



COMUNE DI CAVEZZO
PROVINCIA DI MODENA

P.D.R. 2

Piano Della Ricostruzione

L.R. 16/2012

MICROZONAZIONE SISMICA RELAZIONE TECNICA	ELABORATO RT/MS
	REV. 1.0

Progetto

STUDIO
ARCH. PAOLO ARTIOLI

Collaboratori:

ELLENIA s.n.c. - Ostiglia
CLARA BORSATTI
DOTT. GEOL. VALERIANO FRANCHI

Adottato con atto di C.C. n. ____ del __/__/__

Approvato con atto di C.C. n. ____ del __/__/__

Publicato sul BURERT n. ____ del __/__/__

I N D I C E C O N T E N U T I

1. PREMESSA.....	2
2. METODOLOGIA SEGUITA PER L'ELABORAZIONE DELLA CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI CAVEZZO	7
2.1. Stima dei fattori di amplificazione	7
2.2. Stima del potenziale di liquefazione	12
2.3. Integrazione dell'analisi regionale sulle restanti parti di territorio comunale ...	15

1. PREMESSA

Il 20 maggio 2012 in Pianura Padana è iniziata una sequenza sismica che ha interessato una vasta area compresa tra le Province di Reggio Emilia, Modena, Mantova, Bologna e Ferrara. La prima forte scossa, di magnitudo locale $M_L=5.9$, è avvenuta alle 4:03 ora locale, con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia, seguita, nel giro di 4 minuti, da altre due forti scosse, la prima di $M_L=4,8$ e la seconda di $M_L=5.1$, con epicentro in Comune di Bondeno; nove giorni dopo è stata registrata un'altra forte scossa ($M_L=5.8$), con epicentro tra Mirandola e Medolla. Tra il 20 maggio e il 3 giugno 2012 sono state registrate ben 7 scosse di $M_L>5$, con epicentri distribuiti tra Novi di Modena (MO) e Vigarano Mainarda (FE).

Data	Ora locale	Lat.	Long.	M_L	Comune
20 maggio 2012	04:03:52	11.23	44.89	5.9	Finale Emilia (MO)
20 maggio 2012	04:07:31	11.37	44.86	5.1	Bondeno (FE)
20 maggio 2012	15:18:02	11.49	44.83	5.1	Vigarano Mainarda (FE)
29 maggio 2012	09:00:03	11.09	44.85	5.8	Medolla (MO)
29 maggio 2012	12:55:57	11.01	44.89	5.3	S. Possidonio (MO)
29 maggio 2012	13:00:25	10.95	44.88	5.2	Novi di Modena (MO)
3 giugno 2012	21:20:43	10.94	44.90	5.1	Novi di Modena (MO)

Tabella 1 - scosse $M_L>5$ della sequenza sismica emiliana 2012
(dati da <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>)

I maggiori effetti locali osservati sono stati l'amplificazione del moto sismico e fenomeni di liquefazione, diffusi soprattutto in corrispondenza di rami abbandonati dei fiumi appenninici (Reno, Panaro e Secchia) e, subordinatamente, del Po.

Pertanto, per indirizzare gli interventi di ricostruzione e favorire le scelte urbanistiche legate ai Piani della ricostruzione, in modo da tenere nella dovuta considerazione quanto accaduto e per attuare strategie di mitigazione del rischio sismico che siano realmente efficaci fin dalle prime fasi della programmazione territoriale, si è reso fondamentale disporre di mappe che permettano l'individuazione delle aree soggette alla maggiore amplificazione e alla liquefazione, e l'identificazione degli elementi appartenenti al sistema dell'emergenza.

Il Commissario delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna ha perciò predisposto, con Ordinanza n. 70 del 13/11/2012, la realizzazione di studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza dei Comuni più danneggiati, vale a dire quelli in cui sono stati osservati diffusi effetti di intensità macrosismica almeno pari al VI grado MCS (Figura 1, Galli et al., 2012¹).

¹ Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012): Terremoti dell'Emilia - Maggio 2012. Rilievo macrosismico MCS speditivo. Rapporto finale. 15 Giugno 2012.
<http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf>

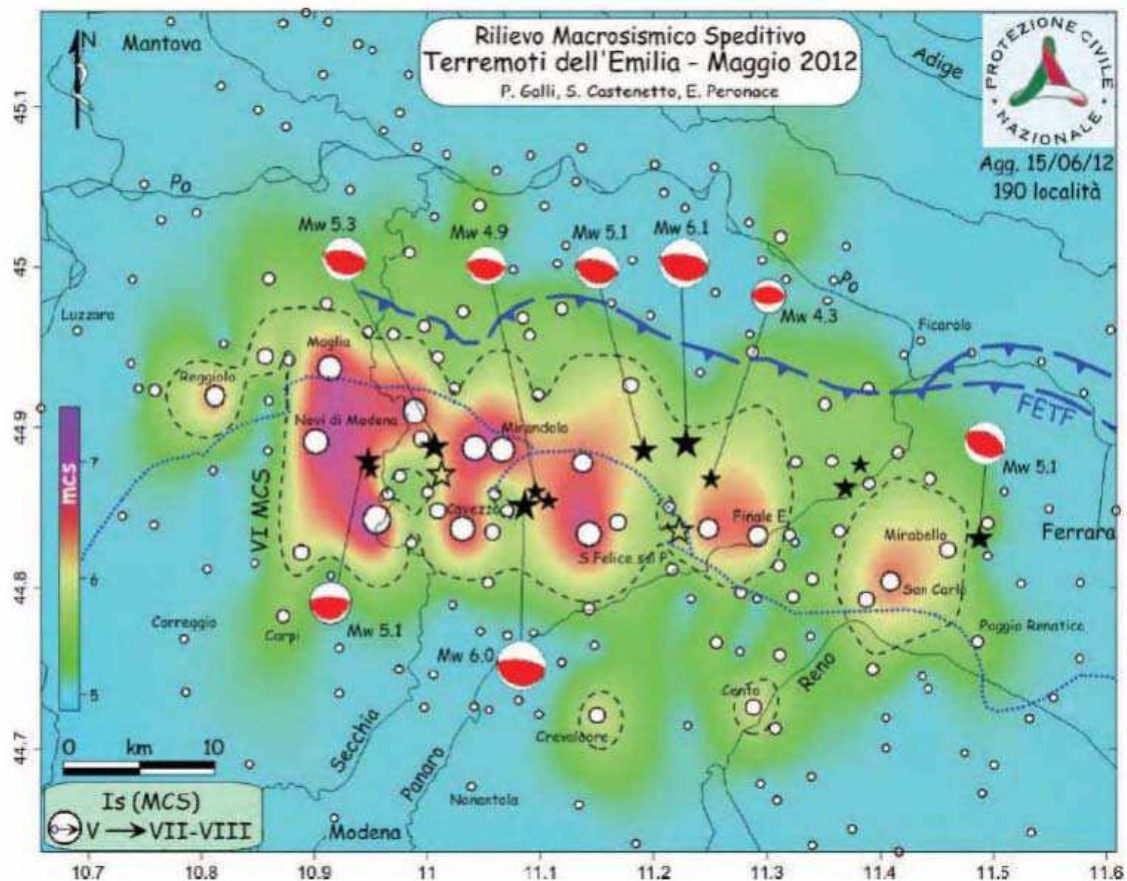


Figura 1 - Sintesi delle intensità macrosismiche osservate (da Galli et al., 2012).

Il coordinamento di tali studi è stato affidato al Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e al Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio della Regione Emilia-Romagna².

Gli standard tecnici di riferimento sono descritti in specifici allegati all'Ordinanza 70/2012 e derivano soprattutto dagli indirizzi regionali (DAL 112/2007) e da quelli nazionali ("Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", ICMS, a cura del Gruppo di lavoro MS, 2008).

Le stime dell'amplificazione e del rischio di liquefazione sono state definite per un periodo di ritorno $TR=475$ anni (corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e smorzamento $\xi=5\%$.

Come indicato nei citati indirizzi, e per ottimizzare i tempi e le risorse disponibili, la microzonazione sismica è stata effettuata negli ambiti di interesse urbanistico, cioè nei centri abitati consolidati e in quelli di potenziale interesse per la ricostruzione e per

² Questi studi sono stati svolti da un gruppo di lavoro interdisciplinare e inter-istituzionale coordinato, per le attività tecniche di MS, da Luca Martelli del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e, per le attività tecniche di analisi della CLE, da Maria Romani del Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio.

Gli ambiti in cui effettuare la MS, comprensivi delle porzioni urbanizzate e urbanizzabili, delle reti infrastrutturali e di parti contermini di territorio rurale, sono stati definiti, su indicazione delle Amministrazioni interessate e sulla base degli strumenti urbanistici comunali, da Antonella Manicardi, responsabile del Servizio Pianificazione Territoriale, Urbanistica e Cartografia della Provincia di Modena, e da Maria Romani, con la collaborazione di Barbara Mengoli e Corrado Ugoletti dell'unità operativa Urbanistica e S.I.T. della Provincia di Modena; mentre, la CLE, come detto in precedenza, ha riguardato l'intero territorio comunale.

future espansioni, indicati dagli Enti locali interessati (Amministrazioni Provinciali e Comunali) (Figura 2). Come previsto dagli standard nazionali, l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza ha interessato tutto il territorio comunale.

