

INDICE:

1. ZONIZZAZIONE E ACCELERAZIONE SISMICA.....	2
1.1 SISMICITA' DELL'AREA E MAGNITUDO DI RIFERIMENTO.....	4
2. ANALISI DEI FATTORI PREDISPONENTI AGLI EFFETTI DI SITO	11
2.1 LEGGI DI ATTENUAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA.....	12
2.2 L'ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE.....	14
3. CARTA DEGLI ELEMENTI SISMOTETTONICI	16
4. CARTA DELLA POTENZIALE PRESENZA DI CARATTERI PREDISPONENTI AGLI EFFETTI DI SITO	17

1. ZONIZZAZIONE E ACCELERAZIONE SISMICA

In data 24 ottobre 2005 è entrato in vigore il D.M. 14/09/2005 “NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI”.

La norma suddivide il territorio in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore di parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A.

I cinque comuni in esame entrano nell’elenco dei comuni dichiarati a rischio sismico. Il diverso grado di rischio è funzione della zona in cui il territorio in esame viene assegnato; Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera rientrano nei comuni di zona 3 (così come da classificazione dell’OPCM 3274/2003), per cui l’accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A è $a_g=0,15g$, mentre Argenta rientra tra i comuni di zona 2, per cui $a_g=0,25g$. La norma afferma che “Le zone 1,2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella (...) e intervallati da valori non minori di 0,025. In tal caso, i vari territori saranno assegnati alle sottozone in base ai valori di a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni”.

Decreto fino al 1984	GdL 1998		Classificazioni e 2003	A max
S = 12	Prima categoria		Zona 1	0,35g
S = 9	Seconda categoria		Zona 2	0,25g
S = 6	Terza categoria		Zona 3	0,15g
Non Classificato	N.C.		Zona 4	0,05g

Tabella 1.1 – Corrispondenza tra le definizioni di sismicità

Con OPCM 3519 del 28/04/2006 viene proposta una nuova zonizzazione, riportata in **FIGURA 1.1**, non ancora recepita formalmente dalla Regione Emilia Romagna, in cui viene adottata una suddivisione con intervalli di accelerazione più dettagliati, pari a 0,025, come previsto dal D.M. 14/09/2005. In **FIGURA 1.2**. si riporta un ingrandimento per visualizzare correttamente le fasce in cui sono assegnati i 5 comuni allo studio.

Questa è tratta dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30}>800$ m/sec; cat. A).

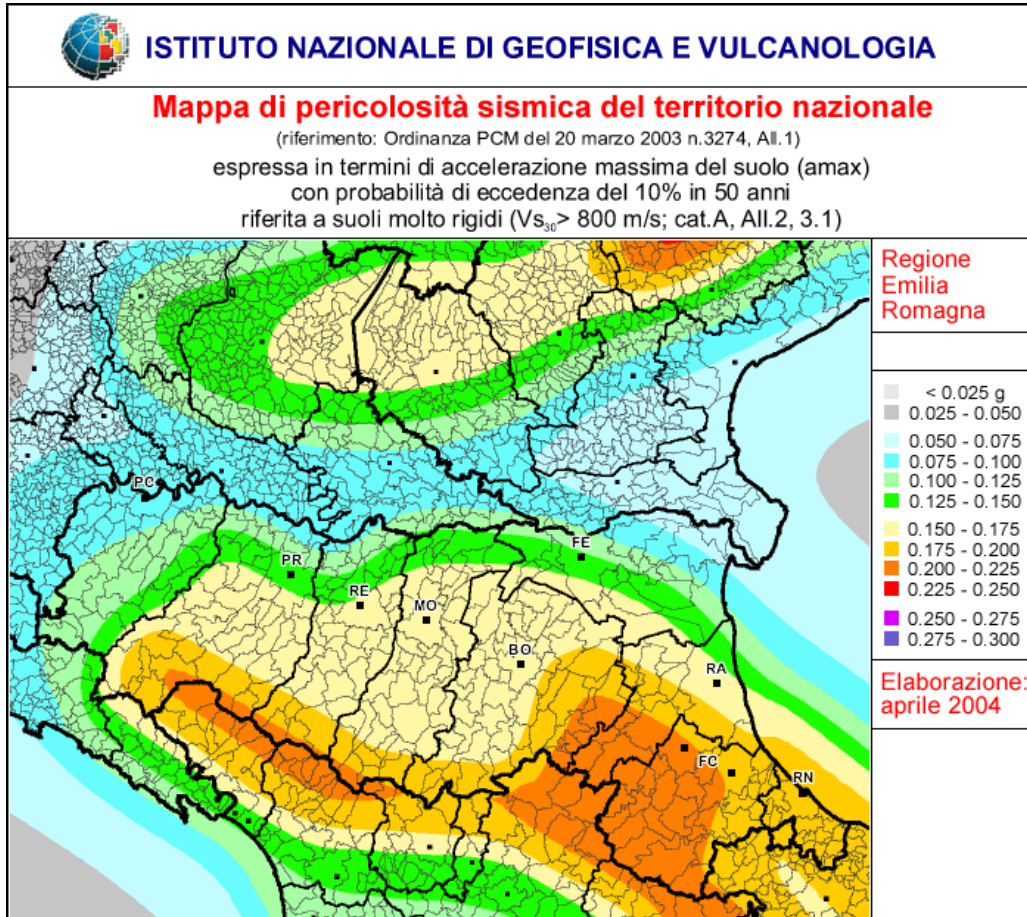


FIGURA 1.1 – Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

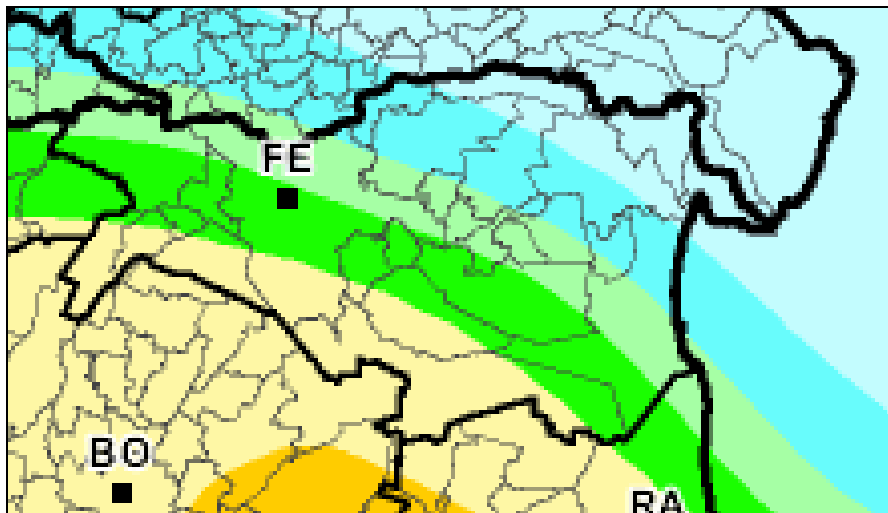


FIGURA 1.2. Dettaglio della provincia di Ferrara

Come si può notare a_{gmax} attesa varia da valori minimi di 0,075g fino a **0,100g** per la parte più settentrionale del comune di Migliarino, e **0,150g** fino a **0,175g** per la parte più meridionale del comune di Argenta.

Secondo il vecchio D.M. 24 gennaio 1986 e D.M. 16/01/1996 l'accelerazione massima free field attesa nella zona di seconda e terza Categoria si ricava dalla formula:

$$a/g = C \times I \times R$$

dove:

$C = \frac{S-2}{100}$ = coefficiente di intensità sismica espresso in funzione del “grado di sismicità” S, a cui vengono fatti corrispondere, come già visto sopra, i valori S=12, 9, e 6 per le zone di 1°, 2° e 3° categoria rispettivamente.

