terremoti storici si usa far riferimento alla scala Mercalli-Cancani-Sieberg, mentre risulta pressoché impossibile riferirsi alla scala Richter.

Al fine di meglio inquadrare dal punto di vista della sismicità il territorio attraversato, da Tabella 5-1 a Tabella 5-13 (e da Figura 5-1 a Figura 5-13) si riporta un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente i comuni attraversati dall'infrastruttura stradale in progetto.

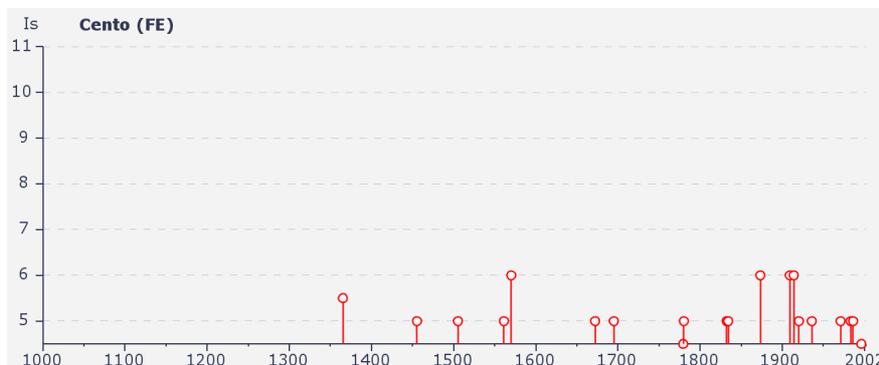
Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI04, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI04, realizzato con il contributo parziale del progetto INGV-DPC S1.

Pertanto, nelle successive tabelle si intende:

<b>Is</b>	Intensità al sito (scala MCS)
<b>Anno</b>	Tempo origine: anno
<b>Me</b>	Tempo origine: mese
<b>Gi</b>	Tempo origine: giorno
<b>Or</b>	Tempo origine: ora
<b>Mi</b>	Tempo origine: minuti
<b>Se</b>	Tempo origine: secondi
<b>Io</b>	Intensità epicentrale nella scala MCS
<b>Mw</b>	Magnitudo momento

TABELLA 5-1: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CENTO [44.727, 11.289]

N. di eventi disponibili per il Comune di Cento: 34				
Effetti Is	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
5-6	1365 07 25 18	Bologna	6-7	5.03
5	1455 12 20 20 45	Media valle del Reno	7	5.18
5	1505 01 03 02	Bologna	7	5.47
5	1561 11 24 01 25	Ferrara	5-6	4.63
6	1570 11 17 19 10	Ferrara	7-8	5.48
NF	1624 03 18 19 45	Argenta	7-8	5.43
5	1672 04 14 15 45	Riminese	8	5.60
5	1695 02 25 05 30	Asolano	9-10	6.61
F	1768 10 19 23	Appennino romagnolo	9	5.84
4-5	1779 06 04 07	Bolognese	6-7	4.97
5	1780 02 06 04	Bolognese	5-6	4.85
5	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5.59
5	1834 10 04 19	Bologna	5-6	4.63
3	1873 03 12 20 04	Marche meridionali	8	5.88
F	1873 06 29 03 58	Bellunese	9-10	6.33
6	1873 09 17	LIGURIA ORIENTALE	6-7	5.52
F	1881 01 24 16 04	Bolognese	6-7	5.14
NF	1898 01 16 12 10 05	Romagna settent.	6-7	5.03
NF	1904 11 17 05 02	PISTOIESE	7	5.18
6	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	6-7	5.53
4	1913 11 25 20 55	VAL DI TARO	5	4.85
6	1914 10 27 09 22	GARFAGNANA	7	5.79
F	1916 05 17 12 50	Alto Adriatico	8	5.85
4	1916 08 16 07 06 14	Alto Adriatico	8	5.92
5	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	9-10	6.48
NF	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	9	5.94
5	1936 10 18 03 10	BOSCO CANSIGLIO	9	5.90
3-4	1939 10 15 14 05	GARFAGNANA	6-7	5.20
5	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
3-4	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	10	6.89
5	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
5	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
3	1989 09 13 21 53 60	PASUBIO	6	4.96
4-5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44

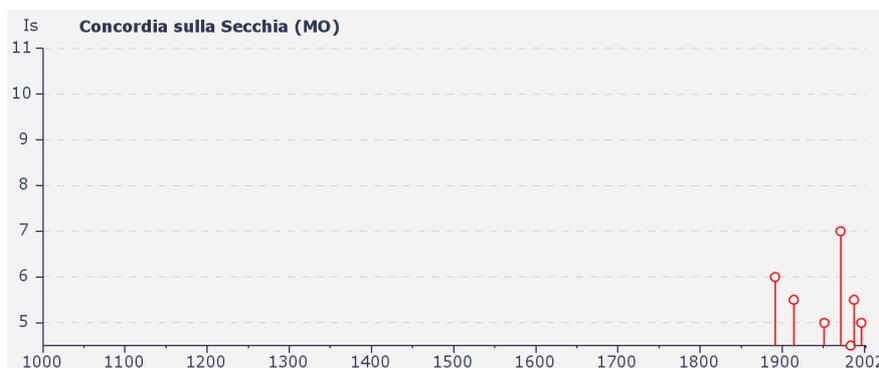


**FIGURA 5-1: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CENTO [44.727, 11.289]**

**TABELLA 5-2: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA [44.914, 10.982]**

**N. di eventi disponibili per il Comune di Concordia sulla Secchia: 17**

Effetti	In occasione del terremoto di:						
Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw			
4	1806 02 12	NOVELLARA	7	5.26			
4	1810 12 25 00 45	NOVELLARA	7	5.28			
F	1818 12 09 18 52	LANGHIRANO	7-8	5.57			
6	1891 06 07 01 06 14	Valle d'Ilasi	8-9	5.71			
5-6	1914 10 27 09 22	GARFAGNANA	7	5.79			
4	1928 06 13 08	CARPI	6-7	4.85			
4	1929 04 20 01 09 46	Bolognese	7	5.55			
3	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	9	5.94			
3	1935 06 05 11 48	FAENTINO	6	5.34			
5	1951 05 15 22 54	LODIGIANO	6-7	5.24			
NF	1965 11 09 15 35	ALTA V. SECCHIA	5	5.01			
7	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61			
4-5	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10			
3	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56			
5-6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05			
3-4	1989 09 13 21 53 60	PASUBIO	6	4.96			
5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44			



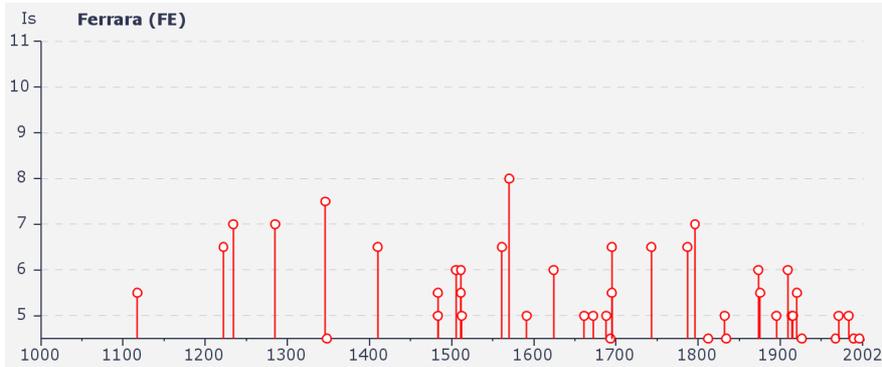
**FIGURA 5-2: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA [44.914, 10.982]**

**TABELLA 5-3: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI FERRARA [44.836, 11.618]**

N. di eventi disponibili per il Comune di Ferrara: 102				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io Mw
5-6	1117 01 03 13	Veronese	9-10	6.49
6-7	1222 12 25 11	Basso bresciano	8-9	6.05
7	1234 03 20	FERRARA	7	5.17
7	1285 12 13	FERRARA	6-7	5.03
NR	1323 02 25 19	Bologna	5-6	4.63
NR	1334 12 04	Verona	5-6	4.63
7-8	1346 02 22 11	Ferrara	7-8	5.81
4-5	1348 01 25	CARNIA	9-10	6.66
4	1365 07 25 18	Bologna	6-7	5.03
NR	1383 07 24 20	PARMA	5-6	4.63
F	1399 07 20 23	Modenese	7	5.40
NR	1403 01 17	Verona	6	4.83
6-7	1410 05 09 22 30	FERRARA	6-7	5.03
F	1410 06 10 21	Verona	5-6	4.72
NR	1455 12 20 20 45	Media valle del Reno	7	5.18
NR	1474 03 11 20 30	MODENA	6	4.89
5-6	1483 03 03 22	FERRARA	5-6	4.63
5	1483 08 11 19 40	Romagna meridionale	8	5.67
F	1501 06 05 10	Appennino modenese	8-9	5.85
6	1505 01 03 02	Bologna	7	5.47
6	1511 03 26 14 40	Slovenia	9	6.51
5-6	1511 03 28 12 15	Slovenia	5-6	4.74
5	1512 02 08 16	VENEZIA	5-6	4.68
NR	1547 02 10 13 20	Reggio Emilia	7	5.21
6-7	1561 11 24 01 25	Ferrara	5-6	4.63
8	1570 11 17 19 10	Ferrara	7-8	5.48
4	1572 06 04 22	PARMA	7	5.13
F	1574 03 17 03 40	FINALE EMILIA	7	5.12
5	1591 07 10	FORLI'	6-7	5.24
6	1624 03 18 19 45	Argenta	7-8	5.43
5	1661 03 22 12 45	Appennino romagnolo	9	5.83
5	1672 04 14 15 45	Riminese	8	5.60
5	1688 04 11 11 30	ROMAGNA	9	5.88
4-5	1693 07 06 09 15	GOITO	7	5.27
6-7	1695 02 25 05 30	Asolano	9-10	6.61
5-6	1695 02 28	FERRARA	5-6	4.63
4	1741 04 24 09 20	FABRIANESE	9	6.08
6-7	1743 05 29	FERRARA	6-7	5.03
4	1781 04 04	FAENTINO	9	5.84
3	1786 12 25 01	Riminese	8	5.67
6-7	1787 07 16 10	Ferrara	5-6	4.63
7	1796 10 22 04	Emilia orientale	7	5.63
4	1806 02 12	NOVELLARA	7	5.26
4-5	1812 10 25 07	SEQUALS	7-8	5.70
4	1813 09 21 07 45	Romagna centrale	7	5.32