Per i territori interessati da questo studio erano già disponibili analisi della pericolosità sismica locale a scala provinciale (v. PTCP delle Province di Reggio Emilia, Modena, Bologna e Ferrara) e alcuni dei Comuni avevano già svolto approfondimenti di primo livello a scala comunale o completato studi di microzonazione sismica di secondo livello. Tali studi si sono rivelati di estrema utilità per la programmazione delle indagini e la definizione del modello geologico di riferimento.

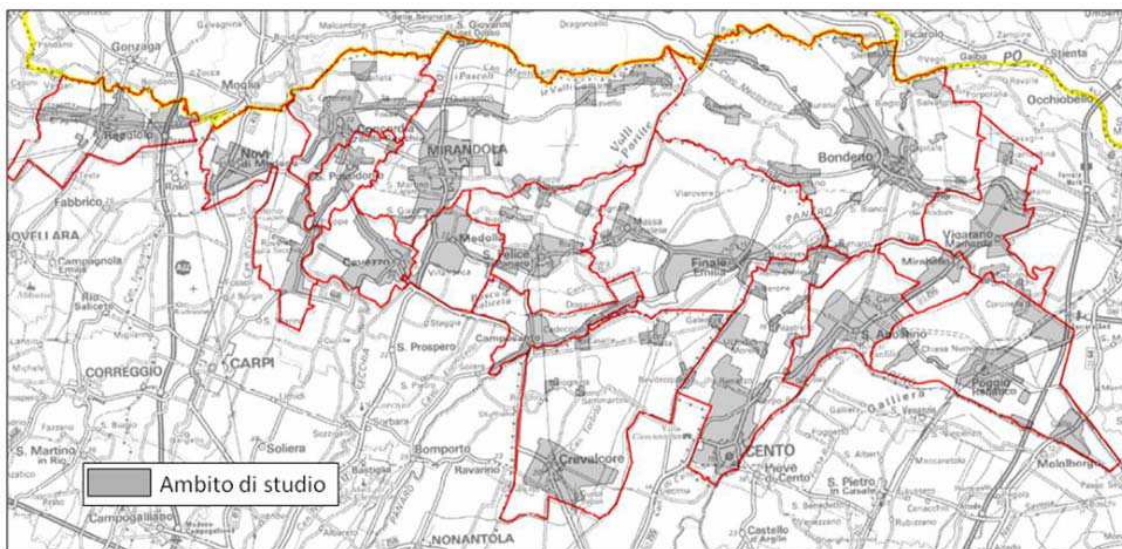


Figura 2 – Comuni interessati dagli studi di microzonazione sismica effettuati dalla Regione Emilia-Romagna: in grigio gli ambiti in cui è stata effettuata la microzonazione sismica (Fonte: Martelli e Romani - a cura di - 2012³).

L'Amministrazione comunale di Cavezzo, già prima degli eventi sismici del maggio-giugno 2012, aveva intrapreso studi di microzonazione sismica del territorio comunale, in ottemperanza alla DAL RER 112/2007. Gli studi avevano portato ad una ricostruzione completa della pericolosità sismica sull'intero territorio comunale, con analisi e rispettive rappresentazioni cartografiche di I e II livello e con una carta di sintesi in cui venivano indicate quali aree avrebbero dovuto essere sottoposte ad approfondimenti di III livello. Le carte e la relazione tecnica non hanno potuto essere oggetto di esame e di adozione da parte della Giunta Comunale poiché gli eventi sismici del 2012 ne hanno interrotto l'iter.

Le analisi effettuate (MASW affiancate da HVSR, omogeneamente distribuite su tutto il territorio comunale) avevano portato ad identificare una chiara dicotomia di V_{S30} (ρ), da cui discende una suddivisione del territorio in due categorie di terreno di fondazione secondo le NTC08: categoria C per la porzione centro-occidentale e categoria D per quella sud-orientale.

³ Martelli, L. e Romani, M. (a cura di) (2012) - Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012 (Ordinanza del Commissario delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012) - Relazione illustrativa. Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio della Regione Emilia-Romagna, 41 p.

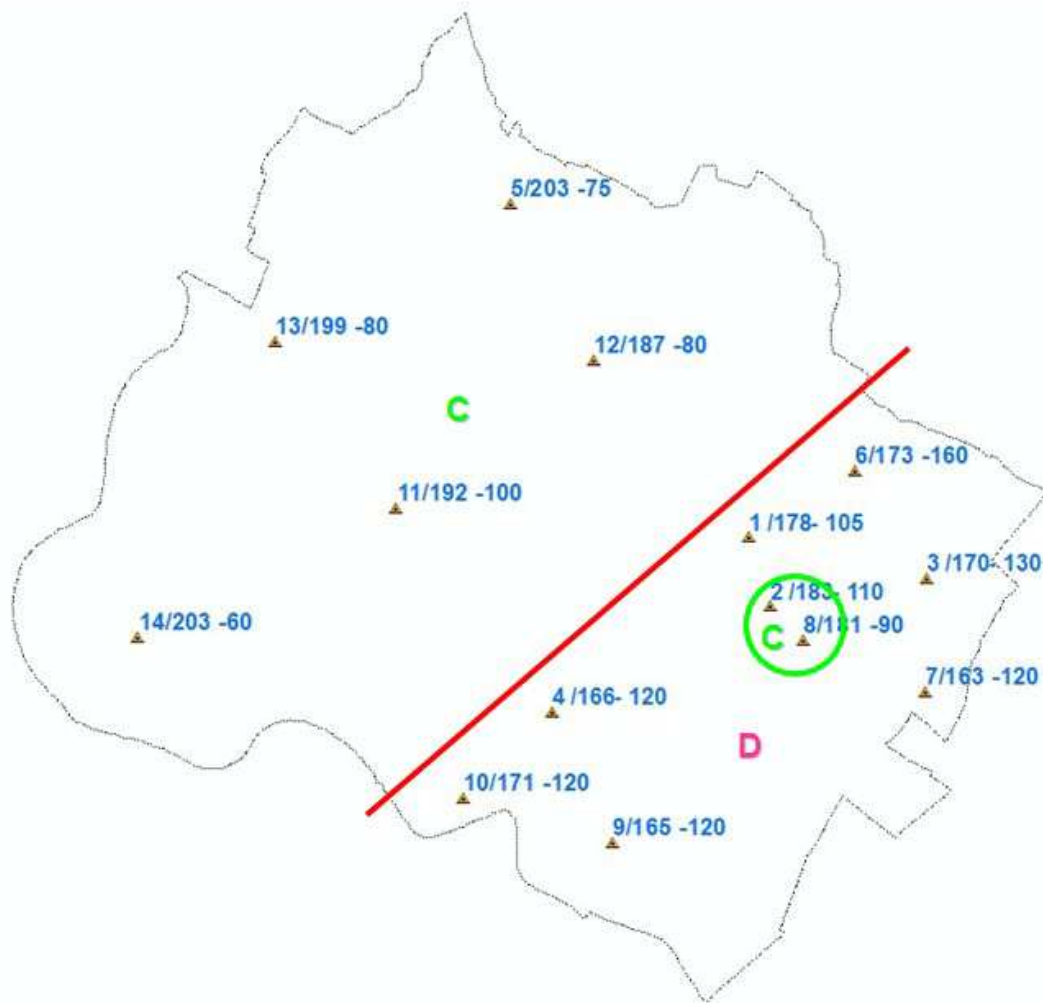


Figura 3 - Distribuzione schematica delle classi di suolo secondo il DM 14/2/2008, ricavata dai valori di V_{s30} ottenuti con le indagini MASW. Legenda: i triangolo arancioni segnano l'ubicazione delle verticali sismiche; le sequenze numeriche riportano: Nr. Verticale sismica/ V_{s30} - profondità estrapolata del bedrock sismico.

Ambito DAL RER 112/2007 - Allegato A2.1	Nr. MASW	V_{s30}	H bedrock sismico	F.A. PGA	F.A. IS 0,1<T ₀ <0,5	F.A. IS 0,5<T ₀ <1
PIANURA 1	14	203	60	1,7	1,9	2,6
	5	203	75	1,7	1,9	2,6
	12	187	80	1,7	1,9	2,6
	13	199	80	1,7	1,9	2,6
	8	181	90	1,7	1,9	2,6
PIANURA 2	11	192	100	1,5	1,8	2,5
	1	178	105	1,5	1,8	2,5
	2	183	110	1,5	1,8	2,5
	4	166	120	1,5	1,8	2,5
	7	163	120	1,5	1,8	2,5
	9	165	120	1,5	1,8	2,5
	10	171	120	1,5	1,8	2,5
	3	170	130	1,5	1,8	2,5
6	173	160	1,5	1,8	2,5	

Tabella 2 - Individuazione della V_{s30} e della profondità del bedrock sismico per ogni prova; valori del fattore di amplificazione FA, espresso sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia in termini di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0), per prefissati intervalli di periodo, corrispondente a $0.1s < T_0 < 0.5s$ e a $0.5s < T_0 < 1s$.

Come si vede da Figura 3, anche i valori di profondità del bedrock sismico, calcolati tramite indagini sismiche passive a stazione singola, individuano una dicotomia sia per quanto riguarda la distribuzione areale della profondità del bedrock sismico, sia, di conseguenza, per quanto riguarda la distribuzione areale dei fattori di amplificazione sismica secondo la DAL RER 112/2007 (Tabella 2 e Figura 4).