I = coefficiente di protezione sismica il cui valore varia tra 1,0 e 1,4 in funzione dell'importanza dell'opera (nel caso in esame sarà il progettista ad attribuire l'idoneo valore).

R = coefficiente di risposta della struttura che è una funzione del periodo fondamentale T della stessa (se il periodo T è <0,8 sec, R=1; se T>0,8 sec, $R=0,862/T_0^{2/3}$).

Il valore definitivo potrà essere calcolato dai Progettisti in funzione dei valori di I e di R, per quanto di competenza ci si limita a fornire il valore $a_g=0,04 I R g$ per la zona di terza categoria e $a_g=0,07 I R g$ per la zona di seconda categoria.

1.1 SISMICITA' DELL'AREA E MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

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

Comune	Lat.	Lon.	Imax	Mw
Argenta	44.61459	11.83658	9	6.1
Argenta	44.61459	11.83658	9	6.1
Bondeno	44.88857	11.41666	8	5.6
Cento	44.72685	11.28937	7	5.2
Codigoro	44.83096	12.10568	?6	4.8
Comacchio	44.69444	12.18290	7	5.2
Copparo	44.89391	11.82986	8	5.6
Ferrara	44.83559	11.61842	8	5.6
Formignana	44.84187	11.85894	8	5.6
Jolanda di Savoia	44.88518	11.97726	7	5.2
Lagosanto	44.76249	12.13965	7	5.2
Masi Torello	44.79369	11.79704	8	5.6
Massa Fiscaglia	44.80818	12.01334	7	5.2
Mesola	44.92060	12.23033	?6	4.8
Migliarino	44.77058	11.93149	8	5.6
Mirabello	44.82534	11.46031	8	5.6
Ostellato	44.74751	11.94085	8	5.6
Poggio Renatico	44.76571	11.48392	8	5.6
Portomaggiore	44.69759	11.80509	8	5.6
Ro	44.94634	11.76146	8	5.6
Sant'Agostino	44.79258	11.38519	8	5.6
Vigarano Mainarda	44.84191	11.49759	8	5.6
Voghiera	44.75737	11.75011	8	5.6
Tresigallo	44.81771	11.89393	8	5.6
Goro	44.85334	12.30076	?6	4.8
Migliaro	44.79835	11.97311	7	5.2
Mw = 0,430Imax + 2.182				

Tabella 1.2: Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Ferrara
(Fonte: sito web della Regione Emilia-Romagna/www.regione.emilia-romagna.it/sismica)

La recente pubblicazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche, riportate nella **FIGURA 1.3**; tale zonazione viene chiamata ufficialmente **ZS9**. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for EARTHquake Larger than M5.5 in Italy, Valensise e Pantosti, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone –sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone –sorgente e

della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse. La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il nuovo catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della “profondità efficace”, cioè dell’intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone – sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche o geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità, come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.. Le 42 zone – sorgente di ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

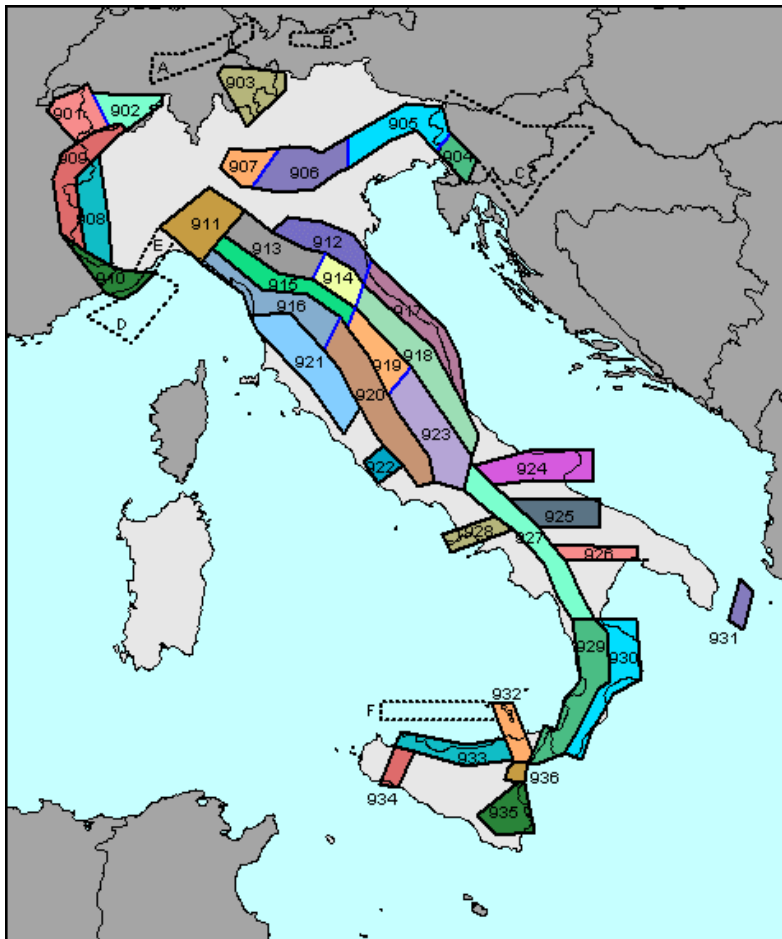


FIGURA 1.3 – Zonazione sismogenetica ZS9- Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica. Il colore delle zone non è significativo. - Gruppo di Lavoro per la redazione di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

I territori dei cinque comuni allo studio, fatta esclusione per alcuni spigoli estremi del Comune di Migliarino e del comune di Ostellato, sono tutti situati all'interno della zona 912, si veda in proposito la **FIGURA 1.4**.

La Zona sismogenetica 912 coincide con l'area geologica denominata "Dorsale Ferrarese". Al di sotto delle spesse coltri di sedimenti sciolti alluvionali è presente un sistema roccioso, orogeneticamente legato alla catena appenninica, fagliato da diverse ed importanti linee sismotettoniche, la cui genesi è riconducibile alle forze compressive che da sud-ovest spingono verso nord-est. La zona 912 rappresenta infatti la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

Nella **FIGURA 1.5** viene riportata la carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992), in cui sono visibili gli spessori dei sedimenti quaternari (comprendono i sedimenti olocenici e pleistocenici fino a circa 1,8milioni di anni) sopra le formazioni plioceniche, e le principali faglie che interessano la Dorsale Ferrarese.

Lo spessore dei sedimenti quaternari dei cinque comuni varia da 1000m a 4000m, per cui questo materasso contribuisce significativamente all'attenuazione dell'energia sismica; questo fattore ha una pari rilevanza rispetto alle amplificazioni dovute ai passaggi da corpi litologici più rigidi a corpi più molli, nel condizionare le modalità di propagazione dell'energia sismica.