N. di eventi disponibili per il Comune di Ferrara: 102				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io Mw
F	1831	09 11 18 15	Reggiano	7-8 5.48
5	1832	03 13 03 30	Reggiano	7-8 5.59
4-5	1834	07 04 00 35	ALTA LUNIGIANA	6-7 5.14
3	1834	10 04 19	Bologna	5-6 4.63
3	1836	06 12 02 30	BASSANO	7-8 5.48
3	1851	08 03	GIUDICARIE	6 4.96
F	1857	02 01	PARMENSE	6-7 5.26
3-4	1873	03 12 20 04	Marche meridionali	8 5.88
4	1873	06 29 03 58	Bellunese	9-10 6.33
6	1873	09 17	LIGURIA ORIENTALE	6-7 5.52
NF	1874	10 07	IMOLESE	7 4.99
5-6	1875	03 17 23 51	Romagna sud-orient.	8 5.74
F	1878	03 12 21 26	Bolognese	6 4.83
F	1881	01 24 16 04	Bolognese	6-7 5.14
RS	1885	02 26 20 48	SCANDIANO	6 5.22
3-4	1887	02 23 05 21 50	Liguria occidentale	9 6.29
4	1889	03 08 02 47	BOLOGNA	6 4.83
4	1891	06 07 01 06 14	Valle d'Ilasi	8-9 5.71
3-4	1894	11 27	FRANCIACORTA	6-7 4.95
3	1895	03 23	COMACCHIO	6 4.83
5	1895	04 14 22 17	Slovenia	8 6.25
NF	1897	07 15 05 57	Slovenia	6 5.13
NF	1897	12 18 07 24 20	Appennino umbro-march.	7 5.18
4	1898	01 16 12 10 05	Romagna settent.	6-7 5.03
2	1898	03 04	CALESTANO	6-7 5.07
4	1901	10 30 14 49 58	Salo'	8 5.67
3	1902	03 05 07 06	GARFAGNANA	7 5.17
2	1903	07 27 03 46	LUNIGIANA	7 5.15
3	1904	02 25 18 47 50	Reggiano	6 5.13
NF	1904	11 17 05 02	PISTOIESE	7 5.18
3	1907	04 25 04 52	BOVOLONE	6 4.94
2	1908	07 10 02 13 35	Carnia	7-8 5.34
6	1909	01 13 00 45	BASSA PADANA	6-7 5.53
RS	1909	08 25 00 22	MURLO	7-8 5.40
3-4	1911	02 19 07 18 30	Romagna meridionale	7 5.38
RS	1911	09 13 22 29	CHIANTI	7 5.14
3	1913	11 25 20 55	VAL DI TARO	5 4.85
5	1914	10 27 09 22	GARFAGNANA	7 5.79
2	1915	01 13 06 52	AVEZZANO	11 6.99
5	1915	10 10 23 10	REGGIO EMILIA	6 5.01
4	1916	05 17 12 50	Alto Adriatico	8 5.85
4	1916	08 16 07 06 14	Alto Adriatico	8 5.92
3	1918	11 10 15 12 28	Appennino romagnolo	8 5.79
3	1919	06 29 15 06 13	Mugello	9 6.18
5-6	1920	09 07 05 55 40	Garfagnana	9-10 6.48
F	1922	05 24 21 17	CENTO	3-4 4.50

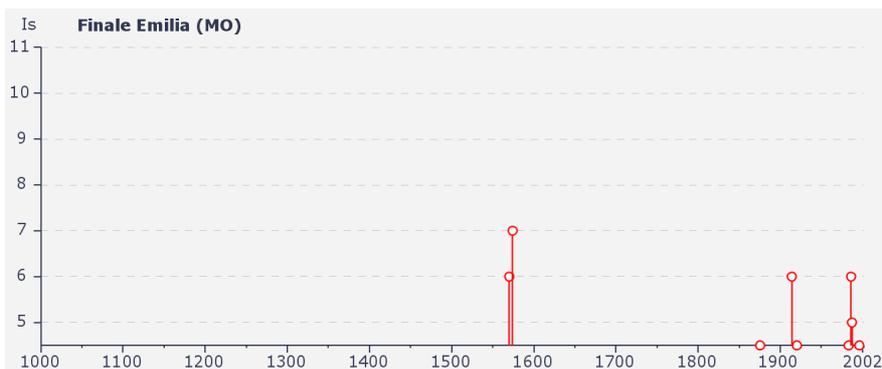
N. di eventi disponibili per il Comune di Ferrara: 102				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
4-5	1926 01 01 18 04 03	Slovenia	7-8	5.71
4	1929 04 20 01 09 46	Bolognese	7	5.55
4-5	1967 12 30 04 19	BASSA PADANA	6	5.36
5	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
3	1972 10 25 21 56	PASSO CISA	5	4.95
2	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	10	6.89
5	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
NF	1984 04 29 05 02 59	GUBBIO/VALFABBRICA	7	5.68
4	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
4-5	1989 09 13 21 53 60	PASUBIO	6	4.96
4-5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



**FIGURA 5-3: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI FERRARA [44.836, 11.618]**

**TABELLA 5-4: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI FINALE EMILIA [44.833, 11.294]**

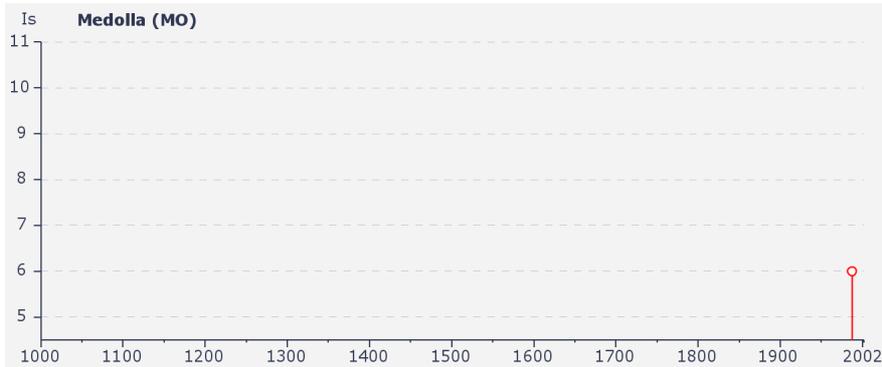
N. di eventi disponibili per il Comune di Finale Emilia: 22				
Effetti Is	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
4	1505 01 03 02	Bologna	7	5.47
6	1570 11 17 19 10	Ferrara	7-8	5.48
7	1574 03 17 03 40	FINALE EMILIA	7	5.12
3	1873 03 12 20 04	Marche meridionali	8	5.88
4	1873 06 29 03 58	Bellunese	9-10	6.33
4-5	1875 03 17 23 51	Romagna sud-orient.	8	5.74
3	1879 04 27 04 06	Valle del Senio	7	5.18
3	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	9	6.29
3	1898 03 04	CALESTANO	6-7	5.07
NF	1904 11 17 05 02	PISTOIESE	7	5.18
6	1914 10 27 09 22	GARFAGNANA	7	5.79
2	1916 08 16 07 06 14	Alto Adriatico	8	5.92
4	1919 06 29 15 06 13	Mugello	9	6.18
4-5	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	9-10	6.48
3	1922 05 24 21 17	CENTO	3-4	4.50
3	1926 01 01 18 04 03	Slovenia	7-8	5.71
NF	1957 08 27 11 54	ZOCCA	6	5.06
NF	1965 11 09 15 35	ALTA V. SECCHIA	5	5.01
4-5	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
6	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
5	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
4-5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



**FIGURA 5-4: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI FINALE EMILIA [44.833, 11.294]**

**TABELLA 5-5: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI MEDOLLA [44.849, 11.071]**

N. di eventi disponibili per il Comune di Medolla: 4				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
4	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
3	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
3	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05



**FIGURA 5-5: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI MEDOLLA [44.849, 11.071]**

**TABELLA 5-6: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI MIRANDOLA [44.914, 10.982]**

N. di eventi disponibili per il Comune di Mirandola: 30				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
F	1505 01 03 02	Bologna	7	5.47
NR	1547 02 10 13 20	Reggio Emilia	7	5.21
3	1742 01 27 11 20	Livorno	6-7	5.15
3	1743 02 20 16 30	Basso Ionio	9-10	6.90
6	1796 10 22 04	Emilia orientale	7	5.63
F	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5.59
3	1885 02 26 20 48	SCANDIANO	6	5.22
5	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	9	6.29
4	1889 03 08 02 47	BOLOGNA	6	4.83
6	1891 06 07 01 06 14	Valle d'Ilasi	8-9	5.71
3-4	1894 11 27	FRANCIACORTA	6-7	4.95
4	1895 04 14 22 17	Slovenia	8	6.25
4	1901 10 30 14 49 58	Salo'	8	5.67
3	1907 04 25 04 52	BOVOLONE	6	4.94
5	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	6-7	5.53
2	1911 02 19 07 18 30	Romagna meridionale	7	5.38
3	1913 11 25 20 55	VAL DI TARO	5	4.85
6	1914 10 27 09 22	GARFAGNANA	7	5.79
3	1916 05 17 12 50	Alto Adriatico	8	5.85
3	1916 08 16 07 06 14	Alto Adriatico	8	5.92
4	1919 06 29 15 06 13	Mugello	9	6.18
4	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	9-10	6.48

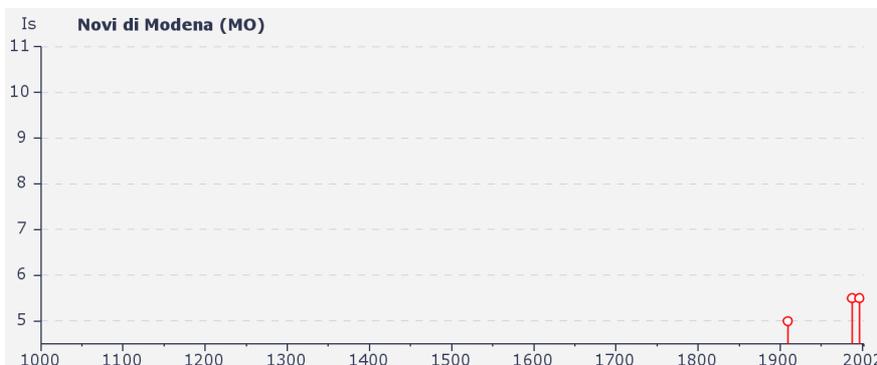
<b>N. di eventi disponibili per il Comune di Mirandola: 30</b>				
<b>Effetti</b>	<b>In occasione del terremoto di:</b>			
<b>Is</b>	<b>Anno Me Gi Or</b>	<b>Area epicentrale</b>	<b>Io</b>	<b>Mw</b>
2	1923 06 28 15 12	FORMIGINE	6	5.21
NF	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	9	5.94
6	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
NF	1984 04 29 05 02 59	GUBBIO/VALFABBRICA	7	5.68
3	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



**FIGURA 5-6: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI MIRANDOLA [44.914, 10.982]**

**TABELLA 5-7: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI NOVI DI MODENA [44.893, 10.901]**

<b>N. di eventi disponibili per il Comune di Novi di Modena: 7</b>				
<b>Effetti</b>	<b>In occasione del terremoto di:</b>			
<b>Is</b>	<b>Anno Me Gi Or</b>	<b>Area epicentrale</b>	<b>Io</b>	<b>Mw</b>
2	1898 03 04	CALESTANO	6-7	5.07
5	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	6-7	5.53
4	1928 06 13 08	CARPI	6-7	4.85
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
2	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
5-6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
5-6	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44

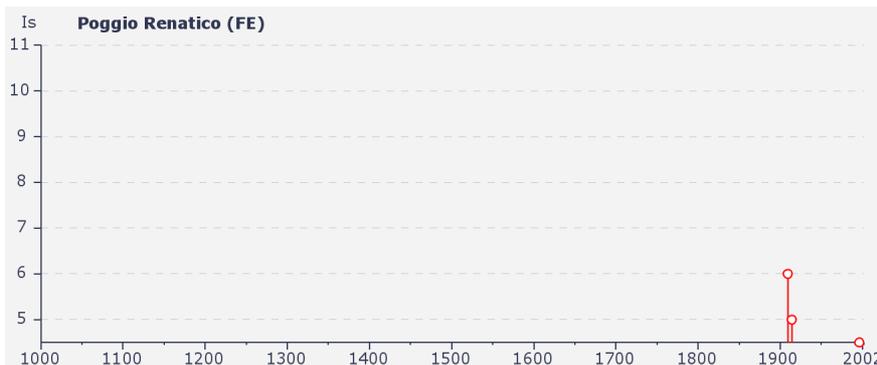


**FIGURA 5-7: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI NOVI DI MODENA [44.893, 10.901]**

**TABELLA 5-8: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI POGGIO RENATICO [44.766, 11.484]**

N. di eventi disponibili per il Comune di Poggio Renatico: 8

Effetti	In occasione del terremoto di:						
Is	Anno	Me	Gi	Or	Area epicentrale	Io	Mw
4	1898	01	16	12 10 05	Romagna settent.	6-7	5.03
3-4	1907	04	25	04 52	BOVOLONE	6	4.94
6	1909	01	13	00 45	BASSA PADANA	6-7	5.53
5	1914	10	27	09 22	GARFAGNANA	7	5.79
4	1983	11	09	16 29 52	Parmense	6-7	5.10
4	1986	12	06	17 07 19	BONDENO	6	4.56
3-4	1989	09	13	21 53 60	PASUBIO	6	4.96
4-5	1996	10	15	09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