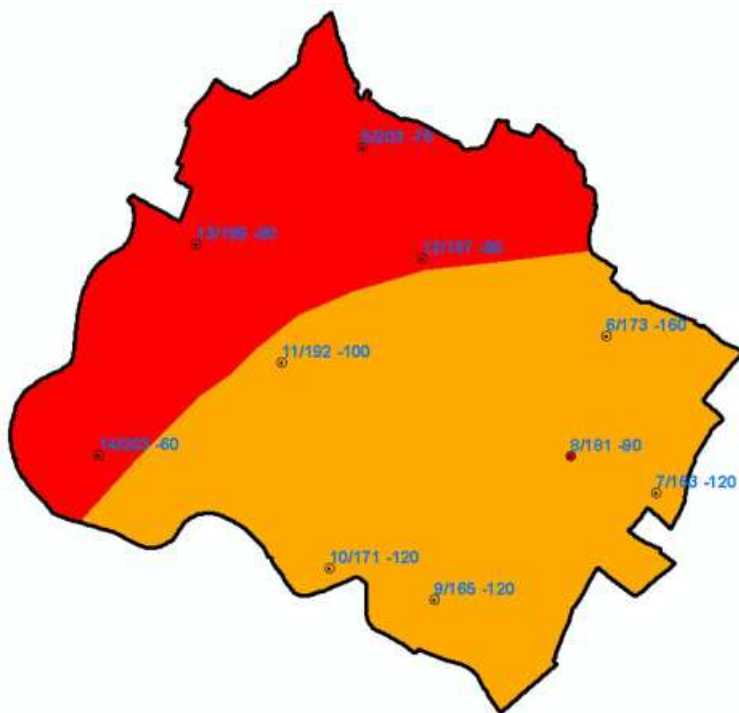


Figura 4 - Carta dei Fattori di amplificazione, su base semplificata.

Gli eventi sismici del maggio-giugno 2012 hanno inevitabilmente indotto a rivedere le analisi di microzonazione sismica effettuate, soprattutto in merito ai fattori di amplificazione ed alle aree suscettibili di modificazioni volumetriche, quali, prima fra tutti, la liquefazione dei terreni incoerenti. Per la prima volta, infatti, in epoca recente, si sono avute, in concomitanza con le scosse sismiche del 2012, diffuse manifestazioni superficiali del fenomeno della liquefazione; principalmente nelle aree di S. Carlo e di Mirabello, in Provincia di Ferrara, ma anche all'interno del territorio comunale di Cavezzo, sebbene in numero largamente inferiore.

Inoltre, a seguito della crisi sismica del 2012, la Regione Emilia-Romagna ha condotto una campagna geognostica e geofisica che ha permesso di ricostruire, su tutta l'area del cratere sismico, la profondità del bedrock sismico, fondamentale per poter ricavare, insieme alla velocità delle onde s, i fattori di amplificazione del moto sismico in superficie con approccio di II livello.

Nel successivo capitolo verrà pertanto descritta la procedura seguita per l'elaborazione della carta di microzonazione sismica del territorio comunale in uniformità agli studi regionali, recependo in toto quanto elaborato dalla Regione per le porzioni urbanizzate e urbanizzabili, per le reti infrastrutturali e per le parti contermini di territorio rurale; per le restanti aree del territorio è stata effettuata una zonazione basata sui nuovi valori di amplificazione sismica identificati dagli studi regionali.

2. METODOLOGIA SEGUITA PER L'ELABORAZIONE DELLA CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI CAVEZZO

Come già espresso in premessa, nella procedura di elaborazione della carta di microzonazione sismica del territorio comunale è stato recepito in toto il prodotto delle analisi areali e puntuali condotte dalla Regione Emilia-Romagna per quanto riguarda le porzioni urbanizzate e urbanizzabili, le reti infrastrutturali e le parti contermini di territorio rurale. Per le restanti aree del territorio è stata effettuata una zonazione basata sui nuovi valori di amplificazione sismica identificati dagli studi regionali sulla base della profondità del bedrock sismico, per tutta l'area del cratere sismico.

Nella procedura seguita per effettuare le analisi di microzonazione sismica per l'intera area del cratere sismico, la Regione Emilia-Romagna ha utilizzato le cartografie e gli studi geologici e geomorfologici pregressi, a scala regionale, provinciale e comunale. Per quanto riguarda i dati geognostici, il database regionale già disponibile ante-sisma è stato arricchito tramite una raccolta dati presso le Amministrazioni Locali, gli studi di liberi professionisti o società che a vario titolo operano sul territorio. A questi dati sono stati poi aggiunti sondaggi geognostici eseguiti ad hoc dalla Regione nei primi mesi post-sisma: sono stati realizzate soprattutto prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU) fino alla profondità di 30 m e sondaggi a carotaggio continuo di controllo, mediamente profondi 50 m, due profondi oltre 100 m, in cui sono state eseguite prove down-hole (DH) e cross-hole (CH) e sono stati prelevati campioni indisturbati per prove di laboratorio.

È stata effettuata anche una estesa campagna di misure di sismica passiva comprensiva di almeno due registrazioni a stazione singola in ogni centro abitato e una registrazione con antenna sismica (array) di ogni capoluogo.

I sondaggi a carotaggio continuo e le prove penetrometriche statiche hanno permesso una dettagliata descrizione della stratigrafia fino alla profondità di circa 30-50 m; informazioni a maggiori profondità sono state derivate esclusivamente dai sondaggi a carotaggio continuo, alcuni dei quali profondi più di 100 m.

Dati sulle stratigrafie a profondità ancora maggiori sono stati derivati da pozzi per acqua e da pozzi e linee sismiche per la ricerca di idrocarburi.

2.1. Stima dei fattori di amplificazione

Le analisi di risposta sismica locale effettuate per lo studio dell'area del cratere sismico hanno fornito valori dei fattori di amplificazione in accordo con quelli che si ottengono utilizzando gli abachi regionali (DAL 112/2007); pertanto, la stima dell'amplificazione sismica è stata effettuata tramite le procedure semplificate previste dagli indirizzi regionali (secondo livello di approfondimento; cfr Allegato 2 alla DAL 112/2007). Tali indirizzi, per la stima dell'amplificazione in aree di pianura, prevedono abachi diversi a seconda della stratigrafia e della profondità del bedrock (maggiore o minore di 100 m) che forniscono valori in termini di PGA (FAPGA) e in termini di Intensità di Housner per intervalli di periodo T compresi tra 0,1 s e 0,5 s (FA0,1-0,5S) e tra 0,5s e 1 s (FA0,5-1S).

Uno dei primi obiettivi è stato pertanto definire la stratigrafia e individuare le aree in cui il bedrock è a profondità maggiori o minori di 100 m.

Le indagini che consentono l'individuazione, in maniera diffusa sul territorio, di superfici assimilabili al tetto del bedrock sismico a queste profondità (>50 m), dato

l'elevato costo dei sondaggi a carotaggio continuo, sono solitamente quelle geofisiche; il confronto tra queste e i sondaggi a carotaggio continuo indica che superfici dedotte da indagini geofisiche mostrano una variabilità della profondità dell'ordine di ± 20 m; perciò la soglia di profondità del bedrock a circa 100 m va intesa 100 ± 20 m.

Sfruttando la relazione che lega le frequenze fondamentali desunte da analisi di sismica passiva con la velocità delle onde di taglio (V_s) e la profondità del contrasto di impedenza, nota la V_s grazie alle prove geofisiche effettuate, è stato possibile stimare, in vari siti, la profondità del tetto del bedrock sismico, inteso come superficie di forte contrasto di impedenza. Dalle prove geofisiche è risultato ovunque $V_{s,30} < 225$ m/sec. e V_s dei primi 100 m in media dell'ordine di 300-350 m/sec.

Le misure di sismica passiva effettuate hanno evidenziato quasi ovunque valori della frequenza fondamentale del terreno (f_0) compresi tra 0,8 e 1,1 Hz e quindi la profondità del primo forte contrasto di impedenza è presumibilmente compresa tra 70 e 150 m da piano campagna .

Dovendo individuare le aree in cui tale superficie è a profondità inferiori di 100 ± 20 m, sono stati considerati significativi quei siti in cui i rapporti H/V mostrano picchi di ampiezza maggiore di 2,5 in corrispondenza di $f_0 \geq 1$ Hz (Figura 5).

