

PROVINCIA DI BOLOGNA



VARIANTE IN MATERIA DI
RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO
adeguamento alla l.r. 19/2008

QUADRO CONOSCITIVO

Stesura approvata



**VARIANTE
IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO**

ADEGUAMENTO ALLA L.R. 19/2008

QUADRO CONOSCITIVO

VARIANTE AL PTCP
AI SENSI DELL'ART. 27 DELLA LR 20/2000 E S.M.I.

Stesura approvata con
Delibera di Consiglio Provinciale n. 57 del 28.10.2013

STRUTTURA ORGANIZZATIVA PER L'ELABORAZIONE DELLA VARIANTE

COORDINAMENTO GENERALE DELLA VARIANTE

Alessandro Delpiano (Direttore Settore Pianificazione Territoriale e Trasporti)
Giuseppe Petrucci (Dirigente Servizio Urbanistica e Attuazione PTCP)

UFFICIO DI PIANO

Provincia di Bologna Settore Pianificazione Territoriale

Donatella Bartoli (Responsabile coordinamento tecnico)
Daniele Magagni (Responsabile coordinamento geologico e sismico)
Claudia Piazzì
Luca Borsari

Antonio Papace (consulenza cartografica e informatica)
Gianluca Bortolini (consulenza sui documenti contenuti negli strumenti urbanistici comunali vigenti)
Riccardo Sabbadini (consulenza geologico-sismica)

Provincia di Bologna Settore Ambiente

Paola Cavazzi
Michele Cerati

Regione Emilia Romagna Servizio Geologico

Luca Martelli
Marco Pizziolo

UFFICIO AMMINISTRATIVO

Iole Petrone (Responsabile)
Maria Pia Baldisserri
Michela Dotti

PROGETTO GRAFICO

Manuela Mattei

SOMMARIO

1. LA SISMICITÀ DEL TERRITORIO PROVINCIALE DI BOLOGNA	4
1.1. I Terremoti dell'Emilia Romagna del 2012.....	16
2. RAPPRESENTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (A SCALA PROVINCIALE).....	22
3. ELABORAZIONE CARTOGRAFICA	24
3.1 Criteri cartografici adottati	24
3.2 Descrizione delle Tavole del Quadro Conoscitivo	24
3.3 Approfondimenti sugli effetti locali degli elementi contenuti nelle Tavole del Quadro Conoscitivo.....	28

1. LA SISMICITÀ DEL TERRITORIO PROVINCIALE DI BOLOGNA

Le notizie storiche (Stucchi et al., 2007) indicano che la parte orientale del territorio provinciale, soprattutto la zona romagnola, è stata interessata da terremoti che hanno raggiunto, e talora superato, il VII grado di intensità della scala MCS; la restante parte del territorio è stata interessata da terremoti di minore intensità che comunque hanno più volte superato la soglia del danno ($I_{MCS} = V-VI$) (fig. 1).

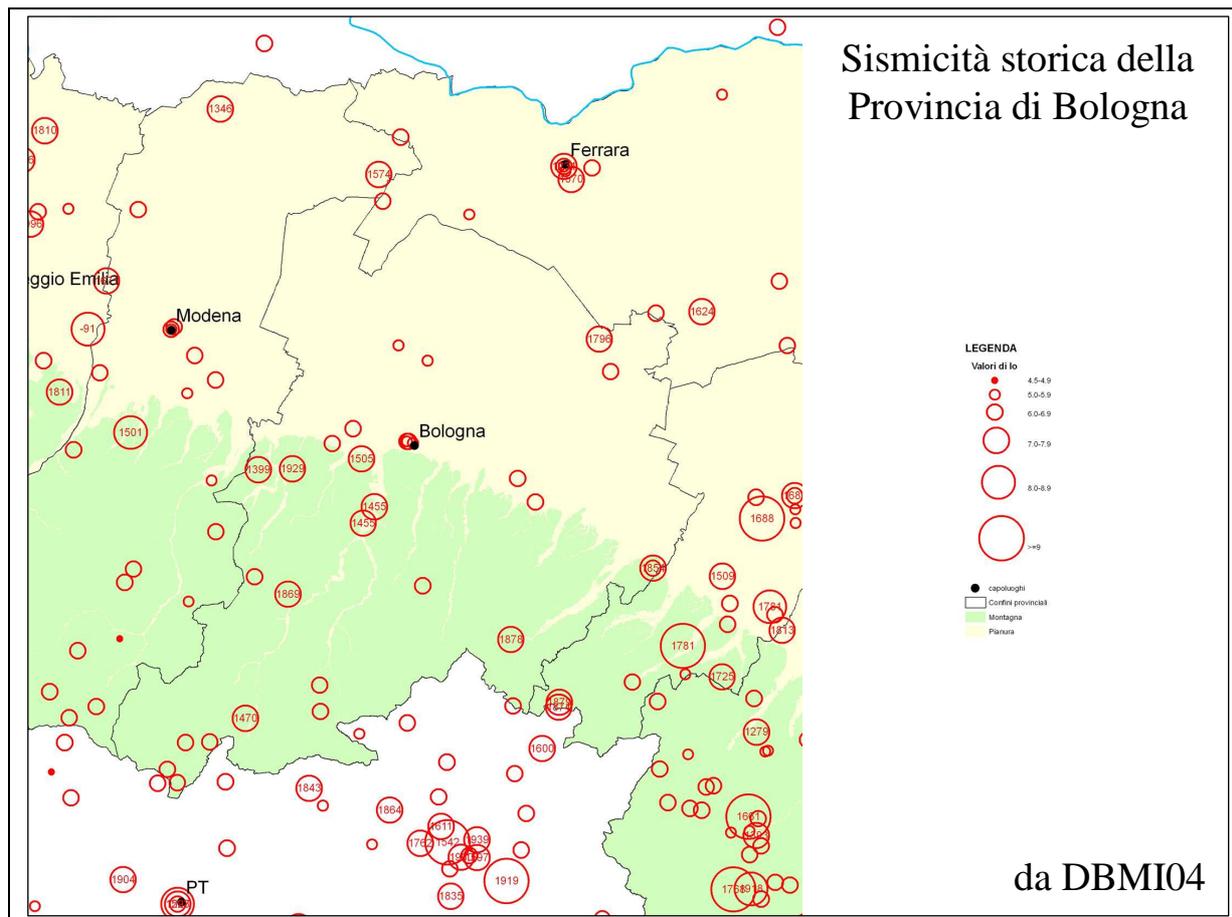


Figura 1: mappa degli epicentri dei principali terremoti storici che hanno interessato il territorio provinciale di Bologna (da Stucchi et al., 2007).

Per questi motivi, secondo la vigente classificazione sismica nazionale (OPCM 3274/2003), i comuni bolognesi dei bacini del Sillaro e del Santerno sono classificati in zona 2 mentre tutti gli altri comuni della Provincia sono classificati in zona 3 (v. fig. 2 e tab. 1).

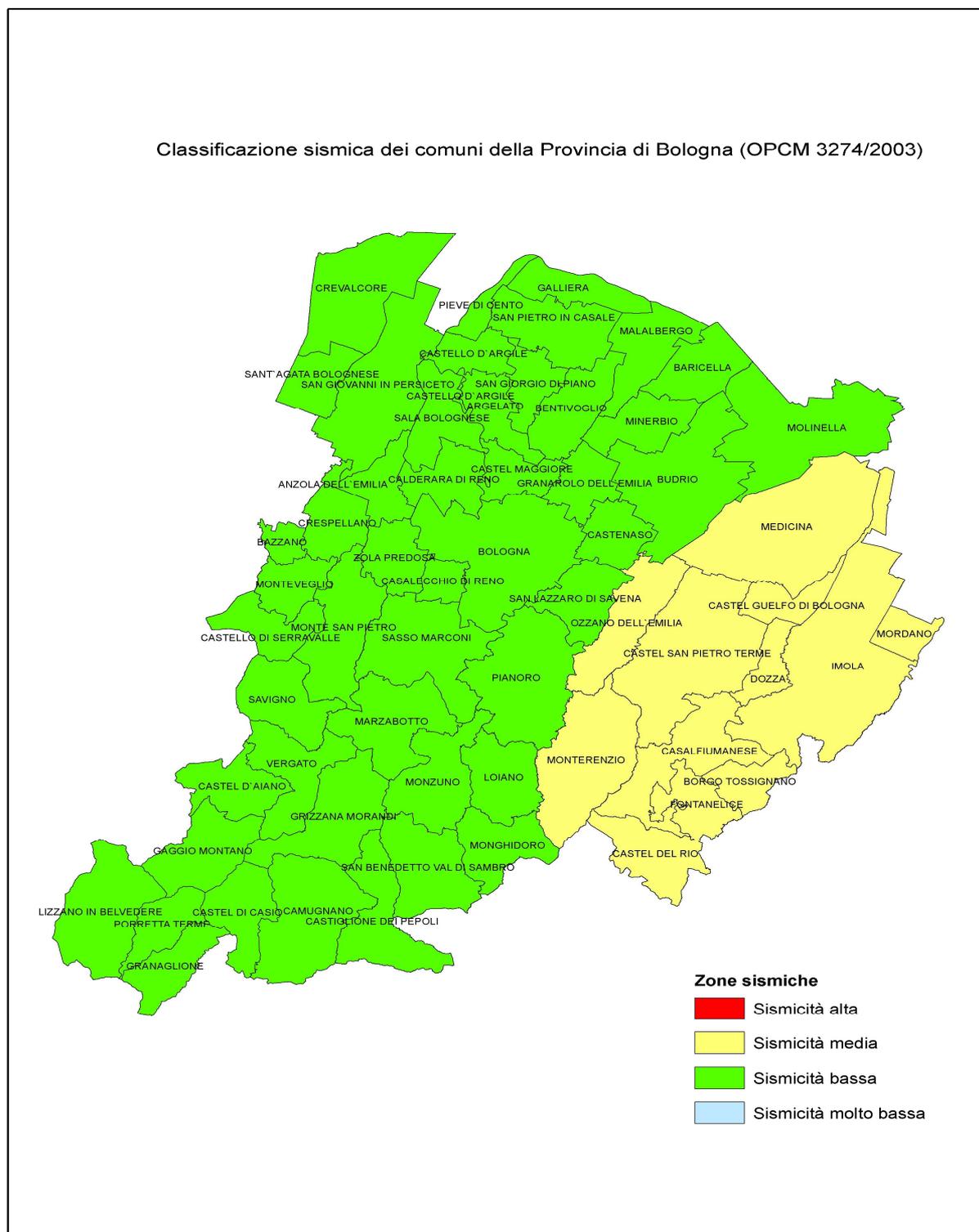


Figura 2: attuale classificazione sismica dei comuni della Provincia di Bologna (OPCM 3274/2003).

Tabella 1

Comune	Anno di prima classificazione	Categoria secondo la classificazione precedente	Zona ai sensi della vigente classificazione (OPCM 3274/2003)
Borgo Tossignano	1983	II	2
Casalfiumanese	1983	II	2
Castel del Rio	1983	II	2
Castel Guelfo di Bologna	1983	II	2
Castel San Pietro Terme	2003	N.C.	2
Dozza	1983	II	2
Fontanelice	1983	II	2
Imola	1983	II	2
Medicina	1983	II	2
Monterenzio	1983	II	2
Mordano	1983	II	2
Ozzano dell'Emilia	2003	N.C.	2
Anzola dell'Emilia	2003	N.C.	3
Argelato	2003	N.C.	3
Baricella	2003	N.C.	3
Bazzano	2003	N.C.	3
Bentivoglio	2003	N.C.	3
Bologna	2003	N.C.	3
Budrio	2003	N.C.	3
Calderara di Reno	2003	N.C.	3
Camugnano	2003	N.C.	3
Casalecchio di Reno	2003	N.C.	3
Castel d'Aiano	2003	N.C.	3
Castel di Casio	2003	N.C.	3
Castello d'Argile	2003	N.C.	3
Castello di Serravalle	2003	N.C.	3
Castelmaggiore	2003	N.C.	3
Castenaso	2003	N.C.	3
Castiglione dei Pepoli	2003	N.C.	3
Crespellano	2003	N.C.	3
Crevalcore	2003	N.C.	3
Gaggio Montano	2003	N.C.	3
Galliera	2003	N.C.	3
Granaglione	2003	N.C.	3
Granarolo dell'Emilia	2003	N.C.	3
Grizzana Morandi	2003	N.C.	3
Lizzano in Belvedere	2003	N.C.	3
Loiano	2003	N.C.	3
Malalbergo	2003	N.C.	3
Marzabotto	2003	N.C.	3
Minerbio	2003	N.C.	3
Molinella	2003	N.C.	3
Monghidoro	2003	N.C.	3
Monte San Pietro	2003	N.C.	3
Monteveglia	2003	N.C.	3
Monzuno	2003	N.C.	3
Pianoro	2003	N.C.	3
Pieve di Cento	2003	N.C.	3
Porretta Terme	2003	N.C.	3
Sala Bolognese	2003	N.C.	3
San Benedetto Val di Sambro	2003	N.C.	3
San Giorgio di Piano	2003	N.C.	3
San Giovanni in Persiceto	2003	N.C.	3
San Lazzaro di Savena	2003	N.C.	3

San Pietro in Casale	2003	N.C.	3
Sant'Agata Bolognese	2003	N.C.	3
Sasso Marconi	2003	N.C.	3
Savigno	2003	N.C.	3
Vergato	2003	N.C.	3
Zola Predosa	2003	N.C.	3

Tabella 1: classificazione sismica vigente (OPCM 3274/2003) dei comuni della Provincia di Bologna.