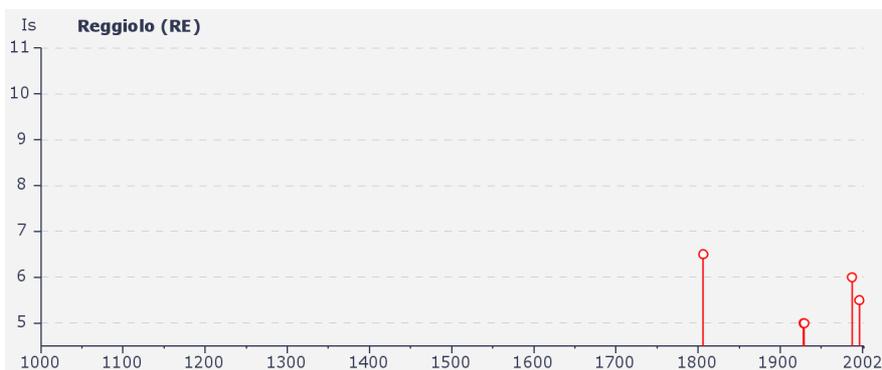
**FIGURA 5-8: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI POGGIO RENATICO [44.766, 11.484]**

**TABELLA 5-9: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI REGGIOLO [44.919, 10.804]**

N. di eventi disponibili per il Comune di Reggiolo: 8

Effetti	In occasione del terremoto di:						
Is	Anno	Me	Gi	Or	Area epicentrale	Io	Mw
6-7	1806	02	12		NOVELLARA	7	5.26
3	1907	04	25	04 52	BOVOLONE	6	4.94
5	1928	06	13	08	CARPI	6-7	4.85

N. di eventi disponibili per il Comune di Reggiolo: 8				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Mw
5	1929 04 20 01 09 46	Bolognese	7	5.55
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
NF	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
5-6	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



**FIGURA 5-9: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI REGGIOLO [44.919, 10.804]**

**TABELLA 5-10: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI ROLO [44.886, 10.858]**

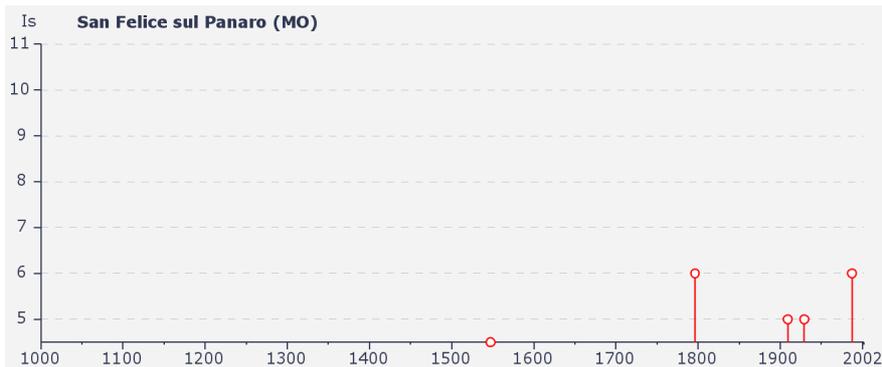
N. di eventi disponibili per il Comune di Rolo: 5				
Effetti	In occasione del terremoto di:			
	Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Mw
5	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
3-4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
NF	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
5	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
5-6	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



**FIGURA 5-10: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI ROLO [44.886, 10.858]**

**TABELLA 5-11: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SAN FELICE SUL PANARO [44.840, 11.141]**

N. di eventi disponibili per il Comune di San Felice sul Panaro: 13				
Effetti Is	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
4-5	1547 02 10 13 20	Reggio Emilia	7	5.21
6	1796 10 22 04	Emilia orientale	7	5.63
4	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	9	6.29
2	1898 01 16 12 10 05	Romagna settent.	6-7	5.03
NF	1900 03 04 16 55	VALDOBBIADENE	6	5.22
NF	1907 04 25 04 52	BOVOLONE	6	4.94
5	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	6-7	5.53
5	1929 04 20 01 09 46	Bolognese	7	5.55
NF	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	10	6.89
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
4	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
NF	1998 03 26 16 26 17	APPENNINO UMBRO-MARCH.	6	5.33



**FIGURA 5-11: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SAN FELICE SUL PANARO [44.840, 11.141]**

**TABELLA 5-12: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SAN POSSIDONIO [44.893, 10.996]**

N. di eventi disponibili per il Comune di San Possidonio: 4				
Effetti Is	In occasione del terremoto di:			
	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Io	Mw
6	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
2-3	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56
5	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44



**FIGURA 5-12: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SAN POSSIDONIO [44.893, 10.996]**

**TABELLA 5-13: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SANT'AGOSTINO [44.793, 11.385]**

**N. di eventi disponibili per il Comune di Sant'Agostino: 5**

Effetti	In occasione del terremoto di:				Area epicentrale	Io	Mw
	Is	Anno	Me	Gi Or			
4	1951	05	15	22 54	LODIGIANO	6-7	5.24
3	1963	08	09	06 05	FAENTINO	5-6	5.32
5	1971	07	15	01 33 23	Parmense	7-8	5.61
5	1983	11	09	16 29 52	Parmense	6-7	5.10
4	1989	09	13	21 53 60	PASUBIO	6	4.96



**FIGURA 5-13: STORIA SISMICA DEL COMUNE DI SANT'AGOSTINO [44.793, 11.385]**

## **5.1. MAGNITUDO STORICA**

---

“La regione Emilia Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può però essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell’Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d’Arda e Bologna, l’arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico” (Note illustrative, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, 2004).

## 6. STRUTTURE SIMOGENETICHE

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.1) del “*Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy*”, inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise e Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali ritenute in grado di generare grandi terremoti. L'individuazione e la caratterizzazione di tali sorgenti consentirà una sempre migliore definizione della pericolosità sismica, sia alla scala di singole opere o infrastrutture che a scala regionale.

La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Al fine di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale. Per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database si osserva la presenza di tre sorgenti sismogenetiche composite: la sorgente Reggio Emilia-Rolo (cod. ITCS049), la sorgente Poggio Rusco-Migliarino (cod. ITCS050) e la sorgente Novi-Poggio Renatico (cod. ITCS051). Nel seguito si fornisce una breve descrizione delle sorgenti sismogenetiche descritte.

- *Sorgente sismogenetica Reggio Emilia-Rolo (cod. ITCS049)*

Questa sorgente composta è stata riconosciuta nell'area a nord-est della città di Reggio Emilia e costituisce il fronte esterno del thrust dell'arco ferrarese. Questo sistema di faglie, da NW a N vergente (verso l'esterno dell'arco), rappresenta il thrust più avanzato in direzione nord-est della catena appenninica, ben all'interno della piana del Po, con potenziali sorgenti sismogenetiche dannose.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000;. Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;.. Guidoboni et al, 2007) mostrano una serie di terremoti da intermedi a dannosi che hanno interessato l'area; a sud-ovest i terremoti dell'11 settembre 1831 (Mw 5.5, Reggiano) e del 10 febbraio 1547 (Mw 5.2, Reggio Emilia), a sud il terremoto del 20 giugno 1671 (Mw 5.3, Rubiera), ed a nord i terremoti del 12 Febbraio 1806

(Mw 5.3) e del 25 dicembre 1810 (Mw 5.3, Novellara), mentre il 15 ottobre 1996 (Mw 5.4) un terremoto ha colpito il settore sud-occidentale della sorgente sismogenetica. Infine, una sismicità intermedia ( $4.5 < Mw < 5.0$ ) si può trovare in tutta la regione.

Questa sorgente sismogenetica è la rampa di sinistra del thrust cieco più esterno dell'Appennino Romagnolo e può spiegare la sismicità della Regione da intermedia a dannosa. In particolare, i terremoti del 1806 e del 1810 sono curiosamente molto vicini nello spazio e nel tempo, come si è raramente osservato nella storia sismica d'Italia e nei suoi modelli relativi all'interazione possibile della faglia. Questi due eventi potrebbero essere stati causati da due segmenti adiacenti (ad oggi sconosciuti) di questa sorgente.

Lo strike di questa sorgente sismogenetica si basa su quello delle strutture regionali mappate ( $N35^{\circ}6'5''$ ). Il dip è basato su osservazioni geologiche e considerazioni geometriche ( $30^{\circ}50''$ ). Il rake rappresenta scorrimento obliquo, sulla base di osservazioni geologiche ( $60-90$ ). La profondità minima e massima è basata su considerazioni geometriche e tettoniche riguardanti la geometria del thrust (3,0 e 10,0 km, rispettivamente). La velocità di scorrimento è stata dedotta dalle osservazioni geologiche in strutture adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico con la sorgente Reggio Emilia-Rolo (0,1-0,5 mm/anno). La magnitudo massima è stata basata sui dati regionali di sismicità (Mw 5.5).

- *Sorgente sismogenetica Poggio Rusco-Migliarino (cod. ITCS050)*

Questa sorgente composita risulta ubicata nella regione della bassa valle del Po e costituisce il fronte esterno del thrust dell'arco ferrarese. Questo sistema di faglie, NE vergente (verso l'esterno dell'arco), rappresenta il thrust più avanzato in direzione nord-est della catena appenninica, ben all'interno della piana del Po, con potenziali sorgenti sismogenetiche dannose.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;.. Guidoboni et al, 2007) mostrano una sismicità della regione intermedia ( $4.5 < Mw < 5.0$ ), con le notevoli eccezioni del terremoto del 22 febbraio 1346 (Mw 5.8, Ferrara) localizzato nel settore più occidentale dell'area, e del 17 novembre 1570 (Mw 5.5) nella città di Ferrara.

Questa sorgente sismogenetica è piuttosto superficiale per tutto il thrust più esterno, spiegando l'elevata sismicità della regione. Si crede che questa zona possieda un potenziale sismogenetico in base a dati di sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Boccaletti e Martelli, 2004) e su prove di deformazione attiva in superficie (Burrato et al 2003), che suggeriscono l'attività tettonica dell'arco ferrarese.

Un segmento di questo arco è stato associato al terremoto di Ferrara del 1570.

Lo strike di questa sorgente sismogenetica si basa su quello delle strutture regionali mappate ( $N85^{\circ}1'15''$ ). Il dip è basato su osservazioni geologiche e considerazioni geometriche ( $25^{\circ}55''$ ). Il rake rappresenta scorrimento puro, sulla base di osservazioni geologiche ( $80-100$ ). La profondità minima e massima è basata su osservazioni geologiche e da considerazioni geometriche riguardanti la geometria del thrust (1,0 e 8,0 km, rispettivamente). La velocità di scorrimento è stata dedotta dalle osservazioni geologiche in strutture

adiacenti che condividono lo stesso ambiente tettonico con la sorgente Poggio Rusco-Migliarino (0,1 - 0,5 mm/anno). La magnitudo massima è stata presa dalla più grande sorgente singola associata (Mw 5,5).