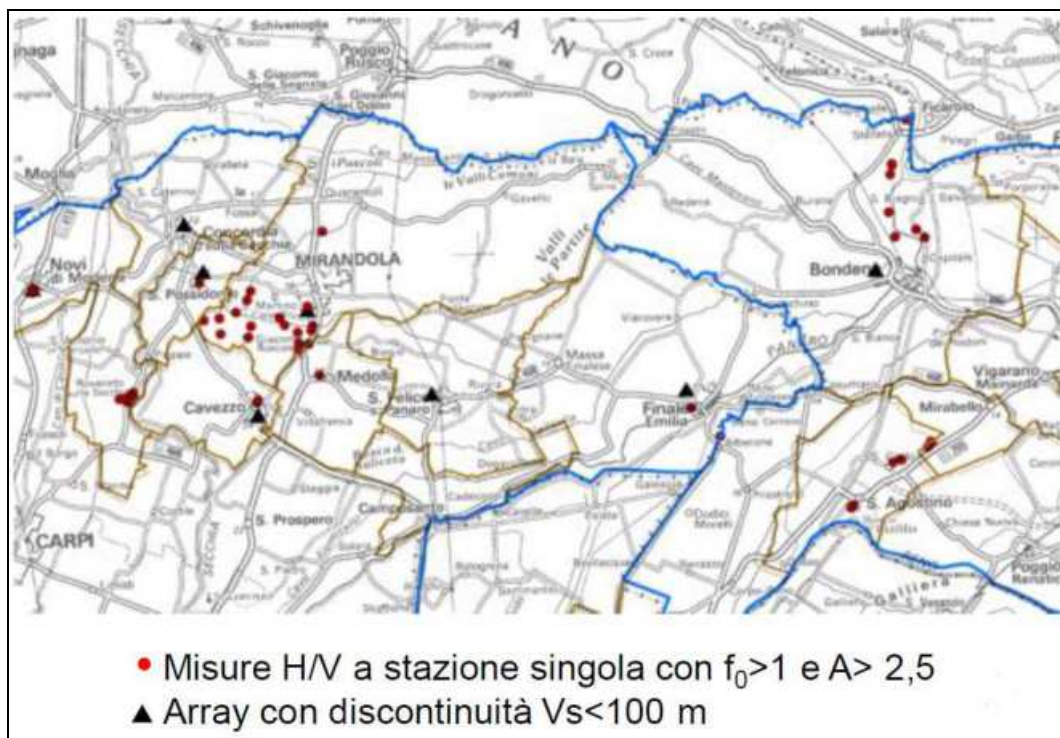


Figura 5 - Ubicazione delle misure H/V con $f_0 \geq 1$ e $A > 2,5$ (Fonte: Martelli e Romani - a cura di - 2012).

Confrontando questi dati con i profili stratigrafici disponibili è stato possibile associare i contrasti di impedenza a discontinuità lito-stratigrafiche. È stato così possibile riconoscere che i maggiori contrasti di impedenza si hanno in genere alla base del Sistema emiliano-romagnolo superiore (AES), datata 400.000-450.000 anni, ed alla base del subsistema AES6, datata 230.000-250.000 anni (Figura 6); tali superfici sono spesso molto vicine, talora addirittura coincidenti, in corrispondenza di alti strutturali (Figura 7).

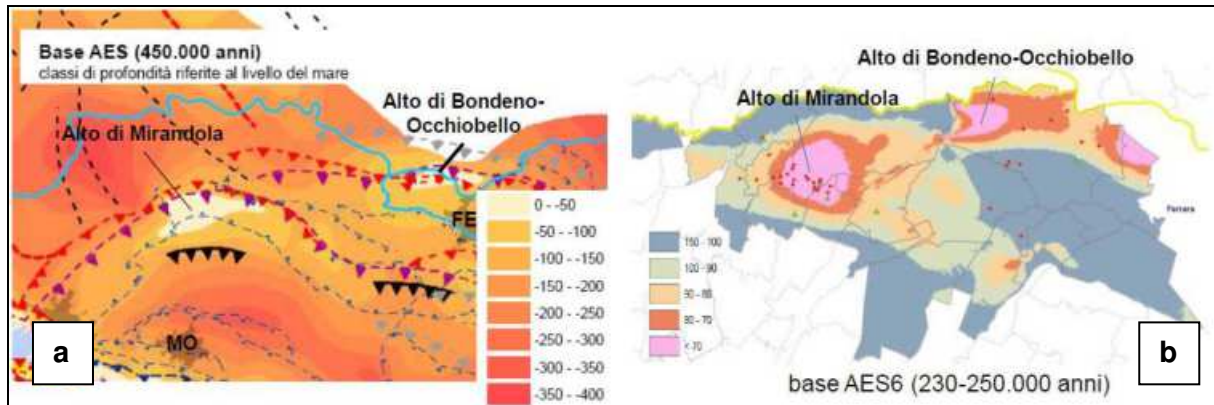


Figura 6 - Isobate della profondità delle discontinuità di base e di AES (a) e AES6 (b) (Fonte: Martelli e Romani - a cura di - 2012).

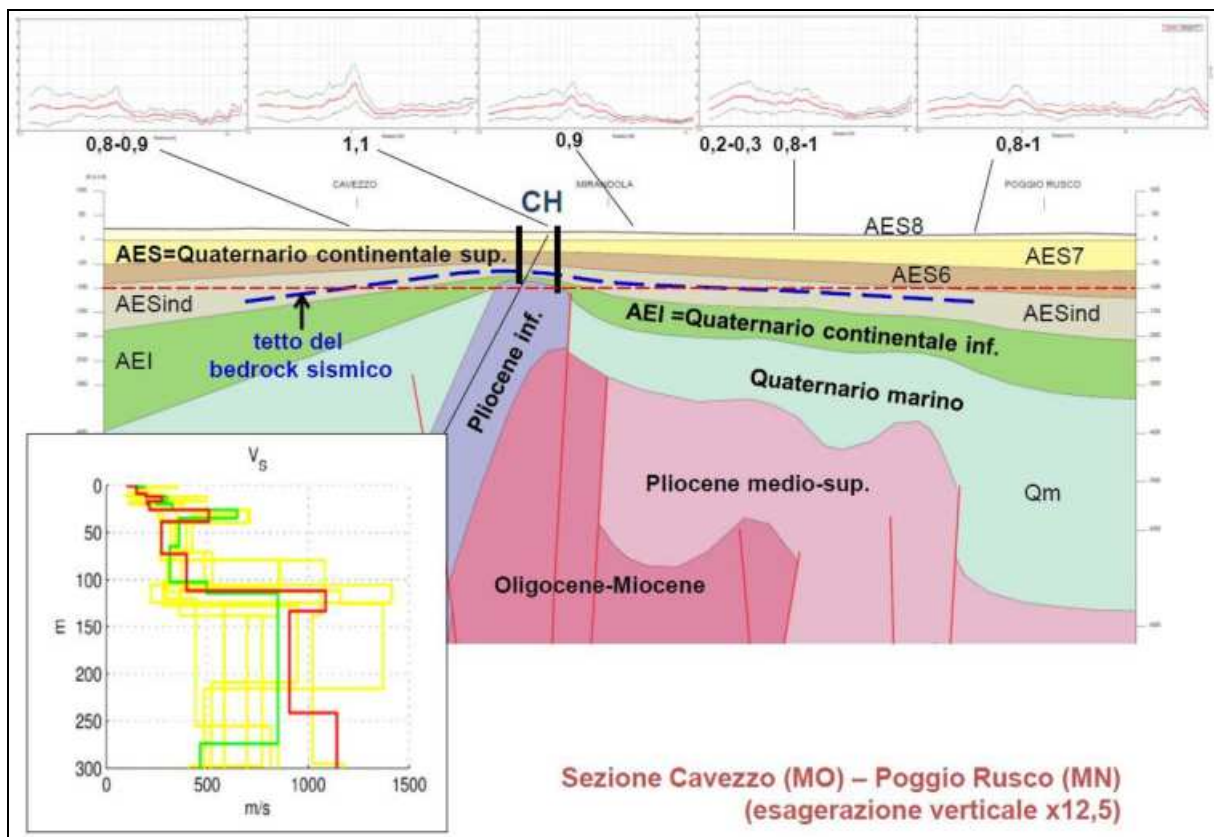
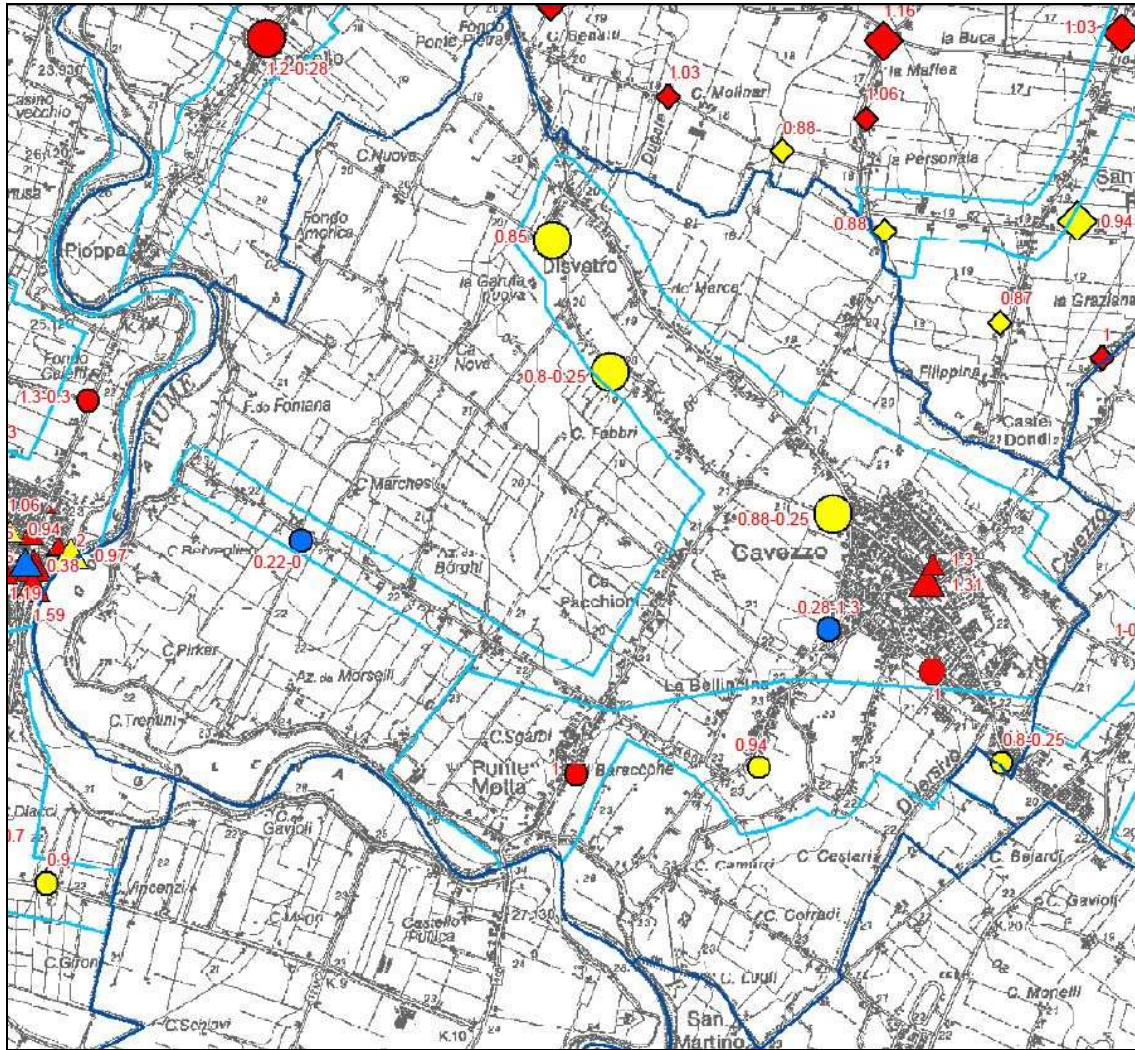