In tabella 2 e figura 3 sono indicati, in maniera sintetica, i principali terremoti storici che hanno interessato le località più significative dal punto di vista della storia sismica.

Questi dati indicano che la sismicità d'interesse ai fini della valutazione del rischio sismico non è omogeneamente diffusa nel territorio provinciale ma si concentra principalmente lungo il margine appenninico-padano e nel settore appenninico, in particolare nel settore orientale, e nel settore di pianura a nord-est.

La distribuzione della sismicità dipende infatti dalla presenza nella crosta terrestre, indicativamente nei primi 40 km di profondità, di strutture geologiche capaci di generare terremoti.

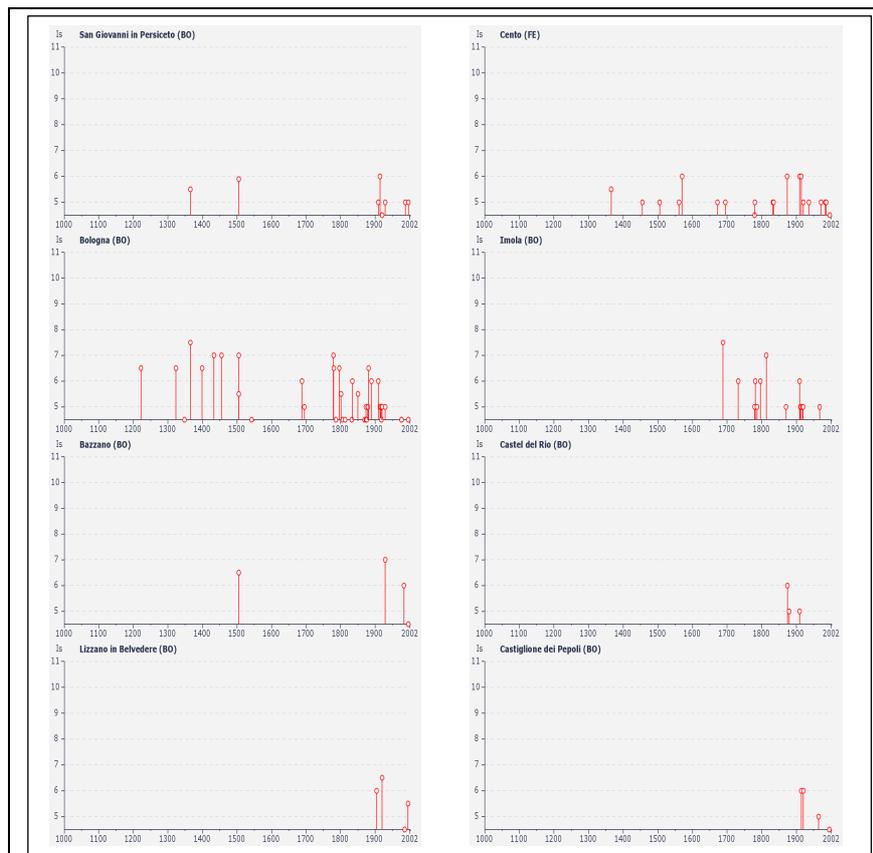


Figura 3: rappresentazione grafica delle storie sismiche più importanti ($I_{MCS} > IV-V$) del bolognese (cfr tab. 1) (da Stucchi et al., 2007).

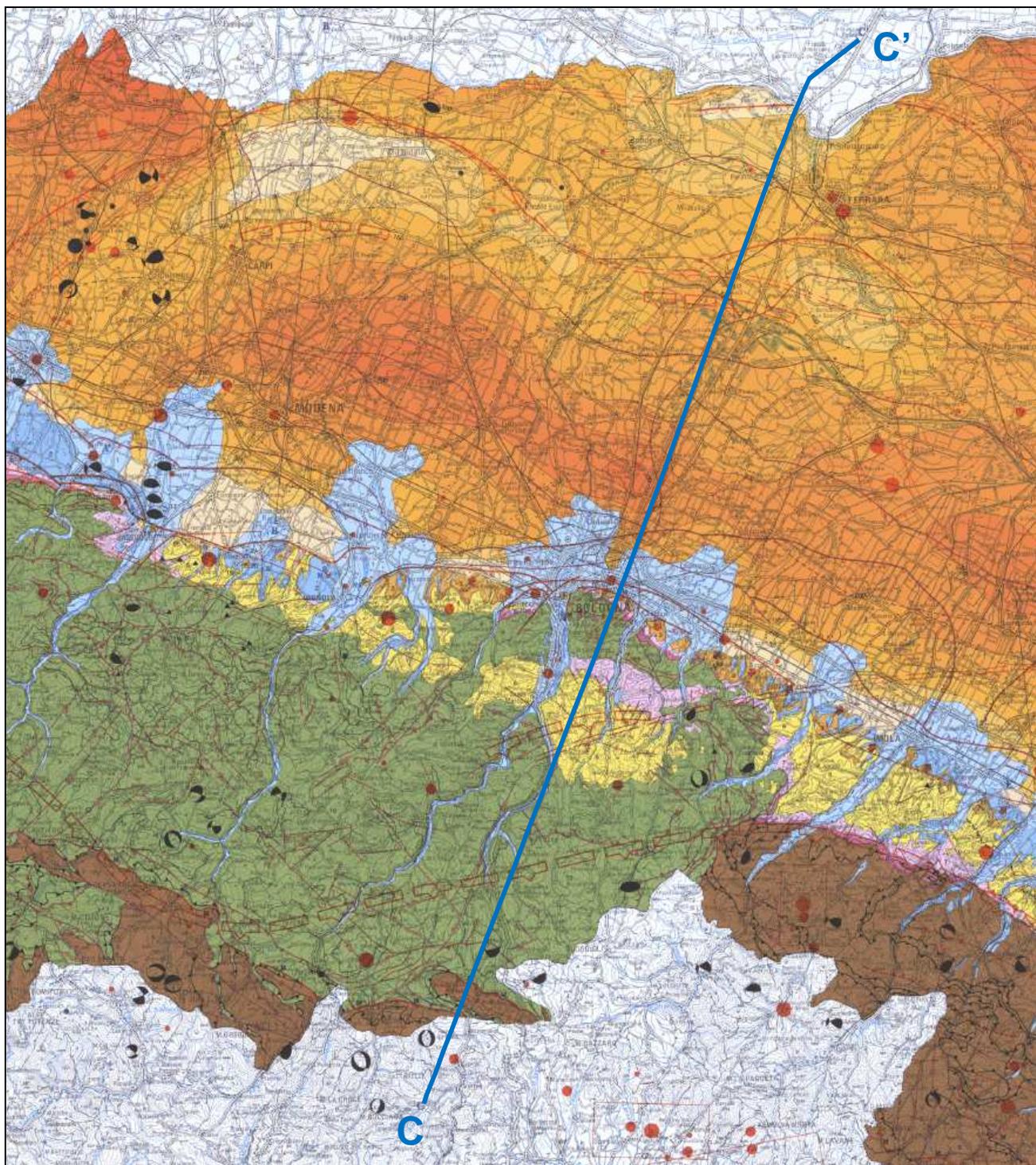
Tabella 2

BAZZANO				CENIO(FE)			
Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw	Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw
7	1929/04/20	Bolognese	8 5.55	6	1570/11/17	Ferrara	8 5.48
6-7	1505/01/03	Bologna	7 5.47	6	1873/09/17	Liguria orientale	6-7 5.52
6	1983/11/09	Parnese	7 5.10	6	1909/01/13	Bassa Padana	6-7 5.53
				6	1914/10/27	Garfagnana	7 5.79
				5-6	1365/07/25	Bologna	7-8 5.03
BOLOGNA				IMOLA			
Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw	Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw
7-8	1365/07/25	Bologna	7-8 5.03	7-8	1688/04/11	Romagna	9 5.88
7	1433/05/04	Bologna	7 5.03	7	1813/09/21	Romagna centrale	7 5.32
7	1455/12/20	Meda valle del Reno	7-8 5.18	6	1732/08/09	Faenza	6 4.83
7	1505/01/03	Bologna	7 5.47	6	1781/07/17	Romagna	8 5.53
7	1779/06/04	Bolognese	7 4.97	6	1796/10/22	Emilia orientale	7 5.63
6-7	1222/12/25	Basso bresciano	9 6.05	6	1909/01/13	Bassa Padana	6-7 5.53
6-7	1323/02/25	Bologna	6-7 4.63	LIZZANO IN BELVEDERE			
6-7	1399/07/20	Modenese	7 5.40	Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw
6-7	1780/02/06	Bolognese	6-7 4.85	6-7	1920/09/07	Garfagnana	10 6.48
6-7	1796/10/22	Emilia orientale	7 5.63	6	1904/06/10	Frignano	7 5.08
6-7	1881/01/24	Bolognese	7 5.14	5-6	1995/08/24	Appennino bolognese	6 4.67
6	1688/04/11	Romagna	9 5.88	MOLINELLA			
6	1834/10/04	Bologna	6 4.63	Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw
6	1889/08/08	Bologna	6 4.83	6-7	1909/01/13	Bassa Padana	6-7 5.53
6	1909/01/13	Bassa Padana	6-7 5.53	6	1898/01/16	Romagna settent.	7 5.03
5-6	1505/05/15	Bologna	5-6 4.63	MONGHIDORO*			
5-6	1801/10/08	Bologna	5-6 4.63	Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw
5-6	1850/09/18	Modena	6 4.83	6	2018/09/14	Appennino bolognese	7 5.3
CASIEL DEL RIO				SANGIOVANNI IN PERSICEIO			
Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw	Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw
6	1874/10/07	Imolese	7 4.99	5-6	1365/07/25	Bologna	7-8 5.03
CASILGIONE DEI PEPOLI							
Is	AnnoMG	Area epicentrale	Ix Mw				
6	1914/10/27	Garfagnana	7 5.79				
6	1920/09/07	Garfagnana	10 6.48				

Tabella 2: storie sismiche più significative ($I_{MCS} > V$) del territorio bolognese (da Stucchi et al., 2007); Is: intensità macrosismica al sito; Ix: intensità macrosismica nell'area epicentrale; Mw: magnitudo momento. Le informazioni relative al terremoto del 14/09/2003 derivano dal rapporto finale "Rilievo macrosismico degli effetti prodotti dalla sequenza sismica iniziata il 14 settembre 2003" a cura di QUEST disponibile nel sito web:
http://portale.ingv.it/portale_ingv/real-time-monitoring/quest/appennino-bolognese-14-09-2003.

I dati sismologici e geologico-strutturali disponibili (v. Boccaletti et al., 2004, DISS Working Group, 2010, Castello et al., 2002, e rif. bibl.) permettono di associare la sismicità del territorio bolognese alle strutture geologiche attive note (vedi Figg. 4, 5, 6 e 7).

Figura 4: mappa di inquadramento sismotettonico del territorio bolognese (da Boccaletti et al., 2004); per la legenda v. figura 5.