- *Sorgente sismogenetica Novi-Poggio Renatico (cod. ITCS051)*

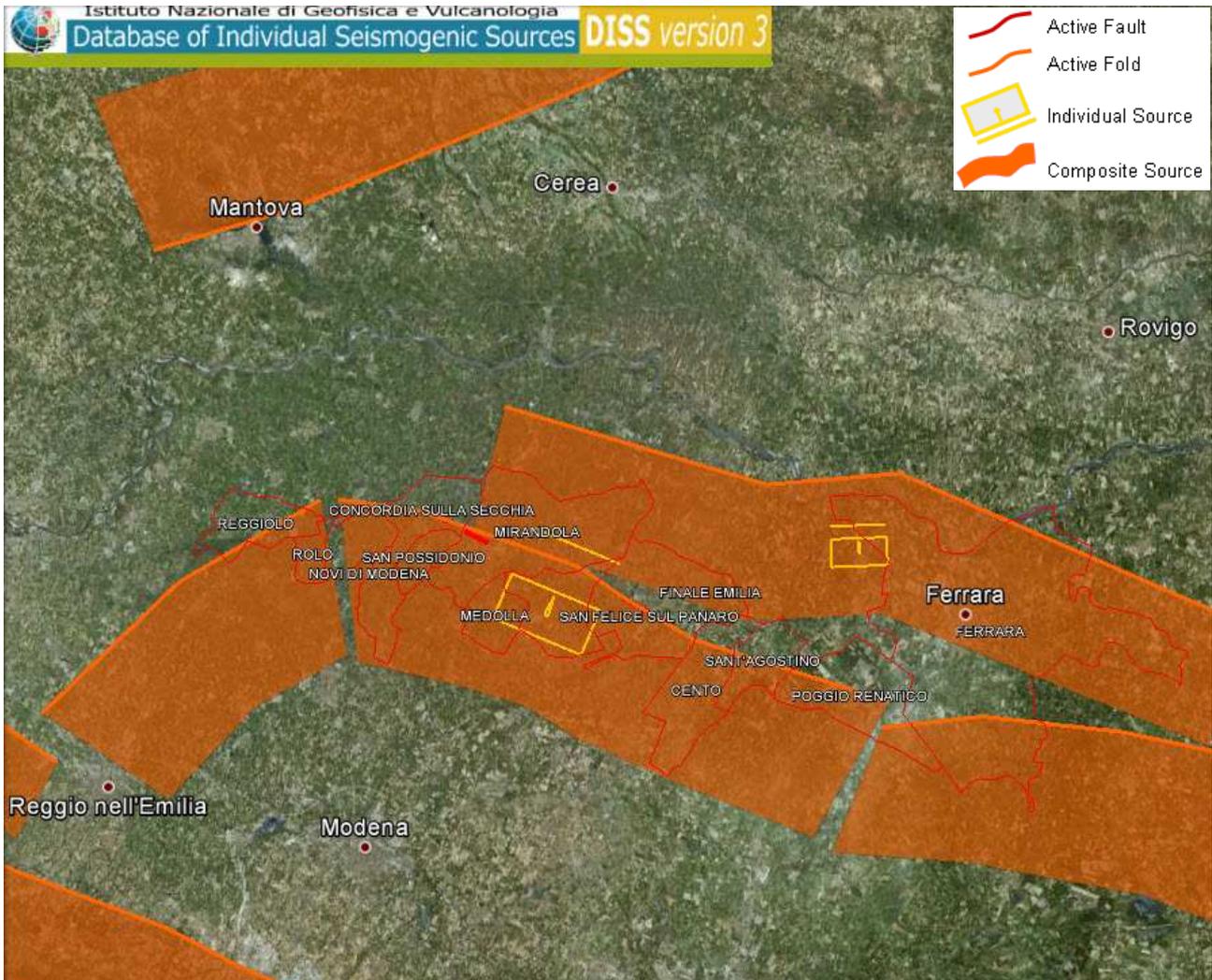
Questa sorgente composita risulta ubicata nella regione della bassa valle del Reno e del Secchia e costituisce il fronte esterno del thrust dell'arco ferrarese. Questo sistema di faglie, NE vergente (verso l'esterno dell'arco), rappresenta il thrust più avanzato in direzione nord-est della catena appenninica, ben all'interno della piana del Po, con potenziali sorgenti sismogenetiche dannose.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al, 2000;. Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;.. Guidoboni et al, 2007) mostrano una sismicità della regione intermedia ( $4.5 < M_w < 5.0$ ), con la notevole eccezione del terremoto del 22 febbraio 1346 (Mw 5.8, Ferrara) localizzato nel settore più occidentale dell'area.

Questa sorgente sismogenetica è la porzione principale del più esterno thrust cieco dell'Appennino Romagnolo e può spiegare l'elevata sismicità della regione. In realtà, i dati di sottosuolo (ad esempio, Cassano et al., 1986) mostrano anticlinali sepolte ben sviluppate, compresa quella di Mirandola. Inoltre, ci sono anomalie di drenaggio ben note in questo settore (es., Castaldini et al., 1979), per i quali Burrato et al. (2003) ipotizzano un'origine tettonica. Questi ultimi autori propongono che questi segmenti dei thrust ciechi, valutati da dati di sottosuolo, possono essere potenziali sorgenti di rari terremoti di  $M_w > 5.5$  in questa zona.

Un segmento di questa sorgente è stato riconosciuto in base al suo potenziale sismogenetico.

Lo strike di questa fonte si basa su quello delle strutture regionali mappate ( $N95^\circ-125^\circ$ ). Il dip è basato su osservazioni geologiche e considerazioni geometriche ( $25^\circ-45^\circ$ ). Il rake rappresenta uno scorrimento da puro ad obliquo, sulla base di osservazioni geologiche (80-120). La profondità minima e massima è basata su considerazioni geometriche e tettoniche riguardanti la geometria del thrust (3,0 e 10,0 km, rispettivamente). La velocità di scorrimento è stata dedotta da osservazioni geologiche (0,25-0,5 mm/anno). La magnitudo massima è stata presa dalla più grande sorgente singola associata (Mw 5,9).



**FIGURA 6-1: SORGENTI SISMOGENETICHE CONTENUTE NELLA NUOVA VERSIONE DEL "DATABASE OF POTENTIAL SOURCES FOR EARTHQUAKES LARGER THAN M 5.5 IN ITALY" PER L'AREA IN OGGETTO**

## 7. MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

Al fine di definire la Magnitudo (M) di riferimento, ci si è riferiti alla disaggregazione sismica del terremoto di progetto.

La disaggregazione della pericolosità sismica consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini, il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento, di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Per il terremoto di progetto, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) fornisce tali valori e anche i valori medi. Da Figura 7-1 a Figura 7-13 è riportata la disaggregazione del valore di  $a_g$  con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni, in riferimento ai comuni attraversati dall'infrastruttura stradale in progetto.

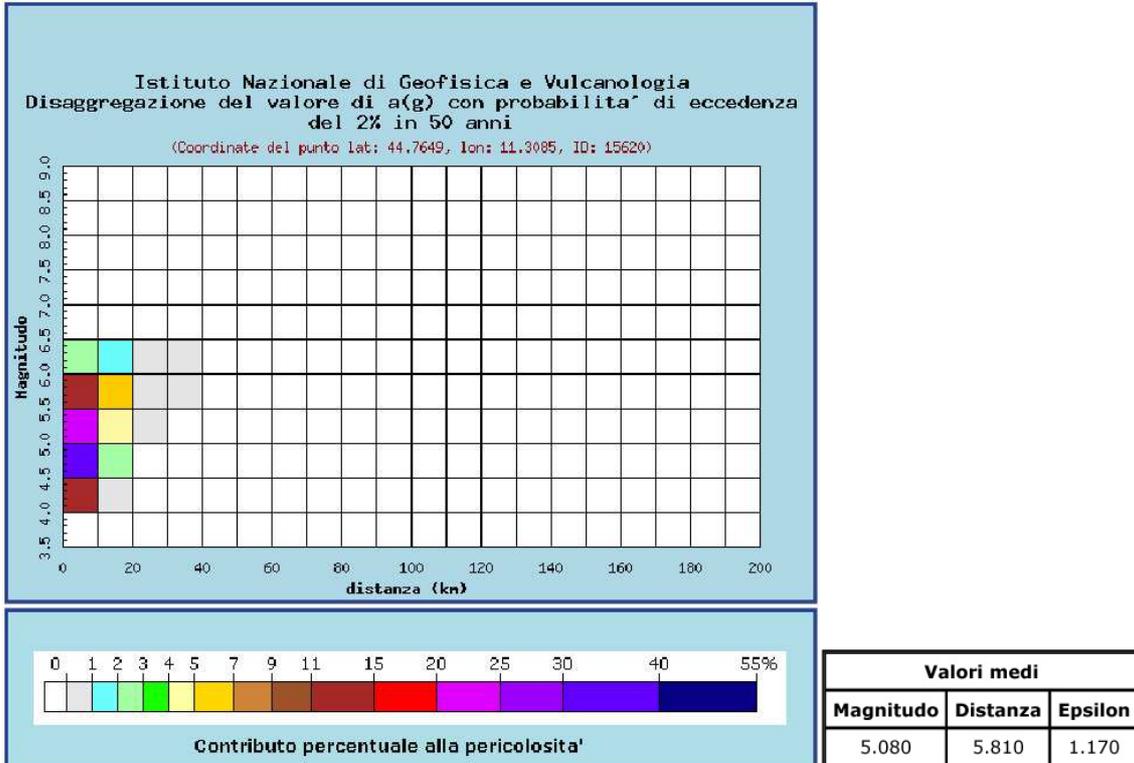


FIGURA 7-1: COMUNE DI CENTO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

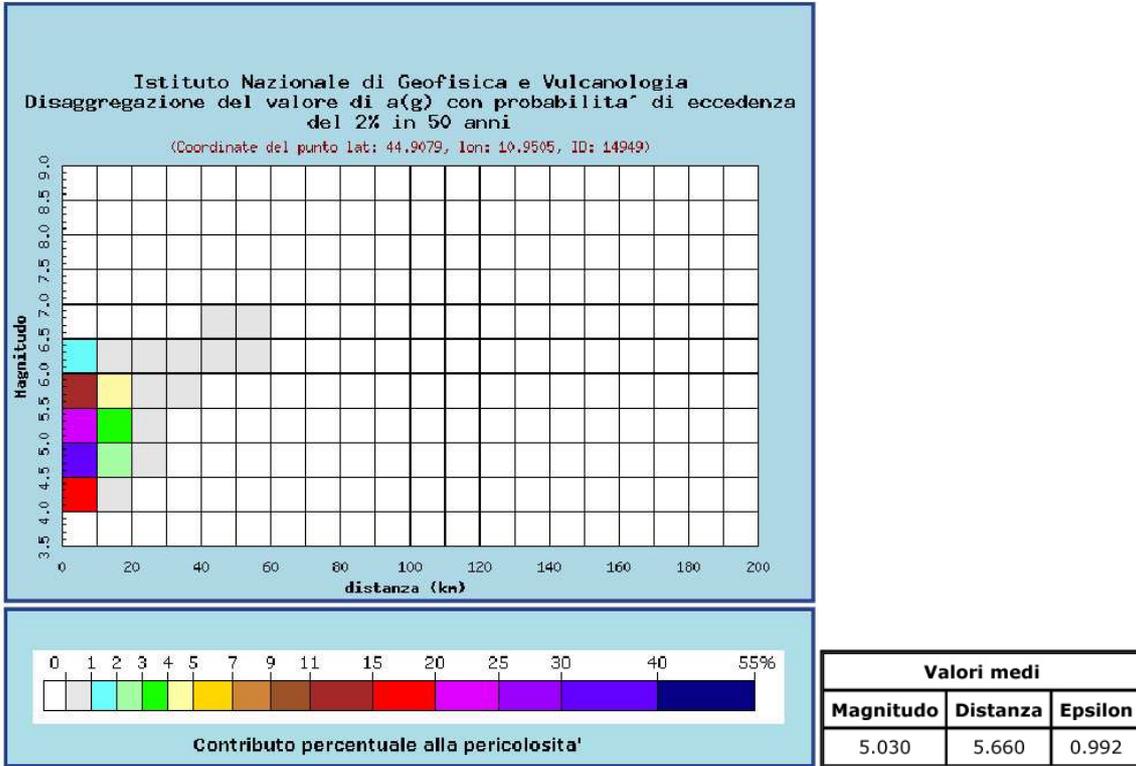


FIGURA 7-2: COMUNE DI CONCORDIA SULLA SECCHIA: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