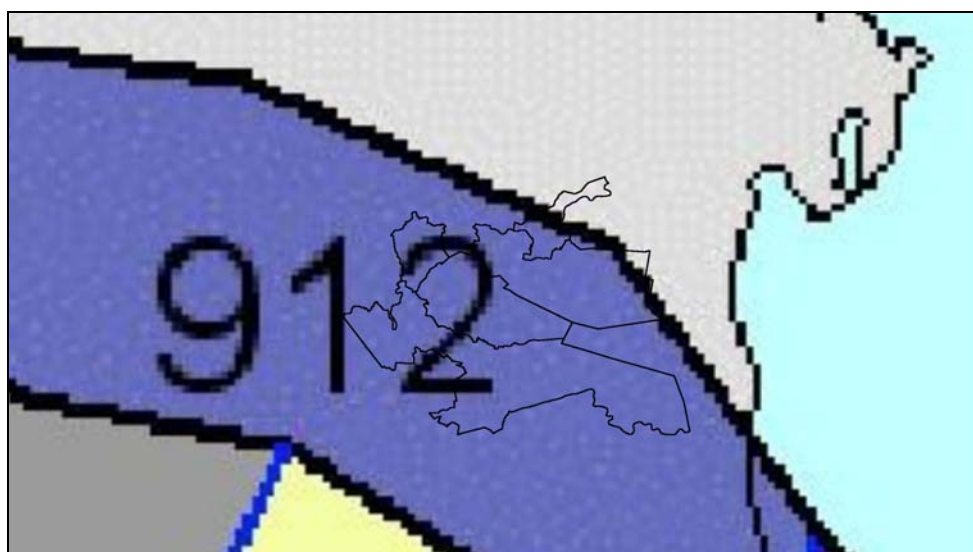


FIGURA 1.4 – Zona 912 con evidenziati i limiti comunali dei cinque comuni



FIGURA 1.5 - Carta strutturale della Pianura Padana con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto e le profondità del tetto dei sedimenti pliocenici (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)

Nelle zone più esterne di ZS9 (912 e 917), si osserva un regime tettonico debolmente compressivo in atto. Strutture compressive (prevalentemente Thrust) allineate lungo la costa o a breve distanza da essa sono responsabili della sismicità. Il fronte compressivo sepolto più avanzato della zona 912 è praticamente a ridosso del Po.

Si definisce lo strato sismogenetico come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, ovvero quel intervallo in cui presumibilmente avverranno i prossimi eventi sismici. La profondità di questo strato viene definita "profondità efficace". Questa ricostruzione è stata possibile elaborando statisticamente i dati del catalogo della sismicità strumentale (1983-2002) dell'INGV, costituito da oltre 13.600 eventi, pari a circa il 28% del totale degli eventi presenti in catalogo.

Nella zona 912 i dati pubblicati dal Gruppo di Lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (marzo 2004) evidenziano che in questi anni di monitoraggio strumentale la magnitudo massima registrata sia stata di 4,6 Md, la profondità efficace è di 7km, e che la maggior parte dei terremoti che si verificano, hanno basse magnitudo, indicando così un frequente movimento che ha funzione dissipativa delle energie tettoniche che possono accumularsi nell'area, per via delle azioni compressive sopra citate. In Tabella 1.3 sono riportati i dettagli delle misurazioni effettuate.

<i>zona</i>	<i>Numero eventi Md>2.0</i>	<i>Numero eventi Md>2.5</i>	<i>Numero eventi Md>3.0</i>	<i>Magnitudo massima (Md)</i>	<i>Classe di profondità (km)</i>	<i>Profondità efficace (km)</i>
912	180	141	54	4,6	5-8	7

Tabella 1.3 – Dettagli misurazioni zona 912

I caratteri che contraddistinguono la zona 912, sono riportati in Tabella 1.4, si fa notare che la magnitudo massima prevista Mw è pari a 6,14, anche se la magnitudo massima

stimata dai terremoti storici ricavata dal catalogo CPTI del 1999 risulta compresa tra 5,5 e 5,8 (Terremoto di Ferrara del 22/2/1346).

In **Tabella 1.5** viene riportato l'elenco dei sismi documentati, riportati nel Catalogo dei Terremoti Italiani, di grado superiore al 3 della scala Mercalli. Sono riportati gli eventi sismici documentati, a cominciare dal XIII secolo. Le informazioni derivano dagli studi effettuati da Ferrari et al. 1980, Postpisch, 1985, Boschi et al. 1995, Boschi et al. 1997, Camassi, Stucchi, 1996. Gli eventi sono stati attribuiti al giorno in cui si è prodotta la scossa più violenta (sono molti i casi di sciami di scosse sismiche e scosse di assestamento). Le coordinate geografiche della zona epicentrale sono date in gradi sessadecimali, le intensità massime sono espresse in gradi della Scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

ZS Name	ZS9	MwMax AR	Tassi Mwmax Co-04.2 AR	Tassi Mwmax Co-04.4 AR	b Co-04.2	b Co-04.4	MwMax GR	Tassi Mwmax (Co.04.2) GR	Tassi Mwmax (Co.04.4) GR
Savoia	901	5,91	0,21	0,21	-1,18	-1,26	6,14	0,11	0,14
Vallese	902	6,14			-1,26	-1,05	6,14	0,14	0,21
Grigioni - Valtellina	903	5,91	0,21	0,21	-1,26	-1,05	6,14	0,14	0,21
Trieste - Monte Nevoso	904	5,68			-1,12	-1,32	6,14	0,14	0,09
Friuli - Veneto Orientale	905	6,60			-1,06	-1,12	6,60	0,37	0,34
Garda - Veronese	906	6,60		0,14	-1,14	-1,70	6,60	0,11	0,08
Bergamasco	907	5,91	0,14	0,14	-1,71	-1,48	6,14	0,04	0,06
Piemonte	908	5,68			-1,91	-1,67	6,14	0,04	0,06
Alpi Occidentali	909	5,68	0,21	0,33	-1,27	-1,38	6,14	0,10	0,09
Nizza - Sanremo	910	6,37			-1,12	-1,06	6,37	0,14	0,12
Tortona - Bobbio	911	5,68			-1,47	-1,33	6,14	0,05	0,09
Dorsale Ferrarese	912	6,14	0,12	0,12	-1,35	-1,32	6,14	0,12	0,12
Appennino Emiliano-Romagnolo	913	5,91		0,21	-1,80	-1,53	6,14	0,07	0,18
Forlivese	914	5,91			-1,33	-1,23	6,14	0,14	0,21
Garfagnana - Mugello	915	6,60			-1,34	-1,36	6,60	0,11	0,12
Versilia-Chianti	916	5,68	0,21	0,33	-1,96	-1,58	6,14	0,04	0,06
Rimini - Ancona	917	6,14	0,12	0,12	-1,04	-1,01	6,14	0,12	0,12
Medio-Marchigiana/Abruzzese	918	6,37	0,14	0,21	-1,10	-1,11	6,37	0,14	0,21
Appennino Umbro	919	6,37			-1,22	-1,39	6,37	0,26	0,21
Val di Chiana - Ciociaria	920	5,68	0,28	0,33	-1,96	-1,58	6,14	0,06	0,17
Etruria	921	5,91		0,08	-2,00	-2,01	6,14	0,05	0,04
Colli Albani	922	5,45			-2,00	-2,01	5,45	0,37	0,25
Appennino Abruzzese	923	7,06			-1,05	-1,09	7,06	0,14	0,14
Molise-Gargano	924	6,83			-1,04	-1,06	6,83	0,13	0,14
Ofanto	925	6,83			-0,67	-0,75	6,83	0,17	0,17
Basento	926	5,91			-1,28	-1,38	6,14	0,10	0,09
Sannio - Irpinia - Basilicata	927	7,06			-0,74	-0,72	7,06	0,43	0,69
Ischia - Vesuvio	928	5,91	0,21	0,21	-1,04	-0,66	5,91	0,21	0,21
Calabria tirrenica	929	7,29			-0,82	-0,79	7,29	0,17	0,17
Calabria ionica	930	6,60			-0,98	-0,89	6,60	0,17	0,21
Canale d'Otranto	931	6,83			-0,63	-0,63	6,83	0,21	0,21
Eolie - Patti	932	6,14			-1,21	-1,08	6,14	0,21	0,33
Sicilia settentrionale	933	6,14	0,21	0,33	-1,39	-1,24	6,14	0,20	0,31
Belice	934	6,14			-0,96	-0,93	6,14	0,20	0,20
Iblei	935	7,29			-0,72	-0,69	7,29	0,12	0,17
Etna	936	5,45	0,33	0,33	-1,63	-1,22	5,45	0,33	0,33

Tabella 1.4 – Caratteristiche principali delle zone della ZS9

In **Tabella 1.5** viene riportato l'elenco dei sismi documentati, riportati nel Catalogo dei Terremoti Italiani, e rispetto alla **Tabella 1.2.** sono indicate anche le date in cui sono avvenuti tali fenomeni.