Legenda:

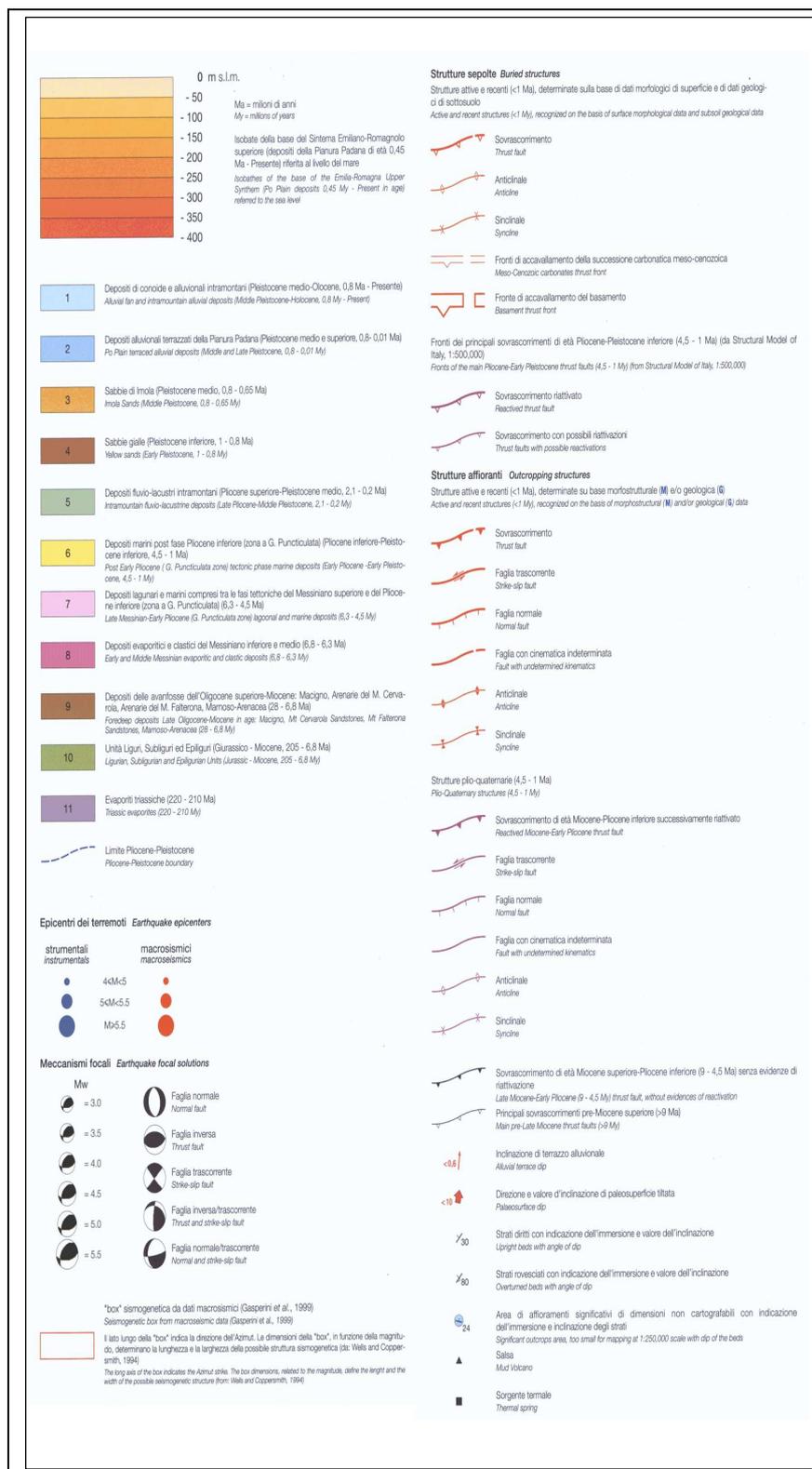


Figura 5: legenda della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (Boccaletti et al., 2004);

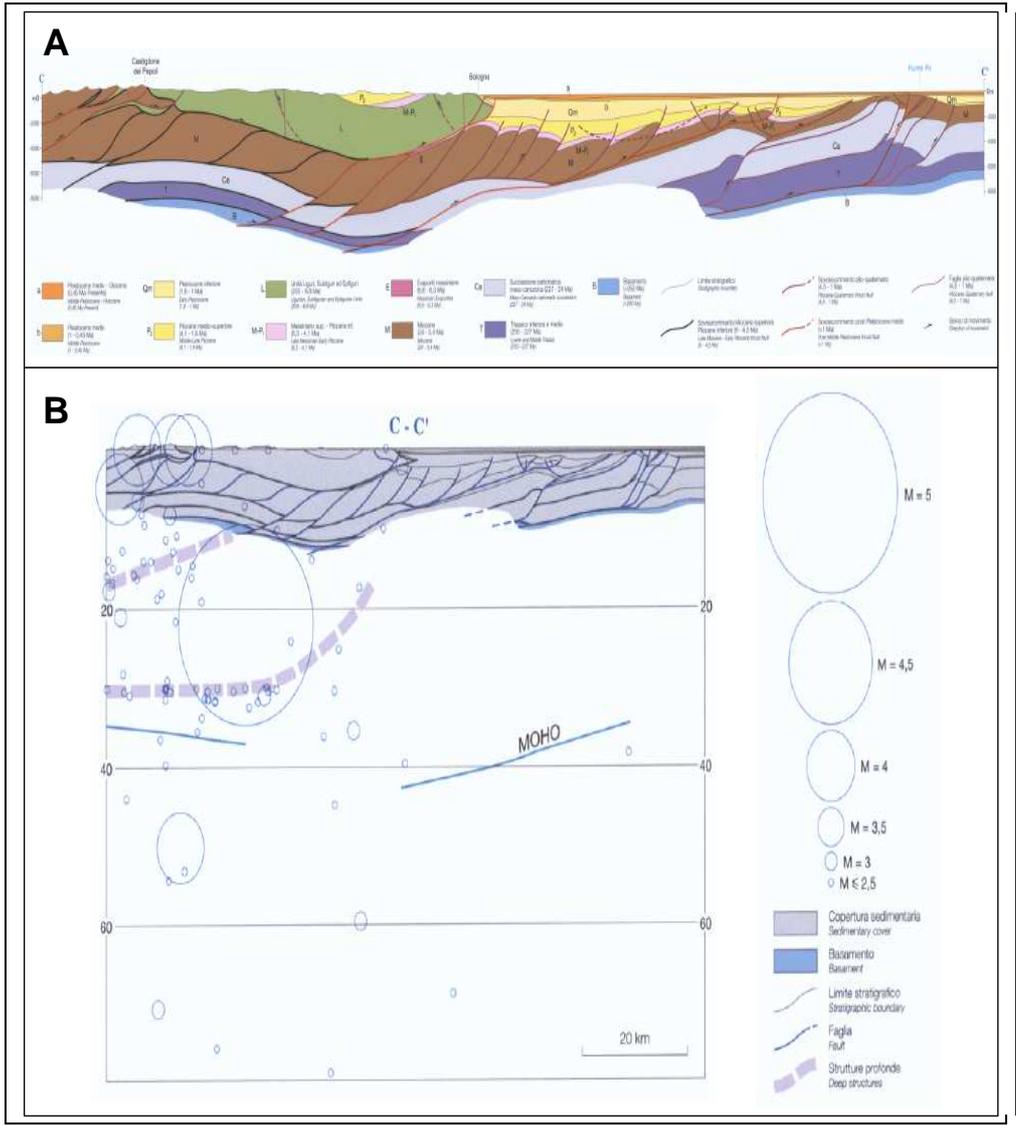


Figura 6: A) sezione geologica dal crinale toscano-emiliano al Po; B) proiezione sulla sezione sopra degli ipocentri strumentali (da CSI01) ricadenti entro una fascia di 20 km (da Boccaletti et al., 2004).

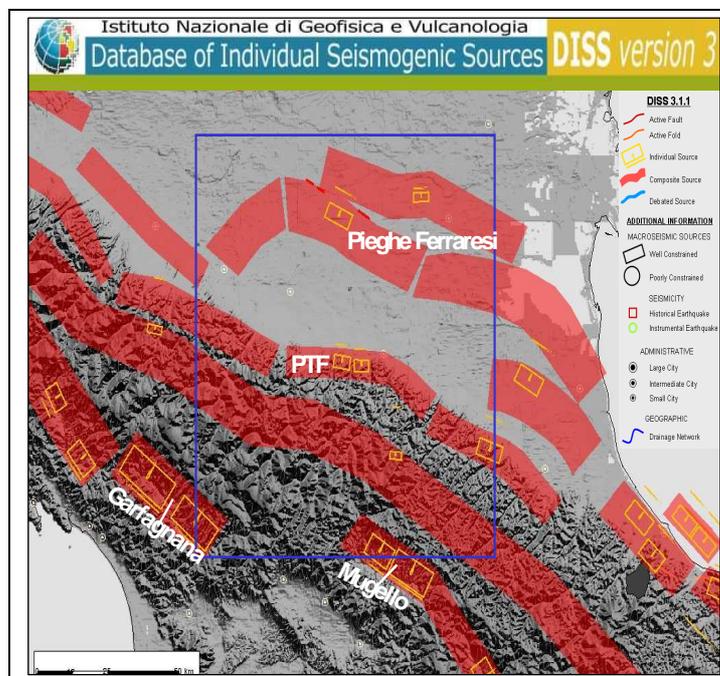
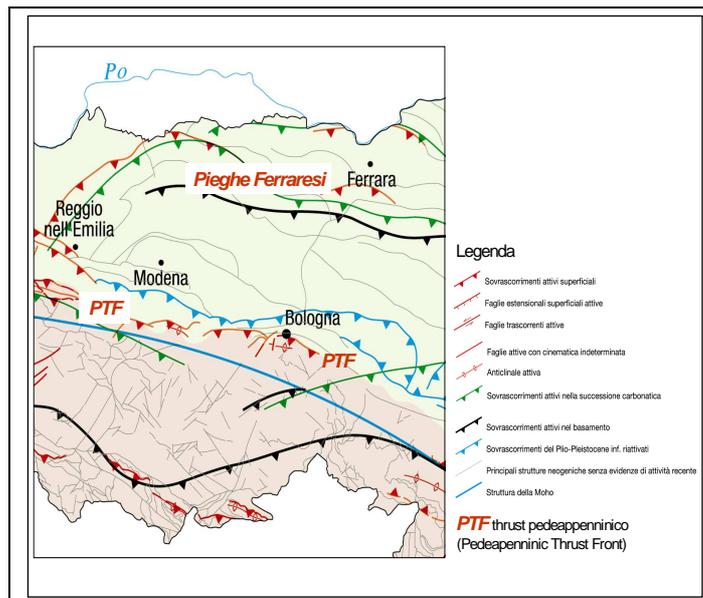


Figura 7:A) localizzazione delle principali strutture geologiche attive d'interesse nell'area bolognese (da Boccaletti et al., 2004);
 B) zone con sorgenti sismogenetiche d'interesse nell'area emiliano-romagnola (da DISS Working Group, 2010).

Nella zona del margine appenninico-padano si registrano terremoti prevalentemente compressivi e trascorrenti, sia superficiali (< 10 km) che profondi (anche oltre 35 km). La sismicità più superficiale è presumibilmente legata all'attività del thrust pedeapenninico (PTF in fig. 7) mentre quella a maggiori profondità è dovuta a faglie attive nel basamento, il cui fronte è costituito dalle strutture padane sepolte; in particolare, per il settore padano centro-orientale, tale fronte è costituito dalle Pieghe Ferraresi, serie di faglie che formano una dorsale arcuata che si estende da Reggio Emilia, al Po e quindi fino a Ravenna.

Anche i terremoti dell'Appennino sono presumibilmente dovuti all'attività

di varie strutture, attive a diversa profondità. I terremoti più profondi, oltre i 10 - 12 km, generati quindi da strutture attive nel basamento, sono per lo più di tipo compressivo; i terremoti più superficiali sono invece di tipo estensionale, e sono quindi presumibilmente originati dalle faglie normali e trascorrenti attive che interessano soprattutto la parte superiore della crosta, cioè la copertura sedimentaria del basamento.