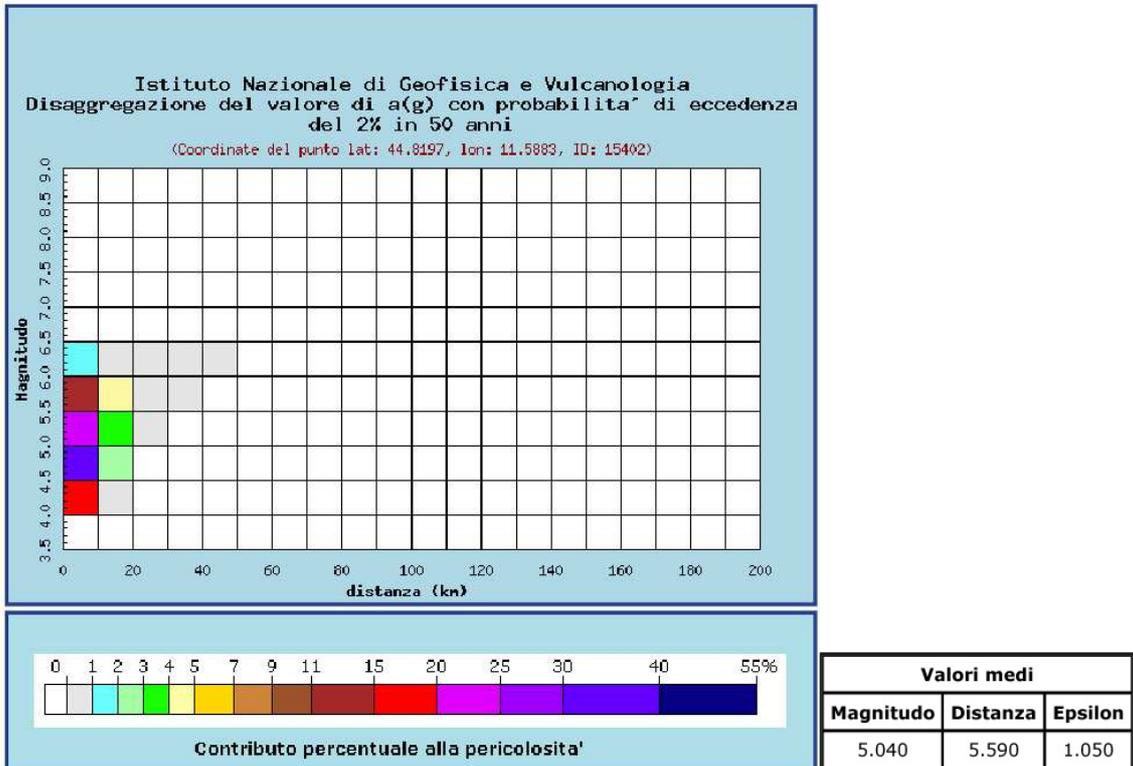


FIGURA 7-3: COMUNE DI FERRARA: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

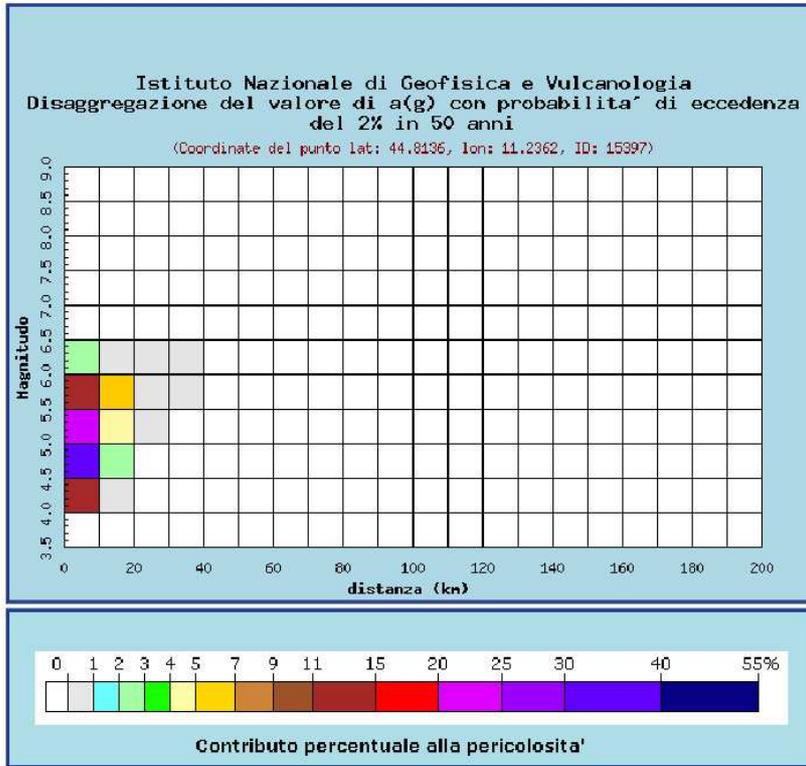


FIGURA 7-4: COMUNE DI FINALE EMILIA: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

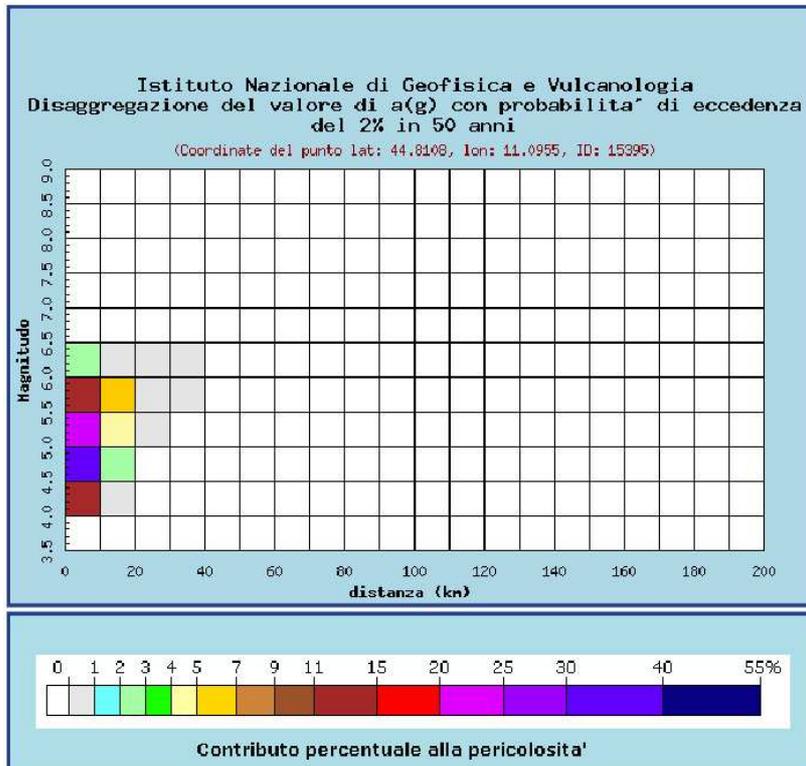


FIGURA 7-5: COMUNE DI MEDOLLA: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

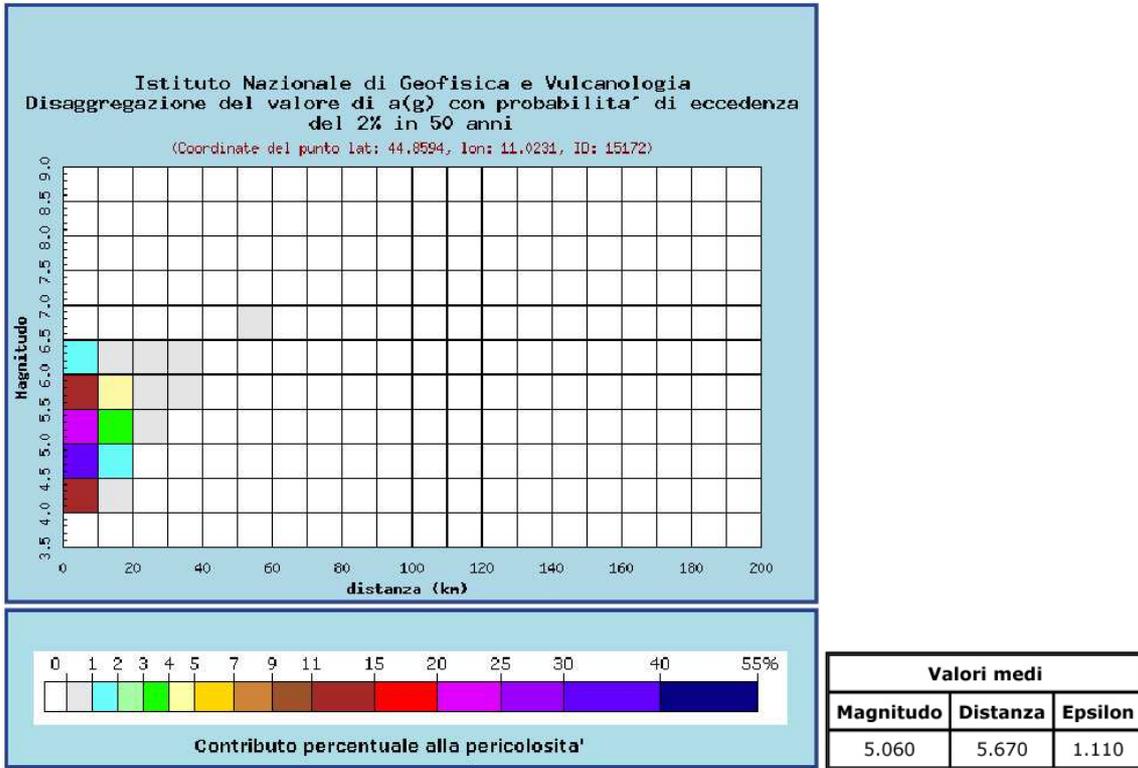


FIGURA 7-6: COMUNE DI MIRANDOLA: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