Evento N°	Anno	mese	giorno	zona epicentrale		zona epicentr. località	Intensità	Bibliogr.
				lat.	long.			
1	1234	marzo	20	44,833	11,617	Ferrara	7	Camassi-Stucchi, 1997
2	1285	dicembre	13	44,833	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
3	1346	febbraio	22	44,817	11,617	poco a S di Ferrara	7,5	Camassi-Stucchi, 1997
4	1410	giugno	9	44,833	11,617	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
5	1425	agosto	10	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
6	1483	marzo	3	44,817	11,650	poco a SE di Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
7	1487	gennaio	11	45,03	11,30	a NW di Ferrara	5	Boschi et al., 1995
8	1508	ottobre	18	44,833	11,667	poco a E di Ferrara	6	Camassi-Stucchi, 1997
9	1561	novembre	24	44,833	11,600	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
10	1570	novembre	18	44,817	11,650	Ferrara	8	Camassi-Stucchi, 1997
11	1594	ottobre	3	44,83	11,62	Ferrara	5	Boschi et al., 1997
12	1624	marzo	18	44,667	11,917	a NE di Argenta	8,5	Camassi-Stucchi, 1997
13	1695	febbraio	28	44,833	11,617	Ferrara	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
14	1743	maggio	29	44,823	11,650	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
15	1787	luglio	16	44,83	11,62	Ferrara	6,5	Boschi et al., 1997
16	1787	luglio	26	44,843	11,633	Ferrara	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
17	1895	marzo	23	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
18	1895	maggio	25	45,000	12,000	Serravalle-Papozze	6	Camassi-Stucchi, 1997
19	1895	luglio	3	44,700	12,183	Comacchio	6	Camassi-Stucchi, 1997
20	1898	gennaio	16	44,617	11,833	Argenta	7	Camassi-Stucchi, 1997
21	1908	giugno	28	44,800	11,300	fra Cento e Finale Emilia	6	Camassi-Stucchi, 1997
22	1909	gennaio	13	44,617	11,667	presso Tragheto	6,5	Camassi-Stucchi, 1997
23	1922	maggio	24	44,733	11,383	Cento	3,5	Camassi-Stucchi, 1997
24	1956	febbraio	20	44,567	11,950	a Sud di Filo di Argenta	5,5	Camassi-Stucchi, 1997
25	1967	dicembre	30	44,667	11,833	fra Argenta e Portomaggiore	6	Camassi-Stucchi, 1997

Tabella 1.5. – Elenco dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.

Si riportano anche i dati dei terremoti storici della regione Emilia Romagna, sintetizzati nelle seguenti cartografie di **FIGURA 1.6**.

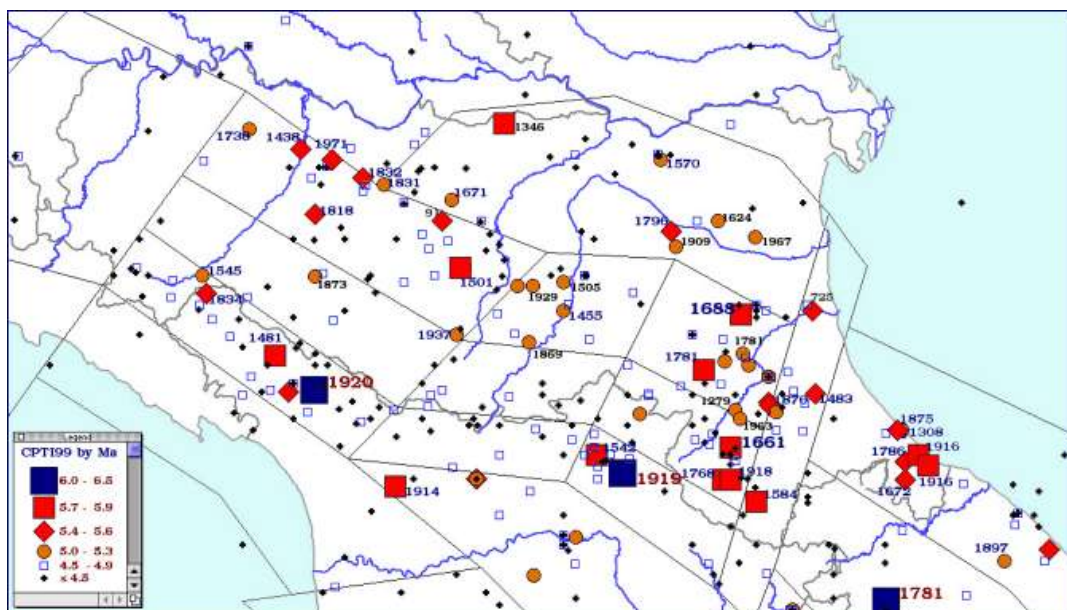


FIGURA 1.6– Carta dei principali terremoti che hanno colpito il Ferrarese dal XIII secolo ad oggi.

2. ANALISI DEI FATTORI PREDISPONENTI AGLI EFFETTI DI SITO

La Carta sismotettonica riprodotta tra gli elaborati cartografici, ricavata dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna mostra le principali strutture tettoniche che interessano i cinque comuni allo studio.

Queste fratture negli ammassi rocciosi, creatisi per le spinte tettoniche che causano il sovrascorrimento del fronte appenninico sulla monoclinale padano veneta, sono le linee su cui si possono sfogare in sisma le tensioni che si accumulano per i movimenti tettonici. Gli ipocentri sono collocati sempre all'interno di queste linee di fagliazione. Questi ammassi rocciosi e i rispettivi sistemi di faglie, sono ricoperti da sedimenti sciolti sabbiosi, limosi e argillosi del pliocene medio superiore e del quaternario. Nel passaggio dai sedimenti più rigidi a quelli meno rigidi si verificano poi gli effetti di amplificazione dell'accelerazione massima A_{max} , in funzione delle caratteristiche dei parametri dinamici dei terreni. La zonizzazione dell'OPCM 3274/2003, recepita dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (2005), definisce le accelerazioni massime A_{max} riferite a suoli di categoria A (substrato rigido), ma definisce anche i fattori di amplificazione sismica S , funzione della categoria dei suoli di fondazione (suoli di categoria B, C, D e E).

Da qui nasce la necessità anche di una microzonizzazione sismica dei suoli comunali per verificare sia i potenziali effetti di sito locali, sia le categorie di suolo di fondazione, al fine di inquadrare complessivamente le penalizzazioni del terreno nelle scelte di piano.

In funzione delle strutture tettoniche presenti, in funzione dei terremoti storici, dei dati strumentali reperiti negli ultimi decenni, delle manifestazioni naturali associate ai sistemi di faglie (risalita di gas, di salse, ecc.), la regione ha redatto una carta delle aree di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive, riportata in **FIGURA 2.1**.

In questa carta viene riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello, con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività. Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi. Le zone di maggiore risentimento corrispondono anche alle aree dove sono più frequenti le manifestazioni superficiali di idrocarburi e le sorgenti termo-minerali.