La sismicità della zona nord-orientale, settore di pianura adiacente alla Romagna, uno dei territori sismicamente più attivi della regione, sembra essere dovuta principalmente all'attività delle Pieghe Ferraresi. Anche la restante parte della pianura, sebbene in misura minore, ha risentito e risente dell'attività dell'arco ferrarese.

L'alto Appennino e la pianura sono esposti anche all'attività di zone sismogenetiche extraregionali, quali la Garfagnana e il Mugello e l'area sudalpina.

In queste zone sono infatti avvenuti terremoti di elevata magnitudo ($M > 6$) che hanno causato risentimenti importanti anche nell'area bolognese. In particolare, i terremoti del 1919 in Mugello e del 1920 in Garfagnana hanno provocato danni diffusi lungo tutto il crinale tosco-emiliano mentre il terremoto del 1222 nel basso bresciano (margine sud-alpino) ha provocato forti risentimenti in tutta la Pianura Padana.

Per maggiori informazioni sul quadro sismotettonico si rimanda alla "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (Boccaletti et al., 2004) disponibile anche nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale, www.regione.emilia-romagna.it/geologia e al "Database of Individual Seismogenetic Sources" (DISS Working Group, 2010) consultabile nel sito web dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, www.ingv.it.

Le caratteristiche sismotettoniche, la frequenza, il tipo e l'energia dei terremoti sono gli elementi principali che concorrono a determinare la pericolosità sismica di base di un'area.

Per una stima probabilistica di tale pericolosità il riferimento principale è costituito dalla Carta di pericolosità sismica (edizione 2004) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 2005, in cui sono indicati i valori di accelerazione di picco (a_g) al suolo di riferimento (suolo A delle NTC 2008) per tutto il territorio nazionale, per vari tempi di ritorno; in figura 8 è rappresentata la mappa relativa all'Emilia-Romagna e aree limitrofe per un tempo di ritorno di 475 anni, pari ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Nel sito web dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, www.ingv.it, sono disponibili anche tutti i dati puntuali di a_g utilizzati per il calcolo della pericolosità sismica, secondo una maglia di punti equidistanti $0,05^\circ$ e $0,02^\circ$.

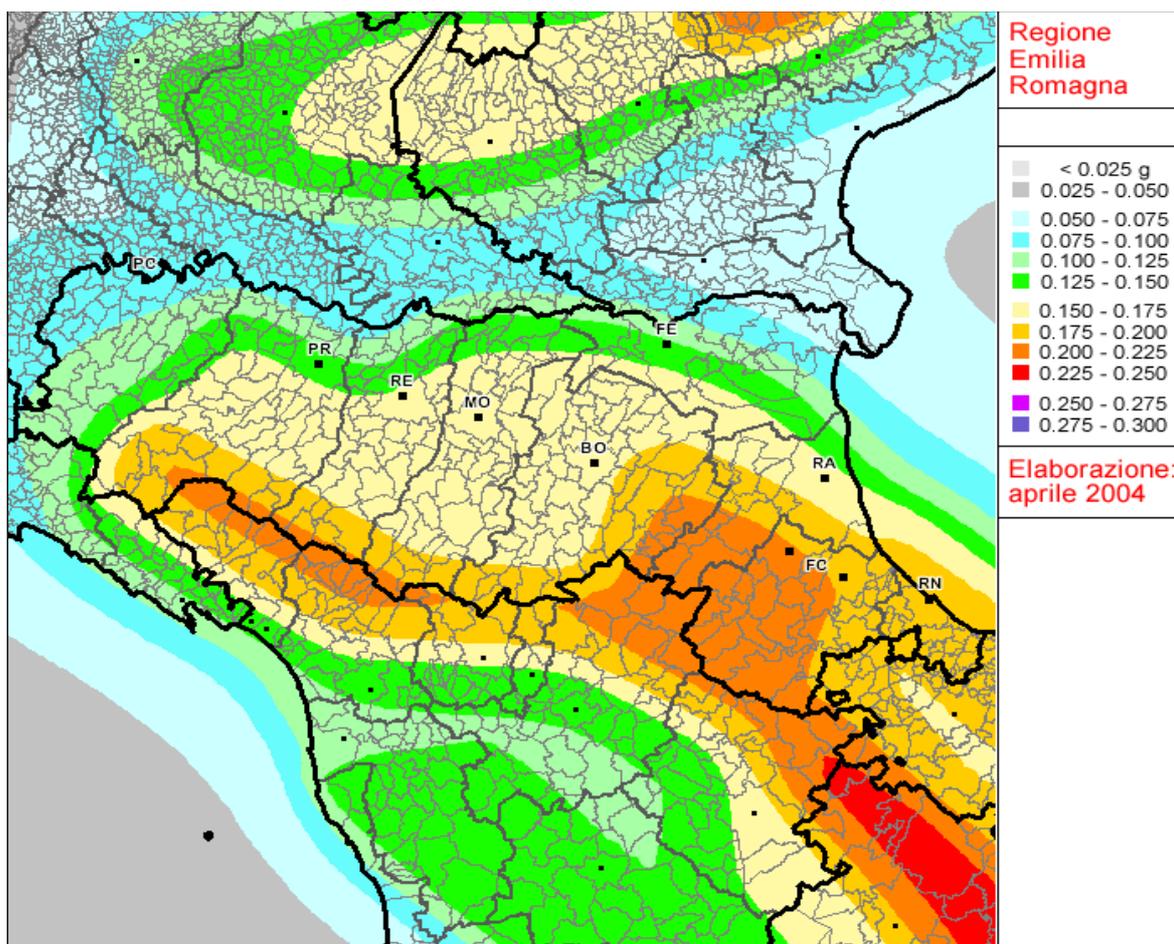


Figura 8: mappa di pericolosità sismica (da www.ingv.it; OPCM 3519/2006); classi di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Nella Tabella 3 sono riportati i valori di a_g , per un tempo di ritorno di 475 anni, per ogni comune della Provincia, tratti dall'Allegato A4 della deliberazione di Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2/5/2007.

Comune	a_g
Anzola dell'Emilia	0.163
Argelato	0.161
Baricella	0.161
Bazzano	0.163
Bentivoglio	0.161
Bologna	0.166
Borgo Tossignano	0.206
Budrio	0.174
Calderara di Reno	0.165
Camugnano	0.181
Casalecchio di Reno	0.164
Casalfiumanese	0.207
Castel d'Aiano	0.161
Castel del Rio	0.205
Castel di Casio	0.185
Castel Guelfo di Bologna	0.195
Castel Maggiore	0.166

Castel San Pietro Terme	0.199
Castello d'Argile	0.158
Castello di Serravalle	0.161
Castenaso	0.175
Castiglione dei Pepoli	0.191
Crespellano	0.163
Crevalcore	0.157
Dozza	0.205
Fontanelice	0.207
Gaggio Montano	0.181
Galliera	0.156
Granaglione	0.200
Granarolo dell'Emilia	0.170
Grizzana Morandi	0.164
Imola	0.205
Lizzano in Belvedere	0.188
Loiano	0.171
Malalbergo	0.157
Marzabotto	0.161
Medicina	0.185
Minerbio	0.162
Molinella	0.163
Monghidoro	0.176
Monte San Pietro	0.163
Monterenzio	0.180
Monteveglia	0.163
Monzuno	0.166
Mordano	0.192
Ozzano dell'Emilia	0.183
Pianoro	0.169
Pieve di Cento	0.158
Porretta Terme	0.193
Sala Bolognese	0.161
San Benedetto Val di Sambro	0.168
San Giorgio di Piano	0.161
San Giovanni in Persiceto	0.161
San Lazzaro di Savena	0.172
San Pietro in Casale	0.158
Sant'Agata Bolognese	0.159
Sasso Marconi	0.162
Savigno	0.160
Vergato	0.160
Zola Predosa	0.163

Tabella 3 - valori di a_g (accelerazione al suolo) per i comuni della Provincia di Bologna (da Allegato 4 alla Delibera di Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112/2007) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

1.1. I Terremoti dell'Emilia Romagna del 2012

Nei mesi di maggio-giugno del 2012 il distretto sismico della pianura padana emiliana, comprendente le province di Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia, Bologna e Rovigo, è stato interessato da uno sciame sismico che ha provocato 27 vittime, centinaia di feriti, 15000 senza tetto, gravi danni ai centri storici ed alle aree industriali. La maggioranza dei decessi è avvenuta a causa di crolli di strutture di capannoni industriali ed artigianali.

La sequenza sismica ha incluso due eventi principali (mainshock). Il primo (con epicentro lat. 44°53'23" e long 11°13'47") è avvenuto nella notte del 20/05/2012 alle 02.03 GMT (04.03 CEST), con delle forti scosse dalla durata di venti secondi e di magnitudo del momento sismico pari a $M_L = 5.9$, che hanno colpito la Pianura Padana, tra Mirandola e Finale Emilia nella Provincia di Modena e Sant'Agostino nella Provincia di Ferrara; l'epicentro è risultato ad una profondità di circa 6.3 Km. Nella stessa giornata, sono stati rilevati altri 2 terremoti con magnitudo $M_L > 5$.

Il secondo evento principale è avvenuto il 29 maggio alle 7:00 GMT (09:00 CEST) con delle forti scosse di magnitudo $M_L = 5.8$ (lat. 44°51'03" e long. 11°05'09"). Le scosse sono state avvertite in tutta l'Italia Settentrionale, creando panico e disagi in molte città come Ferrara, Modena, Reggio Emilia, Bologna, Mantova e Rovigo, Brescia, Piacenza, Parma, Verona, Padova, Vicenza, Venezia e Milano; l'epicentro è stato localizzato nella zona compresa fra Mirandola, Medolla e San Felice sul Panaro, con ipocentro ad una profondità di circa 10.2 Km. Il secondo shock ha determinato il crollo definitivo di molti edifici già lesionati dalla scossa precedente.

La scossa del 29 maggio è stata localizzata a circa 10km in direzione

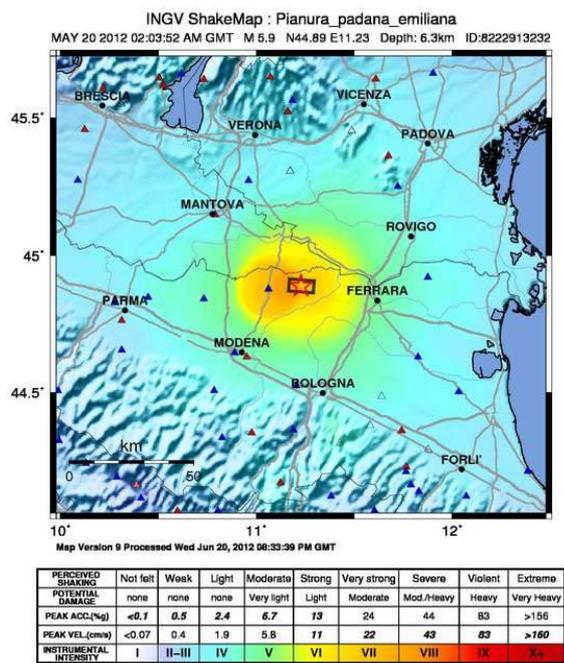


Figura 1 Localizzazione del terremoto del 20 maggio 2012 Da: <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive>

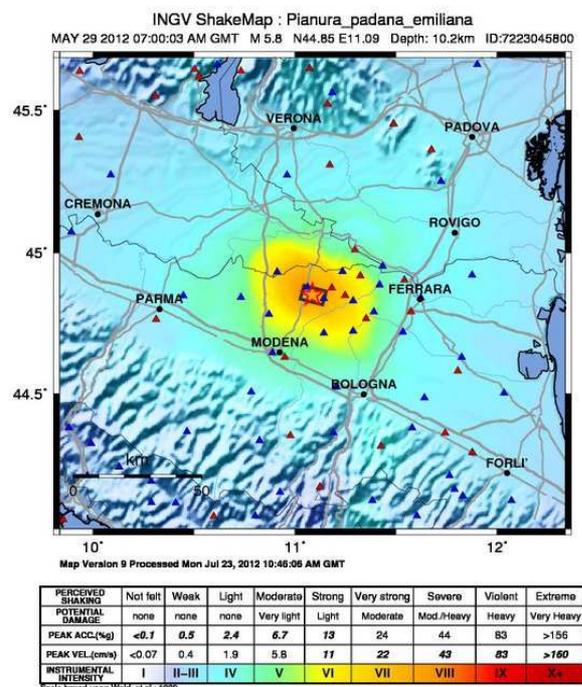


Figura 2 Localizzazione del terremoto del 29 maggio 2012 Da: <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/archive/>

Ovest Sud Ovest rispetto alla prima scossa del 20 maggio. L'area, dove si sono verificate le scosse di assestamento (aftershock), si estende in direzione Est – Ovest per più di 50 Km e circa 15 Km in direzione Nord – Sud e comprende diverse scosse con ML > 5.