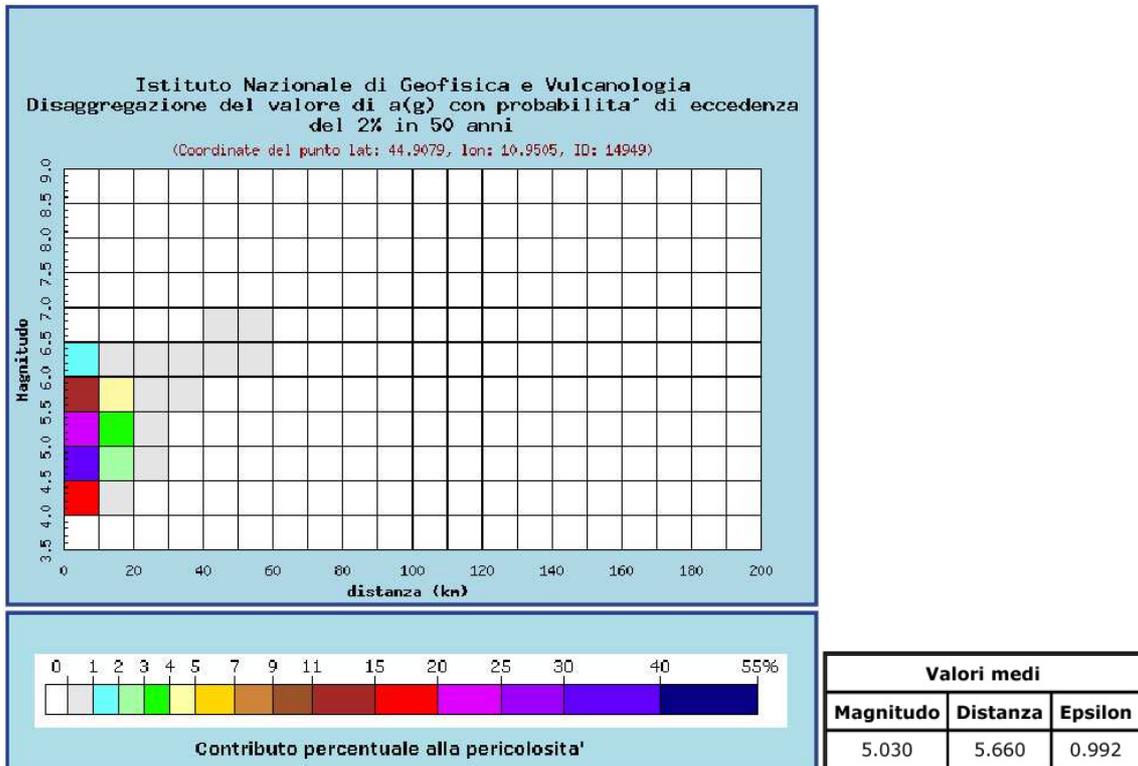


FIGURA 7-7: COMUNE DI NOVI DI MODENA: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

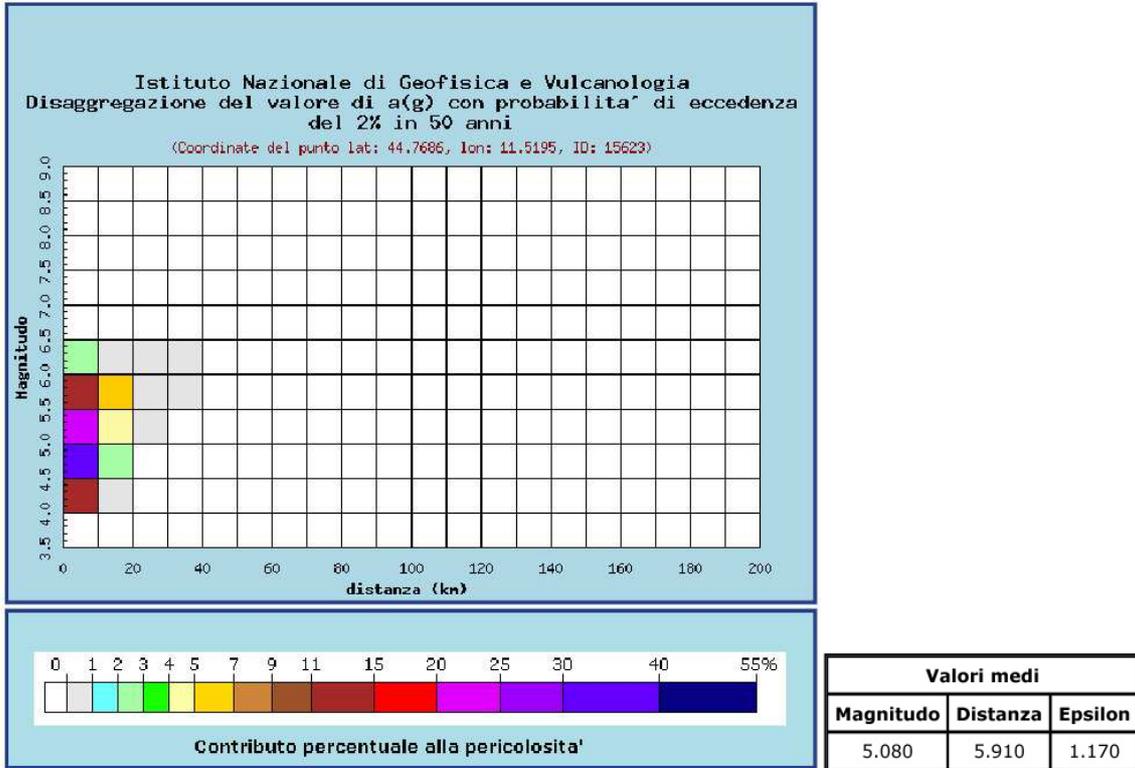


FIGURA 7-8: COMUNE DI POGGIO RENATICO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

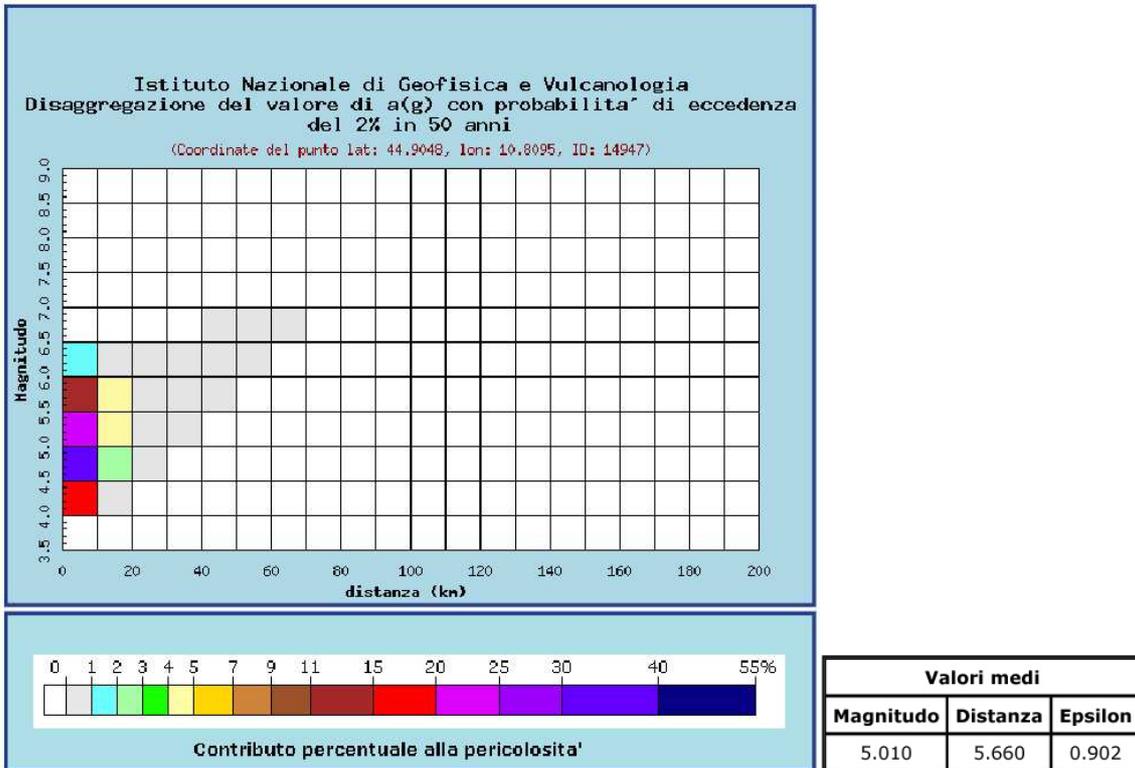


FIGURA 7-9: COMUNE DI REGGIOLO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