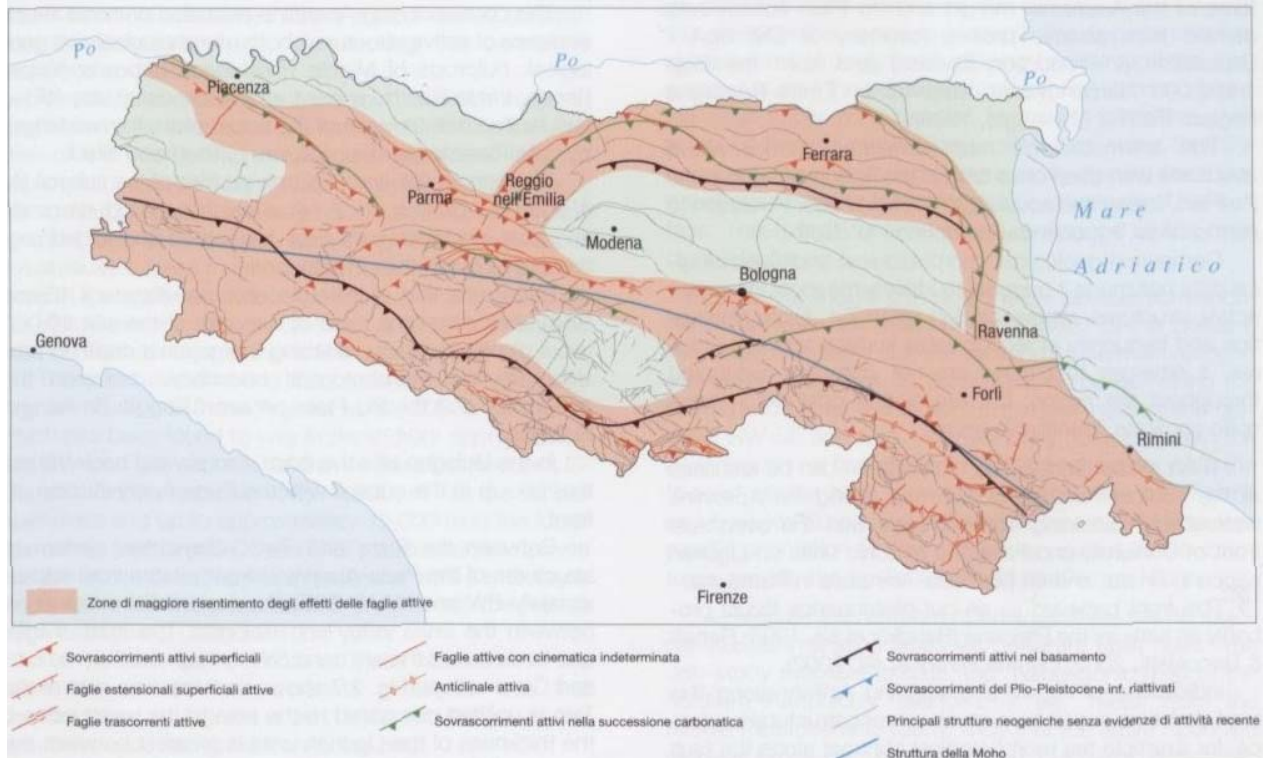


FIGURA 2.1 – Carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive.

Tra gli effetti di sito più importanti da analizzare nel contesto geomorfologico e geolitologico dei depositi marino-costieri e deltizi su cui sorgono i cinque comuni, vi è la “liquefazione delle sabbie”. Occorre dunque fornire la caratterizzazione dei banchi a litologia prevalentemente granulare.

Altri effetti particolari dei sismi possono essere riconducibili agli abbassamenti e deformazioni significativamente alte delle argille sensitive o di sabbie particolarmente sciolte. In particolare si è ritenuta possibile la presenza delle argille sensitive nei terreni, dove lo scrivente ha constatato la presenza di sedimenti con bassissime caratteristiche geotecniche.

I principali depositi che possono determinare amplificazione (spessore >5m) del moto sismico, possono essere riassunti nei seguenti casi: depositi fluvio-lacustri; riporti antropici poco addensati; terreni granulari fini con falda superficiale, cioè caratterizzate dalla presenza dei fattori predisponenti (di cui sopra) per il rischio di liquefazione e/o addensamenti (sabbie costiere, sabbie di riempimento attivo di canale fluviale).

2.1 LEGGI DI ATTENUAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA

Se da una parte l'onda sismica subisce una amplificazione nel passaggio da un suolo più rigido ad uno meno rigido, è altrettanto importante valutare quelle che sono le leggi di smorzamento o attenuazione dell'energia sismica nel suo propagarsi nei sedimenti quaternari, che solo come spessore verticale variano da un migliaio di metri nella zona più a sud e nella porzione centrale del territorio dei cinque comuni fino circa 4000m nella zona nord-orientale. Le distanze da prendere in considerazione dagli ipocentri dunque

comprendono sia questo spessore verticale che la distanza orizzontale dall'epicentro al luogo allo studio.

Le zone sismogenetiche permettono di definire la severità di un terremoto in un certo sito mediante l'utilizzo di pochi parametri rappresentativi del moto sismico del suolo la cui variazione può essere predetta attraverso le cosiddette leggi dell'attenuazione. Esse consentono di prevedere la riduzione attesa della accelerazioni massime (a_{max}) in funzione della distanza dalla sorgente (r) e della magnitudo (M) [$a_{max}=f(M,r)$]. Nel contesto europeo ed italiano hanno trovato vasto impiego le relazioni di Sabetta e Pugliese (1996) e Ambraseys et al. (1996a,b), calibrate sulla base di dati accelerometrici, la prima specificatamente impiegata per il territorio italiano, la seconda per quello europeo.

La legge di attenuazione per il territorio italiano, descritta mediante equazione 2.1 nel caso in cui la distanza r sia definita come proiezione della sorgente in superficie e mediante equazione 2.2 nel caso in cui la distanza r sia definita come distanza epicentrale, è riportata graficamente in **FIGURA 2.2.** per diverse magnitudo (M_w : 4 – 7) e distanze ($r < 100$ km) e per siti caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali profondi e profondità efficace di circa 5,0 km. L'ordinata rappresenta l'accelerazione di ancoraggio a periodo nullo.

$$\log_{10} y = -1.562 + 0.306M_w - \log_{10}(r^2 + 5.8^2)^{1/2} + 0.169S_1 + 0.173P \quad 2.1$$

$$\log_{10} y = -1.845 + 0.363M_w - \log_{10}(r^2 + 5.0^2)^{1/2} + 0.195S_1 + 0.190P \quad 2.2$$

dove;

$S_1=0$ per siti su roccia o depositi alluvionale profondi con spessore $H > 20$ m

$S_1=1$ per siti su depositi alluvionali superficiali ($H < 20$ m)