Figura 7 - Esempio di identificazione del bedrock sismico (linea tratteggiata blu) tramite il confronto tra grafici HVSR da misure di sismica passiva a stazione singola (grafici in alto), profilo di Vs da misure di sismica passiva da antenna sismica (grafico Vs in basso a sinistra) e stratigrafia. La linea tratteggiata rossa indica la quota di -100 m slm (=110-120 m da pc). I segmenti verticali e la sigla CH indicano i sondaggi con prove CH di Medolla e Mirandola. (Fonte: Martelli e Romani - a cura di - 2012).

Per quanto riguarda il territorio comunale di Cavezzo, la distribuzione delle frequenze fondamentali del terreno è visibile in Figura 8. L'area con frequenze naturali ≥ 1 Hz (in rosso) sono identificabili principalmente a Ponte Motta e nel Capoluogo, con valori del picco di amplificazione generalmente compresi tra 2 e 2,5.



	ADBPO	UNIBAS-OGS	PSC Mirandola	UNISI	RER MS ord. 70/2012
Fo < 0.6	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ■ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5
0.6 ≤ Fo < 0.8	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ■ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5
0.8 ≤ Fo < 1.0	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ■ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5
Fo ≥ 1.0	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ▲ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ■ A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5 	<ul style="list-style-type: none"> ● A < 2 ◐ 2 ≤ A < 2.5 ◑ A ≥ 2.5

Figura 8 – Estratto della "Carta delle frequenze naturali del terreno", scala 1:100.000 della Regione Emilia-Romagna – Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n. 70 del 13 novembre 2012.

La parte settentrionale del territorio mostra valori compresi tra 0,8 ed 1 Hz, con valori del picco di amplificazione generalmente superiori a 2,5; lo stesso range di frequenze naturali è caratteristico anche della periferia meridionale del Capoluogo, ma con valori del picco di amplificazione compresi tra 2 e 2,5.

Interessante notare come la fascia centrale del territorio, con direzione O-E, sia caratterizzata dalle frequenze più basse, inferiori a 0,6 Hz, con valori del picco di amplificazione compresi tra 2 e 2,5.

Utilizzando le mappe delle isobate basali di AES e AES6 disponibili presso il Servizio Geologico regionale, sono state distinte le zone in cui il tetto del bedrock è a profondità sicuramente maggiore di 120 m e quelle in cui il tetto del bedrock è a profondità minore, indicate rispettivamente come A1 e A2 in Figura 9 che illustra i risultati di questa analisi.

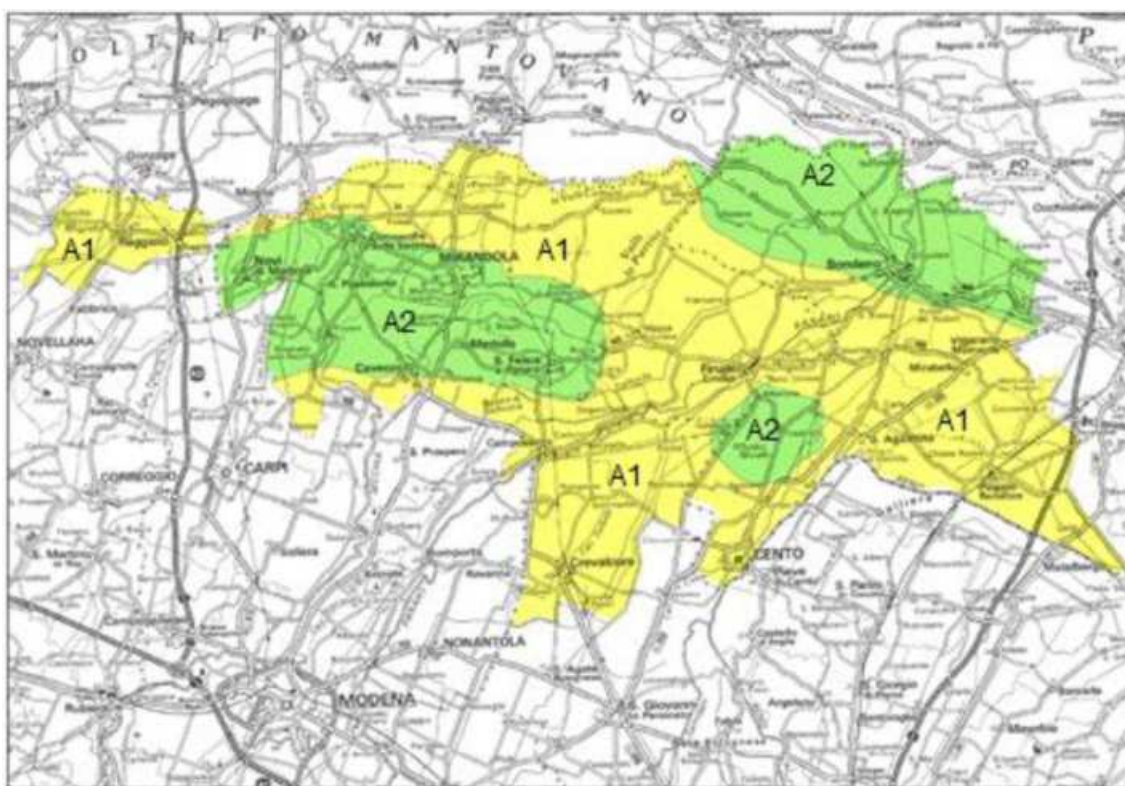


Figura 9 - Mappa della profondità del tetto del bedrock sismico; A1: tetto del bedrock sismico a profondità maggiori di 120 m, A2: tetto del bedrock sismico a profondità indicativamente minori o uguali a 100 ± 20 m.

Utilizzando il parametro $V_{S,30}$, come richiesto dalle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione in aree di pianura dell'Emilia-Romagna (DAL 112/2007, Allegato 2, v. abachi Pianura 1 e Pianura 2), tenuto conto che tutte le prove effettuate indicano $V_{S,30} < 225$ m/sec., per le zone A1 e A2 sono stati quindi stimati i seguenti fattori di amplificazione, per TR=475 anni e $\xi=5\%$:

- Zona A1: F.A. PGA = 1,5; F.A. 0,1-0,5S = 1,8; F.A. 0,5-1S = 2,5;
- Zona A2: F.A. PGA = 1,7; F.A. 0,1-0,5S = 1,9; F.A. 0,5-1S = 2,6.

Infine, essendo il territorio pressoché ovunque pianeggiante, con rilievi modesti, fino a 8-10 m, costituiti soprattutto da rilevati arginali e stradali, il valore del coefficiente di amplificazione topografica ST è stato assunto ovunque pari a 1.

Come si vede da Figura 9, il territorio comunale di Cavezzo risulta suddiviso in due settori: la fascia più ampia, centro settentrionale, è caratterizzata da una profondità del bedrock sismico $< 100-120$ m, con terna di fattori di amplificazione pari a F.A. $PGA = 1,7$; F.A. $0,1-0,5S = 1,9$; F.A. $0,5-1S = 2,6$; il settore meridionale, meno esteso, è caratterizzato da una profondità del bedrock sismico ≥ 120 m, con terna di fattori di amplificazione pari a F.A. $PGA = 1,5$; F.A. $0,1-0,5S = 1,8$; F.A. $0,5-1S = 2,5$.

2.2. Stima del potenziale di liquefazione

Gli effetti ambientali più eclatanti, a seguito delle scosse sismiche del maggio-giugno 2012, sono stati senza dubbio quelli dovuti alla liquefazione delle sabbie. In alcune aree, soprattutto nella parte occidentale della Provincia di Ferrara, in particolare nei Comuni di S. Agostino e Mirabello, dopo le scosse principali del 20 e 29 maggio (rispettivamente di magnitudo locale $ML=5.9$ e $ML=5.8$), si sono verificate copiose fuoriuscite di sabbia attraverso vulcanelli, fratture e pozzi che hanno talora causato rigonfiamenti, spostamenti e cedimenti del suolo.