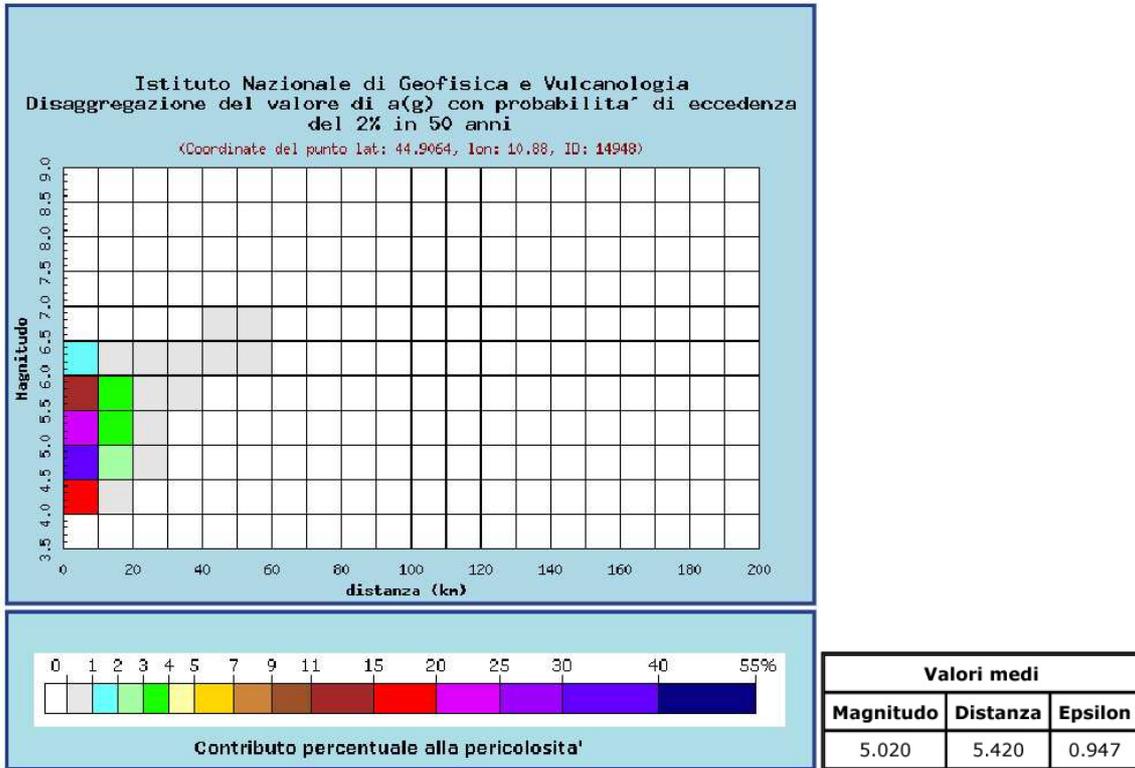


FIGURA 7-10: COMUNE DI ROLO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

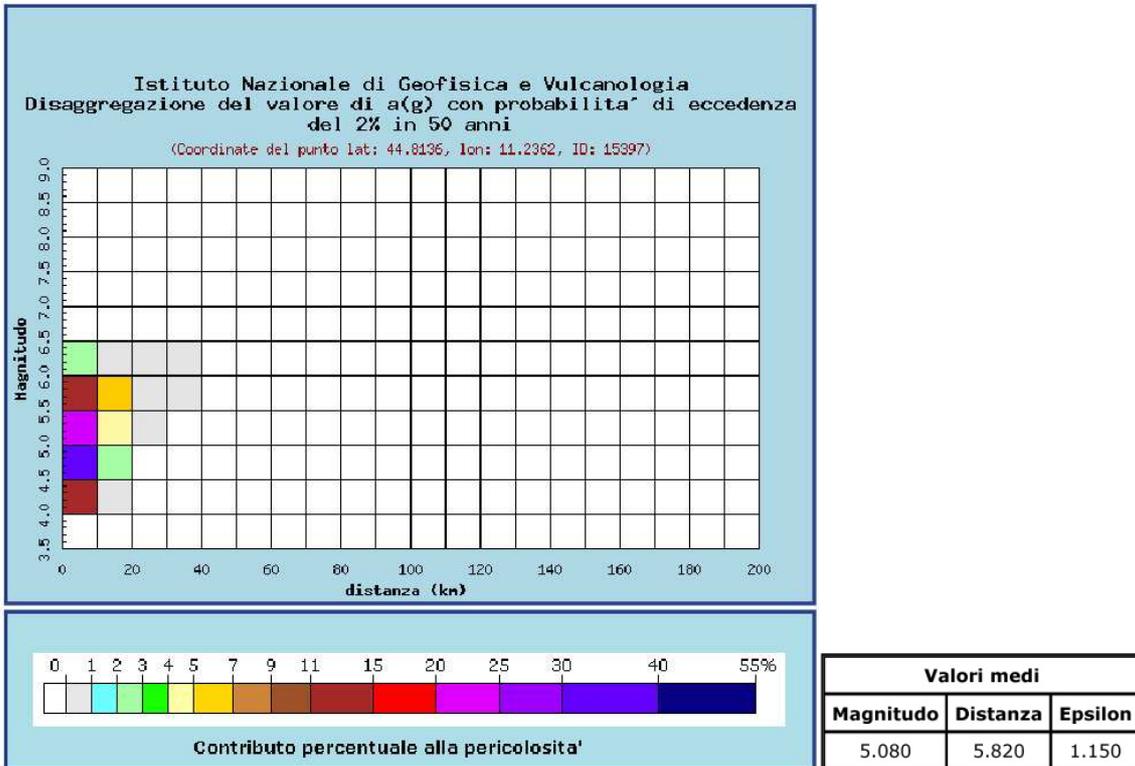


FIGURA 7-11: COMUNE DI SAN FELICE SUL PANARO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

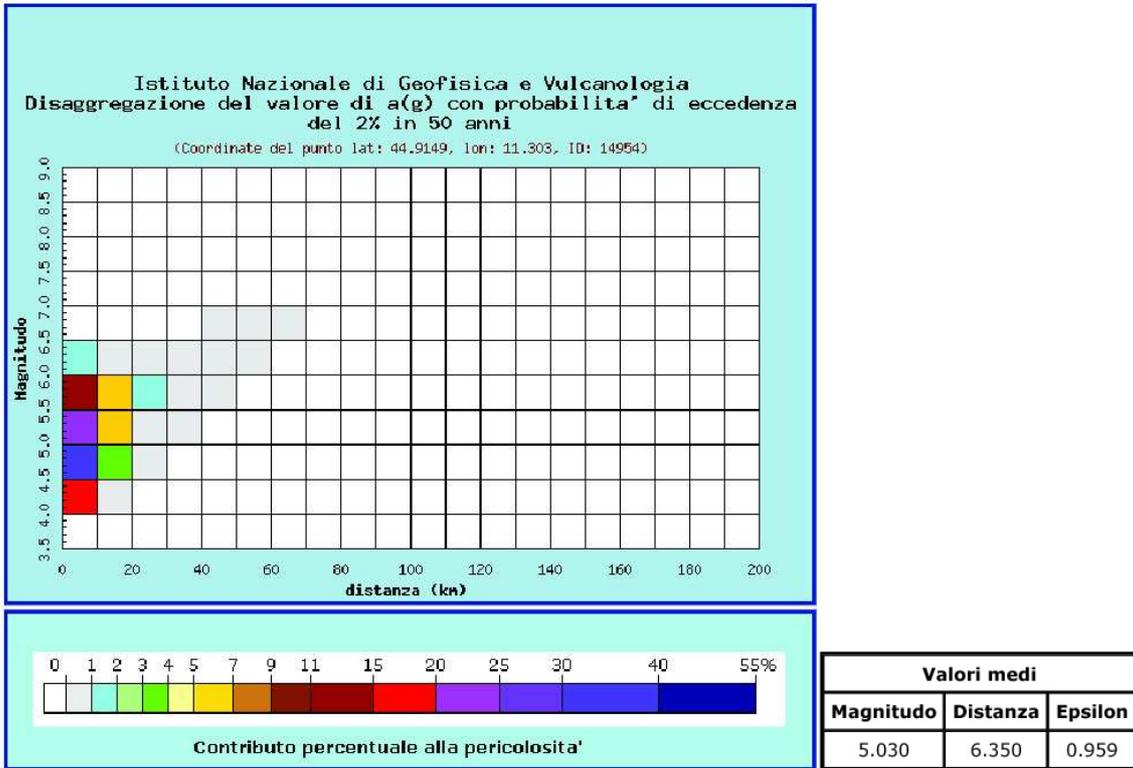


FIGURA 7-12: COMUNE DI SAN POSSIDONIO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

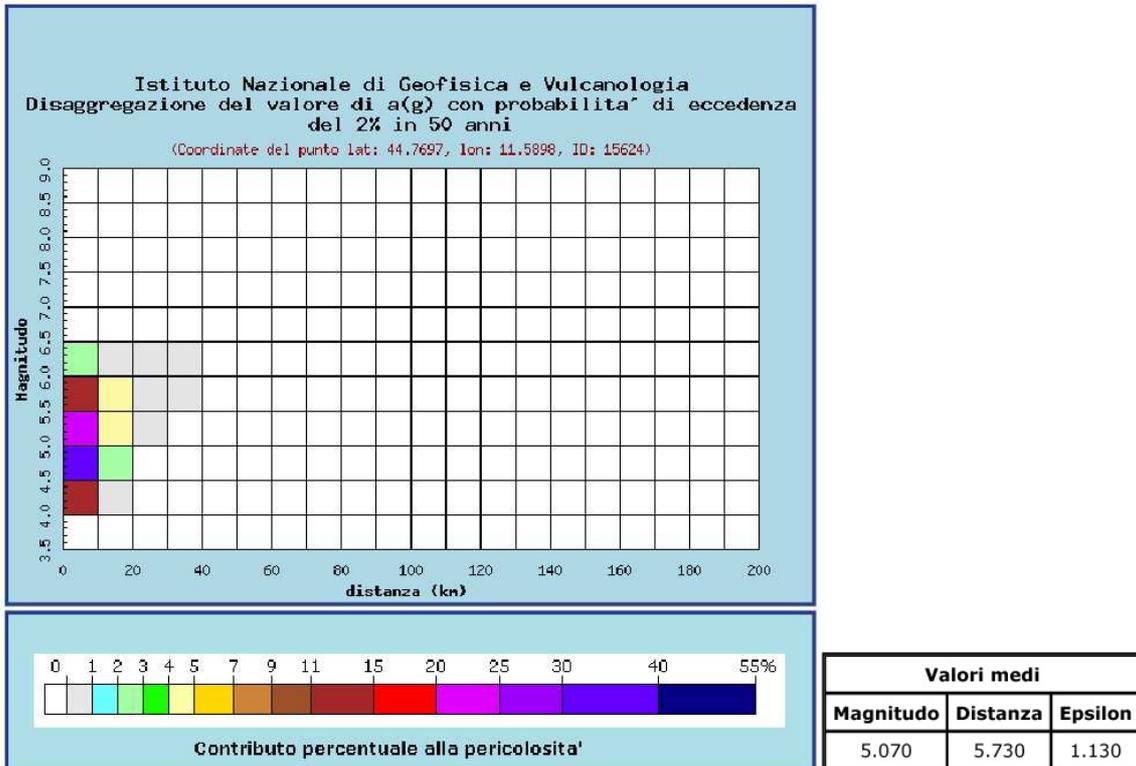


FIGURA 7-13: COMUNE DI SANT'AGOSTINO: DISAGGREGAZIONE E VALORI MEDI DEL TERREMOTO DI PROGETTO

## 8. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE AI FINI DEL CALCOLO DELL’AZIONE SISMICA

Ai sensi del D.M. 14/01/2008, ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

### 8.1. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La determinazione della categoria di sottosuolo, secondo normativa, è stata basata sui valori di velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità; tali valori sono stati determinati a partire da prove di tipo cross-hole (CH) effettuate su due fori di sondaggio affiancati e su prove con cono sismico (SCPT) effettuate in corrispondenza di una verticale penetrometrica.

Nello specifico, le elaborazioni dei dati misurati in sito nell’ambito della campagna geognostica mostrano, dal punto di vista della risposta sismica locale, la presenza lungo tutto il tracciato in progetto, di **suoli di tipo “C”** ovvero “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)” e **di tipo “D”**, ovvero “Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina)”.

In riferimento alle progressive del tracciato autostradale di Progetto Definitivo e sulla base delle indagini geofisiche disponibili, e riportate in Tabella 8-1, è possibile definire le seguenti categorie di sottosuolo:

- pk 0+000 ÷ pk 29+300 → categoria C;
- pk 29+300 ÷ pk 31+800 → categoria D;
- pk 31+800 ÷ pk 35+100 → categoria C;
- pk 35+100 ÷ 54+650 → categoria D;
- pk 54+650 ÷ pk 55+400 → categoria C;
- pk 55+400 ÷ 56+200 → categoria D;

- pk 56+200 ÷ pk 56+750 → categoria C;
- pk 56+750 ÷ 57+500 → categoria D;
- pk 57+500 ÷ pk 57+700 → categoria C;
- pk 57+700 ÷ fine → categoria D.

Per la determinazione della categoria di suolo nel dettaglio delle singole opere, si rimanda alle rispettive relazioni geotecniche.

**TABELLA 8-1: DEFINIZIONE DEI VALORI DI  $V_{S,30}$  DA MISURE DIRETTE IN SITO**

<b>Prova n°</b>	<b><math>V_{S,30}</math> [m/sec]</b>
CH 2	276
CH 12	274
CH 20	262
CH 27	298
CH 46	284
CH 54	303
CH 57	289
CH 202	211
SCPT 211	223
SCPT 224	238
CH 210	251
CH 219	193
SCPT 236	234
CH 229	206
SCPT 552	187
SCPT 557	185
SCPT 560	183
SCPT 566	169
SCPT 280	170
SCPT 290	191
CH 255	187
SCPT 294	180
SCPT 605	164
CH 606	191
CH 407	193
SCPT 622	183
SCPT 429	191

<i>Prova n°</i>	<i>V<sub>s,30</sub> [m/sec]</i>
CH 417	203
SCPT 439	224
SCPT 443	212
CH 426	175
CH 433	188
SCPT 461	182
CH 442	182
SCPT429	191
SCPT439	224
SCPT443	188
SCPT461	182
SCPT552	187
SCPT557	185
SCPT560	183
SCPT566	169
SCPT4	194
SCPT39	306
SCPT45	432
SCPT63	215
SCPT81	207
SCPT384	278

## 8.2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 14/01/2008 in Tabella 3.2.IV; in particolare, l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1,0$ .