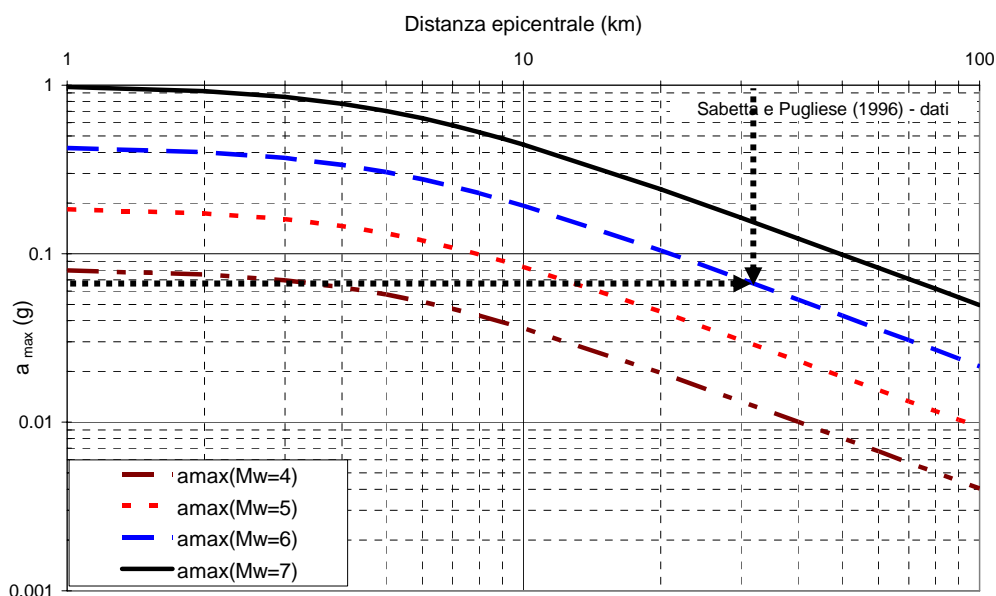


FIGURA 2.2.

Come si può notare il valore dell'accelerazione massima attesa dovuta ad una sorgente decresce al crescere della distanza epicentrale.

A titolo d'esempio un terremoto di Magnitudo 6 che avvenga a 32km di distanza da un sito allo studio, e che sviluppi una accelerazione di 0,42g, si propagerà attenuando la propria energia nei depositi della bassa pianura padana, arrivando nel sito considerato con una accelerazione massima attesa pari a 0,066g (eq.2), ovvero con una riduzione al 16% dell'energia iniziale.

Un'altra legge di attenuazione, proposta da Costa e Maugeri (1979), è stata ritenuta soddisfacente da numerosi studiosi; lo scrivente la propone, ritenendo però più affidabile, la legge di Sabetta – Pugliese, in quanto specificatamente derivata per depositi di sedimenti alluvionali profondi. Tale curva di attenuazione per l'accelerazione proposta da Costa e Maugeri ha la seguente espressione:

$$a = 5000 \cdot e^{(0,8 \cdot M)} \cdot (R + 25)^{-2}$$

dove:

l'accelerazione a è espressa in (cm/sec²)

e la distanza epicentrale R è espressa in (km).

Lo studio integrato delle leggi di attenuazione da una parte e delle condizioni stratigrafiche dall'altra, permettono di stimare per l'area allo studio i valori di accelerazione da utilizzare per la valutazione degli effetti di sito.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riportata in Figura 1.1. è già stata redatta dagli autori, calcolando per ogni fascia, le leggi di attenuazione .

2.2 L'ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE

L'obiettivo della riduzione del rischio sismico passa anche per l'analisi delle componenti territoriali che possono innescare fenomeni negativamente impattanti con le strutture antropiche e la loro sicurezza.

Vale la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti, non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell'area può non verificarsi mai un sisma con energia sufficiente ad indurre liquefazione, oppure, viceversa, possono esserci le energie sufficienti in gioco ma le caratteristiche granulometriche dei litotipi possono essere tali da non essere suscettibili di liquefazione.

In particolare vengono ritenuti motivi di esclusione dalla verifica a liquefazione, la verifica di almeno una di queste circostanze:

Eventi sismici attesi di magnitudo di momento M_w inferiore a 6 e durata inferiore a 15 sec. ("La Liquefazione del terreno in condizioni sismiche" – Crespellani, Nardi, Simoncini –

Zanichelli 1988). Nella pubblicazione AGI del 2005 “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica” il valore di magnitudo limite proposta per l'analisi alla liquefazione è $M_w=5$, e non si fanno riferimenti alla durata del sisma.

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni free-field minori di 0,10g;
- Accelerazioni massime al piano campagna in condizioni free-field minori di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie:
 - Frazione di fine, FC, superiore al 20%, con indice di plasticità $PI>10$;
 - $FC \geq 35\%$ e resistenza $(N1)_{60}>20$;
 - $FC \leq 5\%$ e resistenza $(N1)_{60}>25$

Dove $(N1)_{60}$ è il valore normalizzato della resistenza penetrometrica della prova SPT.

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella FIGURA 2.3 da distinguere i materiali in funzione del coefficiente di uniformità $U_c<3,5$ o $U_c>3,5$.
- Profondità media stagionale della falda superiore ai 15m dal piano campagna.
- Per sismi con magnitudo inferiori a 5.5/6.0 copertura di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3m, oppure con spessore maggiore di 5m per magnitudo maggiori di $M>7$.

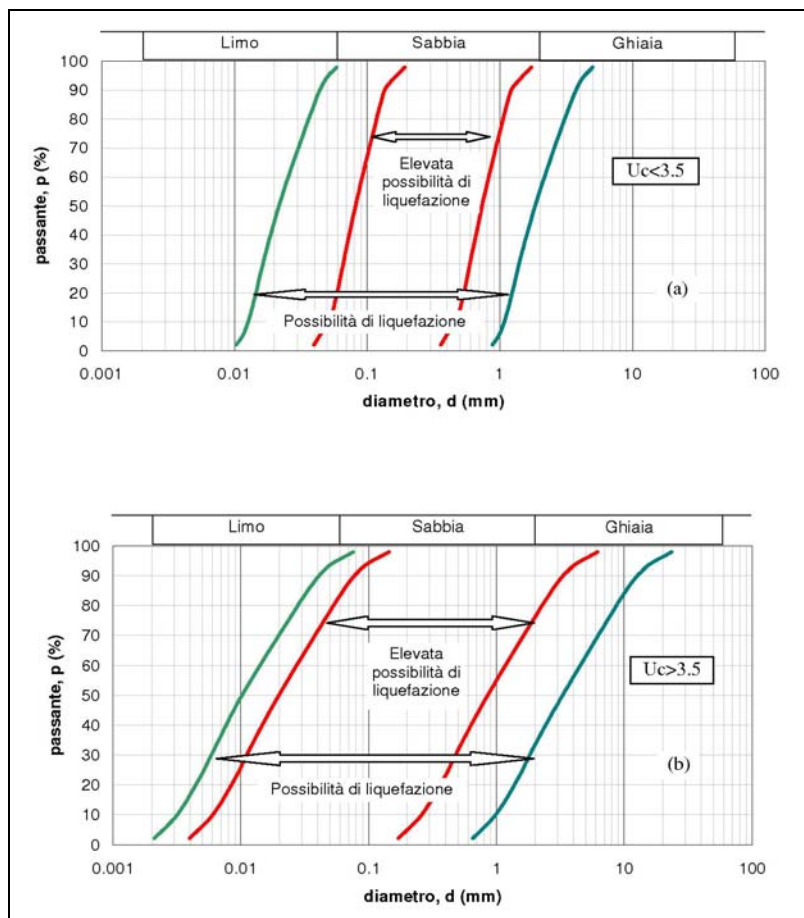


FIGURA 2.3 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni uniforme (a) ed estesa (b) (da AGI, 2005)

3. CARTA DEGLI ELEMENTI SISMOTETTONICI

La Carta degli Elementi Sismotettonici (**FIGURA 3.1**), è stata ottenuta riproducendo in scala 1:50.000 la Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna. Dalla carta si può notare come su tutto il territorio del cinque comuni, siano presenti diffusi sistemi di faglie, che stanno all'origine della classificazione sismica del territorio. Vengono mappati anche i principali epicentri di terremoti verificatisi in epoca storica. La sismicità è da attribuire alle forze compressive in atto, responsabili del sistema di fagliazione che interessa il substrato roccioso, appartenente al dominio appenninico, che inizia con i sedimenti del Messiniano superiore/pliocene inferiore (6,3-4,1 milioni di anni), presenti tra i 1000m ed i 2500m di profondità fino al basamento (età superiore a 250 milioni di anni), presente a profondità maggiori di 6.000 m.