Nel territorio comunale di Cavezzo, già subito dopo gli eventi sismici maggiori sono stati identificati dal gruppo di lavoro EMERGEO⁴ i punti in cui si sono avute manifestazioni in superficie del fenomeno della liquefazione (Figura 10), tutti concentrati nel Capoluogo e nella prima periferia sud-occidentale.



Figura 10 – Ubicazione dei punti in cui si sono avute manifestazioni superficiali del fenomeno della liquefazione (Fonte: EMERGEO Working Group, 2012). Il cerchio rosso circonda i punti che interessano il territorio comunale di Cavezzo.

Poiché la liquefazione è un fenomeno che si verifica in occasione di forti terremoti ($M > 5.5$) nelle aree in cui sono presenti sedimenti granulari (limi sabbiosi, sabbie e

⁴ <http://emerggeo.ingv.it/rapporti-di-attivita.html>

ghiaie sabbiose) poco addensati e saturi nei primi 15-20 m di profondità, per individuare le aree a rischio di liquefazione, oltre alla mappa dei siti in cui tali effetti sono stati rilevati (disponibile fin dalle prime settimane dopo il sisma nel sito del Servizio Geologico regionale dedicato alle attività del gruppo di lavoro "Liquefazione 2012"⁵), sono state analizzate tutte le prove che potessero fornire indicazioni sulla stratigrafia dei primi 15-20 m dal piano campagna.

Tutte le prove geotecniche in sito sono state interpretate per individuare la presenza di orizzonti liquefacibili nei primi 20 m e classificate secondo i seguenti criteri:

- **L1**: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 30-40 cm, sotto falda, nei primi 5 m;
- **L2**: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 1 m tra 5 e 10 m;
- **L3**: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 2 m tra 10 e 15 m;
- **L4**: presenza di orizzonti liquefacibili spessi almeno 2 m tra 15 e 20 m;
- **N**: assenza di orizzonti liquefacibili importanti nei primi 15-20 m;
- **X**: dato non interpretabile.

Per l'analisi del rischio di liquefazione, dato che nell'area d'interesse le indagini geotecniche in sito più comuni sono le prove penetrometriche statiche, si è deciso di stimare l'indice di liquefazione I_L (Iwasaki et al., 1982) tramite le procedure semplificate indicate dagli indirizzi regionali (DAL 112/2007, Allegato 3) e nazionali (Gruppo di lavoro MS, 2008).

I valori puntuali di I_L ottenuti con il metodo di Idriss & Boulanger (2008) sono stati poi raggruppati in classi (Sonmez, 2003); sono stati così distinti siti con rischio di liquefazione nullo se $I_L=0$ (simbolo bianco), basso se $0 < I_L \leq 2$ (simbolo bianco), medio se $2 < I_L \leq 5$ (simbolo giallo), elevato se $5 < I_L \leq 15$ (simbolo rosso), molto elevato se $I_L > 15$ (simbolo viola). Accanto ad ogni simbolo è rappresentato il valore numerico di I_L .

Il calcolo di I_L è stato eseguito per prove di profondità maggiore di 10 m; i valori ottenuti da prove di lunghezza non superiore a 11 m sono rappresentati con un rombo e colore del valore numerico rosso; i valori ottenuti da prove di lunghezza superiore sono rappresentati con un quadrato e colore del valore numerico blu.

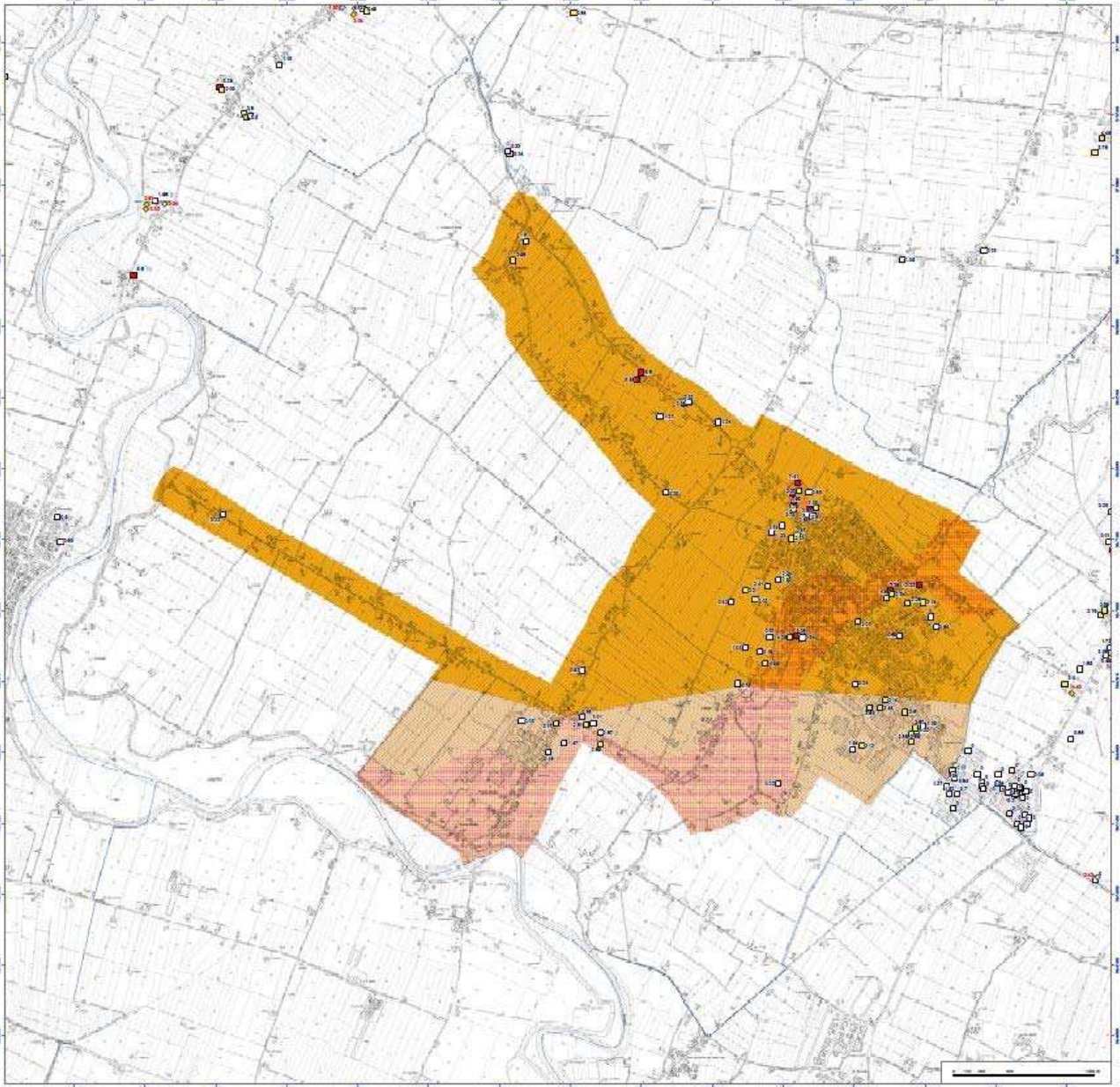
Il confronto della distribuzione sul territorio dei valori di I_L ottenuti e delle prove classificate come sopra descritto indica che i valori più alti corrispondono in genere a prove classificate L1 e L2; pertanto, le aree potenzialmente instabili per liquefazione sono state classificate come segue:

- LQ1, zona in cui sono presenti orizzonti liquefacibili importanti già nei primi 10 m da pc;
- LQ2, zona in cui sono presenti orizzonti liquefacibili importanti tra 10 m e 20 m da pc.

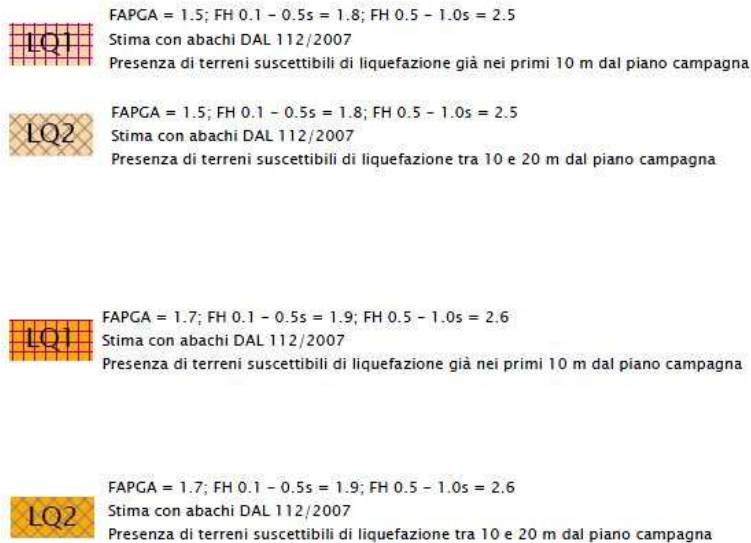
In carta, per ogni sito di verifica, è stato poi riportato un simbolo indicativo della classe del potenziale di liquefazione secondo Sonmez (2003) con indicato il valore puntuale di I_L ottenuto con il metodo di Idriss & Boulanger (2008).