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo
2012-05-29 11:00:25.000	44.879	10.947	5.04	5.02
2012-05-29 11:00:02.000	44.873	10.950	11.00	4.09
2012-05-29 10:55:57.000	44.888	11.008	6.08	5.03
2012-05-29 08:27:23.000	44.854	11.106	10.00	4.07
2012-05-29 08:25:51.000	44.901	10.943	3.02	4.05
2012-05-29 07:00:03.000	44.851	11.086	10.02	5.08
2012-05-20 17:37:14.000	44.876	11.382	3.02	4.05
2012-05-20 13:18:02.000	44.831	11.490	4.07	5.01
2012-05-20 03:02:50.000	44.860	11.095	10.00	4.09
2012-05-20 02:07:31.000	44.863	11.370	5.00	5.01
2012-05-20 02:06:30.000	44.886	11.189	7.07	4.08
2012-05-20 02:03:52.000	44.889	11.228	6.03	5.09

Tab. 1 Lista delle repliche con magnitudo ML > 4.0 per un'area attorno al Comune di Mirandola di 40Km. Da <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp/>

L'area interessata dalla sequenza del maggio 2012 è caratterizzata da una modesta sismicità storica. Le informazioni storiche, riportate nei cataloghi più recenti (CatalogoCPTI11, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>) non riportano eventi significativi, con la sola eccezione di un forte evento occorso nel ducato di Ferrara, sviluppatosi tra il 16 e il 17 novembre 1570 con magnitudo VIII MCS, in un area distante circa 30Km dalla zona colpita dagli eventi sismici del maggio 2012.

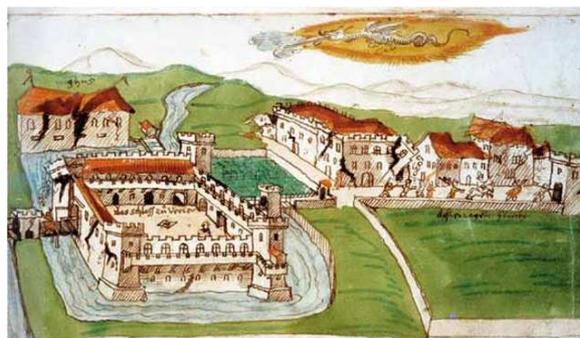


Figura 3 Il terremoto a Ferrara del 1570

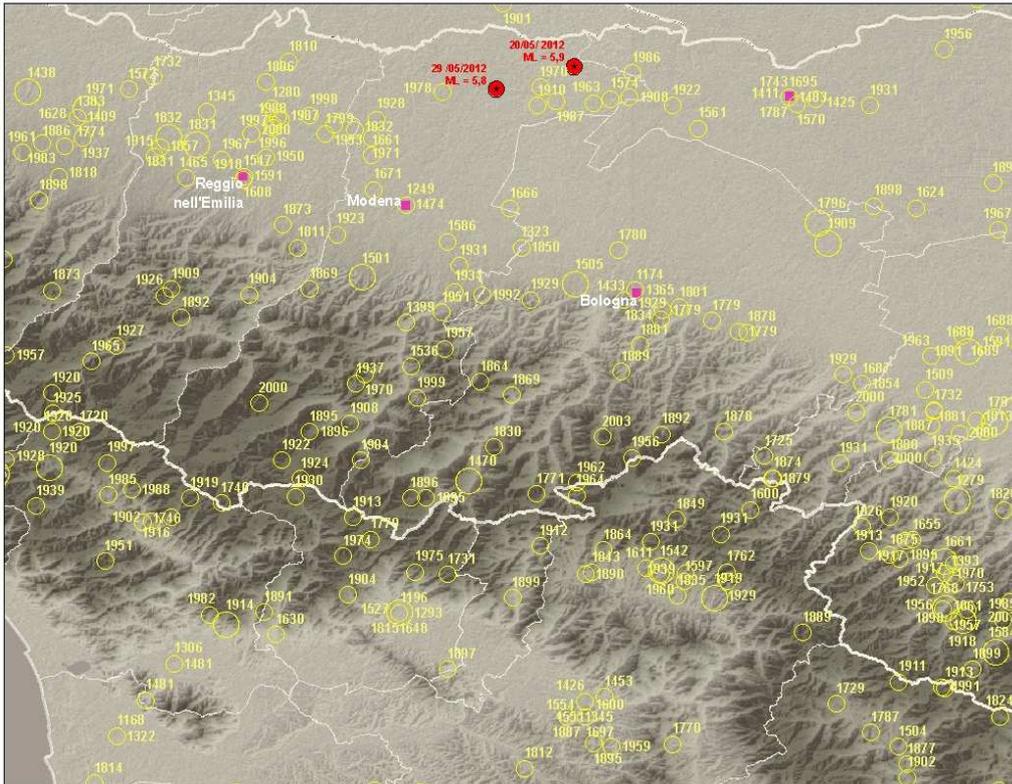


Figura 4

Localizzazione della zona interessata dagli eventi simili del maggio 2012

Localizzazione dei terremoti a partire dal anno 1000.

La dimensione dei cerchi è proporzionale alla magnitudo

L'area epicentrale della sequenza Emilia 2012 cade nella parte meridionale della Pianura Padana, a circa 40 km a nord dei contrafforti dell'Appennino settentrionale. L'Appennino settentrionale, delimitato a nord ovest dalla linea Sestri-Voltaggio (nella quale si trovano unità tettoniche di pertinenza alpina), ed a sud est dalla linea

Ancona-Anzio (che divide l'Appennino settentrionale dall' Appennino centrale), è una catena a thrusts facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per la collisione tra la placca africana e quella europea e l'apertura del Mediterraneo occidentale.

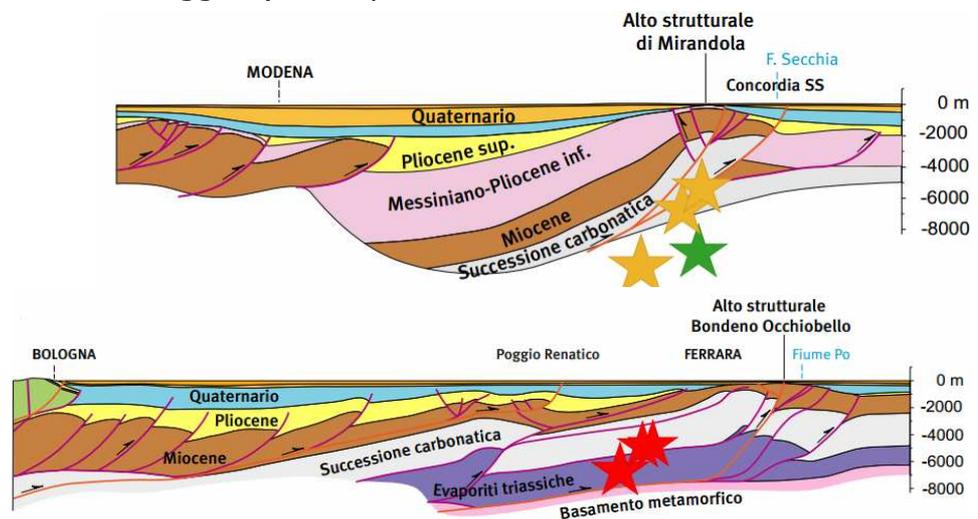


Figura 5

Sezioni geologiche attraverso la pianura modenese e bolognese: le stelle rappresentano la proiezione degli Ipocentri con ML > 5. Le dimensioni dei simboli sono proporzionali alla magnitudo. Da Terremoto 2012 - geologia, rilievi agibilità, analisi dei danni. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia- Romagna

Il limite della catena appenninica non coincide con il limite morfologico

catena/pianura, ma prosegue sotto i sedimenti quaternari padani per terminare all'incirca all'altezza del Po. Nella Pianura Padana Emiliana si possono distinguere tre strutture principali ad arco, costituite dai thrust più avanzati della catena appenninica. Da ovest a est: l'arco del Monferrato, l'arco Emiliano (Mirandola) e l'arco di Ferrara. Quest'ultimo si può suddividere in tre gruppi minori, più precisamente: le pieghe ferraresi, le pieghe romagnole e più ad est le pieghe adriatiche, che costituiscono il vero fronte esterno della catena appenninica.

Lo scorrimento delle masse rocciose avviene lungo orizzonti che generalmente corrispondono a strati caratterizzati da un comportamento più plastico rispetto le rocce sovrastanti o sottostanti. Nel caso dello sciame sismico del maggio-giugno 2012, l'orizzonte di scollamento è dato dalle evaporiti triassiche alla base della sequenza meso-cenozoica (250-300 milioni di anni) sovrastanti il più antico basamento metamorfico.

Una sintesi di queste conoscenze è descritta nella Zonazione Sismogenetica ZS9 (zona 912).

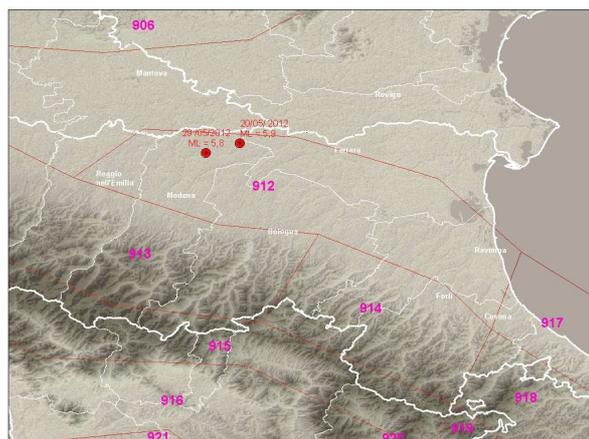


Figura 6 Zonazione Sismogenetica ZS9 – zona 912. Da Meletti e Valensise, 2004

Le misure effettuate dalla stazione di Mirandola, facente parte della Rete Accelerometrica Nazionale (dove si registrano le

risposte del territorio italiano ai terremoti, in termini di accelerazione al suolo), posta ad una distanza dall'epicentro dell'evento sismico del 29 maggio, di circa 2 Km, ha misurato un'accelerazione di 900 cm/s² sulla componente verticale e più di 200 cm/s² sulle componenti orizzontali.

UFFICIO RISCHIO SISMICO E VULCANICO
SERVIZIO MONITORAGGIO SISMICO DEL TERRITORIO
RAN - RETE ACCELEROMETRICA NAZIONALE



Terremoto del 29 Maggio 2012 ore 07:00:03 (UTC) MI= 5.8 - Pianura Padana

sta	chan	Lat.	Long.	dist (INGV) km	Td s	PGA cm/s ²	PGV cm/s	PGD cm	PSA03 cm/s ²	PSA10 cm/s ²	PSA30 cm/s ²	Location
MRN	HGE	44.878231	11.061743	4	53	220	29	8.7	500	170	81	Mirandola
MRN	HGN	44.878231	11.061743	4	53	290	57	17	700	370	150	Mirandola
MRN	HGZ	44.878231	11.061743	4	10	900	28	10	370	91	30	Mirandola

Figura 7 Report della stazione RAN di Mirandola

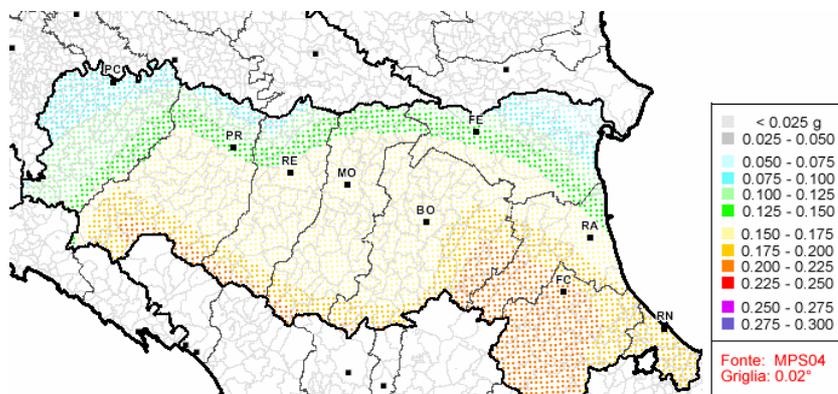


Figura 8 Mappe di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50anni, riferita a suoli rigidi (Vs > 800 m/s e Categoria A). Da <http://mi.ingv.it/>

La mappa di pericolosità sismica, per la stessa area, prevede che le accelerazioni di riferimento attese, siano dell'ordine del 15% dell'accelerazione di gravità. Da ciò si evince che l'aumento dello scuotimento registrato in superficie, rispetto a quello atteso, dipende dalle caratteristiche locali del sottosuolo. Esistono quindi fattori che modificano in ampiezza, in frequenza ed in durata lo scuotimento sismico. Tali fattori sono legati alle specifiche condizioni litostratigrafiche e morfologiche di un sito. Sedimenti alluvionali recenti, depositi lacustri e marini, accumuli detritici e rocce intensamente fratturate provocano amplificazione del moto sismico. Anche particolari morfologie (picchi isolati, creste, dorsali) possono provocare un aumento dello scuotimento.