Nella carta è riprodotto un profilo geologico profondo che interessa in parte l'area allo studio.

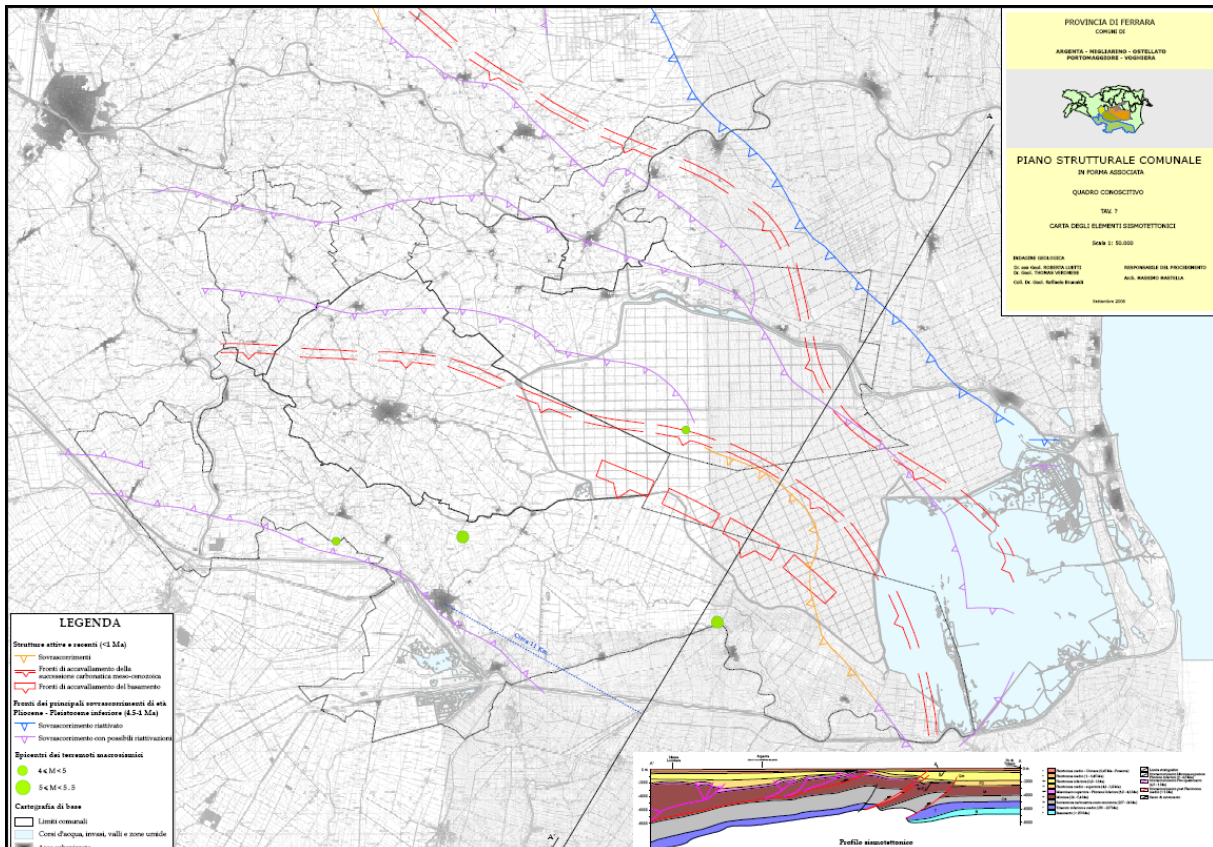


FIGURA 3.1 – Carta degli elementi sismotettonici

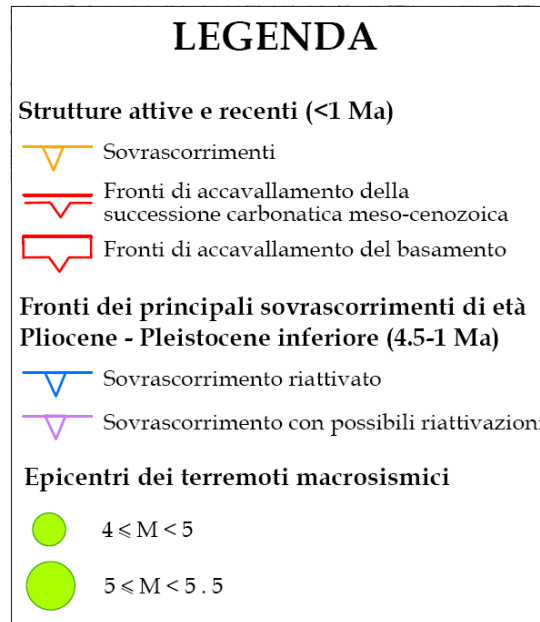


FIGURA 3.2 – *Legenda della Carta degli elementi sismotettonici*

4. CARTA DELLA POTENZIALE PRESENZA DI CARATTERI PREDISPONENTI AGLI EFFETTI DI SITO

In questa carta (che potrebbe essere anche nominata Carta delle aree suscettibili di effetti di sito ed altri effetti locali), riportata in FIGURA 4.1., sono rappresentate tutte quelle condizioni locali, derivate dall'interazione tra gli aspetti geologici, idrogeologici e geomorfologici del territorio in esame, che possono determinare effetti di sito (amplificazione) ed altri effetti locali (cedimenti, instabilità dei terreni, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

Nel caso del territorio dei cinque comuni, in piena piana alluvionale, dove si alternano bacini interfluviali segnati dal passaggio di paleoalvei di riempimento passivo, e suddivisi l'uno dall'altro da paleoalvei di riempimento attivo, le tipologie di terreni presenti sono:

- 1) terreni che possono includere uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto d'acqua, e con $10 < Cu < 20$ kPa e caratterizzati da valori di $Vs30 < 100$ m/s), quindi possibile presenza di suoli di categoria S1 (D.M. 14/09/2005). Anche le argille sensitive vengono incluse in questa classe di terreni. Sulla carta vengono mappate tutte le aree con potenziale presenza di terreni a scarse caratteristiche portanti.
- 2) terreni che possono essere soggetti a liquefazione in quanto di natura sabbiosa, immersi in falda, quindi possibile presenza di suoli di categoria S2 (D.M. 14/09/2005). Paleo-cordoni di dune e paleo-alvei di riempimento attivo possono potenzialmente avere queste condizioni.
- 3) Terreni su cui non sono previsti caratteri predisponenti agli effetti di sito.

La prima tipologia di terreni elencati racchiude principalmente le aree di bonifica, particolarmente depresse, dove i sedimenti alluvionali fini distali si sono accumulati in ambiente d'acqua, e sono sempre rimasti sommersi, e durante il processo di accumulo da una parte ed i processi di abbassamento per subsidenza naturale dall'altra, non sono mai stati emersi per raggiungere un certo grado di consistenza per essiccamento. In questa classe sono inseriti anche i paleoalvei di riempimento passivo, ovvero canali di alveo particolarmente depressi in cui si sono accumulati sedimenti alluvionali fini distali, e sedimenti organici. Tutta questa classe di terreni è dotata di elevato contenuto d'acqua, spesso con w_n prossima o superiore al LL. La coesione è spesso inferiore a 20 kPa. Per quanto riguarda le V_{s30} non ci sono ancora dati a sufficienza (in quanto è solo da poco che questo tipo di misure vengono realizzate per gli studi legati alle nuove urbanizzazioni e edificazioni). Si può solo supporre che in questa fascia siano comunque presenti suoli di categoria D ($V_{s30} < 180 \text{ m/sec}$) e, probabilmente si potranno riscontrare anche suoli con V_{s30} ancora minori ($V_{s30} < 100 \text{ m/s}$). Per quanto riguarda le argille sensitive non sono stati reperiti studi e dati per poter fare delle mappature attendibili sul territorio dei 5 comuni.