⁵ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro>

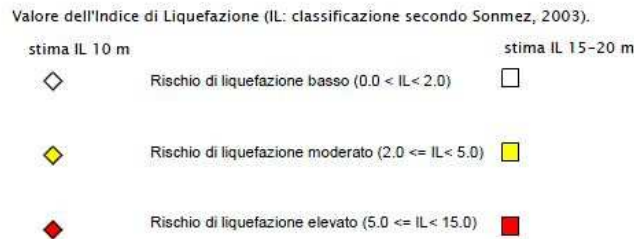
I risultati derivati dallo studio della Regione Emilia-Romagna, in termini di fattori di amplificazione e potenziale di liquefazione, sono stati rappresentati nella "Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione" a scala 1:10.000, di cui se ne da un esempio, per il territorio comunale di Cavezzo, in Figura 11.



Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.



Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.



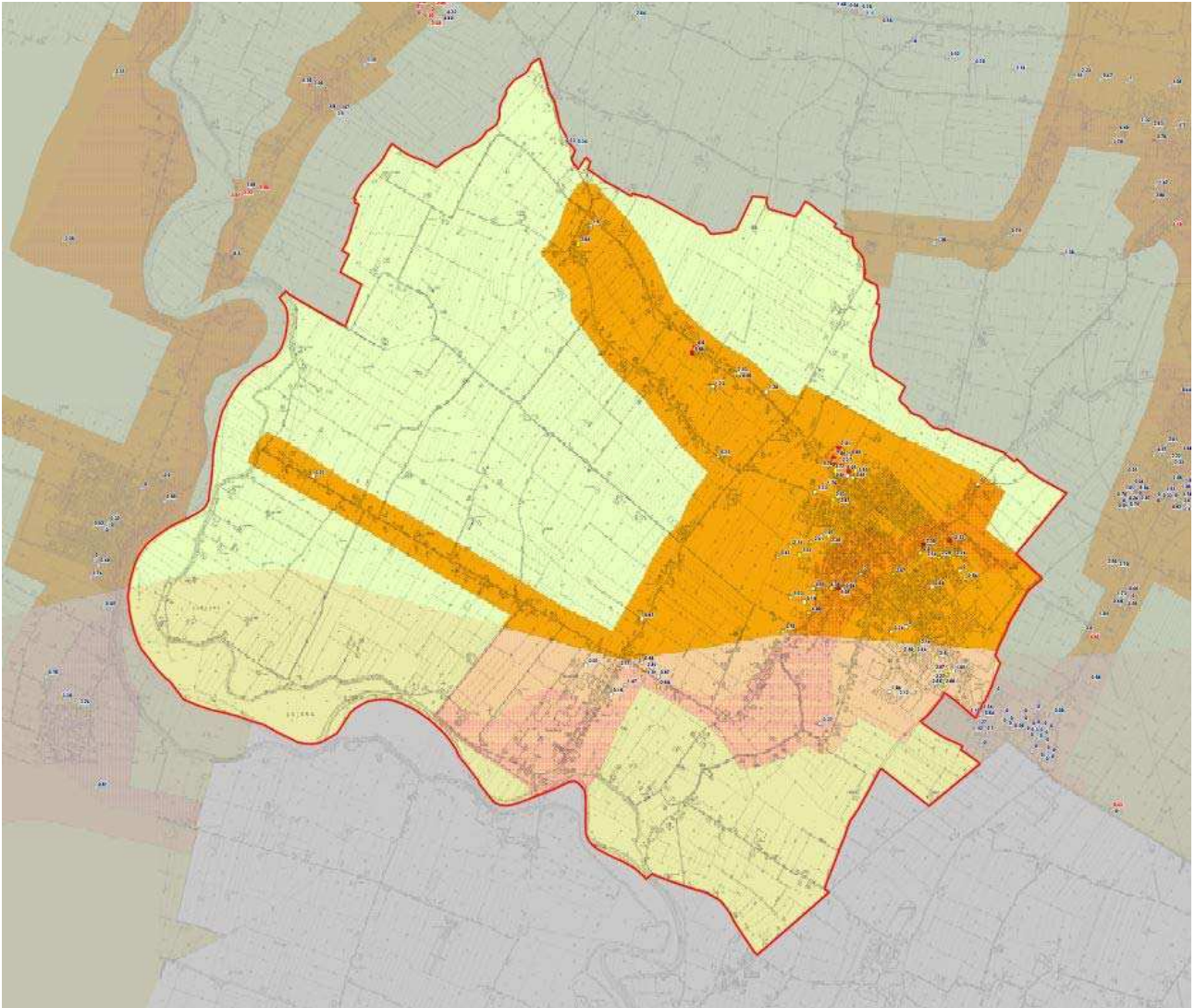
Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL

Figura 11 – “Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione” a scala 1:10.000 del Comune di Cavezzo (Regione Emilia-Romagna).

2.3. Integrazione dell'analisi regionale sulle restanti parti di territorio comunale

Come già anticipato, nelle porzioni di territorio comunale non indagate dallo studio regionale, sono stati assegnati i valori dei fattori di amplificazione sismica (per TR=475 anni e $\xi=5\%$) sulla base della profondità stimata del bedrock sismico, così come indicato dall'analisi regionale (Figura 12):

- per la Zona A1: F.A. PGA = 1,5; F.A. 0,1-0,5S = 1,8; F.A. 0,5-1S = 2,5;
- per la Zona A2: F.A. PGA = 1,7; F.A. 0,1-0,5S = 1,9; F.A. 0,5-1S = 2,6.



TERRITORIO NON COMPRESO NEGLI SVILUPPI

A1 Zona suscettibile di amplificazione.
FAPGA = 1.5
FH 0.1 - 0.5s = 1.8
FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007

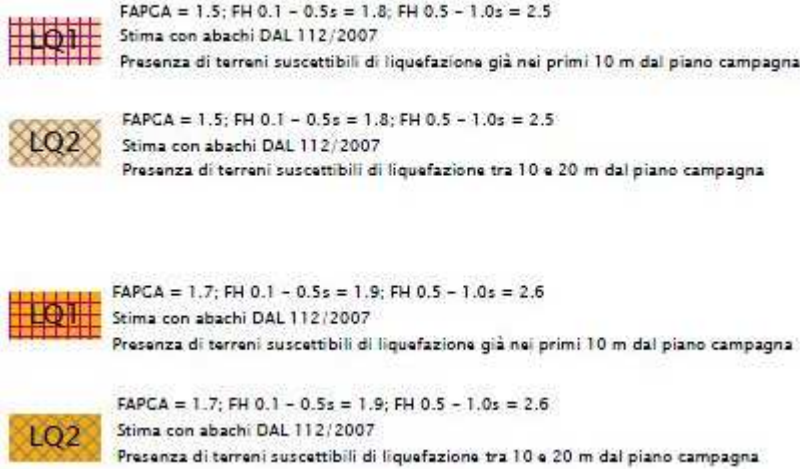
A2 Zona suscettibile di amplificazione.
FAPGA = 1.7
FH 0.1 - 0.5s = 1.9
FH 0.5 - 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007

AREE RICOMPRESSE NEGLI SVILUPPI

A1 Zona suscettibile di amplificazione.
FAPGA = 1.5
FH 0.1 - 0.5s = 1.8
FH 0.5 - 1.0s = 2.5
Stima con abachi DAL 112/2007

A2 Zona suscettibile di amplificazione.
FAPGA = 1.7
FH 0.1 - 0.5s = 1.9
FH 0.5 - 1.0s = 2.6
Stima con abachi DAL 112/2007

Zone suscettibili di amplificazione e liquefazione.



Ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), in queste zone (categoria di sottosuolo S2) non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).		
stima IL 10 m		stima IL 15-20 m
1.2	◇ Rischio di liquefazione basso (0.0 < IL < 2.0)	□ 1.5
2.8	◇ Rischio di liquefazione moderato (2.0 < IL < 5.0)	■ 3.3
5.4	◇ Rischio di liquefazione elevato (5.0 < IL < 15.0)	■ 6.4

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL

Figura 12 - "Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione" a scala 1:10.000 del Comune di Cavezzo, modificata da Regione Emilia-Romagna.

Come è possibile osservare da Figura 4 e Figura 12, permane la dicotomia relativa ai fattori di amplificazione (derivante da quella della profondità del bedrock sismico): in Figura 12, elaborato cartografico definitivo per il PPR comunale, gran parte del territorio è coperto dalla Zona A2, dove i fattori di amplificazione sono relativamente più severi rispetto alla Zona 1, che ricopre una minima parte del territorio a sud. I valori più alti, calcolati, del potenziale (e del rischio) di liquefazione si concentrano in corrispondenza del dosso fluviale che attraversa il Capoluogo, ma anche in corrispondenza della località Podere Delfini, lungo la strada che connette Cavezzo a Disvetro. Rischio di liquefazione intermedio si registra nelle porzioni prossime al dosso di cui sopra, nell'area artigianale di Cavezzo e a Ponte Motta (area artigianale). Tutte le prove penetrometriche utilizzate per il calcolo del potenziale di liquefazione avevano profondità compresa tra 15 e 20 m, pertanto significativa per la stima degli effetti superficiali del fenomeno.