Misure di vibrazioni ambientali HVSAR (Horizontal Vertical Spectral Ratio), condotte nella Pianura Emiliana, mostrano picchi di amplificazione delle curve H/V attorno ad 0.8 Hz distribuiti in maniera abbastanza uniforme ed a 0.3 Hz. La prima è legata alla risonanza dei terreni fini sovrastanti uno strato rigido; mentre la seconda è legata al tetto dei trust sepolti. La frequenza degli 0.8 Hz risulta essere un valore caratteristico che rientra nel campo delle opere di progettazione ingegneristica antisismica: a questa frequenza si possono generare negli edifici di grandi dimensioni (ad esempio capannoni industriali e artigianali) fenomeni di doppia risonanza. La realizzazione di carte delle isofrequenze risulta essere pertanto di fondamentale importanza nella pianificazione territoriale e urbanistica.

L'aumento dello scuotimento sismico nella parte più superficiale del sottosuolo, può provocare fenomeni di densificazione, cedimenti e liquefazione con fuoriuscita di sabbia e limo dal terreno (con tipici crateri e vulcanelli).

Con il termine liquefazione, si indicano fenomeni fisici (liquefazione ciclica, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi granulari saturi durante i terremoti forti ($M > 5.5$), che hanno come elemento comune il fatto che, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, si ha un incremento ed un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. La liquefazione avviene quando si verificano simultaneamente la presenza di caratteristiche "scatenanti" e "predisponenti".

Le condizioni scatenanti che riguardano le caratteristiche dell'azione sismica sono:

- magnitudo > 5.5
- $PGA > 0.15 g$
- durata $> 15-20$ sec

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

- profondità dello strato potenzialmente liquefacibile $< 15-20$ m dal p.c.
- profondità della falda < 5 m
- densità relativa $Dr < 60\%$
- diametro medio $0.02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$
- frazione di fini (diametro



Figura 9 Fenomeno della liquefazione delle sabbie in prossimità dell'argine del Fiume Reno, in Comune di Pieve di Cento

< 0.005 mm) < 15%

Nelle aree interessate dalla sequenza sismica del maggio-giugno del 2012 le caratteristiche predisponenti litologiche ed idrauliche sono ampiamente diffuse e le scosse sismiche hanno avuto l'energia necessaria per innescare il fenomeno della liquefazione.

Gli effetti più devastanti si sono verificati nella Provincia di Ferrara (San Carlo e Mirabello). In provincia di Bologna i fenomeni di liquefazione si sono verificati lungo la SP 13 ed in prossimità dell'argine del Fiume Reno.

La campagna geognostica condotta lungo la Strada Provinciale n. 13, consistita nell'esecuzione di n. 3 CPTU (prove penetrometriche con piezocono) e di n. 3 trivellazioni (che hanno permesso queste ultime di effettuare anche analisi di laboratorio dei terreni interessati), hanno evidenziato tutti gli elementi predisponenti la liquefazione; nel caso specifico sono state individuate sabbie fini da circa 2,00 metri a circa 6,00 metri di profondità, completamente immerse nella falda freatica superficiale.

Sulla base di quanto precedentemente esposto appare chiara l'importanza che viene svolta dalla realizzazione di carte di microzonazione sismica di dettaglio a scala comunale. Le conoscenze geologiche infatti, nel senso più ampio del termine, possono fornire certamente indicazioni utili per la pianificazione territoriale ma anche per la prevenzione nei confronti della pubblica incolumità.

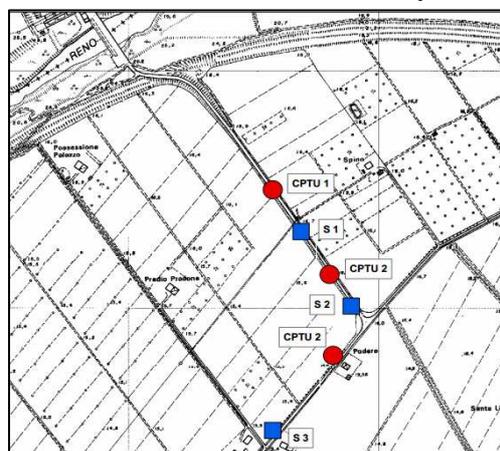


Figura 11 Ubicazione indagini geognostiche SP13 "La Coronella - Ponte Panfilia"

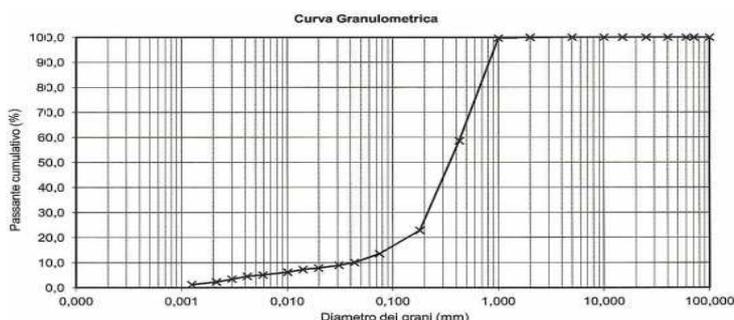


Figura 12 Curva granulometrica di un campione

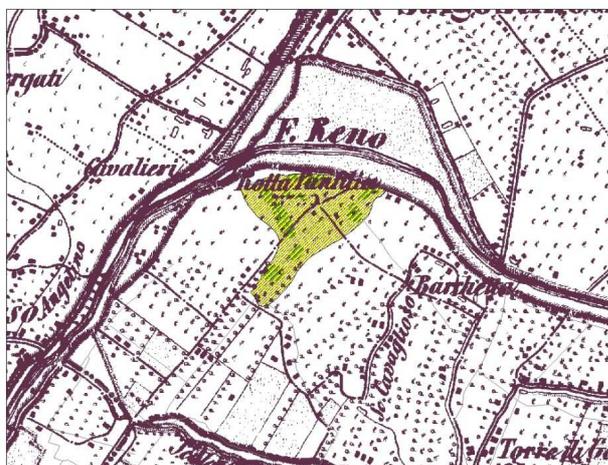


Figura 13 Rilievo dell' area interessata da liquefazione lungo la strada SP13. E' da notare come l'area coincida con una zona di rota del vecchio corso del Reno

2. RAPPRESENTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (A SCALA PROVINCIALE)

Dal capitolo precedente emerge che la pericolosità sismica di base è maggiore nel settore orientale della provincia. Tuttavia, considerando la distribuzione della popolazione e dei beni, dei centri urbani e delle attività economiche (valore espositivo), è evidente che il rischio sismico ha una rilevanza non trascurabile in tutto il territorio provinciale.

Il moto sismico in superficie, oramai è ampiamente risaputo può subire delle modifiche a causa, sia delle particolari condizioni geologiche della parte superiore del sottosuolo e, sia dalle condizioni topografiche presenti.

Alcuni depositi e morfologie, sia sepolte che superficiali, possono infatti modificare l'ampiezza, la frequenza e la durata del moto di input. In particolare, ai fini della riduzione del rischio sismico, interessano le condizioni che possono produrre un tale aumento dello scuotimento. L'amplificazione del moto può anche indurre fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione, fagliazione e/o fratturazione superficiale.

La modificazione del moto sismico e i fenomeni indotti per la presenza di particolari condizioni geologiche e morfologiche locali, sono noti con la definizione di "effetti locali".

E' quindi evidente che la conoscenza della distribuzione sul territorio degli elementi geologici e topografici che possono determinare effetti locali, è uno degli strumenti di maggiore importanza ed efficacia per la riduzione del rischio sismico, in quanto permette di attuare strategie di prevenzione già dalle prime fasi di programmazione territoriale.

Per tali motivi da anni norme nazionali e regionali richiedono la realizzazione di studi per la definizione della pericolosità locale e la microzonazione sismica del territorio a supporto degli strumenti di pianificazione urbanistica nei comuni classificati sismici.

L'OPCM 3274/2003 ha introdotto la nuova classificazione sismica del territorio nazionale (recepita in Emilia-Romagna con DGR 1677/2005). Secondo questa nuova classificazione, tutti i comuni sono considerati sismici e classificati secondo 4 classi a pericolosità sismica decrescente (zona 1: massima pericolosità, zona 4: minima pericolosità) (fig. 2, tab. 1).

Ne consegue che le valutazioni di compatibilità degli strumenti urbanistici con la pericolosità sismica devono essere estese a tutti i comuni.

Ciò ha spinto la Regione Emilia-Romagna a formulare indirizzi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica da realizzare nelle fasi di pianificazione territoriale (deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112 del 2/5/2007).

Tale direttiva regionale riveste particolare importanza sia con riferimento al PTCP che ai Piani comunali in quanto si tratta di "*indirizzi vincolanti per la formazione dei piani territoriali e urbanistici relativi ai Comuni dichiarati sismici, al fine di farli corrispondere alle esigenze di riduzione del rischio sismico*".

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie e concorrere a determinare fenomeni di instabilità del territorio quali cedimenti, franamenti e rotture del terreno.

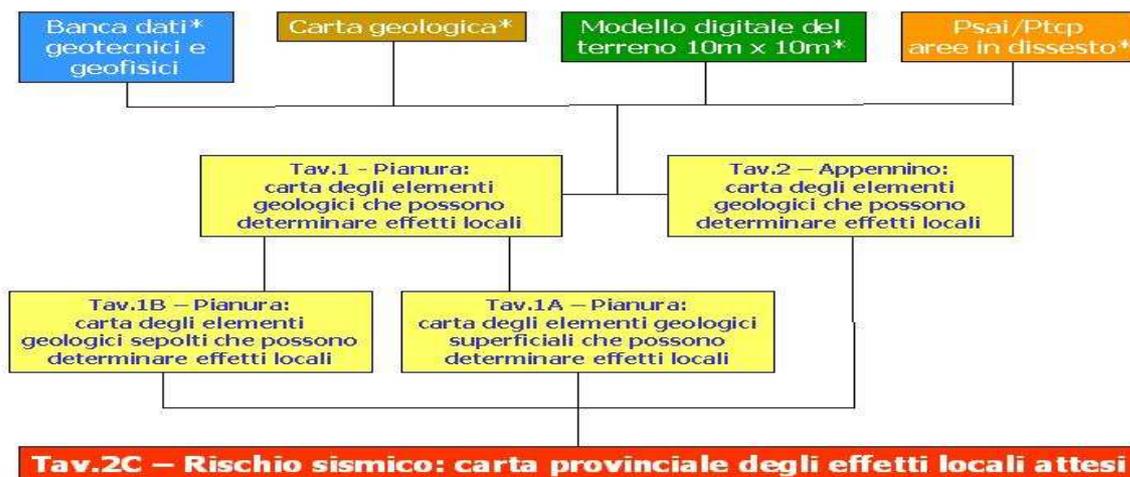
Nella Tabella 4 sono elencati i principali elementi del territorio che concorrono alla pericolosità sismica locale in Emilia-Romagna.