La seconda tipologia racchiude tutti quei terreni in cui sono presenti sabbie immerse in falda. Le strutture geomorfologiche in affioramento o sub affioranti in cui è possibile avere le granulometrie comprese nelle fasce liquefacibili, sono principalmente costituiti da paleoalvei di riempimento attivo, depositi di rotta fluviale e cordoni di paleodune. Come riportato in bibliografia, laddove le coperture di sedimenti argillosi o semplicemente "non liquefacibili" superi i 3m (nel caso di sismi di magnitudo 6) ed i 5m (nel caso di sismi di magnitudo 7,5), allora la liquefazione non viene considerata un fenomeno particolarmente penalizzante per le strutture superficiali. Diverse considerazioni dovrebbero essere fatte per fondazioni profonde che appoggino su strati sabbiosi liquefacibili. Tutto il territorio è attraversato diffusamente da paleoalvei di riempimento attivo in cui è possibile siano presenti strati sabbiosi di spessore significativo. La porzione più orientale del comune di Argenta presenta invece diffusi campi di paleodune in condizioni da affioranti a sub-affioranti.

Nella terza tipologia sono racchiusi i terreni dove raramente potrebbero presentarsi quei caratteri predisponenti agli effetti di sito. In particolare nelle aree, vista la natura deposizionale dei terreni che caratterizzano i 5 comuni, estremamente recente, sono presenti generalmente terreni soggetti a cedimenti significativi se caricati in condizioni statiche con nuove costruzioni, a maggior ragione, in condizioni sismiche si possono accentuare questi fenomeni di cedimento.

Diverso discorso va sviluppato per tutti i sistemi arginali del fiume Reno, delle Valli di Comacchio, del fiume Po di Volano, del Canale Navigabile e dell'Oasi di Campotto, dove andrebbe realizzato uno studio specifico per valutare le reazioni di tali corpi arginali agli effetti sismici (compito che esula da questo studio).

Nella carta sono mappati anche i rilevati con altezza maggiore di 2m rispetto al p.c., dove si possono avere, in caso di sisma, problematiche di stabilità del corpo in terra del rilevato.

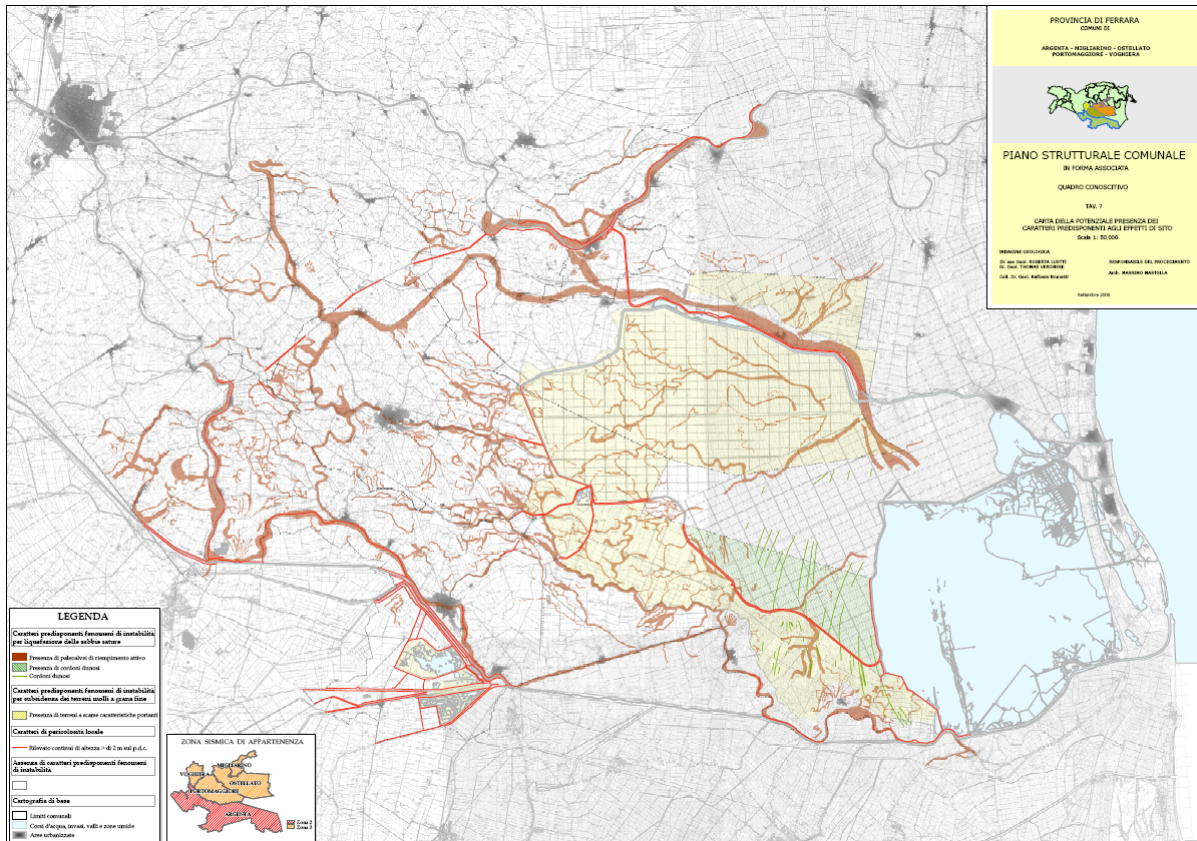


FIGURA 4.1 – Carta della potenziale presenza di caratteri predisponenti agli effetti di sito

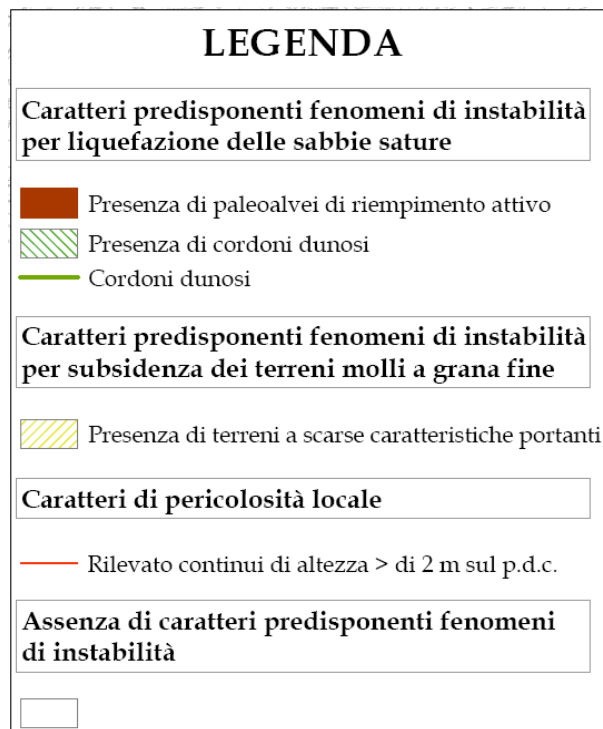


FIGURA 4.2 – legenda della Carta della potenziale presenza di caratteri predisponenti agli effetti di sito