## 9. PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Per definire l'azione sismica di riferimento si devono operare alcune scelte in termini di "vita nominale" e "classi d'uso" dell'opera legati al livello prestazionale atteso. Nel presente capitolo si richiamano i parametri necessari alla definizione dell'azione sismica di riferimento, per la quale si rimanda alle relazioni geotecniche di dettaglio delle singole opere in progetto.

### 9.1. VITA NOMINALE

La vita nominale ( $V_N$ ) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La Norma definisce la vita nominale a secondo del tipo di costruzione come indicato nella seguente Tabella 9-1.

TABELLA 9-1: VITA NOMINALE  $V_N$  PER I DIVERSI TIPI DI OPERE

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale $V_N$ (in anni)
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>[1]</sup>	$\leq 10$
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

### 9.2. CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso definite così come in Tabella 9-2.

<sup>1</sup> Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

**TABELLA 9-2: CLASSI D'USO PER I DIVERSI TIPI DI OPERE**

<b>Classe I</b>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<b>Classe II</b>	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 in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<b>Classe III</b>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<b>Classe IV</b>	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 D.M. 5 novembre 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 e a impianti di produzione di energia elettrica.

### 9.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ , cioè mediante la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove il valore di  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come in Tabella 9-3.

**TABELLA 9-3: VALORI DEL COEFFICIENTE D'USO  $C_U$**

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

In ogni caso, se risultasse  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

## 10. CONSIDERAZIONI IN MERITO ALLA LIQUEFAZIONE

Secondo la definizione dell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che satura gli interstizi arriva ad eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che l'azione sismica ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli  $N$  del terremoto, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di  $N$  (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Sulla base di quanto precedentemente esposto, si rimanda alla relazione di verifiche geotecniche per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione.

## 11. SEQUENZA SISMICA MAGGIO 2012

In data 20 maggio 2012, ore 04:03, nel distretto sismico denominato “Pianura Padana Emiliana”, è avvenuto un sisma di magnitudo (MI) pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale INGV, ha un epicentro posto a nord di Mirandola. La profondità ipocentrale è stimata a 6.3 Km dalla superficie.

In seguito a questo evento si è instaurata una sequenza sismica, ancora in atto al 22 maggio 2012, che comprende eventi di magnitudo anche superiore a 4.0 gradi. In Figura 11-1 è riportata l’ubicazione dell’evento principale.

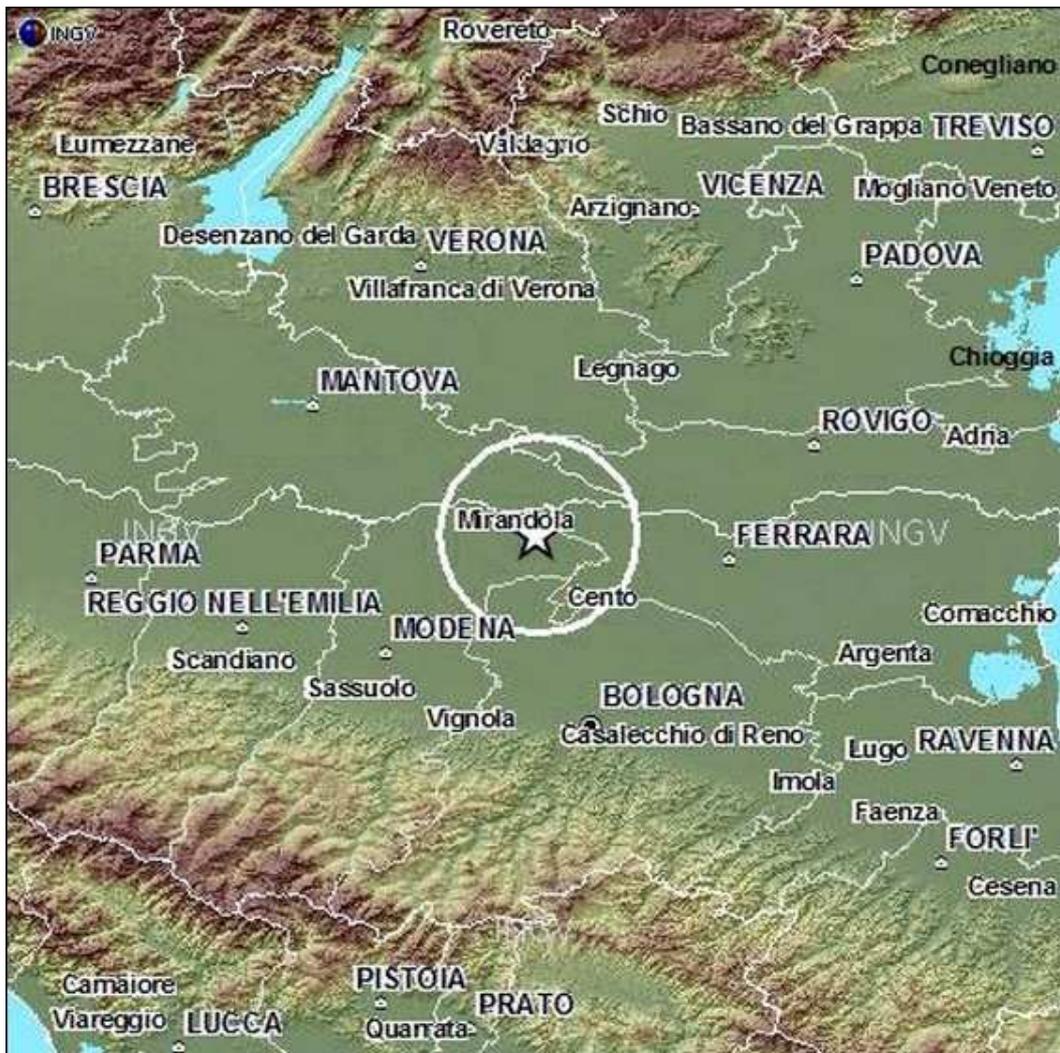
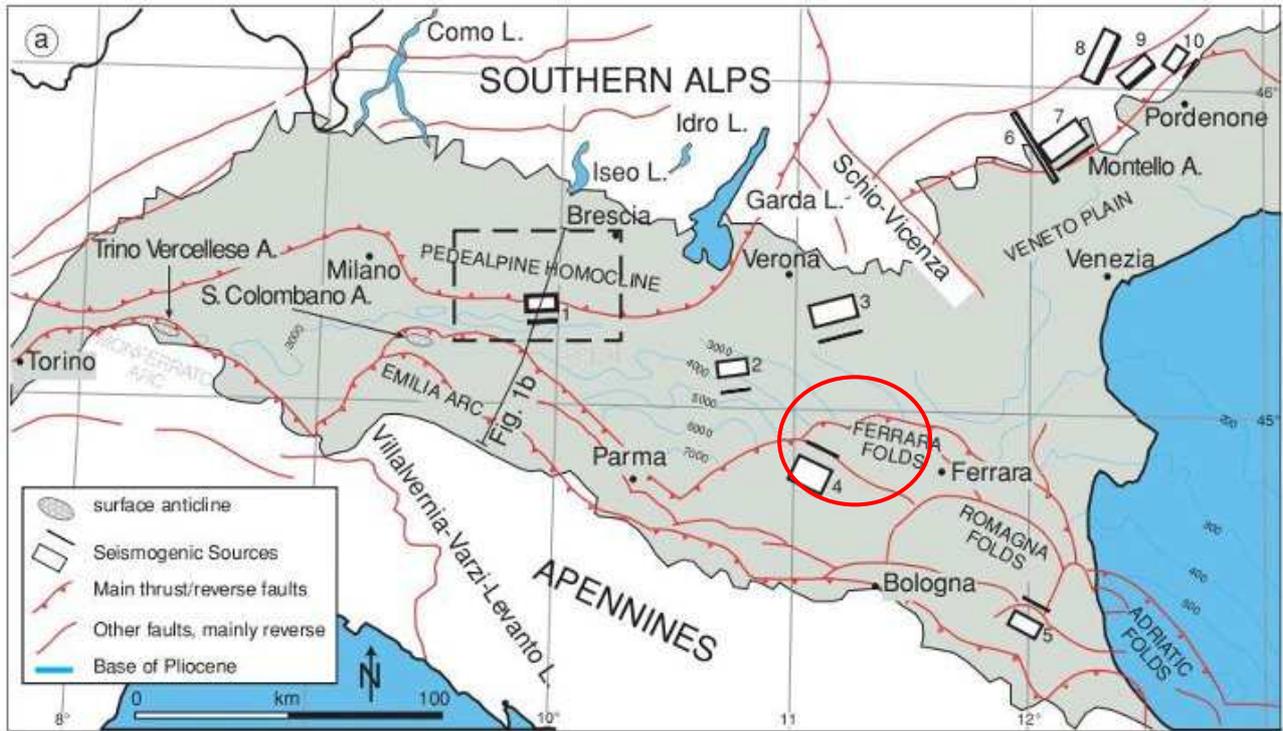
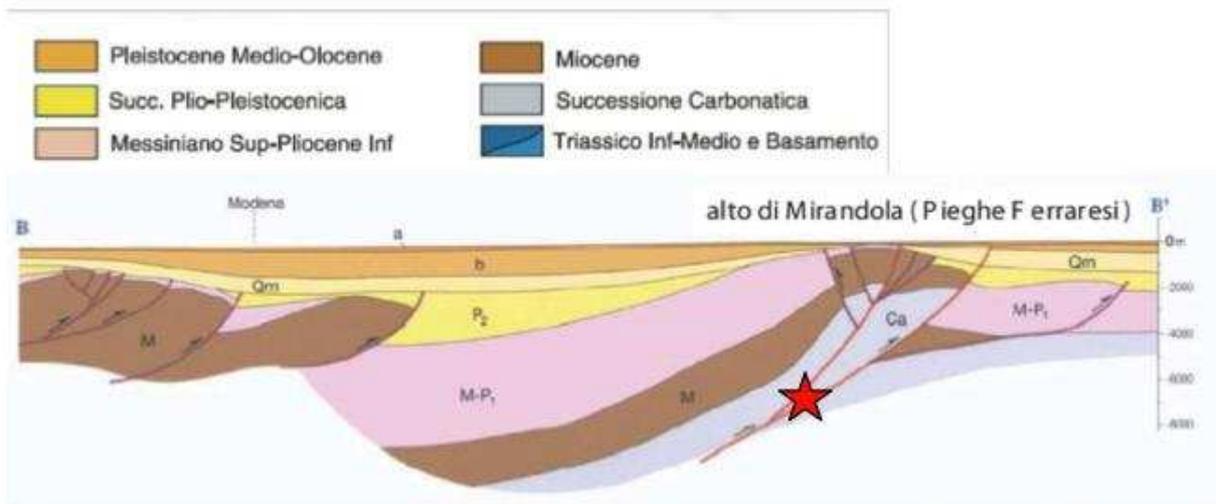


FIGURA 11-1. UBICAZIONE DELL’EVENTO PRINCIPALE.

Tale evento è attribuibile a fenomeni compressivi in atto lungo le pieghe, sepolte, ferraresi (Figura 11-2 e Figura 11-3).



**FIGURA 11-2. SCHEMA STRUTTURALE DELLA CATENA SEPOLTA (IN ROSSO L'AREA COLPITA DAL SISMA).**



**FIGURA 11-3. SEZIONE GEOLOGICA DEL SOTTOSUOLO CON INDICAZIONE DEL SISMA PRINCIPALE (STELLA ROSSA).**