<p>Effetto atteso: AMPLIFICAZIONE</p> <p>Depositi (spessore > 5 m):</p> <p>a) detriti di versante (di frana, di falda, eluvio-colluviali, depositi morenici, depositi da geliflusso, ...)</p> <p>b) detriti di conoide alluvionale</p> <p>c) depositi alluvionali</p> <p>d) accumuli detritici pedemontani (falde di detrito e conici di deiezione)</p> <p>e) depositi fluvio-lacustri</p> <p>f) riperti antropici</p> <p>g) rocce del substrato alterate e/o intensamente fratturate</p> <p>h) litotipi del substrato costituiti da argille poco o mediamente consistenti e da sabbie poco cementate (litotipi caratterizzati da $V_s < 750 \div 800$ m/s)</p> <p>Elementi morfologici (cfr. EC8):</p> <p>- creste, cocuzzoli, dorsale allungate e versanti con acclività > 15° e altezza > 30 m</p> <p>Effetti attesi: AMPLIFICAZIONE E CEDIMENTI</p> <p>- Depositi granulari fini sciolti, nei primi 20 m da p.c., con profondità media stagionale del tetto della falda acquifera minore di 15 m da p.c. (fattori predisponenti al rischio di liquefazione e densificazione)</p> <p>- Depositi (spessore > 5 m) con caratteristiche geo-meccaniche scadenti: terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori $N_{SPT} < 15$ o $c_u < 70$ kpa o $V_{s30} < 180$ m/s</p> <p>- Zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse (comportamenti differenziali)</p> <p>- Cavità sepolte (possibili comportamenti differenziali)</p> <p>Effetto atteso: INSTABILITÀ DEI VERSANTI</p> <p>- Zone instabili: zone direttamente interessate da fenomeni franosi attivi</p> <p>- Zone potenzialmente instabili: zone in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (pendii con acclività > 15° costituiti da accumuli detritici incoerenti o da terreni prevalentemente argillosi o intensamente fratturati; versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio; zone prossime a frane attive; scarpate subverticali; aree detritiche prossime a orli di scarpata)</p>
--

Tabella 4: elementi del territorio emiliano-romagnolo che possono determinare effetti locali (da Allegato A1 della D.A.L. 112/2007).

Le conoscenze territoriali oggi disponibili in Emilia-Romagna, soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche delle indagini geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali.

Grazie all’elaborazione di questi dati di base, tramite GIS, è stato possibile realizzare carte delle aree soggette ad effetti sismici locali in tempi rapidi e a basso costo, secondo lo schema illustrato in Figura 9.



*dati disponibili su tutto il territorio in formato digitale; fonte RER e Provincia

Figura 9: schema per la realizzazione di carte delle aree suscettibili di effetti locali da dati preesistenti (I livello di approfondimento).

3. ELABORAZIONE CARTOGRAFICA

3.1 Criteri cartografici adottati

Di seguito vengono descritte le varie fasi ed i criteri per la realizzazione della cartografia di pericolosità sismica locale, realizzata per questa Variante al PTCP del territorio della Provincia di Bologna.

Il limite pianura – rilievi appenninici, utilizzato ed adottato per la realizzazione delle cartografie tematiche del quadro conoscitivo, è stato ricavato dal Perimetro dei Bacini Montani dal Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PSAI) dell’Autorità di Bacino del Fiume Reno; a questo sono poi state apportate alcune modeste variazioni legate a particolari condizioni morfologiche locali.

Dati di base disponibili ed utilizzati ai fini della presente Variante:

- Banca dati della Carta Geologica dell’Appennino Emiliano-Romagnolo in scala 1:10.000, aggiornata con i dati IFFI.
- Banca dati della Carta geologica di pianura in scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna.
- Cavità ipogee (RER)
- Carta dell’inquadramento degli ambiti morfologici omogenei del territorio provinciale, allegata alla pubblicazione “La Tutela dell’Ambiente – Contributi per una nuova cultura del territorio”. Prov. di Bologna – Assessorato Ambiente 1990.
- Cave e discariche del territorio provinciale (PIAE e PPGR).
- Perimetrazione degli abitati da consolidare o da trasferire (RER).
- PREVAM. (Piani di Recupero e Valorizzazione Ambientale) del territorio provinciale (fonte ARPA e Osservatorio Variante di Valico).
- Modello digitale del terreno con celle di 10 m x 10 m elaborato dalla Provincia di Bologna.
- Banca dati geologiche delle Associazioni/Unioni: Terre di Pianura, Reno Galliera, Valle Idice e Valle Samoggia.

E’ stata inoltre considerata la banca dati del Comune di Bologna relativa al tetto delle ghiaie di conoide realizzata per la Carta di Microzonazione sismica.

3.2 Descrizione delle Tavole del Quadro Conoscitivo

Il Quadro Conoscitivo elaborato per la presente Variante al PTCP è rappresentato dalla Tavola 1 – “**Pianura: carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali** (costituita da un unico Foglio in scala 1:65.000)” e dalla Tavola 2 “**Appennino: carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali** (costituita da n. 7 Fogli complessivi in scala 1:25.000)”.

Si informa che il dettaglio cartografico e l'approfondimento geologico del lavoro, per entrambe le Tavole di Pianura e Appennino, è stato effettuato alla scala 1:25.000.

Settore di pianura

Nel settore di pianura, dove lo spessore dei depositi di copertura è elevato, per evidenziare tutti gli elementi geologici capaci di modificare il moto in superficie, è stata realizzata la "TAV. 1 - Pianura: carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali - scala 1:65.000", dove vengono evidenziati sia gli elementi di superficie dei depositi affioranti sia gli elementi geologici del sottosuolo e/o sepolti che possono modificare il moto sismico.

Al fine di avere una visione maggiormente semplificata, per una lettura mirata ed immediata rispetto alla tavola 1, sono state realizzate due tavole in cui sono cartografati separatamente per la parte superficiale e il sottosuolo i dati di base, più precisamente:

- Tavola 1A - Pianura: carta degli elementi geologici superficiali che possono determinare effetti locali - scala 1:65.000; dove sono presenti solo gli elementi dei depositi superficiali affioranti;
- Tavola 1B - Pianura: carta degli elementi geologici sepolti che possono determinare effetti locali - scala 1:65.000; dove sono presenti solo gli elementi geologici del sottosuolo.

La Tavola 1A, deriva dai rilevamenti per la realizzazione della nuova Carta Geologica d'Italia, eseguita dalla Regione Emilia-Romagna alla scala 1:25.000 e, dalla Carta degli Ambiti Morfologici Omogenei del territorio provinciale eseguita dalla Provincia di Bologna.

I depositi superficiali della pianura sono stati distinti principalmente sulla base delle granulometrie prevalenti, nelle seguenti classi:

1. ghiaie di conoide affioranti;
2. sabbie prevalenti;
3. limi e argille;
4. sedimenti fini sovrastanti le conoidi;
5. aree di cava, discariche e depositi terre di scavo.

Tutti questi depositi risultano essere suscettibili di amplificazione; la distinzione nelle 5 classi si è resa necessaria in quanto il comportamento dei materiali, in caso di sisma, risulta essere diverso per ognuna delle classi individuate e classificate; nella classe 2 potrebbero essere presenti le condizioni predisponenti la liquefazione (sabbie fini e medie ben classate nei primi 20 m di profondità con tetto della falda acquifera nei primi 15 m dalla superficie); nelle aree della classe 3 potrebbero essere presenti dei terreni con proprietà meccaniche scadenti e quindi, in caso di forti scosse soggetti a potenziali cedimenti.

E' stata prevista anche una classe 5, dove sono state inserite le cave (attive e non), le aree delle discariche e i depositi di terre di scavo; in questa classe possono infatti verificarsi cedimenti e/o densificazioni (fenomeni franosi invece nelle aree presenti sui rilievi appenninici); si sottolinea che nelle tavole del quadro conoscitivo sono state inserite solo le aree conosciute alla data della stesura della presente cartografia.

Si rileva che tra le ghiaie di conoide e le aree con prevalenza di sabbie (per lo più i dossi di pianura), per mancanza di dati oggettivi e continui, è presente un "limite litologico incerto", evidenziato cartograficamente con una linea grigia tratteggiata.

La Tavola 1B deriva dalla banca dati degli elementi del sottosuolo disponibile per tutta la pianura emiliano-romagnola; tale banca dati ha permesso di cartografare (tramite isobate riferite al livello medio del mare), le principali discontinuità stratigrafiche che possono influenzare il moto sismico in superficie. A partire dal piano campagna, la prima discontinuità importante risulta essere rappresentata dal tetto dei principali corpi ghiaiosi, di spessore > 5 metri, che formano la prosecuzione nel sottosuolo delle conoidi dei principali fiumi appenninici, sepolti sotto una copertura di depositi prevalentemente fini. Nella stessa mappa sono rappresentate, sempre tramite isobate riferite al livello marino, anche le superfici basali dei sedimenti alluvionali depositi durante i principali cicli deposizionali, in particolare la superficie basale del ciclo alluvionale superiore (AES), datata circa 450.000 anni, e la base del ciclo alluvionale inferiore (AEI), datata circa 650.000 anni, corrispondente anche al tetto del substrato marino, generalmente costituito dalle Sabbie di Imola (Pleistocene medio) o dalla parte superiore (Pleistocene inferiore) delle Argille Azzurre.

Nella sinclinale compresa tra Bologna e Pieve di Cento - S. Pietro in Casale, nell'area di maggiore approfondimento lungo l'asse tra S. Agata Bolognese e Budrio, la base di AES raggiunge e localmente supera i 300 m di profondità mentre la base di AEI supera quasi ovunque i 450 m di profondità.

Gli elementi di sottosuolo della pianura utilizzati, schematicamente, sono risultati i seguenti:

1. Ghiaie di conoide amalgamate sepolte (Pleistocene sup. - Olocene);
2. Ghiaie sepolte del subsistema di Villa Verrucchio - AES7 (Pleistocene sup.);
3. Ghiaie sepolte del subsistema di Ravenna - AES8 (Olocene);
4. Isobate del tetto delle ghiaie sepolte (quota m.s.l.m.);
5. Isobate della base dei depositi di AES = 450.000 anni (quota m.s.l.m.);
6. Isobate della base dei depositi alluvionali di AEI = 650.000 anni (quota m.s.l.m.).

Settore di collina - montagna (Appennino)

Dalla carta geologica in scala 1:10.000 dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, con opportune integrazioni dei depositi di copertura è derivata la "Tavola 2 - Appennino: carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali - scala 1:25.000" costituita da n. 7 fogli.

I depositi continentali quaternari sono stati raggruppati nelle seguenti classi:

1. faglie e/o discontinuità;
2. frane attive;
3. frane quiescenti;
4. depositi di versante;
5. depositi alluvionali;
6. aree di cava, discariche e depositi terre di scavo.

La distinzione tra frane attive, frane quiescenti e depositi di versante è stata mantenuta, nonostante tutti questi terreni siano suscettibili di amplificazione e instabilità di versante, in quanto i depositi della classe 2 "frane attive", presentano una maggiore propensione al dissesto rispetto alle frane quiescenti ed ai depositi di versante; gli utilizzi del territorio interessato

da frane in atto, si sottolinea, sono generalmente già limitati da altre norme, indipendentemente dal rischio sismico.

I depositi di origine antropica e le discariche della classe 6, possono invece come già accennato nel settore di pianura, subire cedimenti e/o densificazioni con fenomeni di instabilità.

Sempre dalla carta geologica 1:10.000 dell'Appennino Emiliano-Romagnolo si sono ricostruiti gli elementi litologici del substrato, raggruppati nelle seguenti classi:

1. substrato rigido: rocce presumibilmente caratterizzate da una $V_s \geq 800$ m/s (materiale lapideo costituito da un unico tipo non stratificato; materiale lapideo stratificato; alternanze arenitico-pelitiche con rapporto arenite/pelite $\geq 1/5$; marne, argille sovraconsolidate e argilliti);
2. substrato non rigido: rocce presumibilmente caratterizzate da una $V_s < 800$ m/s (formazioni argillose recenti e poco consolidate, alternanze pelitico-arenitiche con rapporto arenite/pelite $< 1/5$, areniti poco cementate, sabbie);
3. aree della Vena del Gesso;
4. faglie e zone di fratturazione.