COMUNE DI CAVEZZO
PROVINCIA DI MODENA

P.D.R. 2

Piano Della Ricostruzione

L.R. 16/2012

N.T.A. NORME TECNICHE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO	ELABORATO E
	REV. 1.0

Progetto

STUDIO
ARCH. PAOLO ARTIOLI

Collaboratori:

ELLENIA s.n.c. - Ostiglia
CLARA BORSATTI
DOTT. GEOL. VALERIANO FRANCHI

Adottato con atto di C.C. n. ____ del __/__/__

Approvato con atto di C.C. n. ____ del __/__/__

Publicato sul BURERT n. ____ del __/__/__

NORME PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

ART 1 - Definizione e Finalità

1. La riduzione del rischio sismico è un obiettivo strutturale della pianificazione urbanistica. Sono elementi di riferimento per la riduzione del rischio sismico sia gli studi di Microzonazione sismica (MS) che quelli dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE).
2. La microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e dei conseguenti possibili effetti locali del sisma. Essa costituisce un supporto fondamentale per gli strumenti di pianificazione urbanistica comunale e per la loro attuazione, al fine di:
 - indirizzare le scelte insediative verso le aree a minore pericolosità sismica e/o all'utilizzo di tipologie edilizie a minor vulnerabilità rispetto ai possibili effetti locali;
 - assicurare che la progettazione esecutiva delle opere ne realizzi la resistenza e le condizioni di sicurezza.

Gli studi di microzonazione sismica sono stati realizzati con riguardo al complesso del territorio comunale insediato/consolidato, comprese le porzioni suscettibili di nuova edificazione, e delle reti infrastrutturali principali (definite "Aree ricomprese negli sviluppi"), in relazione a quanto indicato sullo strumento urbanistico generale ed in conformità e coerenza con quanto stabilito dagli indirizzi regionali in materia.

Essi costituiscono inoltre adeguamento ed attuazione del vigente Piano Territoriale di Coordinamento provinciale approvato con deliberazione di Consiglio provinciale n° 46 del 18 marzo 2009.

3. La Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) rappresenta l'individuazione delle funzioni necessarie al sistema di gestione dell'emergenza a seguito di un sisma, affinché l'insediamento urbano conservi l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche, la loro accessibilità e la loro connessione con il contesto territoriale.

Gli elaborati della CLE individuano perciò quegli elementi del sistema insediativo urbano e territoriale la cui efficienza costituisce la condizione minima per superare l'emergenza, con riguardo alla:

- operatività delle funzioni strategiche necessarie per l'emergenza ;
- interconnessione fra dette funzioni e la loro accessibilità nel contesto urbano e territoriale.

ART 2 - Elaborati di riferimento

1. Sono elaborati di Quadro Conoscitivo gli studi di microzonazione sismica come di seguito identificati:
 - *Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* in scala 1:10.000 (primo livello di approfondimento)
2. La cartografia di Piano è costituita dalla Tav. MS "*Mic ro zo na zio ne sismica*" in scala 1:10.000, in cui sono individuate:

- ⇒ per le aree ricomprese negli sviluppi: i contenuti della "Microzonazione sismica - Carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione" sviluppate dalla Regione Emilia-Romagna, ove sono evidenziate:
- le porzioni di territorio suscettibili di amplificazione stratigrafica e i relativi fattori di amplificazione di PGA (F_{PGA}) e di Intensità di Housner nei periodi compresi tra 0,1-0,5s e tra 0,5-1,0s ($FH_{0.1-0.5s}$ e $FH_{0.5-1.0s}$);
 - le porzioni di territorio in cui sono possibili fenomeni di amplificazione stratigrafica e di potenziale liquefazione distinte in relazione alla presenza di orizzonti potenzialmente liquefacibili a differenti profondità (entro i primi 10m e tra 10 e 20m);
 - i valori stimati dell'indice di Liquefazione (IL) ed il conseguente rischio, raggruppati per gli intervalli: $0.0 < IL < 2.0$ (basso); $2.0 \leq IL < 5.0$ (medio); $5.0 \leq IL < 15.0$ (elevato); $IL \geq 15.0$ (molto elevato).
- ⇒ per le aree NON ricomprese negli sviluppi: la rielaborazione delle informazioni disponibili sul territorio al fine di coordinarne i contenuti con la MS regionale, ove sono evidenziati:
- le porzioni di territorio suscettibili di amplificazione stratigrafica e i relativi fattori di amplificazione di PGA (F_{PGA}) e di Intensità di Housner nei periodi compresi tra 0,1-0,5s e tra 0,5-1,0s ($FH_{0.1-0.5s}$ e $FH_{0.5-1.0s}$).
3. Costituisce inoltre riferimento per l'applicazione delle presenti norme, la carta della *Analisi de la condizione limite per l'emergenza* in scala 1:15.000 in cui sono identificati gli edifici strategici, le aree di emergenza (ricovero e ammassamento), le infrastrutture viarie di connessione e di accessibilità al sistema insediativo urbano, nonché gli edifici e gli aggregati strutturali interferenti.

ART 3 - Disposizioni per la riduzione del rischio sismico: Microzonazione Sismica

Aree ricomprese negli sviluppi:

1. Nelle zone stabili suscettibili di amplificazione (A1 e A2) non sono richiesti ulteriori approfondimenti in sede di formazione dei piani urbanistici. In queste aree per il calcolo dell'azione sismica nella progettazione di opere di classe d'uso 3 e 4, sono fortemente raccomandate specifiche analisi di risposta sismica locale.
2. Le porzioni di territorio in cui sono possibili fenomeni di amplificazione e di potenziale liquefazione (LQ1 e LQ2) sono soggette ad approfondimenti di terzo livello per la valutazione della suscettività alla liquefazione e la stima dei cedimenti.

In tali aree, preventivamente ad ogni trasformazione urbanistico - edilizia da realizzarsi negli ambiti urbani consolidati e nel territorio rurale, deve essere effettuata l'analisi di suscettività alla liquefazione il cui esito si riterrà negativo se l'indice di liquefazione IL risulterà inferiore a 2.

Se l'indice di liquefazione IL risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato e dovranno essere valutati i potenziali cedimenti. Per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.).

Se dopo la realizzazione di interventi di mitigazione del rischio di liquefazione l'indice di liquefazione IL risulterà inferiore a 2 per la progettazione di opere di classe d'uso 1 e 2 è ammesso il calcolo dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato.

3. Nelle aree comprese all'interno degli sviluppi sono inoltre rappresentati i fattori di amplificazione del moto sismico attesi, in termini di Intensità di Housner per i periodi compresi tra 0,1-0,5 s e tra 0,5-1,0 s. Ne consegue che per la pianificazione di interventi che prevedano opere con periodo di vibrazione superiore a 1,0 s sono da sviluppare approfondimenti mediante specifiche analisi della risposta sismica locale.

In relazione al periodo fondamentale di vibrazione delle strutture, al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza e contenere gli effetti del sisma, gli strumenti attuativi/esecutivi comunque denominati, devono garantire che gli interventi edilizi realizzino la minore interferenza tra periodo di vibrazione del terreno e periodo di vibrazione delle strutture. Considerato che le indagini effettuate indicano una diffusa frequenza fondamentale del terreno F_0 compresa tra 0,6 e 1,1 Hz, particolare attenzione dovrà essere posta in caso di progettazione e realizzazione di opere con periodo di vibrazione T compreso tra 0,9 e 1,7 s.

Aree NON ricomprese negli sviluppi:

4. In tali aree sono definiti i fattori di amplificazione stratigrafica (A1 e A2) e preventivamente ad ogni trasformazione urbanistica ed edilizia da realizzarsi, deve essere effettuata l'analisi di suscettività alla liquefazione:

- se $IL < 2$ per il calcolo dell'azione sismica, ai fini della progettazione, è ammesso l'approccio semplificato, utilizzando i fattori amplificativi indicati rispettivamente in A1 e A2;
- se $IL \geq 2$, per il calcolo dell'azione sismica, ai fini della progettazione, non è ammesso l'approccio semplificato e dovranno essere valutati i potenziali cedimenti. Per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.).

ART 4 - Disposizioni per la riduzione del rischio sismico: Condizione limite per l'Emergenza

1. Garantire e migliorare l'accessibilità alle funzioni strategiche, e quindi l'efficienza del sistema di gestione dell'emergenza, è obiettivo strutturale della pianificazione urbanistica; pertanto gli strumenti operativi (POC), attuativi (PUA) e RUE, devono attenersi all'applicazione delle seguenti disposizioni sulla riduzione del rischio.
2. Al fine di salvaguardare l'accessibilità alle funzioni strategiche nel contesto urbano e territoriale in caso di emergenza sismica, con riferimento alla viabilità individuata quale infrastruttura di connessione o di accesso alle funzioni strategiche sugli elaborati costitutivi la CLE, si dispone che :
 - gli interventi edilizi sui fabbricati esistenti e gli interventi di nuova costruzione non siano tali da rendere/realizzare fabbricati interferenti su Edifici Strategici, sulle Aree di Emergenza e sulla viabilità di connessione o di accesso ;
 - sui fabbricati già individuati come interferenti dagli elaborati della CLE, non è ammessa la sopraelevazione e gli interventi edilizi devono tendere di minima alla riduzione della condizione di interferenza e, in funzione della tipologia di intervento edilizio, alla sua eliminazione.

3. Si intendono interferenti sulla viabilità o rispetto alle aree di emergenza, quei fabbricati o aggregati, o singoli manufatti isolati, che ricadono nella condizione $H > L$ o, per le aree, $H > d$. Ossia l'altezza (H) sia maggiore della distanza tra l'aggregato e il limite opposto della strada (L) o rispetto al limite più vicino dell'area (d).¹

¹ [Linee Guida per l'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza \(CLE\)](#) – Roma, giugno 2012. Commissione tecnica per la micro zonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907).