La suddivisione dei litotipi del substrato in queste classi deriva da considerazioni sulle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni appenniniche affioranti. Alcune prove geofisiche, effettuate in varie zone della catena appenninica, indicano che i litotipi della classe 2 (ad esempio le argille plio-pleistoceniche e le sabbie pleistoceniche del margine appenninico-padano) e della classe 4 sono spesso caratterizzati da V_s paragonabili a quelle dei depositi di copertura e di parecchio inferiori al valore solitamente considerato indicativo di bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s) per profondità talora anche di alcune decine di metri dalla superficie. Perciò, questi litotipi, sebbene appartenenti a successioni appenniniche del substrato, non possono essere considerati bedrock sismico e quindi devono essere trattati come depositi che possono causare amplificazione.

La cartografia delle aree il cui substrato è costituito dai depositi evaporatici della Vena del Gesso (classe 3) è stata ritenuta importante per la possibile presenza di cavità ipogee di origine carsica e doline riempite da detriti, elementi che possono modificare in modo anche complesso il moto sismico e determinare effetti locali la cui valutazione richiede specifiche analisi.

Per individuare e rappresentare gli elementi topografici che possono determinare particolari amplificazioni (come creste, picchi, estesi versanti acclivi) è stata eseguita un'apposita elaborazione del modello digitale del terreno, dove si sono individuate varie classi di acclività.

Per i criteri di selezione degli elementi morfologici ci si è riferiti anche alle indicazioni internazionali (vedere ad esempio l'Eurocodice 8, parte 1, EN 1998-5, 2003) e nazionali (DM 14/1/2008 "Norme tecniche per le costruzioni") che raccomandano di considerare gli effetti topografici per pendii con acclività maggiore di 15° e dislivello maggiore di 30 m, individuando i versanti con acclività maggiore di 30° come quelli suscettibili di maggiore amplificazione.

Data la presenza nel territorio bolognese di scarpate rocciose importanti anche in prossimità di aree abitate e di reti viarie, si è ritenuto opportuno evidenziare anche le scarpate rocciose con acclività maggiore di 50° poiché, in caso di forti scosse, potrebbero verificarsi crolli anche di grossi blocchi.

Sono state così evidenziate le aree con acclività comprese tra:

- o 15° e 30°
- o 30° e 50°
- o > 50°

L'adozione della pendenza di 50° è derivata da una scelta di tipo progettuale, derivante dalle condizioni geo-morfologiche del territorio collinare e montano provinciale con la maglia del modello digitale del terreno del sistema informativo utilizzato.

3.3 Approfondimenti sugli effetti locali degli elementi contenuti nelle Tavole del Quadro Conoscitivo

Per definire le aree che presentano le condizioni geologiche e morfologiche predisponenti gli effetti locali sono state quindi realizzate le 4 tavole precedentemente descritte: 3 relative alla pianura e una relativa al settore collinare e montano.

Di seguito vengono esaminate ed approfondite le voci di legenda delle tavole del quadro conoscitivo.

Settore di Pianura

Il settore di pianura è stato suddiviso in aree in base alla litologia affiorante prevalente; le distinzioni litologiche si basano essenzialmente sulla granulometria.

1. Ghiaie di conoide affioranti. Zone di conoide alluvionale allo sbocco dei principali corsi d'acqua in pianura, dove si sono accumulati terreni prevalentemente grossolani, per lo più ghiaioso-sabbiosi. Queste zone sono potenzialmente soggette ad amplificazione e quindi in queste aree dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione.
2. Sabbie prevalenti. Zone di paleoalveo e argine in cui sono presenti depositi prevalentemente sabbiosi. La presenza di sabbie, soprattutto se incoerenti e ben classate, nei primi 20 m dal p.c. e della falda acquifera a profondità inferiore a 15 m dal p.c. costituiscono caratteri predisponenti il fenomeno della liquefazione, che può essere indotto da forti scosse sismiche (magnitudo uguale o maggiore di 5). In queste zone dovranno essere valutati, oltre al coefficiente di amplificazione, la reale presenza di condizioni predisponenti la liquefazione ed eventualmente il potenziale di liquefazione oltre gli eventuali cedimenti.
3. Limi e argille e sedimenti fini sovrastanti le conoidi. In queste aree dove affiorano terreni prevalentemente fini, costituiti per lo più da limi e argille (peliti), si possono determinare effetti di amplificazione; dovrà pertanto essere valutato il coefficiente di amplificazione. Questi terreni inoltre possono essere talora caratterizzati da proprietà meccaniche scadenti; pertanto, nelle aree in cui lo spessore di questi depositi sia almeno di alcune decine di metri, in caso di forti scosse telluriche, sono potenzialmente attesi anche cedimenti. In particolare i cedimenti sono ritenuti possibili nelle aree di pianura nel cui sottosuolo non sono presenti depositi grossolani di rilevante spessore. Per tale motivo nella carta della Tavola 1A , è stato rappresentato anche il limite esterno dei depositi sepolti di conoide di spessore metrico e sono state distinte le aree con forti spessori di depositi fini da quelle con depositi fini sovrastanti i depositi grossolani delle conoidi sepolte; pertanto per le aree a nord di tale limite,

oltre agli effetti di amplificazione, dovranno essere valutati anche i potenziali cedimenti.

4. Aree di cava, discariche e depositi terre di scavo. Trattasi di aree interessate da modifiche della topografia e della stratigrafia; per esse infatti occorre un'attenta valutazione delle condizioni geologiche e morfologiche. Per queste aree si dovrà valutare il coefficiente di amplificazione e nel caso di pendii anche il grado di stabilità in condizioni sismiche.

Settore di collina – montagna (Appennino)

1. Zona cataclastica, zona di faglia. Aree in cui le rocce sono intensamente fratturate (zone cataclastiche e/o zone di faglia, faglie); l'intensa fratturazione provoca in questi terreni una diminuzione delle caratteristiche meccaniche favorendo l'amplificazione, l'instabilità in caso di pendii e potenziali comportamenti differenziali lungo le zone di contatto di materiali con caratteristiche meccaniche diverse. Anche in questo caso andranno dunque valutate l'amplificazione, l'eventuale grado di stabilità e i potenziali cedimenti.
2. Frane attive. Accumuli di frana con evidenze di movimenti in atto o recenti. Come già anticipato, la distinzione degli accumuli di frane attive dagli altri depositi di versante si è resa necessaria per la maggiore suscettibilità al dissesto dei primi, condizione di criticità che può essere ulteriormente aggravata dalle scosse sismiche. In queste aree gli utilizzi del territorio sono già regolati e limitati da specifiche norme che in genere non consentono la realizzazione di nuove costruzioni e infrastrutture; nel caso di eventuali interventi di consolidamento e messa in sicurezza di opere esistenti, dovranno essere valutate, oltre all'amplificazione, anche le condizioni di stabilità dei versanti, tenendo conto delle sollecitazioni sismiche.
3. Frane quiescenti. Accumuli di frana che non mostrano evidenze di movimenti recenti. Anche in queste aree gli utilizzi del territorio sono già regolati e limitati da specifiche norme e, anche in questo caso, in occasione di eventuali interventi, dovranno essere valutate, oltre all'amplificazione, anche le condizioni di stabilità dei versanti, tenendo conto delle sollecitazioni sismiche.
4. Depositi di versante. Depositi detritici di varia origine che costituiscono coltri di copertura sui versanti. In queste aree, suscettibili di amplificazione, in caso di forti scosse, lungo i versanti acclivi ($> 15^\circ$) si possono verificare anche fenomeni di instabilità; in esse, pertanto, dovrà essere valutato il potenziale di amplificazione e, sui versanti con acclività $> 15^\circ$, dovrà essere valutata anche la stabilità del pendio, tenendo conto delle possibili sollecitazioni sismiche.
5. Depositi alluvionali e lacustri appenninici indifferenziati. Depositi alluvionali, di fondovalle e terrazzati, e depositi lacustri del settore appenninico. Tutte queste aree sono potenzialmente soggette ad amplificazione.
6. Substrato non rigido. Zone in cui il terreno di fondazione è costituito da terreni riferibili al substrato marino con caratteristiche litologiche e meccaniche (argille mediamente e poco consolidate, sabbie poco cementate) tali da lasciare ipotizzare presumibilmente dei valori di $V_s < 800$ m/s anche a profondità di alcune decine di metri ($V_{s30} < 800$ m/s) e perciò potenzialmente soggette ad amplificazione. Di conseguenza in

- queste zone, in fase di pianificazione urbanistica comunale, dovranno essere realizzate soprattutto indagini per la valutazione delle V_s e, nel caso risultassero valori delle $V_{s30} < 800$ m/s, dovranno essere realizzati i necessari studi per la valutazione della risposta sismica locale.
7. Substrato rigido. Zone in cui il terreno di fondazione è costituito da roccia affiorante o sub-affiorante, cioè a profondità minore di 5 m, con V_s indicativamente ≥ 800 m/s e nelle quali non sono presenti elementi topografici che possano determinare amplificazione. Queste aree possono quindi essere considerate zone in cui il *bedrock sismico* è affiorante e, pertanto, in queste aree non sono attesi effetti locali. Alla scala della pianificazione comunale dovranno comunque essere accertati gli spessori di eventuali coltri di alterazione in modo da confermare l'esclusione di tali aree da ulteriori indagini per la microzonazione sismica; nel caso lo spessore della zona alterata sia maggiore di 5 metri occorrerà determinare il valore delle V_s e, nel caso questa sia inferiore a 800 m/s, bisognerà eseguire gli approfondimenti come nei casi delle classi 3 e 5.
 8. Vena del Gesso e cavità ipogee. Aree di affioramento dei depositi evaporitici messiniani in cui possono essere presenti doline riempite da detriti e cavità ipogee anche estese. La presenza di doline riempite e di cavità, può influenzare il moto sismico in superficie causando nel primo caso effetti di amplificazione 2D e 3D e nel secondo caso cedimenti. In caso di interventi in queste aree dovranno essere effettuate approfondite indagini per l'identificazione di eventuali forme sepolte e gli effetti locali dovranno essere attentamente valutati con analisi specifiche.
 9. Aree di cava, discariche e depositi terre di scavo. Aree in cui sono presenti riempimenti o accumuli di terreni di riporto. Questi terreni possono favorire l'amplificazione e in caso di forti scosse possono rivelarsi instabili (con innesco di frane su pendii), ed essere soggetti anche a cedimenti. Per queste aree dovranno essere valutati i coefficienti di amplificazione e dovranno essere eseguiti idonei studi di stabilità dei versanti con verifiche degli eventuali e potenziali cedimenti.
 10. Versanti con acclività compresa tra 15° e 30° . Sui pendii con acclività maggiore di 15° e dislivello superiore a 30 m possono verificarsi effetti di amplificazione per cause topografiche. Pertanto su pendii con acclività compresa tra 15° e 30° , nel caso il dislivello sia maggiore di 30 m, e nelle aree prossime ai bordi superiori delle scarpate o in quelle immediatamente superiori, dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione topografica.
 11. Versanti con acclività tra 30° e 50° . L'amplificazione topografica può essere ancora maggiore su pendii più acclivi; ad esempio, sui pendii con acclività maggiore di 30° e dislivello superiore a 30 m le NTC 2008 (paragrafi 3.2.2 e 3.2.3) indicano coefficienti di amplificazione topografica maggiori. Pertanto su pendii con acclività maggiore di 30° , nel caso il dislivello sia maggiore di 30 m, e nelle aree prossime ai bordi superiori delle scarpate o in quelle immediatamente superiori, il coefficiente di amplificazione topografica dovrà essere valutato in maniera più accurata e con particolare attenzione.
 12. Versanti con acclività $>$ di 50° . I pendii con acclività maggiore di 50° costituiscono vere e proprie scarpate, lungo le quali, in caso di forti scosse, si possono avere anche fenomeni di instabilità come distacchi di massi, crolli e ribaltamenti della parete. Pertanto su pendii con acclività uguale e maggiore di 50° e, nelle aree prossime ai bordi superiori delle scarpate o in quelle immediatamente superiori, dovrà essere valutato il coefficiente di

amplificazione topografica e la stabilità della parete in condizioni sismiche.